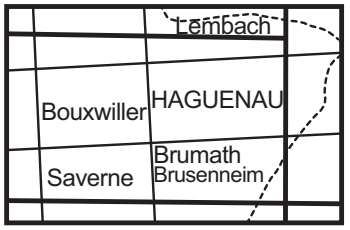
CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE À 1/50 000

HAGUENAU

HAGUENAU

La carte géologique à 1/50 000
HAGUENAU est recouverte
par la coupure suivante
de la Carte géologique de la France à 1/80 000 :
SAVERNE (N° 233)



par

F. MENILLET

Avec la collaboration de :
M. DURAND, A. GENTER, J.-P. PARTY

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P.36009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - FRANCE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Les utilisateurs de cette carte sont priés de faire connaître au Service géologique national (Secrétariat de la Carte géologique) les erreurs ou omissions qu'ils auront pu constater.

Il sera tenu compte de leurs observations dans la prochaine édition.

COMITÉ DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

Président : J.-M. LARDEAUX ; *Vice-Président* : J. DUBREUILH ; *Secrétaire Général* : D. JANJOU ; Membres : P. BARBEY, Y. CALLEC, D. CASSARD, J.-L. DURVILLE, M. FAURE, D. GIBERT, P. GIGOT, P. GUENNOC, F. GUILLOCHEAU, F. HANOT, L. JOLIVET, P. LEDRU, D. MARQUER, G. DE MARSILY, P. NELHIG, R. POLINO, F. QUESNEL, P. ROSSI, A. SCHAFF, K. SCHULMANN, D. TESSIER, P. THIERRY, C. TRUFFERT, D. VASLET

Les recommandations pour faire référence à ce document
se trouvent en page 2 de la notice

NOTICE EXPLICATIVE DE LA FEUILLE HAGUENAU À 1/50 000

par

F. MÉNILLET

Avec la collaboration de
M. DURAND, A. GENTER, J.-P. PARTY

2015

BRGM Éditions
Service géologique national

Références bibliographiques. Toute référence en bibliographie à ce document doit être faite de la façon suivante :

– *pour la carte* : F. MÉNILLET (2015) – Carte géol. France (1/50 000), feuille Haguenau (2e édition) (198). Orléans : BRGM. Notice explicative par Ménillet F. avec la collaboration de Durand M., Genter A., Party J.-P. (2015), 345 p.

– *pour la notice* : F. MÉNILLET, avec la collaboration de Durand M., Genter A., Party J.-P.(2015) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Haguenau (2e édition) (198). Orléans : BRGM, 345 p.

© BRGM, 2015. Tous droits de traduction et de reproduction réservés. Aucun extrait de ce document ne peut être reproduit, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (machine électronique, mécanique, à photocopier, à enregistrer ou tout autre) sans l'autorisation préalable de l'éditeur.

ISBN : 978-2-7159-1198-7

SOMMAIRE

RÉSUMÉ 11

ABSTRACT 12

INTRODUCTION 15
REMARQUES PRÉLIMINAIRES 15
SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE 17
CADRE GÉOLOGIQUE ; PRÉSENTATION DE LA CARTE 19

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE ; CHOIX CARTOGRAPHIQUES 21

DESCRIPTION DES TERRAINS 23
GÉOLOGIE PROFONDE – TERRAINS NON AFFLEURANTS 23
Socle granitique et formations permiennes 23
Permien 29
Trias 30
TERRAINS AFFLEURANTS 30
Groupe du Buntsandstein (*sensu gallico* ; épaisseur, environ 450 m) 30
Groupe du Muschelkalk 44
Groupe du Keuper 58
Jurassique 71
Cénozoïque 98
Formations superficielles 131
Formations anthropiques 209

ÉVOLUTION TECTONIQUE 210
STRUCTURATION DU SOCLE PALÉOZOÏQUE 210
MOUVEMENTS ÉPIROGÉNIQUES DU MÉSOZOÏQUE 211
NAISSANCE DU FOSSÉ RHÉNAN 213
STRUCTURE D'ENSEMBLE DU FOSSÉ RHÉNAN 213
STRUCTURE DE CHAQUE ÉLÉMENT À L'ÉCHELLE DE LA FEUILLE 215
ÉVOLUTION DU FOSSÉ RHÉNAN DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR À L'ACTUEL 219
FAILLES AFFECTANT DES TERRAINS PLIOCÈNES 219
NÉOTECTONIQUE ET FAILLES AFFECTANT DES TERRAINS PLÉISTOCÈNES 221

SYNTHÈSE GÉODYNAMIQUE RÉGIONALE ET CONDITIONS DE FORMATION DES ENTITÉS GÉOLOGIQUES **225**
SOCLE HERCYNIEN **225**
PERMIEN ET DÉBUT DU BUNTSANDSTEIN **225**
TRIAS **226**
JURASSIQUE : DOMAINE MARIN ÉPICONTINENTAL ; ALTERNANCE DE SÉDIMENTATION ARGILEUSE ET CALCAIRE **231**
ÉROSION CONTINENTALE DE LA FIN DU JURASSIQUE AU PALÉOCÈNE **232**
SÉDIMENTATION TERTIAIRE, PROPRE AU FOSSÉ RHÉNAN EN ALSACE DU NORD **233**
DÉPÔTS FLUVIO-PALUSTRES DU MIO-PLIOCÈNE **235**
GÉODYNAMIQUE RÉCENTE (QUATERNAIRE) : ALLUVIONS, LŒSS ET GÉLIFLUXION **236**

GÉOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT **239**
OCCUPATION DU SOL **239**
Sols et végétation : répartition des sols et composition du tapis végétal **239**
Érosion des sols **248**
ÉLÉMENTS DE GÉOTECHNIQUE **248**
Fondations et stabilité **248**
Terrassements **253**
Réemploi des matériaux **253**
RISQUES NATURELS **253**
Risques liés aux eaux superficielles : mouvements de terrains et phénomènes de retrait-gonflement **253**
Soulèvement du sol lié à l'hydratation de l'anhydrite **254**
Risque d'effondrement **254**
Base de données sur les cavités souterraines **255**
Risque sismique **255**
Site Internet sur la séismicité du territoire français **256**
Pollution atmosphérique par le radon et les gaz combustibles **256**
PRÉHISTOIRE ET ARCHÉOLOGIE **256**

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS **259**
HYDROGÉOLOGIE **259**
PÉTROLE **267**
GÎTES MINÉRAUX **269**

Anciens gîtes de fer **269**
Minéralisations d'origine filonienne **275**
Autres substances minérales **275**
RESSOURCES GÉOTHERMIQUES PROFONDES : LE SITE DE SOULTZ-SOUS-FORÊT **277**

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE **283**
ITINÉRAIRES GÉOLOGIQUES **283**
DOCUMENTATION ET COLLECTIONS CONSULTABLES **284**

BIBLIOGRAPHIE **284**

AUTEURS DE LA NOTICE **315**

ANNEXES **317**
ANNEXE 1 - TABLEAU SYNOPTIQUE DE SONDAGES PROFONDS DE LA CARTE GÉOLOGIQUE À 1/50 000 HAGUENAU (sondages pétroliers, pour l'essentiel) **318**
ANNEXE 2 - COUPES GÉOLOGIQUES (logs) DE 3 SONDAGES PÉTROLIERS DE LA CARTE GÉOLOGIQUE À 1/50 000 HAGUENAU **319**
ANNEXE 3 - TABLEAU D'ÉQUIVALENCE DES NOTATIONS DES CARTES GÉOLOGIQUES À 1/50 000 DU NORD DE LA PLAINE D'ALSACE **320**
ANNEXE 4 - POSITION ET ABRÉVIATIONS DES CENTRES COMMUNAUX (POINTS), DE QUELQUES LIEUX-DITS, ANCIENS CENTRES COMMUNAUX, HAMEAUX (croix) ET DISTRICTS FORESTIERS DE LA FEUILLE À 1/50 000 HAGUENAU SUR UNE GRILLE SURIMPOSÉE À LA MOSAÏQUE DES BANS COMMUNAUX **321**
ANNEXE 5 - NOTICE DESCRIPTIVE DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES SUPERFICIELLES APPARAISSANT SPÉCIFIQUEMENT SUR LA CARTE DU RÉGOLITHE AU 1/50 000 (Ménillet et Party, 2015, site http://geolfrance.brgm.fr/) **322**

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 - Situation de la carte à 1/50 000 Haguenau dans le contexte géomorphologique de l'Alsace du Nord **16**

Fig. 2 - Carte schématique du socle anté-carbonifère supérieur obtenue à partir des données gravimétriques et magnétiques dépouillées de la couverture sédimentaire ainsi que des sondages profonds qui ont atteint le socle. Extrait de J.-B. Edel (2004) **24**

Fig. 3 - Situation de la carte à 1/50 000 Haguenau et du site géothermique de Soultz-sous-Forêts dans le cadre des bassins permiens du domaine rhénan (d'après J.-A. Boy et T. Martens (1991), modifié par F. Ménillet pour l'axe Sarrebourg – Soultz-sous-Forêts) **26**

Fig. 4 - Corrélations entre les dépôts triasiques du Fossé rhénan (forage de Soultz-sous-Forêts, 01984X0069) et le Nord de la Forêt Noire (forage Kraichgau 1002) ; comparaison avec les cycles stratigraphiques définis au Centre du bassin germanique (Bockenem, 50 km au SE de Hanovre) (Bourquin *et al.*, 2006) **Hors texte**

Fig. 5 - Disposition des différentes formations du Buntsandstein inférieur (sens français) et du Buntsandstein moyen dans le domaine vosgien. Adapté d'après M. Durand (2009) **32**

Fig. 6 - Coupes dans le Muschelkalk inférieur de Lorraine et d'Alsace **Hors texte**

Fig. 7 - Séquence caractéristique du Calcaire à entroques (d'après P. Duringer, 1984) **54**

Fig. 8 - Séquence caractéristique des Couches à cératites (d'après P. Duringer, 1984) **56**

Fig. 9 - Coupe synthétique des formations du Lias dans le secteur de Péchelbronn (Bas-Rhin) et dans la partie septentrionale du champ de fractures de Saverne **72**

Fig. 10 - Couches à Posidonomyes (« Schistes cartons ») 1 à 3, Toarcien inférieur et Couches à *Dactylioceras commune* 4 et 5, Toarcien moyen, partie inférieure. Coupe schématique, la surface d'émersion 7 étant rabattue à l'horizontal d'après J. Schirardin (1938) **82**

Fig. 11 - Coupe de la partie médiane du Toarcien dans le Nord du champ de fractures de Saverne (schémas de J. Schirardin, 1938, regroupés) **84**

Fig. 12 - Coupe schématique des formations du Toarcien supérieur du Seuil d'Alsace moyenne au bassin de Basse Alsace (d'après J. Schirardin 1960) **86**

Fig. 13 - Coupe de la zone à *Ludwigella concava* (sow.), faciès argilo-arénacé, dans le sondage Haguenau 1 (01987X0033) (J. Schirardin,1960) **92**

Fig. 14 - Bajocien d'Alsace (d'après S. Gillet, 1937) **93**

Fig. 15 - Exemple d'interprétation séquentielle de coupes de sondages dans le Groupe (Série) de Péchelbronn (par P. Duringer, 1988) **106**

Fig. 16 - Conglomérats de bordure du Fossé rhénan (Série de Péchelbronn), processus de progradation érosive et de rétrogradation des cônes de déjection provoqués par l'alternance de phases climatiques arides et humides (par P. Duringer, 1988) **114**

Fig. 17 - Bassin pliocène du Fossé rhénan supérieur (modifié d'après E.-M. Haguedorn et W. Boenigk, 2008) **120**

Fig. 18 - Corrélation des sondages selon une coupe parallèle à l'axe du bassin mio-pliocène du Fossé rhénan supérieur du secteur de Haguenau **124**

Fig. 19 - Courbes granulométriques de sables alluviaux du Pléistocène et de sables pliocènes **128**

Fig. 20 - Courbes granulométriques d'altérites de la Formation de Schalkendorf (Aalénien) **136**

Fig. 21 - Courbes granulométriques d'altérites de formations tertiaires du Fossé rhénan **137**

Fig. 22 - Disposition schématique des formations superficielles d'une colline sous-vosgienne à substrat de marnes jurassiques, dans le pays de Hanau (Bas-Rhin, France) selon F. Ménillet **146**

Fig. 23 - Couverture infralœssique et lœssique ancienne ; coupe de référence du pays de Hanau, Uhrwiller (Bas-Rhin, France), sondage 01981X0104, par F. Ménillet **Hors texte**

Fig. 24 - Complexe lœssique dans l'emprise de la carte géologique à 1/50 000 Haguenau par F. Ménillet **Hors texte**

Fig. 25 - Courbes granulométriques du complexe infralœssique **178**

Fig. 26 - Courbes granulométriques de lœss du Pléistocène moyen **179**

Fig. 27 - Courbes granulométriques d'un lœss du Pléistocène supérieur **180**

Fig. 28 - Coupe synthétique de l'ancienne lœssière de Betschdorf (Bas-Rhin, France), d'après F. Geissert (1968), J. Buraczynski, (1982), F. Buissez (1988) et B. Ludwig (1988) **Hors texte**

Fig. 29 - Ondulation anticlinale Olhungen – Walbourg d'âge anté-éocène des terrains mésozoïques à la base du remplissage cénozoïque du Fossé rhénan (d'après J. Dylikowski, 1985) **212**

Fig. 30 - Failles des collines sous vosgiennes sur la carte à 1/50 000 Haguenau (partie NE du champ de fractures de Saverne), par F. Ménillet **214**

Fig. 31 - Failles importantes du Fossé rhénan principal sur la carte géologique de Haguenau à 1/50 000 d'après R. Schnaebelé (1948), réseau complété et légèrement modifié par F. Ménillet **218**

Fig. 32 - Blocs diagrammes synthétiques représentant les principaux épisodes de l'évolution tectonique du Fossé Rhénan au cours du Cénozoïque (d'après T. Villemin et F. Bergerat, 1987, adapté, avec l'accord de la Société géologique de France) **220**

Fig. 33 - Principales contraintes néotectoniques s'exerçant sur le Fossé rhénan principal (d'après J.-H. Illies, 1979) **222**

Fig. 34 - Séisme de Surbourg – Soultz – Riedseltz du 8 octobre 1952 dans son contexte structural (d'après J.-H. Illies, 1979) **224**

Fig. 35 - Répartition des 8 grands ensembles de formations superficielles sur la carte géologique de Haguenau à 1/50 000 **238**

Fig. 36 - Coupe schématique subméridienne de la forêt de Haguenau entre Eschbach et Schweighouse-sur-Moder, par F. Ménillet **242**

Fig. 37 - Coupe NNW - SSE de la forêt indivise de Haguenau entre Walbourg et Oberhoffen-sur-Moder, par F. Ménillet **243**

Fig. 38 - Le champ pétrolifère de Péchelbronn, ses modes d'exploitation et sa situation dans le Fossé rhénan méridional **252**

Fig. 39 - Répartition stratigraphique des niveaux productifs dans le champ pétrolifère de Péchelbronn (Bas Rhin, France), J. Blumenroeder (1962) **266**

Fig. 40 - Coupe du champ pétrolifère de Péchelbronn normale à la structure en lanière du Fossé rhénan principal (d'après J. Blumenroeder, 1962). Les anciennes mines d'asphaltes de Lobsann se situent sur la feuille à 1/50 000 de Lembach **268**

Fig. 41 - Profil de température dans le forage GPK2 (4-1371) entre la surface et 5 000 m de profondeur, données GGA Hanovre, Allemagne **278**

Fig. 42 - Coupe verticale N-S passant par les forages de Soultz **279**

Fig. 43 - La centrale géothermique de Soultz **282**

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1 - Composition minéralogique normative (calculée à partir de l'analyse chimique) d'un échantillon représentatif du monzogranite de Soultz-sous-Forêts (extrait de J.-M. Stussi *et al.*, 2002) **27**

Tabl. 2 - Analyses chimiques de granites de Soultz-sous-Forêts : K1618 et K202, faciès monzogranitiques et K1737, faciès granodioritique (d'après A. Genter, 1989 ; analyse par fluorescence X, BRGM) **28**

Tabl. 3 - Éléments traces (en ppm) de granites de Soultz-sous-Forêts, mêmes échantillons que dans tableau précédent, analyses par ICP, BRGM **28**

Tabl. 4 - Chronostratigraphie et lithostratigraphie du Trias du Nord-Est de la France mis en parallèle avec le Trias germanique d'Allemagne du Nord (M. Durand, 2010) **31**

Tabl. 5 - Épaisseur du Calcaire à entroques et des Couches à cératites dans quelques sondages pétroliers de la carte à 1/50 000 Haguenau **55**

Tabl. 6 - Épaisseur de la Formation des Grès à roseaux (Keuper) dans quelques sondages des environs de Haguenau (* commune de Merkwiller-Péchelbronn) **65**

Tabl. 7 - Épaisseurs des formations du Rhétien dans divers sondage de la carte à 1/50 000 Haguenau. Abbréviations : Hochs - Hochstett ; Ohlung. - Ohlungen ; Schw - Schweighouse-sur-Moder ; Hague – Haguenau ; Morsb. - Morsbronn ; Dieff. - Dieffenbach ; Schirr. - Schirrhein **70**

Tabl. 8 - Épaisseurs des Calcaires et marnes à Gryphées (Hettangien à Sinémurien inférieur) dans quelques sondages pétroliers de la carte à 1/50 000 Haguenau (* commune de Merkwiller-Péchelbronn) **73**

Tabl. 9 - Analyse chimique du basalte de Gundershoffen (Lutétien), d'après G. Linck (1888) **99**

Tabl. 10 - Position stratigraphique des divers niveaux identifiés dans le Mio-pliocène du secteur de Haguenau **122**

Tabl. 11 - Position des notations utilisées sur les cartes à 1/50 000 Haguenau (2e édition) et « Formations superficielles » dans la chronologie du Quaternaire européen **132**

Tabl. 12 - Spectres minéralogiques des minéraux lourds des couches 2 à 7 (pourcentages) de la coupe du sondage 01988X0045 à Oberhoffen-sur-Moder, Bas-Rhin, France (Geissert *et al.*, 1976). Étude minéralogique par W. Bœnigk *in* F. Ménillet, Théobald *et al.*, 1976 et Bœnigk (1987) **150**

Tabl. 13 - Stratigraphie d'une tourbière tardi-glaciaire à holocène à Oberhoffen-sur-Moder (Bas-Rhin, France) (Dillmann, 1971) **171**

Tabl. 14 - Composition minéralogique de la fraction argileuse du complexe infralœssique, couches E et G du sondage 6-1036, Huttendorf (Bas-Rhin, France). Diffractométrie RX, laboratoires du BRGM **185**

Tabl. 15 - Composition minéralogique de la fraction argileuse du complexe infralœssique d'un affleurement à Wintershouse (Bas-Rhin, France). Diffractométrie RX, laboratoires du BRGM **187**

RÉSUMÉ

Située au Nord de l'Alsace, la coupure de Haguenau recoupe plusieurs unités structurales du Fossé rhénan. Son angle nord-ouest appartient au domaine forestier des Vosges gréseuses du nord, constituées par des formations paléofluviatiles gréseuses à conglomératiques rouges à roses d'âge Permien terminal à Trias inférieur (série du Buntsandstein). Séparé de cette unité par la faille vosgienne, le champ de fractures de Saverne, bande fracturée et modérément effondrée du Fossé rhénan, est constitué de panneaux où affleurent diverses formations du Mésozoïque, sous une couverture étendue de lœss altérés du Pléistocène moyen : des formations du Trias (principalement du Muschelkalk et du Keuper), du Lias (série complète), du Dogger (Aalénien et Bajocien) et de l'Éocène. À l'exception des calcaires du Muschelkalk supérieur et du Calcaire oolithique du Bajocien supérieur, les formations argileuses y prédominent. À l'Est, la faille rhénane limite le champ de fractures de Saverne du Fossé rhénan principal, zone de subsidence tectonique majeure de l'Éocène supérieur (Priabonien) à l'Oligocène supérieur (Chattien). Deux séries propres à cette structure s'y sont déposées, d'abord, la série de Péchelbronn (Priabonien à Oligocène moyen), à lithologie variée, mais avec une prédominance de marnes. Exploitées aux XIX et XXe siècles, ses intercalations sableuses pétrolifères font de cette région un des berceaux de l'industrie pétrolière.

La série de Péchelbronn, lacustre à influences marines, est surmontée par la « Série grise », dépôt de marnes monotones, déposées dans un Fossé rhénan envahi par la mer, puis affecté par une dessalure progressive. Une formation fluviolacustre argileuse du Chattien complète cette succession. Au milieu ou à la fin du Miocène, une reprise locale de la subsidence tectonique attire de nouveau les apports fluviatiles dont l'accumulation forme les sables de Haguenau – Riedseltz, à intercalations argileuses. Riche en restes végétaux, cette formation conserve une des plus riches flores du Mio-Pliocène européen. Le bassin mio-pliocène comblé, les rivières originaires des Vosges étalent au Pléistocène leur sables roses et galets sur les plateaux sous-vosgiens, puis sur l'emprise de l'actuelle forêt de Haguenau. Ensuite, à la fin du Pléistocène inférieur ou au début du Pléistocène moyen, commence le creusement des vallées actuelles dans les formations secondaires, lors de la traversée du champ de fractures de Saverne, puis dans les sables pliocènes avant de rejoindre la basse plaine rhénane, atteinte dans l'angle sud-est de la carte. Les levers ont mis en évidence des changements de cours. La notice de la carte décrit toutes les formations affleurantes et leurs conditions de formation, la tectonique qui les a affectées, mais aussi les données de sondages, jusqu'au socle granitique. Le corps principal de la notice est complété par des rubriques évoquant des disciplines où la géologie locale joue un rôle important : sols et végétation, ressources du sous-sol en eau et matériaux, géotechnique et préhistoire. Une bibliographie donne les références de tous les articles et

ouvrages cités, couvrant, en particulier, l'essentiel des études géologiques effectuées dans le cadre de la feuille Haguenau. Une carte des formations géologiques superficielles conçue à l'échelle du 1/25 000, mais numérisée sur le fond à 1/50 000, téléchargeable sur le site http://geolfrance.brgm.fr/ (Ménillet et Party, 2015), complète cette seconde édition de la coupure Haguenau du programme de cartographie régulière du territoire français, à l'échelle de 1/50 000.

ABSTRACT

The Haguenau map area, located in northern Alsace, is underlain by several structural units of the Rhine Graben. In the northwest corner, in a mostly forested area, Vosges Sandstone is exposed. This consists of red to pink paleofluviatile sandstone and conglomerate of latest Permian to Early Triassic age (Buntsandstein Series).

Separated from these rocks by the Vosges fault, the Saverne Fracture Field is a moderately subsided strip of the Rhine Graben, formed of panels in which various Mesozoic formations are exposed under weathered loess of Middle Pleistocene age. The Mesozoic rocks consist of Triassic formations (mainly Muschelkalk and Keuper), a complete Liassic succession, and Dogger (Aalenian and Bajocian) and Eocene deposits. Most of these rocks are clayey, with the exception of (upper) Muschelkalk limestone and Late Bajocian oolitic limestone.

To the east, the Rhine fault separates the Saverne Fracture Field from the main Rhine Graben, which is a major tectonic subsidence zone of Late Eocene (Priabonian) to Late Oligocène (Chattian) age. The graben contains two successions that were specifically deposited within it: the Pechelbronn Series (Priabonian to Middle Oligocene) and the Grey Series. The first has a varied but mostly marly lithology; its sandy intercalations were exploited in the 19th and 20th centuries for their hydrocarbon content, which made this region into one of the cradles of the oil industry.

The Pechelbronn Series of lacustrine origin with some marine influence is overlain by the monotonous Grey Series, a marly succession that was deposited in a Rhine Graben flooded by the sea, but which progressively became less salty. A clayey fluviolacustrine deposit of Chattian age completes this succession. Towards the middle or end of the Miocene, renewed local tectonic subsidence attracted further fluviatile deposits, now known as the Haguenau – Riedseltz sands with clay intercalations. Rich in plant remains, this formation hosts one of the most important Miocene-Pliocene floras in Europe.

Once the basin of this Miocene-Pliocene age was filled in, rivers coming from the Vosges Mountains deposited their pink sands and pebbles over the plateaus below the Vosges during the Pleistocene before covering the present-day Haguenau forest. After that, by the end of the early or at the beginning of the middle Pleistocene, the present-day valleys were excavated in the Mesozoic rocks of the Saverne Fracture Field and then in the Pliocene sands, before ending on the lower Rhine plain that was reached in the south-east corner of the map area. Detailed mapping has shown that the stream beds changed course during that time.

The Explanatory Notes to the map describe all exposed formations and their conditions of formation, as well as the tectonic deformation that affected them, but they also integrate data from boreholes that were drilled down to the granite basement. The main text of the Explanatory Notes is completed by several sections where local geology plays an important role, such as soils and vegetation, groundwater, industrial- and other mineral resources, geotechnics, and prehistory. A bibliography gives all cited references, covering in particular most geological studies carried out within the Haguenau map area. A map of the exposed geological formations, mapped at 1:25,000 scale but digitized over a 1:50,000-scale topographic map available et http://geolfrance.brgm.fr/ (Ménillet et Party, 2015), completes this second edition of the Haguenau sheet, part of the regular 1:50,000-scale geological map of France.

INTRODUCTION

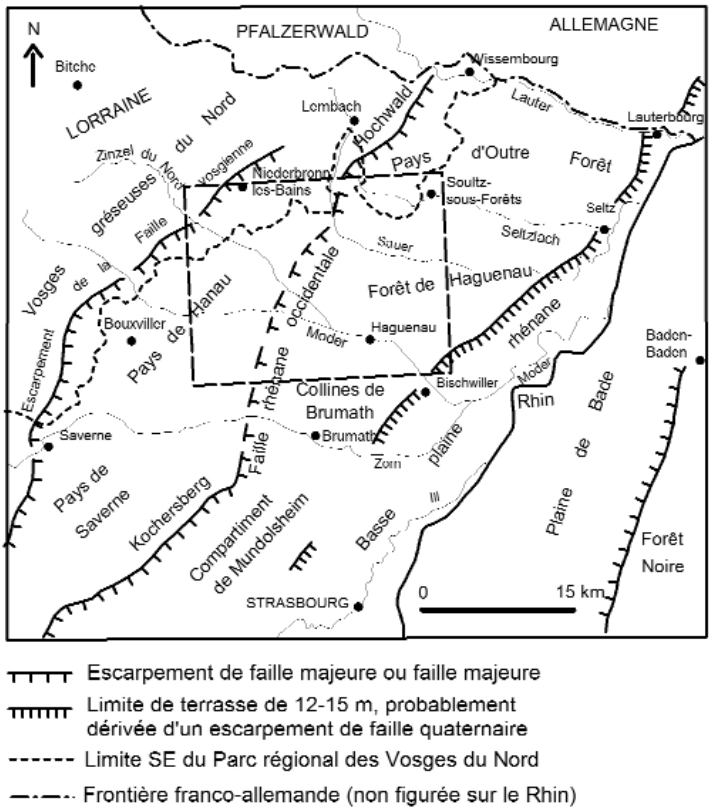
REMARQUES PRÉLIMINAIRES

La carte géologique à 1/50 000 Haguenau dont nous présentons la 2e édition est complétée par une **carte des formations géologiques superficielles** (régolithe), représentées sur le fond topographique de la carte IGN à 1/50 000, et dont seule une version numérique a été établie. Celle-ci est librement téléchargeable sur le site de la revue Géologie de la France à l'adresse http://geolfrance.brgm.fr/ (Ménillet et Party, 2015), étant traitée comme l'un des articles « standards » édités par la revue en 2015. Une mise à disposition au travers d'un support matériel (type CD-ROM) ne semblait pas nécessaire eu égard aux facilités offertes par internet.

Considéré comme un document annexé (type planche hors texte) à la carte régulière et sa notice explicative, cette carte des formations superficielles a sa légende. L'annexe 5 de la présente notice décrit les unités géologiques superficielles apparaissant sur la seule carte du régolithe, c'est-à-dire essentiellement des altérites et formations de versant non représentées dans le 1/50 000. Les entités superficielles déjà traitées dans le 1/50 000 et figurées à l'identique sur la carte du régolithe, alluvions et loess en particulier, ne sont pas reprises dans l'annexe 5.

La carte géologique a pour vocation première d'être un document de travail pour les professionnels des sciences de la terre, que ce soit dans les domaines des applications de la géologie (génie civil, recherches de matériaux et d'eau, environnement, agronomie …), de la recherche fondamentale ou de l'enseignement. Malgré tous nos efforts pour rendre ce document accessible au plus grand nombre, la rigueur technique et scientifique nécessite l'emploi de termes propres à nos domaines d'études. Le lecteur pourra trouver la définition de la plupart des termes ne figurant pas dans les dictionnaires du Français courant dans le dictionnaire de Géologie de A. Foucault et J.-F. Raoult (1980 ou édition plus récente).

Les **sondages** cités auront leur numéro d'identification de la Banque des données du sous-sol du BRGM. Numéro complet (exemple 02724X0002) pour les sondages situés en dehors de la feuille, numéros abrégés (exemple 1-45 pour 01981X0045) pour ceux qui sont implantés sur la carte, par souci d'homogénéité entre la notice et la carte. Le sondage EPS1 de Soultz-sous-Forêts ne sera pas désigné par son propre n° BSS : 01984X1374, mais par 4-69, ouvrage à partir duquel il a été foré. L'implantation des sondages pétroliers PSAEM et PREPA figurés sur la carte a été faite à partir des fonds à 1/5000 sur lesquels l'ancienne compagnie de Péchelbronn a placé la plupart de ses sondages que nous avons reportés sur le fond à 1/25 000 IGN selon leur position par rapport à la planimétrie, en particulier le réseau de routes et



Escarpement de faille majeure ou faille majeure

Limite de terrasse de 12-15 m, probablement dérivée d'un escarpement de faille quaternaire

Limite SE du Parc régional des Vosges du Nord

Frontière franco-allemande (non figurée sur le Rhin)

Fig. 1 - Situation de la carte à 1/50 000 Haguenau dans le contexte géomorphologique de l'Alsace du Nord

chemins. Elle diffère souvent de quelques dizaines de mètres de celle figurée dans la Banque de données du sous-sol du BRGM, déterminée par une formule mathématique convertissant les coordonnées « Nord de guerre » des cartes à 1/5 000 en coordonnées Lambert. Le report des sondages du fond IGN à 1/25 000 au fond à 1/50 000 utilisé a entraîné des pertes de précision et la nécessité de déplacer légèrement certains sondages en raison de leur superposition à des éléments de la planimétrie, de la toponymie ou autres. Cette dernière remarque s'applique aussi aux signes techniques.

Dans le cadre d'une harmonisation de toutes les légendes des cartes géologiques à 1/50 000 de France, la plupart des notations des formations géologiques utilisées sur la carte Haguenau sont différentes de celles des cartes géologiques environnantes. Un tableau en fin de notice présente les équivalences entre les notations anciennes et nouvelles.

Sur la carte du substrat, la couverture de formations superficielles, à l'exception des alluvions, a été largement « enlevée » ; le lecteur intéressé par la nature de cette couverture pourra consulter la carte du régolithe utilisant le même fond IGN (http://geolfrance.brgm.fr/, Ménillet et Party, 2015). Conçue à l'échelle du 1/25 000, mais numérisée sur le fond topographique à 1/50 000, cette dernière ne donnera tous ses détails que sous forme agrandie.

Pour faciliter le repérage des localités sur la carte, une liste alphabétique des communes et de quelques lieux-dits figure dans les annexes, en regard de la mosaïque des bans communaux surchargée d'une grille de localisation.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE

La coupure Haguenau se situe en région Alsace, dans le département du Bas-Rhin ; la liste et la situation des bans communaux qu'elle comprend figure dans l'annexe 4, à la fin de la notice. L'angle nord-ouest (fig. 1), petit secteur des Vosges gréseuses, domine, par l'escarpement de la faille vosgienne, une partie de la plaine d'Alsace, ne formant pas ici une étendue plate, mais un ensemble d'étroits plateaux et de terrasses, disséqués par le réseau hydrographique. Des sommets dépassant 450 m et atteignant 522 m au Wasenkœpfel donnent à cette partie des Vosges septentrionales un relief vigoureux. Le parc naturel des Vosges du nord la recouvre et déborde largement sur le domaine sous vosgien (fig. 1). La majeure partie de la carte appartient au Fossé rhénan où, ici, le massif forestier de Haguenau s'impose comme la principale entité naturelle et sert à délimiter les secteurs environnants. Sur la carte ce massif appartient, pour l'essentiel à la forêt indivise (entre l'État et la ville de Haguenau). Les questions de propriété ne concernant pas la géologie, nous parlerons de la Forêt de Haguenau, sous-entendu « indivise ». Aux sols sableux ou sablo-argileux de la forêt s'opposent :

– au Nord-Est, les prairies de la vallée de la Sauer, puis les collines de lœss, couvertes de cultures, de « l'Outre-Forêt », appellation récente due au géographe H. Baulig en 1946 (Lerch, 1976 ; Wackermann, 1985) ;

– au Nord-Ouest, le secteur de Merkwiller – Péchelbronn où la couverture lœssique se fragmente et laisse apparaître les marnes de la série de Péchelbronn, connue pour ses intercalations sableuses pétrolifères ; des terrils signalent les parcelles où s'ouvraient les principaux puits d'exploitation ; au Nord, l'éperon du Liebfrauenberg, extrémité méridionale du horst du Hochwald, domine le village de Gœrsdorf et tout ce secteur ;

– à l'Ouest, les collines ou plateaux sous vosgiens sont souvent désignés sous le vocable de « pays de Hanau », du nom des comtes qui possédaient la majorité de leurs villages. Leurs parties sommitales culminent entre 220 et 300 m ; leur substrat argileux (marnes du Trias et du Jurassique), entrecoupé de quelques dalles calcaires, largement couvert de limons argileux, favorisent une polyculture où alternent bois, prairies et champs labourés. En contraste, dans la vallée du ruisseau du Falkenstein, se succèdent les usines héritières d'un long passé sidérurgique, lié à la présence de nombreux gisements de fer, de dimensions artisanales, à la base de la couverture limoneuse. À la limite orientale de ce domaine, la faille rhénane, accident majeur séparant les terrains secondaires des collines sous vosgiennes du Fossé rhénan principal, n'apparaît guère dans la topographie ;

– au Sud-Ouest, d'Ohlungen à Wittersheim, réapparaissent des plateaux présentant une épaisse couverture de lœss. Ils prolongent vers le Nord les collines ou plateau de Brumath, mais leur sous-sol fut, de la fin du XIXe siècle au milieu du XXe, l'objet d'une intense recherche de pétrole ; en l'absence de terme de terroir, ce territoire pris le nom du modeste ruisseau qui le draine : le Sommerbaechel ;

– au Sud-Est, le Val de Moder, de Schweighouse à Oberhoffen, voit ses prairies alluviales et ses champs sablonneux régresser sous la pression du développement urbain de l'agglomération de Haguenau ; dans l'angle SE de la carte, il débouche sur la basse plaine rhénane, ici marécageuse, à une altitude ne dépassant guère 120 m.

Pour l'essentiel, le drainage fluviatile s'effectue depuis les Vosges gréseuses vers le Rhin ; du NW vers le SE pour le principal bassin versant, celui de la Moder, la rivière de la ville de Haguenau. En rive gauche, la Moder reçoit la Zinsel du nord. Un autre axe de drainage important est celui de la Sauer qui, après avoir recoupé les collines sous-vosgiennes du Nord au Sud, dévie son cours vers l'Est, en travers du Fossé rhénan où sa vallée sépare le massif forestier de Haguenau des collines lœssiques de l'Outre-Forêt, couvertes de cultures.

CADRE GÉOLOGIQUE ; PRÉSENTATION DE LA CARTE

La géologie de la feuille de Haguenau s'inscrit dans cinq grandes paléogéographies successives :

– la chaîne de montagne varisque ou hercynienne pour son socle paléozoïque profond ;

– la bordure sud-ouest du bassin germanique triasique ;

– le domaine épicontinental nord-ouest européen au Jurassique ;

– une zone émergée (plateau ?) à l'Est du bassin de Paris à la fin du Jurassique et au Crétacé ;

– le Fossé rhénan méridional au Cénozoïque.

Les formations générées durant le **Paléozoïque** sont masquées par les couvertures secondaires et tertiaires. Quelques sondages profonds atteignent le socle granitique hercynien. Liées à des fossés d'effondrement tardihercyniens, des formations continentales permiennes le surmontent dans certains secteurs. La plus récente, le Grès d'Annweiler, apparaît en affleurements très réduits, à l'Ouest de Niederbronn. Elle débute en Alsace le cycle inférieur du Buntsandstein, préfigurant le Trias germanique, avec les apports sableux de fleuves qui s'écoulaient vers la mer germanique. La principale formation du Trias, le Grès vosgien, constitue les reliefs des Vosges gréseuses occupant l'angle nord-ouest de la carte, terminés au SE par l'escarpement de la faille vosgienne, accident majeur limitant vers l'Ouest le Fossé rhénan (voir le schéma structural, en marge de la carte).

La suite de la **série mésozoïque**, érodée sur les Vosges, est conservée, effondrée, dans le Fossé.-rhénan. Ses assises affleurent, de façon morcelée, au sein de panneaux limités par des failles, dans la partie occidentale et modérément enfoncée du Fossé rhénan : le champ de fractures de Saverne. Mais ce sont les sondages profonds, tous localisés dans le Fossé rhénan principal, à l'Est de la faille rhénane occidentale, qui donnent la succession et les épaisseurs des différentes formations constituant le Mésozoïque local, résumées par le log figuré sur la carte. La série gréseuse du Buntsandstein se termine avec la transgression de la mer germanique qui installe la grande vasière marine peu profonde du Muschelkalk inférieur. Avec les dépôts marneux à évaporites du Muschelkalk moyen, la vasière devient une lagune sursalée. L'épisode suivant voit l'installation d'une plate-forme carbonatée où se dépose le Calcaire à entroques, première formation du Muschelkalk supérieur qui migre vers l'Ouest pour laisser la place à une vasière distale plus profonde où la sédimentation fine (marnes) alterne avec des apports clastiques carbonatés. Une phase de régression (Lettenkohle) succède à ce plus haut niveau de la transgression de la mer germanique et fait transition avec le long épisode lagunaire du Keuper et ses marnes irisées à dépôts évaporitiques si caractéristiques du Trias germanique.

Au cours de la fin de cet épisode, la phase éocimmérienne majeure entraîne d'importants changements paléogéographiques, conduisant à un retour de la mer au Rhétien et l'établissement du régime épicontinental marin qui prédomine dans le domaine nord-ouest européen durant le Jurassique. La sédimentation, principalement fine (marnes), laisse par moments (Bajocien, Oxfordien) la place à une plate-forme carbonatée. Après l'Oxfordien, la région émerge et subit une longue période d'altération météorique et d'érosion, éliminant du Nord de l'Alsace les dépôts oxfordiens et la presque totalité de ceux du Callovien.

Le Crétacé n'est connu en Alsace que par de rares et modestes venues volcaniques basiques, premières manifestations de la fracturation qui, en contrecoup des poussées orogéniques pyrénéennes et alpines, vont fragmenter la croûte terrestre du nord-ouest européen au Tertiaire, engendrer le Fossé rhénan et initier une sédimentation spécifique dans cette structure effondrée et découpée en lanières par des failles où prédominent les directions N20 à N45E.

Le log figuré en marge de la carte montre les différentes formations du **Tertiaire**, les plus anciennes : argiles à passées de lignites, calcaires lacustres du Lutétien et marnes du Bartonien, conservées dans quelques localités du Champ de fractures de Saverne, mais surtout la puissante succession des dépôts propres au Fossé rhénan principal de la partie septentrionale de l'Alsace, la série de Péchelbronn, d'âge Eocène supérieur (Priabonien) à Oligocène inférieur, principalement constituée de couches de marnes comprenant des intercalations d'évaporites et de minces passées de sables et grès pétrolifères. Une invasion par la mer de l'ensemble du Fossé rhénan à la fin de l'Oligocène inférieur engendre une sédimentation de marnes silteuses grises monotones : la Série grise. Le milieu se dessale très lentement, progressivement et la sédimentation oligocène se termine par des marnes lacustres bariolées (Couches de Niederrœdern). La transgression aquitanienne dans le Nord du Fossé rhénan atteint l'extrême angle NE du massif forestier de Haguenau, épargnant le domaine ici cartographié. Au Miocène moyen ou supérieur, à l'intérieur du Fossé rhénan principal, s'individualise un demi graben, siège d'une sédimentation fluvio-lacustre particulière (sables et argiles) : le « bassin » mio-pliocène de Haguenau-Riedseltz.

Après le comblement du graben mio-pliocène, le domaine rhénan de la feuille Haguenau devient, au **Quaternaire**, un vaste glacis en pente douce où les rivières d'origine vosgienne étalent leurs alluvions, avant de s'encaisser, par étapes, continuant à déposer des sables et des graviers, aujourd'hui conservés dans des lambeaux de terrasses, tandis que les interfluves se couvrent de dépôts de poussières : les lœss, durant les épisodes froids et secs du Pléistocène. Sur les versants, les phases de réchauffement entraînent le remaniement, par gélifluxion, cryoreptation, puis colluvionnement, des matériaux meubles, les nappant en couverture quasi-continue. À la fin du Pléistocène, le paysage prend sa morphologie actuelle. À l'Holocène, la sédimentation se limite, pour

l'essentiel, à des dépôts fins de fonds de vallées : sables et limons, localement tourbeux.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE ; CHOIX CARTOGRAPHIQUES

La première édition (Daum *et al.*, 1970) qui reprenait, pour l'essentiel, la carte géologique à 1/80 000 de Saverne (Dubois, 1949) comprenait de nombreuses inexactitudes déjà signalées en 1967, par J.-G. Blanalt. Nous rendons hommage au soin qu'apportait ce géologue à l'étude de la géologie régionale. En outre, seule avait été prise en compte une petite partie des nombreux sondages pétroliers effectués dans les secteurs de Péchelbronn et du Sommerbaechel, ainsi que dans la partie occidentale de la forêt de Haguenau. Le 1/80 000 de Dubois utilisait largement les cartes et minutes à 1/25 000 de la Géologische landesanstalt von Elsass-Lothringen : feuille Niederbronn, publiée, Van Werveke, 1898a, reprenant largement les excellents levers d'E. Haug ; feuille Wœrth (minute complète d'E. Haug) ; feuille Pfaffenhoffen (minute partielle de L. Van Werveke et E. Schumacher, 1898-1902) et Haguenau (ébauche de minute au NW de Mertzwiller). Nous sommes donc repartis de ces travaux, complétés et modifiés à l'aide de nos propres observations et les nouvelles données de sondages. Le tracé des failles a souvent été modifié, en choisissant, pour les plus hypothétiques d'entre-elles, celui qui s'accorde le mieux avec la géomorphologie.

La carte géologique harmonisée du département du Bas-Rhin (Skrzypek *et al.*, 2007) donne le contexte géologique le plus récent de l'Alsace septentrionale.

La série stratigraphique est essentiellement fondée sur les observations de terrain d'E. Haug, des géologues de la geologische landesanstalt von Elsass-Lothringen et de l'étude des sondages pétroliers, dont l'indispensable synthèse de R. Schnaebelé (1948). Sur des thèmes sédimentologiques, paléontologiques, paléobotaniques et palynologiques, les études récentes ne traitent pas la totalité de la série stratigraphique et celles qui concernent spécifiquement la coupure Haguenau sont peu nombreuses. Lors des levers, les conditions d'affleurement, médiocres, n'ont pas permis d'étudier de nouvelles coupes pouvant véritablement compléter et « moderniser » la connaissance de la série stratigraphique.

Outre l'exploitation de tous les sondages répertoriés dans la banque des données du sous-sol du BRGM, nous avons effectué plusieurs campagnes de sondages à la tarière mécanique. Une première pour préciser la limite occidentale du bassin pliocène, une seconde pour mieux connaître la couverture de formations superficielles en dehors des zones forestières où les souches des arbres renversés par la tempête du 26 décembre 1999 ont été largement

examinées. Sinon une campagne de terrain classique, intégrant les affleurements disponibles à l'époque des levers et recherchant les liens entre la lithologie et la géomorphologie, a été effectuée dans les périodes de repos de la végétation. Les derniers problèmes importants ont été résolus par des sondages mécaniques et des sondages à la tarière manuelle. Nous remercions les personnes qui nous ont communiqué des sondages, autorisé à en faire ou à accéder aux fouilles de chantier dont les fronts de taille permettent d'effectuer des observations géologiques.

Les sondages pétroliers de l'ancienne société de Péchelbronn (PSAEM ; devenue PREPA, les dernières années d'exploitation) donnant de nombreuses indications d'épaisseurs des formations superficielles, les sondages à la tarière et, en domaine forestier, l'examen des souches des arbres renversés par la tempête du 26 décembre 1999 ont permis l'élaboration, première réalisation en Alsace, d'une **carte des formations géologiques superficielles** numérisée sur le fond topographique du 1/50 000 (http://geolfrance.brgm.fr/, Ménillet et Party, 2015). En plus de nos propres levers, cette carte utilise des données de cartographie pédologique synthétisées par J.-P. Party et les cartes et minutes à 1/25 000 de l'ancien service géologique allemand. Sur la **carte du substrat**, les seules formations superficielles figurées sont les alluvions en place, les lœss et quelques formations périglaciaires de versant en recouvrements épais et étendus. Là où elle est connue, un chiffre, accompagné d'une notation lithologique, indique l'épaisseur du recouvrement de formations superficielles, même aux endroits où celles-ci ne sont pas figurées, avec éventuellement un indication lithologique abrégée et précisée dans la légende.

En l'absence de noms de formations officiellement déposés selon les règles internationales de nomenclature stratigraphique (1976) et actualisées pour la France par l'ouvrage « Stratigraphie, Terminologie française » (coord. J. Rey, 1997), nous avons utilisé, comme sur les cartes géologiques voisines, les noms de formations employés par les géologues régionaux, certaines répertoriés dans le « lexique des noms de formations » de la Synthèse géologique du bassin de Paris (Mégnien, édit., 1980) qui présente les données essentielles sur toutes les formations triasiques représentées sur la carte (auteur principal des fiches du Trias : M. Durand). La carte et la notice Haguenau ont suivi, autant que possible, les recommandations du Comité de la Carte géologique (coord. P. Andreieff, 1997).

Les utilisateurs consultent habituellement les notices de cartes de façon partielle ; par formations ou par rubriques ; rarement en lecture complète. Ceci entraîne quelques redondances nécessaires.

Certaines données, communes à plusieurs unités cartographiques seront indiquées dans des paragraphes plus généraux, concernant une période (Trias, Jurassique, Tertiaire ou un groupe de formations).

Remarques sur le plan analytique

Les analyses récentes des minéraux argileux augmentent la quantité des minéraux mal cristallisés par rapport aux analyses anciennes ; cette différence s'explique par les progrès techniques apportés aux appareils. Avec les anciens diffractomètres, ces minéraux n'apparaissaient pas toujours très nettement, au contraire des kaolinites et des illites souvent bien cristallisées, avec des raies fines et saillantes, plus marquées sur les diffractogrammes.

La granulométrie de la fraction fine des échantillons, effectuée au Sédigraphe après une défloculation, donne des valeurs supérieures en fraction argileuse à celles données par d'autres méthodes, en particulier la pipette de sédimentation, elle aussi effectuée après défloculation.

Pour faciliter l'utilisation de la carte des formations superficielles par les pédologues et les agronomes, les teintes ont été souvent précisées par le code Munsell (Munsell Color Chart, édition japonaise, 1967) et prises sur des échantillons séchés.

DESCRIPTION DES TERRAINS

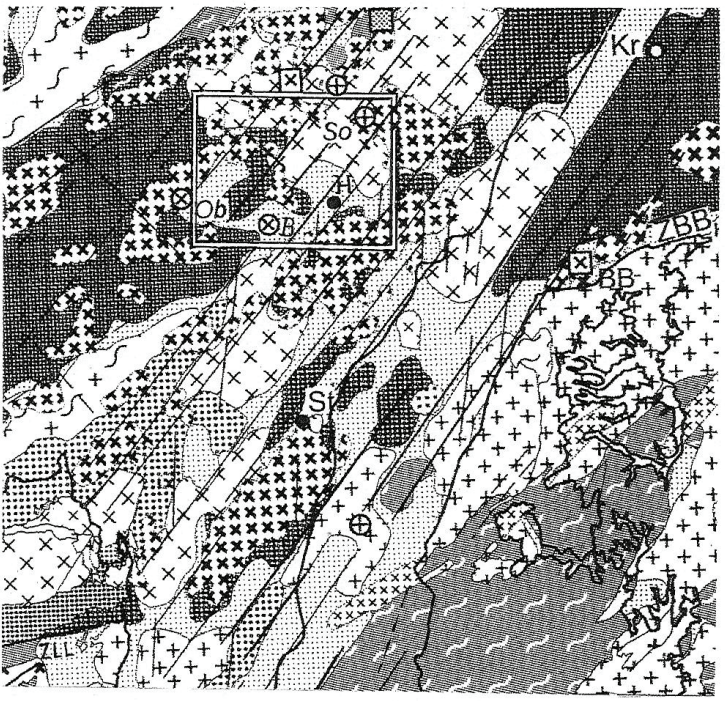
GÉOLOGIE PROFONDE – TERRAINS NON AFFLEURANTS

La plupart des horizons stratigraphiques représentés dans le Fossé rhénan affleurent sur le territoire de la feuille Haguenau. Cependant, la partie inférieure de la série tertiaire n'est connue qu'en sondage (de haut en bas, Couches de Péchelbronn moyennes et inférieures, Couche rouge, Zone dolomitique et Zone de transition) ; elle est décrite dans le chapitre consacré aux formations tertiaires affleurantes.

Evoqués ci-dessous, les rares sondages forés jusqu'au socle hercynien ne suffisent pas pour élaborer une carte, même schématique. J.-B. Edel (2004) a donc utilisé des données géophysiques (gravimétrie et magnétisme) pour établir la sienne. La figure 2 en présente un extrait, avec la position de la carte Haguenau. Rappelons que le bloc « Forêt Noire » est décalé de 35 km vers le NE par rapport au « bloc Vosges ». La feuille Haguenau se situe du côté Vosges, à l'Ouest de la grande faille cisaillante N20°E (linéament rhénan de Boigt et Schöneich, 1970).

Socle granitique et formations permiennes

Le socle granitique et des formations permiennes ont été reconnus dans deux secteurs :



B - Sondage 01986 x 0022 (PSAEM 4687), Bertsheim
BB - Baden Baden **H** - Haguenau **Kr** - Karlsruhe
Ob - Sondage 01978 x 0100, Obermodern 1
St - Strasbourg, **So** - Soultz-sous-forêts,
ZLL - Zone de dislocation Lalaye – Lubine
ZBB Zone de dislocation de Baden Baden
Ces zones délimitent les 2 grandes unités centrales de la chaîne varisque :
Au Nord le Saxo Thuringien
Au Sud le Moldanubien

Fig. 2 - Carte schématique du socle anté-carbonifère supérieur obtenue à partir des données gravimétriques et magnétiques dépouillées de la couverture sédimentaire ainsi que des sondages profonds qui ont atteint le socle. Extrait de J.-B. Edel (2004)

– **à Bertsheim**, dans le sondage P.S.A.E.M. 4687 (6-22 sur la carte et la fig. 2) ; profondeur et cote du toit des entités désignées :

Profondeur	Cote NGF	Lithologie, formation ou ensemble stratigraphique
987 m	-784	Marnes bariolées du Muschelkalk
1 030 m	-827	Faille
1 455 m	-1252	Buntsandstein
1 495 m	-1292	Permien gréseux
1 554 m	-1351	Permien conglomératique
1 556 m	-1353	Diorite quartzique ou dolérite (fond du forage)

– **dans le secteur de Soultz-sous-Forêts**, au fond du sondage P.S.A.E.M. 3956, (4-22) à Kutzenhausen, et sur le site de l'anomalie géothermique de Soultz-sous-Forêt :

Sondage 01984X0022 ; profondeur et cote du toit des entités désignées :

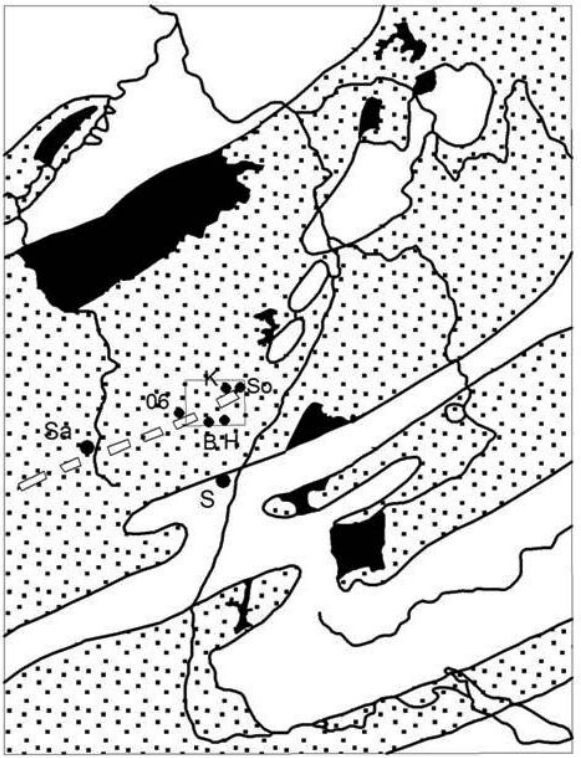
Profondeur	Cote NGF	Géologie
1 200 m	-1024	Faille
1 300 m	-1124	Keuper ou Muschelkalk
1 530 m	-1354	Faille puis Buntsandstein : grès rouge à grain variable
1 561 m	-1385	Permien : grès rouge et rose, argilolite
1 573 m	-1397	Granite au fond du forage

Cinq kilomètres environ à l'Ouest de Pfaffenhoffen (feuille Bouxwiller), le sondage Obermodern 1 (01978X0100) a traversé 540 m d'argiles rouges, plus ou moins micacées, avec intercalations de grès et de passées conglomératiques à la base. Ces couches ont été rapportées au Permien.

Site géothermique de Soultz-sous-Forêts (fig. 43 dans la rubrique « Géothermie »)

Aucune formation Permienne n'a été reconnue dans le sondage P.S.A.E.M. 4616 (4-20), profondeur et cote du toit des entités désignées :

Profondeur	Cote NGF	Géologie
989 m	-834	Muschelkalk
1 017 m	-862	Faille, puis Buntsandstein
1 380 m	-1 255	Discordance
1 403,60 m	-1 278,60	Granite au fond du forage



Formations du Permien affleurantes

Formations du Permien sous couverture

Axe selon lequel la série permienne à une épaisseur réduite

B - Sondage 01986 x 0022 (PSAEM 4687), Bertsheim
K - Sondage 01984 x 0022 (PSAEM 3956), Kutzenhausen
Ob - Sondage 01978 x 0100, Obermodem 1
Ba - Bâle, H - Haguenau, M - Mayence
S - Strasbourg, Sa - Sarrebourg - St - Stuttgart
So - Soultz-sous-Forêts

Fig. 3 - Situation de la carte à 1/50 000 Haguenau et du site géothermique de Soultz-sous-Forêts dans le cadre des bassins permiens du domaine rhénan (d'après J.-A. Boy et T. Martens (1991), modifié par F. Ménillet pour l'axe Sarrebourg – Soultz-sous-Forêts)

Dans le sondage EPS1 (4-69), le granite ou plus précisément la granodiorite de Soultz-sous-forêts, a été atteinte sous une épaisseur réduite de formation permienne (observations inédites F. Ménillet ; descriptions plus détaillées dans la rubrique « Permien ») ; profondeur du toit des entités désignées :

Profondeur	Cote NGF	Géologie
989 m	-834	Muschelkalk
1 017 m	-862	Faille, puis Buntsandstein
1 380 m	-1 255	Discordance
1 403,60 m	-1 278,60	Granite au fond du forage

Soultz se place sur un axe W-SW – E-NE où la série permienne est probablement absente où d'épaisseur réduite (fig. 3).

Le sondage GPK2 (4-1371), greffé en déviation sur le sondage EPS1 (4-1374 = 4-69), a pénétré ou traversé le Granite de Soultz-sous-forêts jusqu'à la profondeur de 5 057 m (épaisseur d'environ 4 640 m), avant de rencontrer un granite fin à 2 micas jusqu'au fond du forage à 5 090 m.

Dans le cadre du projet européen de géothermie profonde en roches fracturées, le Granite de Soultz-sous-Forêts a fait l'objet d'études très détaillées sur la nature et la structure du réservoir, en particulier par A. Genter (1989). C'est un granite porphyroïde (tabl. 1) à mégacristaux de feldspath potassique gris dans les faciès les plus sains et rouge brique dans les faciès altérés. Automorphes à subautomorphes, ces cristaux, larges de 1 à 7 cm, sont très perthitiques. Le fond comprend de petits cristaux visibles : plagioclases subautomorphes à automorphes à cœur d'oligoclase basique (An 20-30) et bordure plus acide, feldspath potassiques et quartz xénomorphes, biotite magnésienne à inclusions de sphène, apatite, zircon, oxydes métalliques, hornblende verte, épidote (allanite).

Échantillon	Quartz	Orthose	Albite	Anorthite	Biotite	Hornblende	Titanite (sphène)	Apatite	Magnétite	Total
K 143	21,5	20,5	37,8	8,1	9,4	1,2	0,2	0,5	0,7	99,9

Tabl. 1 - Composition minéralogique normative (calculée à partir d'analyse chimique) d'un échantillon représentatif du monzogranite de Soultz-sous-Forêts (extrait de J.-M. Stussi *et al.*, 2002)

Le granite contient des enclaves sombres, à grain fin, de composition dioritique. D'un point de vue chimique (tabl. 2), la roche varie, dans la classification modale de Streickeisen, d'un granite monzonitique à celui d'une granodiorite. Dans le diagramme MgO-FeO-Al_2O_3 (*cf.* tabl. 2), elle se place dans le champ des granites subalcalins magnésiens, proche du Granite des Crêtes des hautes Vosges, mais avec une teneur en magnésium plus faible. Par

Éch.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_{3t}	MnO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	P2O5	PF	Total
K 1618	68,85	0,49	14	3,45	0,07	1,15	2,00	4	4,05	0,15	1,4	99,61
K 202	67,2	0,51	14,2	3,35	0,01	0,78	2,4	4,55	3,85	0,16	1,9	99,32
K 1737	64,2	0,97	14,3	5,95	0,18	2,6	2,2	3,6	3,7	0,24	1,4	99,34

Tabl. 2 - Analyses chimiques de granites de Soultz-sous-Forêts : K1618 et K202, faciès monzogranitiques et K1737, faciès granodioritique (d'après A. Genter, 1989 ; analyse par fluorescence X, BRGM)

son chimisme, le Granite de Soultz-sous-Forêts diffère de la Granodiorite de Windstein (Bassahak, 1985 ; Bassahak et Gagny, 1987 ; feuille de Lembach, Ménillet Coulombeau *et al.*, 1989), calco-magnésienne, moins potassique et ferrifère, mais plus riche en calcium et alumine.

L'anomalie positive en baryum (tabl. 3), élément essentiellement localisé dans les mégacristaux de feldspath potassique, confirme l'appartenance à l'association des granites magnésio-potassiques.

Éch.	Li	Be	B	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Nb	Sb	Ba	Ce	Pb	Zr
K 1618	36	3	16	37	33	54	26	50	20	330	27	16	604	112	25	228
K 202	29	2	17	38	28	40	12	38	20	357	25	15	879	120	21	195
K 1737	64	4	10	72	50	31	65	155	73	386	58	10	478	158	10	389

Tabl. 3 - Éléments traces (en ppm) de granites de Soultz-sous-Forêts, mêmes échantillons que dans tableau précédent, analyses par ICP, BRGM

L'orientation des mégacristaux traduit une fluidité planaire assez fruste, d'origine magmatique. Les travaux détaillés de J.-M. Stussi *et al.* (2002) sur la pétrographie du granite de Soultz-sous-Forêts ont confirmé la nature monzogranitique des faciès rencontrés dans les sondages de Soultz. Une carotte prélevée à 5 057 m de profondeur a recoupé un second faciès leucocrate. Il s'agit d'un granite à grain très fin, contenant en plus de la biotite primaire, de la muscovite (granite à 2 micas).

Âge du granite de Soultz-sous-Forêt : la méthode U/Pb sur zircons à la microsonde ionique date sa mise en place à 331 ± 9 Ma (Alexandrov *et al.*, 2001). Les spectres des terres rares des 3 échantillons datés, prélevés aux profondeurs de 4 626 et 5 016 m, indiquent une différenciation verticale attribuée à la formation d'un cumulat de plagioclases au fond de la chambre magmatique. Ainsi, le granite fin à 2 micas de la base du forage, intrusif dans le monzogranite porphyroïde, pourrait indiquer la proximité du plancher de la chambre magmatique (Alexandrov *et al.*, 2001). Des datations U/Pb sur les 2 faciès par A. Cocherie *et al.* (2004) ont montré que le granite à 2 micas serait plus jeune (327 ± 7 Ma), ou subcontemporain, du monzogranite porphyroïde (334 ± 4 Ma).

Le Granite de Soultz-sous-Forêts a subi d'importantes **altérations hydrothermales** (Genter, 1989). Une altération précoce, diffuse, à l'échelle du bâti rocheux, transformant les minéraux ferromagnésiens et les plagioclases, selon des paragenèses variées dépendant des équilibres locaux. Une altération beaucoup plus étalée dans le temps, liée aux contraintes tectoniques tardihercyniennes à actuelles, où la fracturation joue un rôle déterminant dans la circulation des fluides, a généré une altération filonienne avec précipitation d'illite, de carbonates, d'oxydes de fer et de quartz dans les fractures et leurs épontes. La perméabilité naturelle induite par ces fractures est faible, mais développée sur de larges et fréquentes bandes plurimétriques. Interprétées par la présence de failles liées à la tectonique du Fossé rhénan supérieur, ces bandes constituent un élément favorable au développement d'un échangeur thermique souterrain, objectif du projet de géothermie profonde.

Sur la feuille de Lembach, 1 200 m environ au Nord de Lampertsloch, le sondage 01687X0071 (Marienbronn 101) a encore rencontré du granite, à une profondeur de 901 m (altitude -632 m), mais 250 m à l'Ouest de cet ouvrage, le sondage 01687X0072 a atteint, sous la couverture secondaire, tronquée à sa base par faille, un socle non granitique, avec en tête (altitude -453 m) une zone broyée de gneiss de 43 m d'épaisseur, recouvrant une formation de schistes micacés sombres, pénétrés sur 31 m (Dévono-Dinantien possible).

Permien

Les maigres données sur les dépôts permiens dans l'emprise de la feuille Haguenau permettent seulement de distinguer deux unités. L'inférieure, à faciès typique « *Rotliegend* », où des argiles silteuses, grès et conglomérats à matrice souvent argileuse, de teinte rouge à brun rouge, se succèdent ou s'associent de manière variable ; un âge guadalupien peut lui être attribué de façon hypothétique. Nous lui rattachons les passes classées « Permien » dans les sondages pétroliers 4-22 et 6-22. Le Grès d'Annweiler forme l'unité supérieure ; la littérature le place souvent dans le Trias, en particulier sur les feuilles voisines de Bouxwiller et Lembach. Il est actuellement considéré comme un faciès détritique latéral du Zechstein du bassin germanique (Lopingien ; voir ci-dessous la rubrique « Grès d'Annweiler »).

À **Soultz-sous-Forêts**, dans le sondage EPS1 (4-69) 2,4 m de grès rouge brique, à passées conglomératiques avec galets de quartz et de roches volcaniques et une intercalation dolomitique de 50 cm d'épaisseur, peut être rattachée, par son faciès, au *Rotliegend*. Au-dessus reposent 6,6 m de grès plus fins, organisés en 3 séquences comprenant, à la base un grès fin, rouge brique lité et galets d'argile sur sa semelle inférieure, surmonté par un grès blanchâtre dolomitique, à grain moyen. Ces séquences pourraient déjà appartenir au Grès d'Annweiler présentant cette granulométrie, mais habituellement dépourvu de

dolomie en affleurement. Notons cependant qu'il renferme fréquemment de petites cavités tapissées d'oxydes de manganèse, interprétées comme les restes d'anciens nodules carbonatés ; il n'est donc pas surprenant qu'il puisse contenir de la dolomie en sondage. Le Grès d'Annweiler est décrit ci-dessous dans la rubrique « terrains affleurants ».

L'**épaisseur** réduite du faciès *Rotliegend* dans les sondages 4-22 et 4-69, ainsi que son absence dans le sondage 4-20, montre que le secteur de Soultz-sous-Forêts se place sur un axe SW-NE où les dépôts permiens ont une faible épaisseur (fig. 3 ; Edel, 2004). De part et d'autre, ce faciès s'épaissit rapidement ; une centaine de mètres dans le sondage 6-22 à Bertsheim, au SE et 460 m dans le forage 01978X0100 (feuille de Bouxwiller), au NW. Une si rapide et importante variation d'épaisseur laisse supposer la présence de failles, cet axe haut pouvant être un horst de faible largeur.

Trias

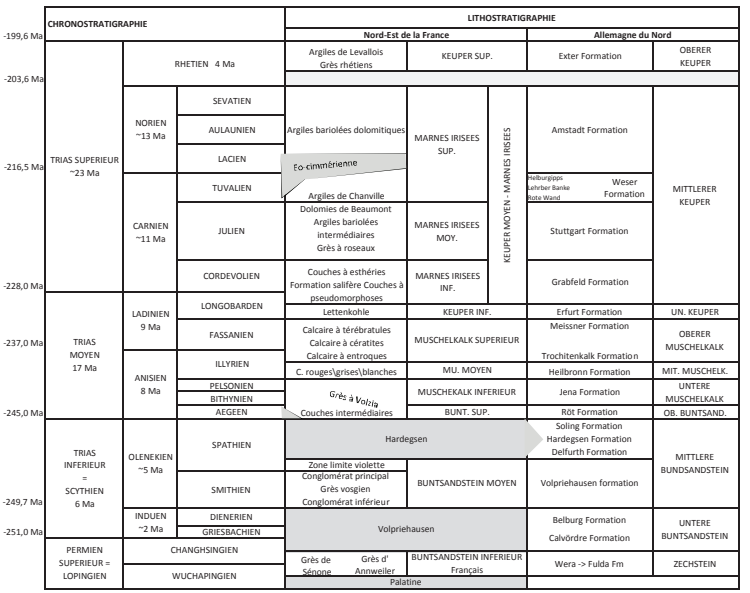
Dans le bassin pétrolifère de Péchelbronn – Sommerbaechel, 13 sondages ont atteint le Buntsandstein, 60 environ le Muschelkalk et près d'une centaine ont pénétré des assises du Keuper. Ceux qui apportent des données importantes sont cités dans la rubrique terrains affleurants de la notice et localisés sur la carte. Pratiqués sur un petit nombre de sondages, les carottages ne concernent, en général, que des niveaux durs gréseux ou calcaires, réservoirs pétroliers possibles. Un tableau en fin de notice donne la coupe simplifiée de quelques sondages assez profonds.

TERRAINS AFFLEURANTS

Mise à part la cheminée basaltique tertiaire de Gundershoffen, toutes les formations affleurantes sont de nature sédimentaire.

Groupe du Buntsandstein (*sensu gallico* ; épaisseur, environ 450 m). Permien supérieur - Trias inférieur

Sur la feuille, comme dans tout le Nord-Est de la France et le Sud-Ouest de l'Allemagne, les dépôts triasiques sont de type germanique. Le Trias germanique est caractérisé par la succession de trois ensembles lithologiques (fig. 4, hors texte et tabl. 4) : le Buntsandstein, gréseux, le Muschelkalk, riche en carbonates et le Keuper, argileux avec des intercalations d'évaporites. De façon classique, on se réfère localement à la succession type du Nord-Est de la Lorraine (Ricour, 1962).



Tabl. 4 - Chronostratigraphie et lithostratigraphie du Trias du Nord-Est de la France mis en parallèle avec le Trias germanique d'Allemagne du Nord (M. Durand, 2010)**. Les lacunes sont figurées en grisé**

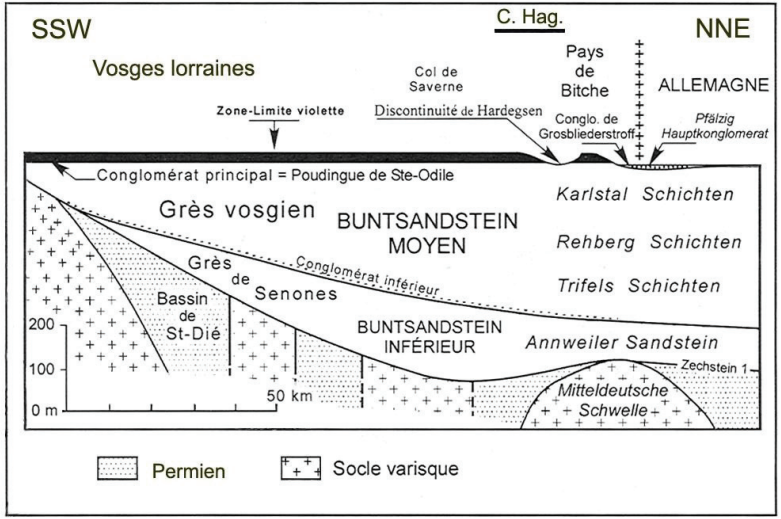


Fig. 5 - Disposition des différentes formations du Buntsandstein inférieur (sens français) et du Buntsandstein moyen dans le domaine vosgien. Adapté d'après M. Durand (2009). C. Hag. :carte Haguenau

M. Durand (2010) utilisant la géochronométrie (âges numériques) de F. Gradstein *et al.* (2004), la lithostratigraphie française de L. Courel *et al.* (1980) et la lithostratigraphie allemande de H. Kozur et G. Bachmann (2008).

Constituée essentiellement de grès de teinte rose à rouge (« grès rose des Vosges »), la série gréseuse du Buntsandstein constitue le soubassement des Basses Vosges ou Vosges gréseuses du Nord. Son épaisseur est importante, 450 m environ, la région se situant dans l'axe de la zone basse qui s'étendait de la Lorraine au Sud-Ouest de l'Allemagne et s'ouvrait par la Hesse vers le bassin germanique proprement dit. Dans les Basses Vosges, la série du Buntsandstein est classiquement subdivisée en quatre principales formations (fig. 5) ; de haut en bas ; épaisseurs sur la feuille Haguenau :

– Grès à *Voltzia* 15 m ;

– Couches intermédiaires 60 m ;

– Grès vosgien 300 m environ ;

– Grès d'Annweiler 60 m environ, actuellement rattaché au Permien.

En **stratigraphie**, la série est, à l'exception du Grès à *Voltzia*, presqu'entièrement azoïque et les méthodes de datation physiques s'appliquent mal à ce type de dépôt, les attributions sont donc encore très hypothétiques (Gall *et al.*, 1977). Le tableau 4 et la figure 4 hors texte donnent les équivalences actuellement proposées avec le centre du bassin germanique, principalement fondées sur le suivi latéral des formations et des discordances, ainsi que la position probable des formations par rapport à l'échelle stratigraphique alpine.

En **paléogéographie**, la région se situait au centre de la digitation sud-ouest du bassin d'Europe moyenne (bassin germanique *sensu lato*). Cette digitation était une vaste et basse plaine d'épandage où un fleuve originaire de l'W-SW (zone de reliefs vers l'Ouest du bassin de Paris et le Massif armoricain) étalait, dans des chenaux anastomosés, ses alluvions sableuses et parfois graveleuses. Les eaux de crues déposaient par décantation, des sables fins, des limons et des argiles dans les flaques délimitées par les barres fluviatiles (Gall, 1972). Localement, des vents forts soufflant du Sud-Est remaniaient les sables en nappes, constituant même des champs de dunes en Palatinat (Dachroth, 1985 ; Mader, 1985). Transgressant depuis le Nord-Est, la mer atteint la région au sommet de la série, lors du dépôt du Grès à *Voltzia*.

Les grès du Buntsandstein sont principalement constitués de grains de quartz accompagnés de grains de feldspath potassique (5 à 25 %) altérés, blancs. La muscovite, rare dans les formations inférieures, devient abondante dans certains niveaux des Couches intermédiaires et surtout dans le Grès à *Voltzia* (feuillets psammitiques fréquents). Habituellement peu importante, la fraction argileuse est essentiellement constituée d'illite, parfois accompagnée d'un peu de chlorite (Lucas, 1962).

Buntsandstein inférieur (sensu gallico)

r3. **Grès d'Annweiler, Permien supérieur, grès rouge sombre plus ou moins argileux ; épaisseur 60 m environ**. La partie supérieure du premier terme gréseux du Buntsandstein affleure au Nord-Ouest de Niederbronn sur la partie inférieure des versants vosgiens de la vallée du Falkensteinbach et en rive droite de la Zinsel du nord, dans le coin NE d'un panneau tectonique, incliné vers l'Ouest.

En 2006, dans le premier site, le talus de terrassement à l'Ouest de l'usine d'embouteillage « Celtique » en exposait la meilleure coupe. C'est un grès rouge à une arkose (15 à 45 % de feldspath potassique, selon J. Perriaux, 1961), parfois micacé (0 à 8 % de muscovite), à grain fin à moyen, argileux. Il apparaît en bancs lenticulaires ou en petites masses entourées de sable argileux, alternant irrégulièrement avec des grès en fines plaquettes de 2 à 10 mm d'épaisseur et des silts argileux, parfois grossièrement feuilletées, rouges à rouge violacé. En remontant la rue principale de Niederbronn vers Bitche, dans le bois situé au Nord de l'usine de Montrouge, le front d'une ancienne carrière recoupe un banc de grès massif, riche en taches manganésifères noirâtres, surmonté par 3 à 4 m de grès en plaquettes.

Plus au Nord-Ouest (feuille à 1/50 000 Lembach, Ménillet Benecke *et al.*, 1989), quelques bancs pouvant atteindre jusqu'à 5 m ont été jadis exploités. On y trouve de nombreux nodules d'argile ocre et des taches manganésifères comparables aux « pseudomorphoses de calcite » de la série inférieure du Grès vosgien, dans l'ensemble mieux cimenté que le Grès d'Annweiler. À Niederbronn, sa puissance est vraisemblablement égale ou légèrement supérieure à 60 m (épaisseur maximale connue en Alsace, 80 m, à l'Ouest de Lembach).

À **Soultz-sous-Forêts**, dans le sondage 4-69 (EPS1), le Grès d'Annweiler, entièrement carotté, à une épaisseur de 58,5 m. Prédominants, les grès roses, à grain moyen et taches blanc rosâtre (0,5/2 cm), sont organisés en séquences positives décimétriques, dépassant rarement le mètre. La stratification est subhorizontale à oblique. Riches en galets d'argile dans leur partie inférieure, les séquences se terminent souvent par des siltites gris verdâtre. Le faciès rouge brique, classique du Grès d'Annweiler, n'est bien représenté que dans les 7 m inférieurs de la formation. Des remplissages de terriers abondent dans la partie moyenne du Grès d'Annweiler ; plus haut apparaissent de rares passées dolomitiques et des nodules centimétriques blancs à verdâtres, probablement dolomitiques.

Unimodale, la **courbe granulométrique** du faciès typique du grès d'Annweiler montre que sa fraction arénite est bien triée, avec un mode habituellement compris entre 0,1 et 0,3 mm (Perriaux, 1961) ; D. Schweiss

(1984) a étudié de nombreux paramètres sédimentologiques sur la formation, en Palatinat.

Si le Grès d'Annweiler n'a pas fourni de fossiles, les traces animales (ichnofaune) y abondent ; notamment *Monocraterion spuhleri* que J. Hornung (1999) considère comme caractéristique des apports détritiques du Zechstein. Il date probablement du Changhsingien.

Âge : dans sa localité éponyme (Palatinat), le Grès d'Annweiler repose en conformité sur d'autres dépôts silicoclastiques continentaux (Leberschiefer inférieurs = Couches de Rothenberg de J. Hornung, 1999) par l'intermédiaire de bancs dolomitiques à malacofaune marine, à *Schizodus obscurus* et *Mytilus Hausmanni* (Leppla, 1888 ; Forche, 1935 ; Perriaux, 1961), connue seulement dans le Zechstein inférieur (niveau Z1). Dans ce secteur, une récurrence de ce faciès (Leberschiefer supérieurs) recouvre le Grès d'Annweiler auquel la sous-commission Permien-Trias (1993) a attribué un âge Permien supérieur (= Lopingien) et le considère comme un faciès marginal détritique du Zechstein. Si l'âge permien du Grès d'Annweiler apparaît très probable, ses caractéristiques sédimentologiques le rapprochent plus de la série du Buntsandstein. Suivant J. Perriaux (1961) et M. Durand (2010), nous le laissons dans l'unité inférieure de cette série, qui débuterait donc dans le Permien. Sans oublier que les formations de Calvörde et de Bernburg, constituant la base du Trias inférieur (Induen), c'est-à-dire l'*Untere Buntsandstein* des géologues allemands actuels, ne sont pas représentées dans la Nord-Est de la France. Leur absence indique une importante lacune à la base du Trias en Alsace et en Lorraine.

Après le comblement des bassins permiens locaux, l'épisode du Grès d'Annweiler, largement généré par le remaniement de dépôts permiens (Durand 2010), constitue une phase de préparation de la large dépression où va divaguer le grand fleuve du Buntsandstein.

Buntsandstein moyen (Olénékien probable)

t2*V*. **Grès vosgien indifférencié, grès rose à passées conglomératiques ; épaisseur 300 m environ**. Grès rose, à stratification fluviatile (« entrecroisée ») prédominante, à grains moyens à grossiers, de forme souvent arrondie, le Grès vosgien constitue la masse principale des « grès roses des Vosges ». La présence de passées conglomératiques dans ses parties inférieure et moyenne, mieux cimentées, est à l'origine de la **subdivision** de la formation en « Grès vosgien inférieur » et « Grès vosgien supérieur » par les géologues de la période wilhelmienne. En Palatinat, A. Leppla (1888) et H. Thürach (1894) ont subdivisé l'ensemble équivalent au Grès vosgien en trois unités ; de haut en bas (fig. 5) :

– t2*VK*. **Couches de Karlstal**, grès à stratification horizontale, avec une passée médiane conglomératique (*Karstalfelszone*) ;

– Couches de Rehberg, grès à stratification entrecroisée, souvent conglomératiques avec des intercalations de grès fins à stratification horizontale en fines lamines ;

– t2*VT*. **Couches de Trifels**, grès plus ou moins conglomératiques, surtout dans leur partie inférieure où ils sont riches en taches noires d'oxydes de fer et de manganèse ; distinguées par une teinte particulière uniquement dans deux vallons en limite nord de la carte (harmonisation avec la feuille de Lembach).

Ces unités ont pu encore être cartographiées sur la feuille de Lembach (Ménillet, Benecke *et al.*, 1989), mais deviennent difficiles à distinguer vers le Sud, à partir de la vallée du Falkensteinbach. La différence géomorphologique entre le « Grès vosgien supérieur », érodé selon des pentes modérées et le « Grès vosgien inférieur » qui forme dans la topographie la partie principale, très raide des versants se suit bien vers le S-SW avec un léger pendage (1,5 % environ) à partir du replat du Wasenbourg. Cependant, les caractères distinctifs des Couches de Karlstal s'estompent, des passées à stratification oblique, certaines conglomératiques, s'intercalant dans les grès à sratification horizontale et s'épaississant vers le Sud. En outre la puissance de la zone qui pourrait être attribuée aux Couches de Karlstal diminue fortement vers le Sud : de 140 à 110 m sur la feuille de Lembach ; 91 m. à Soultz-sous-Forêts, dans le sondage EPS1 (4-69). Les cônes sommitaux du Wassenkœpfel et de l'Immenkopf semblent appartenir aux Couches de Karlstall inférieures, la dalle conglomératique du sommet du Wassenkœpfel à la *Karlstalfelszone*. Sur l'éperon NW de cette butte, vers la cote 500, quelques rochers présentent cependant des passées conglomératiques. Elles confirment l'intercalation dans ce secteur de chenaux grossiers dans les Couches de Karlstal ; nous sommes ici dans la zone de passage latéral entre les Couches de Karlstal typiques du Palatinat et du secteur de Lembach et le Grès vosgien indifférencié de la majeure partie du massif vosgien, plus au Sud.

À sa base, le Grès vosgien débute par une discordance de ravinement (« discordance de la Lauter » de Dachroth, 1985), classiquement jalonnée par un conglomérat désigné « Conglomérat inférieur » dans la littérature. Comprenant, outre les galets de quartz et de quartzite, souvent éolisés, de très rares galets de granite, de gneiss et de roches volcaniques. Discontinu et hétérochrone, ce conglomérat appartiendrait déjà au 2e étage du Trias, l'Olénékien, avec une lacune complète de l'Induen (Bourquin *et al.*, 2007 ; tabl. 4). M. Geyer *et al.* (2011) placent, au moins la partie la plus ancienne de son équivalent à l'Est du Rhin (Conglomérat d'Eck), dans l'Induen. Dans la vallée du Falkensteinbach, la base du Grès vosgien est souvent mal cimentée, sableuse, comme sur la colline qui domine à l'Ouest l'usine de Montrouge, à Niederbronn ; les masses de grès les plus cohérentes renferment des galets épars et irrégulièrement répartis, de quartz (prédominants) et de quartzite.

La partie inférieure et moyenne du Grès vosgien affleure assez bien, mais de façon discontinue le long de l'arête qui descend à l'Est du château de Wasenbourg (feuille à 1/50 000 Lembach, à proximité de la feuille Haguenau). C'est une succession assez monotone de corps grèseux lenticulaires à stratification de type fluviatile, à litage oblique ou horizontal, correspondant à des remplissages de chenaux tels qu'ils sont décrits par M. Durand (2010) au rocher du Haut Barr, prés de Saverne. Rares dans la partie inférieure de la formation, les niveaux de grès fins ou de siltites à stratification subhorizontale sont plus fréquents dans sa partie moyenne. L'épaisseur des bancs, souvent comprise entre 0,5 et 2 m, excède rarement 3 m. À l'intérieur du corps gréseux, les séquences sont positives, avec une base généralement grossière, parfois conglomératique, surtout dans la partie inférieure de l'ensemble. Les galets, en quartz, (prédominants) et en quartzite, sont hétérométriques avec une taille maximale de 8 cm. Les taches noires d'oxydes de fer et de manganèse (quelques millimètres à 2 cm), laissées par la dissolution de petits nodules carbonatés, abondent par places, dans la partie inférieure et deviennent plus rares vers le haut. Ces grès sont formés de grains de quartz ronds, incolores, rarement teintés de vert ou de rose, de 0,2 à 0,5 mm de diamètre et renferment des grains de feldspath blanc plus ou moins kaolinisés, le tout étant cimenté par un enduit argilo-ferrugineux. Les grains de quartz sont parfois nourris, surtout dans les passées les plus grossières, par des excroissances de quartz, formant des ponts entre les grains et se cassant selon des facettes cristallines, à l'origine du faciès *Kristallsandstein* des auteurs allemands, formant les bancs les plus résistants à l'érosion.

Dans la vallée de la Zinsel, le contact du Grès vosgien sur le Grès d'Annweiler n'est pas visible, mais une trentaine de mètres au-dessus du dernier affleurement du Grès d'Annweiler, le versant raide de la vallée se termine par une falaise de grès conglomératique appartenant à un panneau tectonique soulevé à pendage ouest. Ainsi, cette falaise, entrecoupée par 2 vallons, s'abaisse jusqu'au niveau du fond de la vallée, à la limite occidentale de la carte. Haute de 15 à 20 m, elle correspond à la zone rocheuse des Couches de Trifels où l'érosion a dégagé des rochers en forme de lame verticale, souvent couronnés de ruines médiévales, éléments caractéristiques du paysage des Vosges gréseuses du Nord. Au-dessus, le grès est vraisemblablement moins bien cimenté, car la pente du versant est beaucoup plus douce. Plus haut, elle se raidit de nouveau avec quelques affleurements de grès conglomératiques tel celui du grand Arnsbourg portant les ruines d'un ancien château fort. Ce rocher expose les deux principaux faciès du Grès vosgien (Gall, 1972) : les lentilles de grès, en séquences positives de grès grossier à conglomératique à la base, plus fin au sommet : faciès de remplissage de chenal ; les couches plus minces subhorizontales de grès fins ou siltites : dépôts de plaine inondable, entre les chenaux fluviatiles. Il appartient très probablement aux Couches de Rehberg.

Au château de Wasenbourg (feuille Lembach, à proximité de la limite nord de la carte) et encore au-dessus, jusqu'à une altitude de 450 m environ, le grès contient fréquemment des bancs à stratification entrecroisée, certains conglomératiques. Des galets se retrouvent 20 m plus haut et au sommet même du Reisberg où nous n'avons pas observé le faciès typique des Couches de Karlstal. Cette butte serait donc constituée par la partie sommitale du « Grès Vosgien inférieur » dont l'épaisseur serait ici voisine de 200 m. Les flancs quasiment dépourvus d'affleurements rocheux, les buttes du Wasenkœpfel et de l'Immenkopf pourraient être deux buttes témoins des Couches de Karlstal inférieures, couronnées par un grès conglomératique, ici disloqué en blocs, à l'exception de la dalle qui soutient la tour du Wasenkœpfel. D'une longueur inférieure à 10 m celle-ci paraît bien en place. Nous la rattachons au Conglomérat médian des Couches de Karlstal, la « *Karlstalfelszone* ». Épars et irrégulièrement répartis, les galets de quartz, prédominants, et de quartzite sont arrondis à subanguleux, quelques uns éolisés. Leur taille maximale ne dépasse pas 4 cm.

À **Niederbronn**, sous un conglomérat attribué au Poudingue de Sainte-Odile, le sondage 2-35 a traversé 58 m de grès rose clair, à rares niveaux à graviers, qui pourraient correspondre aux Couches de Karlstal supérieures. En dessous 14,5 m de grès grossier avec quelques graviers roulés représenteraient la *Karlstalfelszone*.

À Soultz-sous-Forêts, dans le sondage 4-69 (EPS1), le Conglomérat inférieur manque et le Grès vosgien débute par un grès à galets d'argile dont la longueur atteint 5 cm. Épaisse de 173 m, mais recoupée par une demi-douzaine de failles, la partie inférieure et moyenne du Grès vosgien est constituée de grès roses à stratification oblique (fluviatile) prédominante. Les bancs correspondent à des séquences positives de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur, atteignant exceptionnellement 3 m, renfermant, à la base des galets d'argile rouge et se terminant par des grès très fins ou des siltites, souvent gris. Dans ses 70 m inférieurs, la formation contient, de façon assez constante, des galets de quartz isolés. À 90 m au-dessus de la base du Grès vosgien, le sondage a recoupé un niveau conglomératique.

Dans les 91 m supérieurs du Grès vosgien du sondage EPS1 (4-69), la stratification subhorizontale prédomine. Dans les 43,5 premiers mètres de l'ensemble, les couches se présentent en séquences positives centimétriques à décimétriques, comprenant un grès grossier à la base s'affinant vers le haut jusqu'à un grès à grain moyen ou fin ; au-dessus, la teinte rose s'assombrit et sur 3 m, des niveaux noirâtres ou des lignes de taches noires (oxydes de fer et de manganèse, concentrés par la dissolution de carbonates) soulignent la stratification. Ensuite, le grès comporte encore des passées grossières, en fines séquences, de quelques millimètres à quelques centimètres de hauteur, puis le grès s'affine, avec toujours des passées finement litées. Dans les 35 m

supérieurs, la teinte passe progressivement au gris. Quelques niveaux sont séparés par des joints de siltite ondulés. Cet ensemble peut être rattaché aux Couches de Karstal dont il présente le faciès principal (*Dünnschichten*, Dachroth, 1985, 1988). Le niveau médian, conglomératique, à faciès de chenaux en tresse (*Karlstalfelszone*) manque, tandis que l'existence de quelques niveaux à taches noires ferromanganiques apparaît inhabituel pour cette formation. W. Dachroth (1985, 1988) a interprété ces grès, en fines couches calibrées (« faciès caviar » pour les passées à grain grossier) comme des dépôts éoliens en milieu lacustre. Les passées calibrées à stratifications faiblement inclinées pourraient correspondre à la partie inférieure d'édifices dunaires, formés durant une période d'assèchement de la cuvette, puis tronqués par érosion comme on peut l'observer dans le talus faisant face à l'école maternelle de Reipertswiller (feuille à 1/50 000 Bouxwiller ; Durand, 1987, 2010). Ces indices marquent ici un épisode climatique aride bien reconnu dans les Vosges (Durand, 1972 ; Durand et Bourquin, 2013) et dans de nombreuses régions d'Europe (Bourquin et Durand, 2007).

Large érosion du Poudingue de Sainte Odile et totale de la Zone limite violette ; la discordance de Hardegsen. Le Poudingue de Sainte-Odile, souvent appelé « Conglomérat principal », terme déconseillé, car utilisé dans la littérature pour désigner des conglomérats situés à des niveaux lithostratigraphiques différents, n'a pas été observé lors de notre campagne de terrain sur le territoire de la feuille Haguenau. Repère remarquable dans les Vosges, jusque dans la région de la Petite-Pierre, il devient discontinu et manque souvent dans la partie la plus septentrionale de l'Alsace, érodé lors d'un épisode correspondant probablement à la discordance H (*Hardegsen diskordanz*, Trusheim, 1961) ou paläoboden VH2 (*cf.* Geyer *et al.*, 2011, fig. 40). Aux environs de Niederbronn, Van Werveke (1897) le mentionne seulement dans la zone sommitale du Grand Wintersberg (feuille Lembach, Ménillet, Benecke *et al.*, 1989), mais nous avons attribué le conglomérat de ce site à la partie médiane des Couches de Karlstal. Dans le secteur de Bitche, où le Poudingue de Sainte Odile est localement préservé (Schorbach), le niveau d'érosion de la discordance H se situe le plus souvent au niveau de la *Karlstalfelszone*. Ainsi, des observations récentes (Durand, 2010) montrent que le banc conglomératique apparaissant au sommet des remparts de la citadelle de Bitche (« Conglomérat de Bitche ») fait encore partie du Grès vosgien et ne peut plus servir de type pour le conglomérat des Couches intermédiaires (synonymie « *Karneol Konglomerat* », Reis et von Ammon, 1903). C'est pourquoi M. Durand (2010 et fig. 5) propose de qualifier dorénavent ce dernier de « Conglomérat de Grosbliederstroff » localité du département de la Moselle où il est bien caractérisé par la présence d'éléments remaniés de la Zone limite violette : carbonates et silexites pédogénétiques (Bourquin et Durand 2007 et 2008). À Soultz, dans le sondage 4-69, le Poudingue de Sainte-Odile n'existe pas. Il est mentionné à Morsbronn (Sondages 3-22 et 3-23) où des épaisseurs importantes (12 et 21 m, la seconde pouvant être augmentée par un pendage) constituent un

argument en faveur de cette interprétation. Au contraire la faible épaisseur indiquée pour les Couches intermédiaires (52 et 45 m) et la présence de grès micacés et des teintes lie de vin en dessous du conglomérat inclinent à l'attribuer au Conglomérat de Grosbliederstroff ; même dilemme pour le sondage pétrolier d'Obermodern 01978X0100 (feuille de Bouxwiller et Ricour, 1962), proche de la limite SW de la carte. À Niederbronn-les-bains, la coupe du sondage 2-35 représente le Poudingue de Sainte Odile, avec une épaisseur de 20 m, sous 75 m de grès rose à grain moyen et passages argileux, correspondant vraisemblablement au Buntsandstein supérieur. Le Conglomérat de Grosbliedersdorf y serait absent. Plus à l'Est, le sondage 3-45 (Péchelbronn, les Hélions) recoupe un poudingue, épais de 13 m, attribué au Conglomérat principal ; la coupe n'est pas suffisamment détaillée pour vérifier cette interprétation. Le sondage 7-68 à Schweighouse-sur-Moder attribue 20 m de conglomérats au Poudingue de Sainte Odile (« Conglomérat principal »). 7,5 m plus haut, un niveau de conglomérat pourrait être attribué au Conglomérat de Grosbliederstroff.

La « Zone limite violette », niveau argileux discontinu mais fréquent dans les Vosges jusque dans la région de Saverne, n'existe plus dans le Nord de l'Alsace (Staesche 1927) où il a été érodé (discordance H probable, marquant ici la base, diachrone, des Couches intermédiaires).

Buntsandstein supérieur

Entièrement érodées dans la partie vosgienne de la carte, les assises du Buntsandstein supérieur sont cependant conservées dans le Fossé rhénan et affleurent seulement sur des surfaces très restreintes dans les collines sous vosgiennes, notamment dans le secteur de Niederbronn et au Nord de Gœrsdorf, sur le Liebfrauenberg. On y retrouve les Couches intermédiaires et le Grès à *Voltzia* (équivalents approximatifs à l'Est du Rhin : Plattensandstein et Rötton).

t3*C*. **Couches intermédiaires (Anisien probable) ; grès de teinte lie de vin, à passées argileuses et rares intercalations de conglomérats ; épaisseur 65 m environ**. La première formation du Buntsandstein supérieur est constituée de grès quartzo-feldspathiques (24 % de feldspath orthose en moyenne selon Perriaux, 1961), à grain moyen, plus ou moins argileux rouge-brun, brun-violacé ou lie-de-vin, à intercalations sablo-argileuses ou silteuses. Elle renferme souvent des nodules de dolomie dont la dissolution a laissé de petites cavités, partiellement remplies d'oxydes de fer et de manganèse. Plus fréquentes dans les zones d'affleurement qu'en sondage, ces cavités et taches noirâtres sont souvent appelées « pseudomorphoses » dans la littérature. L'illite constitue l'essentiel de la fraction argileuse (Lucas, 1962). La formation débute ici par la « *Obere felszone* » de A. Leppla, 1888, (« zone rocheuse supérieure », à grès plus grossiers que ceux de la partie supérieure du

Grès vosgien. Le contact entre les deux formations est une discordance d'érosion qui réduit aussi l'épaisseur de la zone rocheuse supérieure vers le Nord, de 20 m au maximum à sa complète réduction, le Grès conglomératique de Grosbliederstroff pouvant recouvrir directement le Grès vosgien (feuille de Lembach). Épaisse de 5 m environ, cette assise conglomératique contient de petits galets de quartz et de quartzite aux formes souvent anguleuses et, par endroits, des éléments de dolomie et de silexites verdâtres ou roses (cornalines), à la différence du Poudingue de Sainte-Odile. La formation apparaît azoïque ; seuls les niveaux fins de la partie supérieure de la formation sont parfois fossilifères : esthéries, empreintes de la tortue *Chelidonium vogesiacum* au *Jaegerthal* (feuille à 1/50 000 Lembach), de labyrinthodonte à Mitschdorf ; *equisetites*.

À Soultz-sous-Forêts, dans le sondage 4-69 (EPS1), la couleur rouge-brun à lie de vin des affleurements est remplacée par des teintes grises. La formation a une épaisseur de 64,3 m. Elle débute par des bancs à base très grossière, initiant le terme inférieur de la formation (*Obere Felszone*). Les grès à stratification subhorizontale à oblique prédominent. Épais de quelques décimètres, atteignant rarement le mètre, les bancs ont une organisation séquentielle positive assez fruste. Les passées noirâtres, blanchâtres de grès dolomitiques ou de dolomie, de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur sont fréquentes ; une passée à galets de grès s'intercale à 4,2 m au-dessus de la base de la formation ; une autre à galets de quartz ≤ 2 cm, 2 m. plus haut. Les passées de siltites sont peu nombreuses et très minces (2 cm pour la plupart).

Au-dessus, nous attribuons au « Grès conglomératique de Grosbliederstroff », 6,7 m de bancs de grès plus ou moins conglomératiques à galets de quartz et de quartzite, à stratification subhorizontale à oblique. Il comprend 2 passées de dolomie à galets de quartz épars, dans sa partie inférieure.

15,2 m de grès gris à stratification subhorizontale, irrégulièrement lités et à passées très sombres, surmontent les bancs conglomératiques. Dépourvus d'organisation séquentielle nette, ces grès renferment des nodules et passées de dolomie ainsi que des galets de quartz épars dans leurs 10 m inférieurs.

La formation se termine par 23,2 m de grès gris, à stratification faiblement oblique, soulignée par des rubanements gris clairs ou gris foncés, millimétriques, assez irréguliers. Les bancs ne présentent pas d'organisation séquentielle nette. Les niveaux fins de siltites sont rares ; la dolomie forme quelques intercalations, mais se présente plus fréquemment sous forme de nodules, à morphologie irrégulière, recoupant la stratification. Les joints se chargent de paillettes de muscovite (mica blanc) dont la taille ne dépasse guère 1 mm. Le banc argileux, recouvert d'un banc de brèche dolomitique qui terminerait la formation, selon J. Perriaux (1961), mais serait lenticulaire selon J.-C. Gall (1971), est absent du sondage.

Le sondage 7-68, à **Schweighouse-sur-Moder**, ne donne qu'une épaisseur de 43,5 m aux Couches intermédiaires, sans mentionner de faille ; à l'opposé, au Nord de Merkwiller, le sondage 3-45 leur attribue 72 m.

t3*V*. **Grès à *Voltzia* (Anisien, épaisseur 15 à 18 m). Grès argileux (épaisseur 3 à 6 m). Grès à meules (grès fins en bancs massifs, épaisseur 5 à 13 m)**. Bien reconnaissable par ses passées très micacées et la teinte rouge intense des intercalations argileuses de sa partie supérieure, le Grès à *Voltzia* n'affleure que dans la zone faillée de Niederbronn où la carrière qui l'exploitait jadis est comblée. Il était aussi extrait au NE de Reichshoffen, au delà de l'ancienne ferme du Blumenhaeusel où seules une ou deux têtes de bancs font encore saillie sur les anciens fronts de taille. En continuant 5 km dans cette direction, on atteint une carrière au Nord de Langensoultzbach (feuille à 1/50 000 Lembach) où il est toujours exploité.

Le Grès à *Voltzia* comprend deux assises ; à la base le Grès à meules, constitué de bancs de grès massifs à joints micacés, rouges ou gris à l'affleurement, gris en forage profond ; au sommet, le Grès argileux, formé par une alternance de minces bancs de grès micacés et d'argilites d'un rouge intense très caractéristique ou d'un beau vert clair. Le Grès à *Voltzia* a été l'objet d'une étude paléontologique, sédimentologique et paléo-écologique très détaillée (Gall, 1971) à laquelle nous emprunterons l'essentiel des données ci-dessous. Les observations et récoltes de fossiles des publications citées proviennent principalement de la bordure occidentale des Vosges gréseuses, en particulier de la coupure à 1/50 000 Bouxwiller.

Le ***Grès à meules***, épais de 5 à 13 m, est constitué par des bancs massifs de grès quartzo-feldspathiques et micacés de 1 à 10 m de puissance, lenticulaires, séparés par des diasthèmes, des lentilles argileuses, des lentilles de grès carbonatés ou encore des interstratifications plus complexes avec une succession de lits argileux, gréseux et carbonatés. Relativement grossiers et riches en plantes à la base, les bancs de grès, larges de plusieurs dizaines de mètres, sont essentiellement constitués par un grès gris à rose à grain fin (« grès sains »). La stratification est oblique (5° à 15°) à horizontale et les délits et surfaces de bancs présentent de nombreuses figures sédimentaires. Épaisses de quelques décimètres à 2 m, les interstratifications complexes, en forme de remplissage de chenal, comprennent généralement :

– à la base des grès relativement grossiers à plantes remaniées avec parfois des galets d'argile ou des éléments carbonatés dans leur partie inférieure ; au-dessus, des argilites parmi lesquelles J.-C. Gall (1971) a distingué des paléobiocénoses à crustacés, lagunaires, plus fréquentes dans la partie inférieure du Grès à meules ; des paléobiocénoses à lingules et lamellibranches, de vasière littorale, localisées plutôt dans la partie supérieure du Grès à meules et une association à organismes terrestres, riche en restes végétaux ; celle-ci évoque un paysage d'étangs, plus ou moins confinés bordés par une végétation palustre

d'Equisétales et de Gymnospermes (flore étudiée par Grauvogel-Stamm, 1978 ; liste complète des espèces *in* Gall et Grauvogel-Stamm, 2005) ; de nombreux restes d'insectes (coléoptères, diptères, blattes, hémiptères, orthoptères ...) témoins d'une active vie aérienne (Marchal-Papier, 1998) ;

– au sommet, ou en lentilles dans les argiles, des niveaux carbonatés en bancs, ou plus fréquemment disloqués en brèches. Constitués de calcite ou de dolomite, les éléments des brèches contiennent une faune subautochtone à caractères marins, à foraminifères agglutinants (*Glomospirella* et *Glomospira*, Lagénidés) et mollusques (*Myophoria vulgaris*, *Gervillia socialis*, etc.).

J.-C. Gall (1971) replace l'ensemble du Grès à meules dans un environnement deltaïque (delta plat de plate-forme tidale) ; les grès sains correspondent à d'anciennes barres d'embouchures, les grès à plantes à des dépôts fluviatiles de crues ; les niveaux argileux se sont formés dans des étangs saumâtres, des lagunes ou des vasières littorales et les niveaux carbonatés dans des avancées marines ou des cuvettes continentales.

Selon J. Perriaux (1961) la base du Grès à meules est marquée par un « horizon à plantes ». Mais comme nous l'avons rappelé, les grès à plantes présentent un caractère lenticulaire et le passage des Couches intermédiaires au Grès à *Voltzia* peut être progressif. La limite supérieure du Grès à meules, visible dans la plupart des carrières, apparaît par contre très nette. Généralement plane et subhorizontale, elle recoupe souvent les bancs sous-jacents et elle est fréquemment soulignée par des taches de décoloration avec parfois des traces de racines (Gall et Grauvogel, 1967), interprétées comme des taches d'inhibition par N. Gamermann (1979).

Le ***Grès argileux*** a une épaisseur moyenne de l'ordre de 5m dans la région considérée. J. Perriaux (1961) a dressé une carte isopaque du Grès argileux où apparaît une préfiguration d'un seuil vosgien (épaisseurs inférieures à 3 m) et de bassins dans les domaines lorrain et alsacien avec des épaisseurs pouvant dépasser 10 m. La limite supérieure du Grès argileux n'étant pas toujours très nette, cette carte doit être utilisée avec beaucoup de prudence. Bien stratifié, le Grès argileux comprend une succession variable de bancs de grès à dalles, de bancs argileux et de bancs carbonatés épais de 0,05 à 1,50 m, les bancs de grès étant généralement les plus épais. Les grès à dalles, roses ou gris beige, de constitution analogue aux Grès sains du Grès à meules ont une stratification subhorizontale, souvent perturbée par d'anciens terriers. Les bancs argileux, de teinte gris-vert, vert-olive ou rouge-brun sont finement lités et souvent bioturbés. Une paléobiocénose à lingules et crustacés y a été observée. Les bancs carbonatés, de teinte ocre, sont généralement constitués de grès dolomitiques contenant une riche faune marine à *Lingula tenuissima*, *Hœrnesia socialis*, *Gervillia costata* et *Myophoria vulgaris*.

J.-C. Gall (1971, 1985) a interprété le grès à dalles comme un ancien dépôt de plage marine et les bancs argileux comme d'anciennes vasières littorales. Mais ce sont les bancs carbonatés qui ont gardé la plus nette empreinte marine avec une faune annonçant le Muschelkalk inférieur. Les influences marines apparaissent déjà dans certains faciès du Grès à meules et la malacofaune avec *Myophoria vulgaris* (Gall, 1971 ; Gall *et al.*, 1977), la microfaune (L. Kœhn-Zaninetti *et al.*, 1969) et la microflore avec *Hexasaccites muelleri* et *Illinites kosankei* (Pollens d'*Aetophyllum stipulare*, conifère, L. Grauvogel-Stamm, 1978), M.-C. Adloff, 1968 ; M.-C. Adloff et Doubinger, 1969 et 1978, permettent d'attribuer dans ce secteur un âge anisien au Grès à *Voltzia*. La parenté des matériaux du Grès à dalles et du Grès à meules qui couronne la masse gréseuse du Buntsandstein, la teinte rouge prédominante et quelques empreintes végétales attribuées au genre *Voltzia*, ont entraîné la plupart des auteurs à rattacher le Grès argileux encore au Buntsandstein.

Classiquement (Weiss, 1869 ; Théobald, 1951) le Grès à *Voltzia* se termine par un banc argileux rouge, plus ou moins panaché de vert, épais de 1 à 2 m : l'« Argile-limite ». Reconnu aux confins Nord-Est de la Lorraine, à Oberbronn (Schumacher, 1890a) et dans quelques sondages (Soultz-sous-forêts, Ricour, 1962), ce niveau ne paraît pas continu. Avec M. Durand (notice de la carte géologique à 1/50 000 Cirey-sur-Vezouze), nous pensons que la limite Buntsandstein-Muschelkalk est marquée dans la région par la disparition brutale des teintes rouges caractéristiques du grès argileux. Rappelons que cette limite est diachrone (Gall, 1971, p. 162).

En plus des études sédimentologiques mentionnées plus haut, les **minéraux argileux** du Grès à *Voltzia* ont été l'objet d'études géochimiques et minéralogiques (Gall, 1971 ; Moser *et al.*, 1972 ; Gamermann, 1979). Ils comprennent essentiellement de l'illite, accompagnée d'un peu de chlorite, auxquelles s'ajoutent de faibles quantités de kaolinite et des traces de smectite dans les niveaux gréseux. Ces derniers ont une texture quartzitique, l'auréole de nourrissage des quartz et des felspaths n'étant pas séparée du grain par une pellicule d'hématite et d'argile comme dans le Grès vosgien ; la rubéfaction est liée à une altération météorique nettement postérieure à la diagénèse (Gamermann, 1979).

Groupe du Muschelkalk

Caractérisé par des couches riches en calcaires coquilliers à faune marine au centre du bassin, le terme médian du Trias germanique comprend les périodes de développement maximum de la transgression marine qui a débuté dans la région à la fin du Buntsandstein. Son histoire comprend plusieurs épisodes et il est subdivisé en trois membres :

– le Muschelkalk inférieur, ici représenté par des couches détritiques fines, souvent dolomitiques, déposées dans une immense vasière littorale ;

– le Muschelkalk moyen pendant lequel se sont formées des couches argileuses, silteuses et carbonatées, comprenant des intercalations d'évaporites, dans un milieu lagunaire sursalé ;

– le Muschelkalk supérieur où, sur une plate-forme marine épicontinentale, se sont déposés des calcaires coquilliers et oolitiques, d'abord exclusivement, puis en alternance avec des vases silto-carbonatées.

Dans les assises du Muschelkalk, l'illite prédomine encore dans la phase argileuse (Lucas, 1962). En comparaison avec le Buntsandstein, la chlorite est un peu plus abondante et peut s'accompagner d'un peu d'intertstratifiés (illite/chlorite ; illite/smectite).

Muschelkalk inférieur (Anisien, 53 à 58 m)

Dépourvues de formations gréseuses ou carbonatées épaisses et dures, les assises du Muschelkalk inférieur affleurent mal et seulement au NW de la carte. Depuis Oberbronn jusqu'au Nord de Reichshoffen, elles apparaissent dans des lanières délimitées par des failles subméridiennes à SW-NE. Aucune coupe complète n'est actuellement visible dans le Nord de l'Alsace. La littérature locale replace les affleurements observés dans la coupe de référence de Volmunster, Moselle, carte à 1/50 000 Bitche, établie par E. Schumacher (1890a et 1891), résumée et traduite par N. Théobald, (1952) (fig. 6A, hors texte). Celle-ci comprend 7 membres (Van Werveke, 1897), réparties ici en 4 unités cartographiques ; de haut en bas :

– t3*O* - les Couches à Orbicularis ;

– t3*W* - le Schaumkalk (« Calcaire grenu ») ;
le Wellenkalk (« Calcaire ondulé ») ;

– t3*T* - le Wellenmergel (« Marnes ondulées ») ;
les Couches à térébratules ;

– t3*M* - les Couches à Myacites ;
la « Zone à entroques » ou Grès coquillier.

Ce sont des dépôts marins, sédimentés dans un vaste golfe, sous une faible profondeur d'eau, affectés par une dolomitisation diagénétique. À l'exception du Grès coquillier, tronqué au ¾ par une faille, la série a été échantillonnée par carottage dans le sondage EPS1 (4-69), à Soultz-sous-Forêt (fig. 6B, hors texte). Les 4 membres inférieurs correspondent approximativement à la Freudenstadt-Formation, à l'Est du Rhin ; Schaumkalk et Wellenkalk à la Jena Formation et la Dolomie à Orbicularis à la Karlstadt-Formation.

t3*M*. **Couches à Myacites : siltites argileuses à rares bancs de grès dolomitiques, épaisseur 10 m environ et Grès coquillier : grès dolomitiques et silts argileux (notation exhaustive** t3*GM*) **; épaisseur 10 m environ**. Le **Grès coquillier** est bien identifiable par son faciès gréseux, plus ou moins dolomitique et silto-argileux dont un ou deux bancs font parfois saillie sur les talus de ses zones d'affleurement. Dans les champs, il apparaît en cailloux, souvent en forme de parallèlépipèdes, gisant dans un limon argileux. Sur la feuille Haguenau, il est rarement fossilifère (faune détruite par la dolomitisation ?). Au Nord de Reichshoffen, 500 m au SE du Blumenhaeusel, en rive gauche du ruisseau de la Mœrdersklamm, une petite falaise, haute de 3m, expose le faciès gréso-dolomitique du Grès coquillier. Formé ici par une succession de bancs massifs, de 0,15 à 0,40 m d'épaisseur, visible sur une puissance de 1,20m, importante par rapport aux données de la littérature.

D'une **teinte** brun ocre terreuse, souvent ponctué de minuscules taches noires, à l'altération, le Grès coquillier est ocre, gris-jaune, bis rosâtre, parfois légèrement violacé en cassure fraîche. Ses teintes « rompues » contrastent fortement avec celles de la partie supérieure du Grès à *Voltzia*, vives : rouges, vert clair ou gris clair.

Les **grès dolomitiques** correspondent à des apports fluviatiles entraînés dans les chenaux prolongeant les fleuves dans la vasière cotière où ils se sont mélangés avec la boue en suspension dans l'eau marine. Remplissage de chenaux, parfois étalés de part et d'autre par les courants, la plupart des bancs de grès dolomitiques sont lenticulaires. Autour, les particules fines de l'apport fluviatile mêlés à la sédimentation argilo-carbonatée propre à la vasière ont donné par diagénèse des siltites, plus ou moins argileuses et dolomitiques, verdâtres, grisâtres, plus rarement violacées. À l'exception de passées fines, grises, plus ou moins feuilletées, ces siltites sont généralement assez grossières (médiane 20 à 50 μm).

Grès et siltites contiennent fréquemment des paillettes de **muscovite**, souvent plus abondantes sur la surface des lits et des bancs. Ces paillettes sont cependant moins nombreuses et généralement plus petites que celles des feuillets psammitiques du Grès à *Voltzia* et deviennent très fines dans les siltites en montant la série. La surface de certains bancs présente des **marques d'érosion** : petits chenaux d'érosion, figures de courant, rides de courant (ripple-marks) de diverses tailles, simples ou complexes, quand elles sont liées à l'interférence de plusieurs courants ; terriers de vers ou de mollusques, figures de bioturbation. La **granulométrie** des bancs de grès est assez fine (Médiane 0,08 mm ; maximum 0,26 mm, Perriaux, 1961). Ils se différencient assez bien en diagraphie des silts argileux (γ-ray, résistivité).

La base du Grès coquillier a été observée par Schumacher (1890a) au Sud de Niederbronn, dans les talus de la route montant vers Oberbronn : sur une argile

rouge, terminant le Grès à *Voltzia* repose un banc de grès brunâtre à entroques isolées correspondant vraisemblablement au « banc à entroques inférieur » de la coupe de Volmunster ; d'autant plus que 2,5 m au-dessus, se trouve un banc semblable à entroques, *Myophoria vulgaris*, *Lima striata*, *Dentalium laeve*, et l'ammonitoïde *Beneckeia buchi*, interprété comme le « banc à entroques supérieur ».

Depuis la région de Molsheim (Daubrée, 1852, Schwarz, 1970) jusqu'au Palatinat (secteur de Zweibrucken, Schwarz, 1970), environ 6 m au-dessus de la base, 1 ou 2 bancs de grès sont déformés à leur base en groses miches invaginées dans le dépôt silto-argileux sous jacent et se débitant en couches concentriques ou sont réduits à une succession de miches, parfois érodées à leur partie supérieure. Ces éléments sont liés à la liquéfaction par thixotropie du dépôt fin, englobant des fragments du banc de grès surincombant (pseudonodules de Kuenen), vraisemblablement provoquée par une secousse sismique, selon les interprétations actuelles. Il est probable que de telles miches, de quelques décimètres à exceptionnellement 7 m de longueur, existent à ce niveau, sur la feuille de Haguenau.

Le passage du Grès coquillier aux Couches à Myacites, surincombantes, est souvent progressif, ce qui peut expliquer les différences d'épaisseurs indiquées par les sondages : 22 m, dans le sondage 4-50 à Soultz-sous-Forêts (Ricour, 1962) ; 15 m dans le sondage 01978x0100 à Obermodern (feuille à 1/50 000 Bouxwiller).

Couches à Myacites : en proportion croissante dans la partie supérieure du Grès coquillier, les siltites argileuses deviennent prépondérantes dans les Couches à *Myacites*. Au contraire, les bancs de grès sont de moins en moins fréquents, moins épais et d'extension plus réduite. Vers le haut, la phase silteuse et les paillettes de mica deviennent moins abondantes, avec un passage progressif à une marne grise dolomitique. La stratification est subhorizontale ou madrée (*flaser bedding*) et la roche se débite en petites plaquettes. Les bancs de grès dolomitiques sont semblables à ceux du Grès coquillier. Les fossiles sont peu abondants : *Myacites mactroides*, *Lima lineata*. Les Couches à Myacites n'affleurent guère ; leur altération donne des limons assez argileux, souvent hydromorphes.

À **Soultz-sous-Forêts**, dans le sondage 4-69 (fig. 6B), les Couches à *Myacites* sont presque uniquement constituées de silts argileux et dolomitiques, avec des joints micacés dans leur partie inférieure. Au Nord de Niederbronn, L. Van Werveke (1897) a observé un niveau à miches ellipsoïdales de grès (séismites probables) comparables à celles que nous avons signalé dans le Grès coquillier). L'épaisseur des Couches à *Myacites* est voisine de 10 m.

t3*T*. **Couches à térébratules et Wellenmergel, siltites argilo-dolomitiques à minces bancs de dolomie cristalline et rares bancs de grès dolomitique ; épaisseur 15 m environ**. À ne pas confondre avec le Calcaire à térébratules du Muschelkalk supérieur, les Couches à térébratules sont constituées par une alternance de minces bancs de dolomie cristalline et de silts argilo-dolomitiques, gris à verdâtres, en couches de quelques centimètres d'épaisseur. À Volmunster, deux bancs repères de dolomie cristallines plus durs, de quelques décimètres d'épaisseur sont connus sous le nom de « banc à térébratules principal » et « banc à térébratules supérieur » (fig. 6A). Le premier marquerait la base des Couches à térébratules. Le faciès de ces bancs, à menues géodes de calcite, est proche de celui des niveaux de *Schaumkalk*.

L. Van Werveke (1897) décrit plusieurs coupes relevées dans la tranchée du chemin de fer, près de la gare de **Niederbronn** où il aurait reconnu le banc à térébratules supérieur. Ses observations concernent 4 m de coupe ; en ajoutant les marnes sous-jacentes au banc à térébratules supérieur et l'inférieur, l'**épaisseur** de ces couches atteindrait une dizaine de mètres. L. Van Werveke (1897) donne la liste des fossiles récoltés à Niederbronn dans les Couches à térébratules : *Terebratula vulgaris*, *Gervillia socialis*, *Lima lineata* et, beaucoup plus rares, *Cidaris* sp., *Discina discoïdes*, *Chemnitzia*, *Ostrea* cf. *spondyloïdes*.

À Soultz-sous-Forêts, dans le sondage 4-69 (fig. 6B), les bancs à térébratules n'apparaissent guère ; seul un banc de grès de 1,20 m d'épaisseur s'intercale dans la série marno-dolomitique.

Les *Wellenmergel* (« marnes ondulées ») forment une assise de transition entre la formation précédente et le *Wellenkalk*. Elles débutent par des silts argilo-dolomitiques presque semblables à ceux des Couches à Térébratules, comprenant vers le haut des intercalations de minces lentilles de dolomie grenue, avec des ébauches de la stratification ondulée caractéristique du *Wellenkalk*. Leur **épaisseur** ne semble guère excéder 5 m à Niederbronn. À Soultz-sous-Forêts, dans le sondage 4-69 (fig. 6, B), les marnes traversées entre les profondeur de 981 et 991 m peuvent être rattachées soit en totalité aux *Wellenmergel* soit pour moitié aux Couches à térébratules et aux Wellenmergel.

t3*W*. ***Wellenkalk* (*Wellendolomit*) et *Schaumkalk* (*Schaumdolomit*), fines couches de calcaire dolomitique noduleux à joints de siltites ondulés (Wellendolomit) à intercalations de dolomie cristalline (Schaumdolomit) ; épaisseur 12 à 15 m**. Délimité à la base, dans la coupe type de Volmunster, par un banc à *Pentacrinus*, fig. 6A, le Wellenkalk est constitué par une succession de minces couches (1 cm en moyenne) de calcaire plus ou moins dolomitique gris clair à surfaces irrégulièrement ondulées et gauches, séparées par des joints argileux ou silto-argileux gris à gris verdâtre. Les surfaces inférieure et supérieure se rejoignant de place en place, interrompant la couche de carbonate qui se divise en lentilles amygdalaires

(aspect d'un gâteau feuilleté très riche en amandes). Les ondulations ont quelques millimètres d'épaisseur et quelques centimètres de longueur et correspondent à des figures sédimentaires variées et souvent interférentes, en particulier des rides de courant asymétriques et des flute-casts. H.-U. Schwarz (1970) y a observé des chenaux de marée, avec des figures de glissement sur leur bordure et par endroits, des stylolithes et une diaclasiation en plaquettes. À la cassure la roche présente une structure madrée fine (*flaser bedding*) et irrégulière. Le Wellenkalk présente quelques intercalations de dolomie grenue, de faciès *Schaumkalk* et peut renfermer quelques lentilles de grès dolomitiques (chenaux détritiques).

Le milieu de dépôt du *Wellenkalk* est une immense vasière littorale protégée des fortes houles qui l'atteignent épisodiquement et génèrent les intercalations de faciès *Schaumkalk*. La profondeur d'eau est très faible et la surface des dépôts est affectée par les courants des fortes marées.

Vers le haut, les intercalations de dolomie grenue (*cf.* faciès *Schaumkalk*) deviennent plus nombreuses et peuvent constituer plus de 50 % de la roche dans le mètre supérieur de l'unité, seul qualifié ici de *Schaumkalk* par H.-U. Schwarz (1970). Dans la partie supérieure de l'ensemble *Wellenkalk-Schaumkalk*, l'épaisseur cumulée des bancs de dolomie grenue varie de 0,4 à 2 m. Plus ou moins grossier, compact ou aéré de nombreuses petites géodes (*schaum* = écume, mousse), le faciès *Schaumdolomit* a fréquemment l'éclat scintillant du sucre et une teinte très claire à la cassure (grains de dolomite rompus selon des plans cristallins). Il correspond à une ancienne calcarénite, pouvant contenir des débris d'entroques et des fragments de coquilles, déposée dans un milieu marin peu profond et assez agité.

t3*O*. **Couches à *Neoschizodus* (*Myophoria*) *orbicularis*, dolomies silteuses à grain fin ; dômes stromatolitiques ; épaisseur 5 m environ**. Formée par une succession de bancs de 0,05 à 2 m d'épaisseur, de teinte grise à beige, la Dolomie à Orbicularis a un grain plus fin que la *Schaumdolomit*. Elle est souvent finement gréseuse ou silteuse, comprend des passées de lumachelle à myophories et quelques intercalations de marnes dolomitiques à débit en plaquettes ou même feuilletées.

À l'est de **Niederbronn**, E. Schumacher (*in* Van Werveke, 1897) a levé une coupe assez semblable à celle qu'il a choisi en référence à Volmunster (fig. 6A) ; les épaisseurs sont approximatives, les couches étant affectées par un pendage ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– Sous les marnes grises et rouges, de la base du Muschelkalk moyen .

– 0,15 - dolomie compacte, de teinte sombre, avec des débris de calcite ;

– 1,40 - marnes et dolomie compacte, mal dégagées ;

– 2,05 - banc de dolomie à grains cristallins, avec des structures semi-sphériques écailleuses (que nous pouvons interpréter comme des stromatolites, bien connus dans la formation, H.-U. Schwarz, 1970) ;

– 0,50 - « banc à ossements », sous une dolomie à débit feuilleté (« schisteuse »), dolomie compacte à grain fin, tachetée de brun, avec de minces galets d'argile, nombreux débris d'os (vertèbres) ;

– 2,50 - dolomie compacte, plus homogène avec, dans sa partie supérieure, une passée terreuse brune et à mi-hauteur, un mince banc, à taches de manganèse, contenant quelques *Myophoria orbicularis*.

Total 6,20.

Dans la tranchée du chemin de fer à Niederbronn (Van Werveke, 1897), les stromatolites se placent au sommet de la Dolomie à Orbicularis, épaisse de 5,18 m. Aucun ossement n'y a été observé.

À **Soultz-sous-Forêts**, dans le sondage EPS1 (4-69, fig. 6B), la formation comprend 2 niveaux à stromatolites ; le premier au-dessus d'un ensemble de bancs de dolomie, avec quelques joints de siltites, de 5,8 m d'épaisseur cumulée. Une dolomie bréchique, épaisse de 2 m, le surmonte, avec à mi hauteur, le second niveau de stromatolites. Au-dessus, 2 bancs de Dolomie, chacun épais de 0,50 m, appartiennent probablement encore à la formation dont l'épaisseur serait ici exceptionnellement forte, 8,80 m. Séparé par un joint d'argile noire, présentant des faces de glissement, le dernier banc de dolomie, finement lité, presque varvé peut être rattaché aux Marnes bariolées, suivant H.-U. Schwarz (1970) qui attribue un niveau de dolomie discontinu à la base du Muschelkalk moyen. Selon U. Bayer *et al.* (1985), ils souligneraient une tendance régressive annonçant le régime lagunaire du Muschelkalk moyen.

Au Nord de **Reichshoffen**, la Dolomie à Orbicularis affleure sous un faciès fin gris à beige, parsemé de mouches de calcite spathique brune (faciès de dédolomitisation, selon une indication orale de P. Duringer).

Muschelkalk moyen (Anisien, épaisseur : 54 m à Péchelbronn)

La formation de base (Couches rouges t3*R*) manquant, au moins sur une grande partie de la feuille, le Muschelkalk moyen se subdivise ici en deux ensembles, de haut en bas :

– t3*B* : Dolomie à Lingules, dolomie beige à blanchâtre, à grain fin ; localement grenue ;

– t3*G* : Marnes bariolées, argiles et marnes dolomitique et silteuses à anhydrite.

L'épaisseur, (54 à 55 m à Péchelbronn ; 56,5 m à Schweighouse-sur-Moder, sondage 7-68) se réduit dans les sites où l'anhydrite de la formation a été partiellement ou totalement dissoute.

t3*G*. **Marnes bariolées (Couches grises essentiellement), marnes dolomitiques et couches d'anhydrite, épaisseur 45 à 50 m**. Essentiellement limitées ici aux « Couches grises », les marnes bariolées, de faible dureté, ne peuvent être observées qu'à l'occasion de travaux d'excavation dans leurs zones d'affleurement. Dans la littérature, L. Van Werveke (1917) en a donné une coupe détaillée à **Péchelbronn** (sondage thermal 1266 ; 3-25), la seule connue dans le domaine de la carte ; nous la prendrons en référence. Plaçant ce sondage dans une coupe E-W, depuis la Lorraine jusqu'au Wurtemberg, cet auteur a montré que le Nord de l'Alsace se situe, au début du dépôt du Muschelkalk moyen, sur un seuil entre deux cuvettes où se sont déposées des couches de sel gemme, la cuvette occidentale correspondant au gisement salifère de Sarralbe en Lorraine. En conséquence, le membre inférieur de la formation : les « Couches rouges » de Lorraine, constituées d'argiles et marnes dolomitiques bariolées, brunes, rouges et verdâtres font défaut dans le secteur de Péchelbronn et probablement sur une large partie de la feuille de Haguenau. À Péchelbronn, le Muschelkalk moyen débute avec des marnes dolomitiques gris foncé à vert foncé renfermant un peu d'anhydrite. 2 passées bariolées vert et rouge, à 1,5 m et 5 m au-dessus de la base pourraient représenter le repère Louis Guillaume, marquant sensiblement en Lorraine le toit de la masse salifère des Couches grises inférieures. Ici donc, le Muschelkalk moyen débuterait avec les niveaux sommitaux des Couches grises inférieures. Les Couches rouges pourraient cependant exister près de la bordure SW de la feuille, car J. Ricour (1962) les a identifiées avec une épaisseur de 13 m dans le sondage 01978 x 0100, à Obermodern (Feuille Bouxwiller), à 2 km de la limite occidentale de la coupure Haguenau. À Péchelbronn et Soultz (sondage EPS1, 4-69), le premier horizon de marne dolomitique, bréchique et coquillier, qui recouvre la Dolomie à Orbicularis, indique un épisode de remaniement.

Au-dessus du second niveau bariolé de rouge, reposent 5,8 m de marnes dolomitiques grises à lentilles d'anhydrite, elles même surmontées par un ensemble, de 25,4 m d'épaisseur, où prédominent les couches d'anhydrite qui présentent quelques intercalations de marnes dolomitiques. En diagraphie, les bancs ou lentilles d'anhydrite se marquent par des pics de résistivité. Les Couches grises se terminent avec 8,6 m de marnes dolomitiques, encore grises, renfermant de l'anhydrite en nodules ou en lits peu épais. Vers le haut s'intercalent de fines couches de dolomie grise, dont un développement possible par endroits a pu entraîner un rattachement des derniers mètres des Couches grises à la Dolomie à lingules (épaisseur de 15 m dans le sondage 4-23, avec seulement 36 m attribués aux Marnes bariolées).

Dans le Nord-Est de la Lorraine, les Marnes bariolées ont un **âge Anisien supérieur** (Adloff *et al.*, 1982). Elles correspondent à la Heilbronn-Formation, à l'Est du Rhin.

Pauvres en fossiles et comprenant des termes riches en gypse et anhydrite, les formations du Muschelkalk moyen correspondent à un épisode lagunaire, avec une tendance à la sursalure. Elles s'individualisent nettement au sein des autres formations du Muschelkalk à caractères nettement marins.

t3*B*. **Dolomie à lingules (Couches blanches), dolomies crayeuses, compactes à grain fin ou celluleuses, intercalations de marnes, épaisseur 3 à 10 m**. Cette formation est constituée d'une alternance irrégulière de bancs de dolomie et de marnes, les premiers devenant, dans l'ensemble, prédominants vers le haut. La dolomie présente plusieurs faciès. À la base de la formation, elle est parfois blanche et tendre, en bancs peu épais. Caractéristique à l'altération par son aspect celluleux et caverneux, le faciès en rognons, plaquettes ou lentilles grenues à cristallines, brun clair, cloisonnés par des veines de calcite secondaire, abonde dans les parties moyenne et supérieure de la formation. Au sommet se développent des bancs plus compacts dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

Les différents faciès dolomitiques, parfois calcaires, renferment fréquemment des **accidents siliceux**, en niveaux lenticulaires, en rognons, ou en mouches dispersées. Ces silicifications ont des aspects variés. Les plus caractéristiques ont une teinte noire mate ; elles sont généralement compactes et localisées dans la partie supérieure de la formation. Certaines sont noires et blanches, en disposition rubanée ; d'autres sont blanches compactes ou poreuses ; quelques-unes sont caverneuses et parfois recouvertes de revêtements calcédonieux blancs ou gris. Assez résistantes à l'altération, ces roches siliceuses forment souvent des cailloutis résiduels sur les plateaux à soubassement de marnes du Muschelkalk moyen, en particulier au NE de Niederbronn et sont localement remaniés dans les alluvions anciennes. Par altération, elles peuvent prendre un aspect poreux à caverneux (meuliérisation par désilicification, Ménillet, 1988), particulièrement bien développé à proximité de failles. L'altération met en relief leur texture microgrenue, qui pourrait être confondue avec celle d'un microquartzite, et leur donne une teinte blanchâtre à ocre.

Dans le sondage 1266 (3-25), à **Péchelbronn** (Van Werveke, 1917), la formation est presque uniquement constituée de dolomie blanchâtre, avec une puissance de 10,5 m. J. Ricour (1962) l'observe avec seulement 3,25 m d'épaisseur, à Soultz, dans le sondage 4-50 : « dolomies en plaquettes ou compactes, irrégulièrement litées, de couleur claire ».

Faune et sédimentologie : la Dolomie à lingules est peu fossilifère. Dans sa partie supérieure elle renferme principalement des restes de poissons et *Lingula tenuissima*. Selon D. Geisler (1978), elle correspond, en Lorraine orientale, à une méga séquence menant d'un pôle argileux à un pôle carbonaté, formée de plusieurs dizaines de séquences élémentaires, constituées en particulier par les alternances de niveaux marneux et dolomitiques. La dolomitisation serait très

précoce (Geisler-Cussey, 1986). À l'Est du Rhin, la Diemel-Formation, correspond sensiblement à la Dolomie à lingules.

Muschelkalk supérieur (Anisien terminal à Ladinien, épaisseur 55 à 60 m)

Ensemble essentiellement calcaire, épais d'une soixantaine de mètres, la succession du Muschelkalk supérieur comprend deux formations ; de haut en bas :

– les Couches à cératites, constituées par une alternance de bancs calcaires et de couches argileuses ou marneuses (épaisseur, 45 à 50 m) ;

– le Calcaire à entroques, formé essentiellement de bancs calcaires massifs (épaisseur, 10 à 15 m).

Ces formations affleurent dans la zone faillée de Niederbronn, au Nord de Reichshoffen, de Wœrth à Gœrsdorf. Quand elles ne sont pas comblées, les anciennes carrières qui les exploitaient ont des fronts dégradés et ne sont souvent guère accessibles. Aucun sondage n'en donne une coupe détaillée ; L. Van Werweke (1897) a relevé banc par banc, les anciennes carrières des environs d'Oberbronn, Niederbronn et Reichshoffen.

t3-4*E*. **Calcaire à entroques, calcaires en gros bancs biodétritiques ou oolitiques, épaisseur 12 à 15 m**. Formation la plus riche en carbonates du Trias germanique, le Calcaire à entroques (Trochitenkalk-Formation) est formé essentiellement de bancs calcaires gris clair, beige jaunâtre à l'altération, épais de 0,10 à 2,00 m, avec quelques intercalations de marnes, plus nombreuses dans sa partie supérieure. Dans l'ensemble, les bancs sont plus épais et plus massifs dans la partie inférieure où l'on observe fréquemment un ou plusieurs bancs oolitiques et d'autres riches en entroques. Tiges de l'échinoderme *Encrinus liliiformis*, ces dernières caractérisent la formation par leur abondance, mais sont encore bien représentées dans les Couches à cératites.

Sédimentologie : Le Calcaire à entroques comprend plusieurs faciès dont certains se superposent fréquemment à l'intérieur d'un même banc, souvent en séquences granoclassées (Haguenauer, 1963). P. Duringer (1982 et 1984, fig. 7) distingue les bancs micritiques à terriers subcylindriques, les biostromes à térébratules et les calcaires biodétritiques à entroques, parfois oolitiques, à stratification souvent entrecroisée. Ces faciès se succèdent sans ordre défini dans les bancs à « sédimentation normale » régie par les variations locales du milieu. Les séquences granoclassées correspondraient à un événement régional exceptionnel, une « tempête ». Elles comprennent toujours à la base un niveau biodétritique, parfois bréchique, à entroques et débris de coquilles, surmonté, lorsque la séquence est complète, par des calcaires biodétritiques fins à lamines planes puis à rides d'oscillations, eux-mêmes recouverts par un calcaire à grain fin (micrite) très bioturbé. Dans la partie supérieure de la formation, la séquence

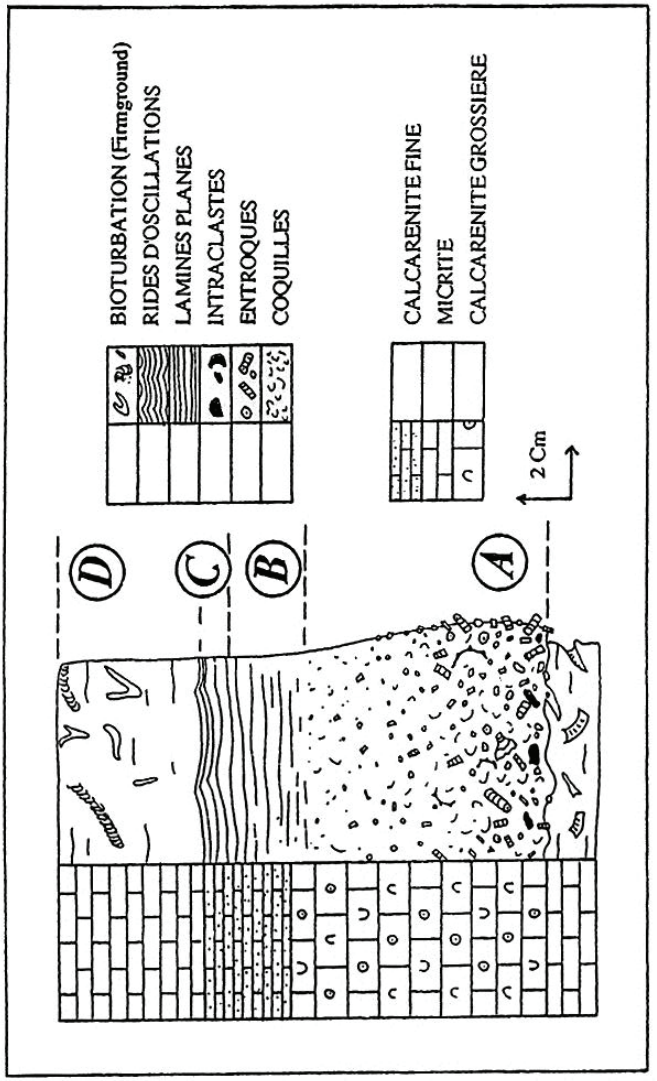


Fig. 7 - Séquence caractéristique du Calcaire à entroques (d'après P. Duringer, 1984)

peut se terminer par une couche de marne. Les calcaires comprennent souvent une fraction silicoclastique, généralement peu abondante, sableuse dans les bancs grossiers, silto-argileuse dans les bancs fins, en particulier dans les intercalations marneuses de la partie supérieure de la formation. Des bancs peuvent se suivre entre deux carrières voisines, mais les corrélations sont difficiles à établir à distance, car l'extension des bancs n'est pas toujours très importante.

Localement des **accidents siliceux** ont pu se former dans le Calcaire à entroques, mais ils y sont beaucoup plus rares que dans la Dolomie à lingules. De fréquents stylolithes témoignent des contraintes de compressions subies par la roche (voir le chapitre « Évolution tectono-métamorphique »).

Faune : les fossiles non fragmentés les plus fréquents sont des térébratules, essentiellement *Coenothyris vulgaris*. Parmi les organismes assez abondants citons des mollusques : *Pecten discites*, *Lima lineata*, *Undularia* (*Chemnitzia*) *scalata*, *Myophoria laevigata*, *M. elegans*, *Gervillia costata*. Des échinodermes, en particulier des calices entiers d'*Encrinus liliiformis*, magnifiquement conservés aux environs de Niederbronn et l'oursin *Cidaris grandaeva* ; enfin un petit crustacé, *Pemphix sueuri*. Plus rares sont les récoltes d'*Ostrea complicata*, de poissons : *Hybodus major*, de dents et fragments de mandibules de *Placodus* et de vertèbres du saurien *Nothosaurus*.

Les coupes des sondages pétroliers donnent des **épaisseurs** assez variables, mais la limite supérieure du Calcaire à entroques a été, le plus souvent, mise à l'apparition des alternances régulières calcaire - marnes, typiques des Couches à cératites. Les bancs calcaires peuvent être encore prédominants à la base de ces dernières et mis, dans cette éventualité, au compte du Calcaire à entroques.

L'épaisseur de 20 m du Calcaire à entroques du sondage 3-23 nous paraît excessive ; des perturbations liées à la proximité de la faille rhénane pourraient l'expliquer. Le Calcaire à térébratules est mentionné seulement dans le sondage 4-67, inclus dans l'épaisseur des Couches à cératites sur le tableau 5.

Commune, lieu dit	Morsbronn	Péchelbronn	Péchelbronn Les hélions	Kutzenhausen	Soultz-s-F
N° sur la carte	3-23	3-25	3-45	4-13	4-67
N° PSAEM	4804	1266		3912	4567
Couches à cératites	47	42	48	53	35
Calcaire à entroques	20	10	13	9	19
Total	67	52	61	62	54

Tableau 5 - Épaisseur du Calcaire à entroques et des Couches à cératites dans quelques sondages pétroliers de la carte à 1/50 000 Haguenau

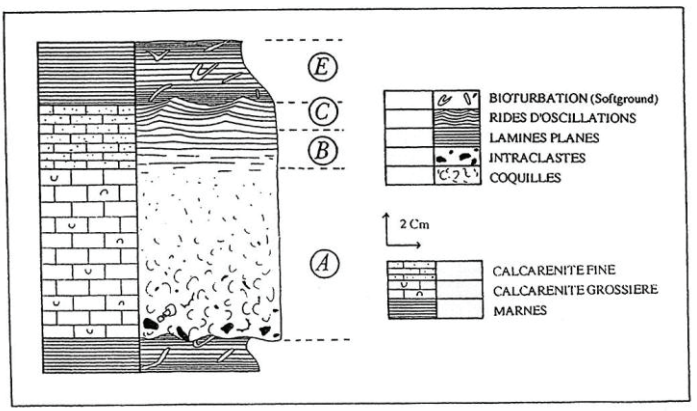


Fig. 8 - Séquence caractéristique des Couches à cératites (d'après P. Duringer, 1984)

Évolution paléogéographique : selon P. Duringer et H. Hagdorn (1987), la limite entre le Calcaire à entroques et les Couches à cératites, déposées dans des conditions paléogéographiques différentes, serait diachrone, et liée à une migration vers l'Ouest du dispositif sédimentaire. Le milieu de plate-forme marine ou de barre littorale dans lequel s'est formé le Calcaire à entroques faisant place à un bassin distal, mais peu profond, où la sédimentation fine (silts et argiles calcaires) est épisodiquement interrompue par des apports biodétritiques carbonatés liés à une augmentation momentanée du niveau d'énergie du milieu (tempête ou tsunamis, selon T. Aigner, 1979, 1985 et P. Duringer, 1982, 1984). Cette limite se situerait en Alsace dans la zone de cératites à Robustus, peu en dessous du sommet de l'**Anisien** (Kozur, 1975), plus tôt qu'en Lorraine. La limite entre les deux formations peut varier aussi selon les interprétations des coupes ; elle est souvent placée à l'apparition de la première couche argileuse, ce qui pourrait expliquer les différences d'épaisseur notées sur le tableau 5 entre Kutzenhausen et Soultz-sous-Forêts (Ricour, 1962).

t3-4*C*. **Couches à cératites, Ladinien, alternances de calcaires gris et de marnes ou argiles silteuses et calcaires, épaisseur 40 à 50 m**. Alternance de marnes ou argiles silteuses et de bancs calcaires, les Couches à cératites affleurent mal. Isolés entre deux couches de marnes ou groupés en successions de deux ou trois bancs, les calcaires ont une teinte grise, claire à soutenue. Ils se présentent en bancs d'épaisseur généralement comprise entre 4 et 20 cm, fragmentés en petites dalles dures à l'affleurement. Leur grain est fin ou variable, avec une granulométrie décroissante de bas en haut. D'épaisseur habituellement comprise entre 2 et 20 cm, les marnes sont souvent riches en fraction silteuse ; elles présentent une fine stratification horizontale. Leur couleur est souvent foncée, gris soutenu à gris noir. L'épaisseur cumulée des bancs calcaires paraît supérieure à celle des bancs marneux ; deux fois plus importante dans la partie supérieure de la formation à Niederbronn, selon L. Van. Werveke (1897). Au contraire, dans l'axe du bassin se situant de la Lorraine à la Hesse à la fin du Muschelkalk (Aigner, 1985), l'épaisseur des bancs marneux dépasse largement celle des bancs calcaires.

D'un point de vue sédimentologique, les bancs calcaires, en particulier les bancs granoclassés à base ravinante, seraient comme ceux du Calcaire à entroques, des dépôts de tempêtes (Aigner, 1979 et 1985 ; Duringer, 1982, 1984 et 1999), mais en milieu distal où ils viennent s'intercaler dans le fond continu de la sédimentation fine, calcaréo-pélitique. La séquence type comprend, selon P. Duringer (1982, 1984 ; fig. 8), à la base une calcarénite à coquilles et intraclastes surmontée par un calcaire biodétritique fin à lamines parallèles puis à rides d'oscillations. Ce calcaire est surmonté par un calcaire micritique à nombreux terriers suivi par un niveau marneux à lamines parallèles. Selon B. Haguenauer (1963), la séquence se poursuit parfois par un calcaire microcristallin, constituant la base inférieure du banc calcaire surmontant le niveau marneux. La partie supérieure du banc calcaire est souvent bioturbée et

fossilifère. Parmi les espèces les plus fréquentes citons des mollusques : *Lima striata*, *Pecten discites*, *P. laevigatus*, *Myophoria vulgaris*, *M. laevigata*, *M. goldfussi*, *Gervillia socialis*, *G. substriata*, *Ostrea complicata*, *Mytilus vetustus*, *Gervillia substriata*, etc. On y trouve aussi de nombreux restes de Poissons et de Sauriens. Les térébratules (*Coenothyris vulgaris*) ne sont pas rares, mais moins abondantes que dans le Calcaire à entroques.

Au NW de **Reichshoffen**, la carrière située au SW du point coté 237, aujourd'hui comblée, exploitait 6,7 m d'une fine alternance de bancs calcaires et de marnes grises, bien représentative des Couches à cératites (Van Werveke, 1897). L'épaisseur des bancs calcaires varie de 3 à 27 cm (médiane 8) ; celle des couches de marnes de 1 à 21 cm (médiane 4).

Calcaire à térébratules : classiquement en Basse Alsace, les Couches à cératites se terminent par des bancs calcaires plus épais, à passées riches en térébratules et récifs d'huîtres (*Placunopsis ostracina*) : le « Calcaire à térébratules ». On y trouve aussi en grande abondance *Gervillia socialis* et les fossiles de zone *Cératites nodosus*, *C. semipartitus*. Ces niveaux n'ont été observés qu'à Soultz-sous-Forêts (Ricour, 1962) et Van Werveke (1897) décrit une coupe aux environs de Niederbronn où ils font défaut. Dans le sondage 3-45, à Merkwiller, Les Hélions, la formation se termine par 8m de calcaires. Attribuer toute cette masse au Calcaire à térébratules apparaîtrait excessif dans le contexte régional, mais les bancs supérieurs pourraient lui appartenir. Au SE d'une ligne Pfaffenhoffen – Soultz-sous-Forêts, Le Calcaire à térébratules est dolomitisé (Synthèse géothermique du Fossé rhénan supérieur, 1979, pl. 14) et dans ce cas, facilement confondu avec la Dolomie inférieure de la Lettenkohle.

Le tableau 5 donne l'épaisseur des Couches à cératites dans quelques sondages pétroliers.

Âge : les Couches à Cératites ont été datées par les Conodontes (Kozur, 1972 et Khatib-Nguyen-Thi, 1977) du Ladinien. A Héming (feuille de Sarrebourg), P. Duringer et H. Haghorn (1987) y ont récolté *Ceratites* (*Acanthoceratites*) *evolutus* dont les formes *e. bispinatus* et *e. evolutus* dans la partie inférieure de la formation ; plus haut, plusieurs formes de C. (*Acanthoceratites*) *spinosus* dont *Spin. spinosus*. Enfin, à un niveau élevé, C. (*Acanthoceratites*) *sublaevigatus*. Dans la microflore, les acritarches et les tasmanacées sont abondants. À l'Est du Rhin, elles correspondent sensiblement aux Formations Meissner et Rottweil.

Groupe du Keuper

L'appellation Groupe du Keuper est prise ici dans son sens original, plus large que le sens français qui le restreint au Mittelkeuper du Trias germanique.

Keuper inférieur = Lettenkohle (Ladinien supérieur à Carnien inférieur, épaisseur 25 à 30 m)

Dépôts liés à une phase de régression transformant la plate-forme marine du Muschelkalk supérieur en vasière littorale et marais côtier (Duringer, 1982, 1987), les assises de la Lettenkohle sont initialement rattachées au Keuper dans la série type du Trias germanique. Longtemps considéré en Lorraine et en Alsace comme un terme de passage entre deux ensembles à intérêt économique : les calcaires du Muschelkalk supérieur et les marnes irisées du Keuper, la Lettenkohle, en particulier sa partie inférieure dolomitique, a souvent été incluse dans le Muschelkalk par les géologues français puis rattachée au Keuper selon l'usage de la plupart des pays à Trias de type germanique (Courel *et al.*, *in* Mégnien, 1980). Actuellement, les instances géologiques allemandes placent la limite supérieure du Muschelkalk au sommet de la Dolomie inférieure et groupent les deux autres formations sous le nom de « Lettenkeuper » ou, plus récemment, sous le terme de « Erfurt-Formation » (Bachmann *et al.*, 1999).

La Lettenkohle comprend classiquement trois formations, de haut en bas :

– la Dolomie limite 0 à 4 m ;

– les Marnes bariolées, dont la partie supérieure est parfois individualisée sous le nom de Dolomie à *Anoplophora*, 16 à 25 m ;

– la Dolomie inférieure 4 à 10 m.

Comme dans de nombreuses séries régressives, les limites de faciès sont vraisemblablement diachrones à l'échelle du bassin ; dans la région, la microflore est d'âge Ladinien supérieur (Duringer et Doubinger, 1985).

Les assises de la Lettenkohle affleurent selon une large bande, depuis Oberbronn jusqu'au NE de Reichshoffen et sur une lanière tectonique au Nord de Niederbronn, sans l'opportunité de coupes durant les levers. Leur présence se révèle dans les champs avec les cailloux ocre de la Dolomie inférieure et les marnes vertes des « marnes bariolées ». Des sondages pétroliers de Péchelbronn et Soultz-sous-Forêts en offrent les meilleures coupes. La phase argileuse comprend essentiellement de l'illite accompagnée de minéraux intertratifiés (corrensite) et parfois de Kaolinite (Lucas, 1962 ; Sittler, 1982).

t4-5*D*. **Dolomie inférieure, bancs de dolomie et de calcaire dolomitique à minces intercalations silto-argileuses, épaisseur 4 à 10 m**. Constitué de dolomies et calcaires dolomitiques, cet ensemble, essentiellement carbonaté, se distingue nettement des Couches à cératites sous-jacentes par sa teinte généralement ocre et la présence fréquente à l'affleurement de bancs plus ou moins caverneux. Il est constitué par une succession irrégulière de bancs de dolomie et de calcaire dolomitique qui peuvent être épais à la base (20 à 40 cm), mais se présentent aussi en bancs minces, plus ou moins

fragmentés en plaquettes. La roche est souvent dure, plus rarement friable ; son grain est généralement fin, parfois grenu. Des intercalations silto-argileuses gris noirâtre, généralement peu épaisses (2 à 5 cm) peuvent séparer les bancs. Des niveaux glauconieux sont connus aux environs de Niederbronn (Van Werveke, 1897) et des *bone beds* ont été fréquemment observés dans la région. Les bancs les moins affectés par la dolomitisation sont souvent fossilifères. La **faune**, apparentée à celle du Muschelkalk supérieur, mais appauvrie, comprend, en particulier, des genres et espèces s'accommodant de conditions saumâtres : *Myophoria goldfussi*, *Unionites* (*Anoplophora*), *Lingula tenuissima*. Fossiles moins fréquents : *Acrodus* sp., *Myacites ventricosus*, *M. musculoides*, *Gervillia subcostata*, *Tellinites anceps*, *Lucina schmidti*. La Dolomie inférieure est épaisse, au plus, d'une dizaine de mètres.

À **Soultz-sous-Forêts** (sondages 4-41, 4-70 et 4-84), la formation débute avec un ensemble, épais de 4 à 5 m, de bancs de dolomie, avec quelques intercalations de marnes grises à *Enestheria* (*Estheria*) *minuta*. Par endroits, elle renferme des débris de poissons et un bone bed (sondage 4-70). À Kutzenhausen, dans le sondage 4-23 (PSAEM 3912), la formation comprend des niveaux de dolomie gréseuse (Schnaebelé, 1948).

Au Nord d'une ligne approximative Niederbronn – Soultz-sous-Forêts et au SE de Haguenau, la Lettenkohle inférieure est calcaire et n'a pas subi la dolomitisation (Synthèse géothermique du Fossé rhénan supérieur, 1979, pl. 14).

Épaisseur : les grandes différences de puissance de la formation : 4 à 10 m observés dans les sondages pétroliers de Soultz-sous-Forêt (*cf.* Ricour, 1962), sont problablement liées à des variations locales de l'épaisseur cumulée des intercalations silto-argileuses dans la partie supérieure de la formation.

t4-5*A*. **Argiles moyennes, argiles silteuses et silts argileux à intercalations de dolomies et de grès parfois dolomitiques, épaisseur 16 à 25 m**. Parfois appelées « marnes bariolées », les Argiles moyennes ne doivent pas être confondues avec celles du Muschelkalk inférieur, d'autant plus que certains faciès des 2 entités sont très semblables (même type de milieu et peut être apports détritiques de même origine, dans une vasière littorale, la plus ancienne en contexte transgressif, la seconde en conditions régressives).

La partie moyenne de la Lettenkohle est principalement constituée d'argiles silteuses et de silts argileux, présentant quelques intercalations de dolomie grise ou jaunâtre et de grès plus ou moins dolomitiques. Contenant fréquemment des bois flottés, ces derniers sont les témoins d'un apport détritique continental. Les silts ont une teinte variable, grise, verdâtre, beige ou brun-rouge. Les teintes rougeâtres correspondent probablement à des apports continentaux déposés en

milieu non réducteur. Les empreintes d'esthéries peuvent être nombreuses dans les silts et les grès. Une trentaine de kilomètres plus au Sud, P. Duringer (1982, 1984) a observé des traces d'émersion littorale dans les faciès détritiques fins.

En 1979 (observation inédite de F. Ménillet), La fouille de la piscine municipale de **Niederbronn**, 75 m au Sud de la limite septentrionale de la carte donnait une coupe partielle assez caractéristique de la partie médiane des Argiles moyennes (épaisseurs en mètres) ; de haut en bas :

– 0,30 à 0,40 silt argileux vert clair ;

– 0,05 dolomie altérée de couleur rouille, d'aspect marneux ;

– 0,50 silt argileux vert clair à débit plus ou moins noduleux, s'épaississant vers le Nord jusqu'à 0,70 m ;

– 0,70 silt lie de vin à débit noduleux (*cf. Flammen Dolomit* ou Grès à traces fucoïdes des anciens auteurs ; niveau repère dans la région de Saverne) ;

– visible sur 2 m, silt gris compact, plus ou moins lité, à débit noduleux.

Minces dans la partie inférieure de la formation, les intercalations dolomitiques peuvent être plus nombreuses et plus épaisses dans sa partie supérieure parfois différenciée sous le nom de Dolomie à *Anoplophora*.

Fossiles des Argiles moyennes : *Unionites* (*Anoplophora*) *donacina*, *U. brevis*, *Myophoria cf. transversa*, *Myacites elongatus*, *Corbula* sp.

L'épaisseur de l'ensemble peut atteindre une vingtaine de mètres.

Au NE de **Reichshoffen**, des grès apparaissent intercalés dans la série de la Lettenkohle. Le faciès *Flammendolomit* n'y a pas été observé, mais ils sont un peu altérés ; de la dolomie les recouvre.

À **Soultz-sous-Forêts** (sondages 4-41, 4-70 et 4-84), la Dolomie inférieure est recouverte par 5 à 6 m de marnes grises à verdâtres à *Esnestheria minuta*, à rares passées silteuses et quelques débris ligniteux. Un ensemble, épais de 4 m environ, de faciès plus diversifiés les surmontent : dans les marnes s'intercalent des passées gréseuses micacées, de minces couches de dolomie grise et un bone bed dans la partie inférieure (sondage 4-70) ou supérieure (sondage 4-41 et 4-84) de l'ensemble. Les passées violacées, habituelles dans cette partie médiane des Argiles moyennes n'ont pas été observées ici. Au-dessus, reposent des marnes grises à verdâtres sujettes à de plus grandes variations d'épaisseur (7 à 12 m). Dans leur partie médiane, elles renferment 2 niveaux de dolomie, de 2 m d'épaisseur environ, séparés par 1 à 2 m de marnes. Le banc supérieur pourrait correspondre à la « Dolomie à *Anoplophora* ». La Lettenkohle se termine par des bancs de dolomie grise, faciès azoïque possible de la **Dolomie limite**, surmontés par un niveau d'anhydrite compacte de 0,70 m, dans le sondage 4-70 ou par 2 m de marnes compactes à intercalations d'anhydrite (sondage 4-41),

formation intégrée dans l'unité cartographique t4-5*A*, quand elle n'a pas été observée.

Au Sud de **Lampertsloch**, dans le sondage 3-45, l'ensemble silto-dolomitique terminant la Lettenkohle, carotté sur 8,5 m, comprend probablement la partie supérieure des Marnes bariolées, souvent riches en intercalations de dolomie dont la Dolomie à *Anoplophora* et la Dolomie limite. La coupe, très détaillée, montre une quinzaine de séquences, épaisses de quelques décimètres (0 à 1,2 m), débutant par des siltites ou des grès et se terminant par un niveau de dolomie. Quelques niveaux de grès présentent de fines lamines granoclassées. Le sommet des bancs de dolomie est souvent érodé. La bioturbation affecte autant les grès que les dolomies. Interprétation similaire probable dans la coupe du sondage 4-43 où 11,5 m de coupe sont attribués à la « Dolomie limite » (Dolomie à *Anoplophora* probablement incluse) et 13 m seulement aux argiles moyennes (Ricour, 1962).

t4-5*L*. **Dolomie limite, dolomie souvent riche en moules de myophories, épaisseur 0 à 4 m**. Niveau repère, bien identifiable en diagraphie, la Dolomie limite contient généralement de très nombreuses empreintes de fossiles. Le seul affleurement observé se situe au NE de Reichshoffen. Ailleurs, elle n'est pas figurée, car son épaisseur est généralement faible ; celle de 4 m figurée, au sommet de la Lettenkohle, sur les logs des sondages 3-23, à Morsbronn et 4-23, au SW de Kutzenhausen comprend probablement la Dolomie à *Anoplophora*. Le faciès le plus typique correspond à une lumachelle à coquilles dissoutes parmi lesquelles prédominent les myophories (en particulier *Costatoria* (*Myophoria*) *goldfussi*. Elle présente souvent une consistance sableuse à l'altération. La Dolomie limite peut aussi renfermer des lamellibranches de la faune du Muschelkalk supérieur qui témoignent de son origine marine (Benecke, 1914). C'est probablement l'épisode sténohalin qui amorce le régime lagunaire sursalé des Marnes irisées inférieures. La Dolomie limite peut aussi présenter un faciès celluleux qui sera très fréquent dans les passées dolomitiques des Marnes irisées.

Keuper moyen = Marnes irisées, (ancien « Keuper » *sensu gallico*), ***Carnien à Norien***

Cet ancien « Keuper » au sens français très restreint, affleure sur la moitié nord-ouest de la feuille, avec le faciès le plus typique du Trias germanique : des marnes versicolores, azoïques, gypseuses et calco-magnésiennes. Riche en évaporites et constitué en grande partie d'argiles silteuses bariolées, foncées ou pastel, de teintes vertes, grises et rouge « lie-de-vin » appelées « Marnes irisées », malgré une teneur en carbonates souvent faible. Le Keuper moyen forme un ensemble lithologique bien individualisé. Il correspond à un long épisode lagunaire dans l'ensemble du bassin avec sursalure fréquente (gisements de sel gemme en Lorraine). Assez variable en raison de la dissolution fréquente

de couches d'évaporites, sa puissance est importante et généralement comprise entre 130 et 150 m, mais beaucoup plus faible qu'en Lorraine. L'aire couverte par le massif vosgien apparaît comme une zone de moindre subsidence. Les différences d'épaisseurs entre les deux régions sont cependant exagérées par l'importance des dissolutions d'évaporites autour du massif où les assises du Keuper moyen affleurent.

Le Keuper moyen comprend, de haut en bas :

– les Argiles bariolées dolomitiques, 30 à 40 m ;

– les Argiles rouges de Chanville, 7 à 9 m ;

– la Dolomie de Beaumont, 0 à 1 m ;

– les Argiles bariolées intermédiaires, 3 à 9 m ;

– le Grès à roseaux, 1 à 10 m ;

– les Marnes irisées inférieure, 105 à 115 m.

t5*AA*. **Argiles moyennes de la Lettenkohle et Marnes irisées inférieures indifférenciées (notation exhaustive : t4-5*A*-t5*A*)**. À l'Ouest de Reichshoffen près du ban d'Oberbronn, sur la butte située au Nord du Lauterbaechel, en l'absence d'affleurement de la Dolomie limite, nous n'avons pu, dans une plage d'altérites, délimiter les Argiles moyennes de la Lettenkohle et les Marnes irisées inférieures. Elles sont donc regroupées sous la notation t5*AA*.

t5*A*. **Marnes irisées inférieures, Carnien inférieur, silts argileux plus ou moins dolomitiques ou calcaires, épaisseur 105 à 115 m (réductions locales par dissolution d'évaporites)**. Aussi désignées dans la littérature sous le nom de marnes à sel gemme et à gypse, les Marnes irisées inférieures comprennent de haut en bas :

– les *marnes dolomitiques à esthéries*, gris-vert, rarement gris-noir, à intercalations marno-calcaires de teintes diverses et passées gréseuses ;

– les *marnes à nodules de quartz* : marnes bariolées grises, vertes, violacées ou rouges avec intercalations dolomitiques ou gréseuses, de plaquettes de calcite et de nodules de quartz corrodé, formation résiduelle de gypse ;

– les *marnes à pseudomorphoses de sel* ;

– des marnes dolomitiques avec nodules de dolomie cellulaire.

Les « marnes » sont des silts argileux plus ou moins dolomitiques et calcaires, elles comprennent des passées à gypse et anhydrite. Formation la plus épaisse du Keuper moyen dépassant habituellement 100 m, les Marnes irisées inférieures affleurent sous un faciés altéré (terre argileuse souvent brun foncé à noirâtre) et ne sont vraiment visibles qu'à l'occasion de travaux de terrassement. Le faciès le plus typique est une argile bariolée, de teintes assez vives, rouges à

lie de vin et vert foncé. La phase argileuse est constituée pour moitié d'illite, pour moitié d'un mélange de chlorite et d'interstratifiées, parfois réguliers (corrensite), J. Lucas, 1962 ; C. Sittler. 1982.

La **formation débute** par des argiles dolomitiques verdâtres à grises, contenant parfois des nodules de dolomie celluleuse. Vers le haut, ces couches qui rappellent encore certains faciès de la Lettenkohle moyenne, passent au faciès typique des « **Marnes à pseudomorphoses de sel** ». Formant l'essentiel de la masse des Marnes irisées inférieures, celles-ci sont principalement constituées par des argiles plus ou moins silteuses et dolomitiques verdâtres, souvent foncées, parfois bariolées de rouge. Elles sont souvent finement litées. Dans les délits, s'observent fréquemment des pseudomorphoses de cristaux de sel gemme. Reconnaissables par leur forme cubique, ces dernières apparaissent également à la surface de minces bancs de grès quartzitiques ou de siltites intercalés dans la série. À l'altération, ces grès donnent de menues plaquettes qui constituent un excellent indice de la formation à la surface des champs. En sondage, ces couches contiennent fréquemment des masses lenticulaires de gypse.

Les Marnes à pseudomorphoses de sel sont recouvertes par des argiles de composition peu différente, mais beaucoup plus bariolées et contenant des nodules de quartz corrodés ; ce sont les « **Marnes à nodules de quartz** » des anciens, dont l'épaisseur est généralement voisine de 10 m. Nous n'avons guère trouvé les quartz corrodés en affleurement.

Les Marnes irisées inférieures se terminent par des argiles dolomitiques gris-noir ou gris-vert, avec des intercalations de lits dolomitiques ou gréseux, connues sous le nom de **Couches à esthéries** (*Estherienschichten* de H. Thurach), du nom de leur fossile habituel *Isaura* (*Estheria*) *latitexta*. Leur épaisseur est peu importante, 5 m environ. Les lits gréseux peuvent contenir des restes de végétaux (*Equisetum*).

En Lorraine, la Formation salifère, comprise entre les Couches à pseudomorphoses de sel et les Couches à esthéries, a livré une microflore d'âge Carnien inférieur (Geisler *et al.*, 1978). À l'Est du Rhin, la Grabfeld-Formation correspond sensiblement aux Marnes irisées inférieures.

t5*GD*. **Marnes irisées moyennes, Carnien moyen, 15 à 30 m**. Cet ensemble regroupe trois unités non individualisées cartographiquement :

– t5*D* - Dolomie de Beaumont, peu épaisse, discontinue et largement remplacée par un banc d'anhydrite ;

– t5*M* - Argiles bariolées intermédiaires, épaisseur 3 à 9 m ;

– t5*G* - Grès à Roseaux, bancs ou lentilles de grès intercalés dans des silts argileux 5 à 25 m.

Les Marnes irisées moyennes affleurent au Nord de la forêt de Frohret, au NE de Zinswiller, à Griesbach et à Wœrth. La légende regroupe ces trois formations en une seule unité cartographique.

Grès à Roseaux (t5*G*, notation ponctuelle), bancs ou lentilles de grès intercalés dans des silts argileux, épaisseur 5 à 25 m. La base de cette formation est constituée par un faciès argilo-silteux bariolé ou calcaréo-dolomitique recoupé par des corps gréseux à débris végétaux, principalement des fougères (*Pterophyllum jaegeri*) et des *Equisetites*, genre voisin des prêles, jadis confondus avec des roseaux que l'usage a improprement maintenus dans le nom de la formation. Ces corps sont constitués par un grès à grain moyen à fin, verdâtre, gris verdâtre ou à feuillets rouges lorsqu'il est recouvert de marne rouge, légèrement micacé et feldspathique. À Merkwiller, le sondage 3-100 mentionne de la « glauconie » (chlorite ?)

Sédimentologie : selon C. Palain (1966), le Grès à roseaux ne représente qu'un terme d'une séquence détritique fluviatile comprenant à la base une brèche intraformationelle à intraclastes argileux et grands fragments d'*Equisetites arenaceus*, puis un sable ou grès homogène à fins débris végétaux, un sable ou grès psammitique à stratification plane ou ondulée (rides de courants), une siltite, des lignites, une siltite fine (shale) et une argilite. Cette séquence est souvent tronquée, les chenaux, larges de quelques mètres à quelques centaines de mètres se recoupant généralement. L'ensemble de ces chenaux élémentaires constituent les corps gréseux, larges de 10 à 15 km et allongés du Nord vers le Sud.

L'épaisseur de ces corps gréseux est très variable et généralement comprise entre 1 et 10 m (tabl. 6), mais des épaisseurs anormalement importantes sont habituelles dans cette formation. Selon C. Marchal (1983), ces dernières pourraient correspondre à des zones de dissolution d'évaporites antérieures ou contemporaines du dépôt. Le Grès à roseaux est d'âge carnien moyen.

Commune	Diffenbach	Merkwiller*	Merkwiller*	Soultz	Soultz	Forêt de Haguenau	Schirrhein
N° sur la carte	3-27	3-2283	3-100	4-153	4-86	7-85	8-30
N° PSAEM ou autre	DIE 2	4713	HOE 1	4433	4546	ROH 1	4770
Épaisseur	16	13	25	5	13	5	5

Tabl. 6 - Épaisseur de la Formation des Grès à roseaux (Keuper) dans quelques sondages des environs de Haguenau (* commune de Merkwiller-Péchelbronn)

Jadis, 2 carrières exploitaient 6 m de Grès à Roseaux, en 3 bancs, au NE de Griesbach (commune de **Gundershoffen** ; Van Werveke, 1897). Dans l'une d'elle, le banc moyen apparaissait subdivisé en corps lenticulaires, séparés par 2

ou 3 couches anastomosées d'argile sableuse. Dans le sondage 7-85, le Grès à roseaux se présente en petits bancs à stratification oblique de grès fin à silteux gris sombre ; il est cloisonné par des fissures remplies d'anhydrite.

Selon R. Schnaebelé (1948), le Grès à roseaux n'a pas été identifié » dans les sondages d'Ohlungen. Nous n'avons pas pu voir la coupe détaillée du sondage 6-22 (PSAEM 4687) et vérifier son absence à Bertsheim. À Schweighouse-sur-Moder, le sondage 7-68 a traversé 2 m de Grès à roseaux, limité à son toit par une faille.

En diagraphie électrique, le Grès à roseaux se marque par un ou plusieurs pics de plus grande résistivité.

Les Grès à roseaux ou Stuttgart-Formation correspondent au dépôt des innombrables bras d'un immense cône détritique divagant dans le vaste bassin germanique, alimentés par un grand fleuve qui suivait approximativement les actuelles cotes de Norvège (Ziegler, 1990 ; Geyer *et al.*, 2011).

À **Soultz-sous-Forêts**, dans le sondage 4-100, 5 m d'anhydrite recouvre directement le Grès à roseaux (Kappelmeyer *et al.*, 1991). S'il s'agit de l'anhydrite de la base des Argiles de Chanville, il y a une lacune ou une troncature par faille, dans ce site, des argiles bariolées intermédiaires et de la Dolomie de Beaumont.

Argiles bariolées intermédiaires (t5*M*), épaisseur 3 à 9 m (= marnes irisées moyennes, *sensu stricto*). Les argiles t5*M* sont formées de marnes argileuses, dolomitiques ou calcaro-dolomitiques, parfois gréseuses et micacées, de teinte foncée, verte, grise, violacée ou rouge. La phase argileuse comprend de l'illite et de la chlorite.

Dolomie de Beaumont (t5*D*) peu épaisse, discontinue et largement remplacée par un banc d'anhydrite. Sous son faciès le plus habituel : dolomie à grain fin (dolomicrite), blanc crème, gris clair ou beige, se débitant en dalles (« Dolomie moellon »), n'a été observée qu'à Griesbach. Van Werveke (1897), dans le secteur de Niederbronn, lui a attribué un banc de dolomie cellulaire (*Zellendolomit* ; terme aussi utilisé pour les cargneules d'autres niveaux du Keuper), épais d'environ 1 m, dont on retrouve les produits d'altération épars dans les champs. Ce faciès de cargneule existe aussi à Griesbach, en faible abondance. Le niveau dolomitique pétrolifère du Keuper du Sommerbaechel (sondage 6-99 et ouvrage voisin 6-70, Finaton, 1936 et Schnaebelé, 1948) correspond probablement à la Dolomie de Beaumont qui n'est mentionnée dans aucun autre sondage. Donc peu épaisse et discontinue, elle est largement remplacée par un banc d'anhydrite massive, qui sert dans le secteur de Péchelbronn de limite supérieure aux Marnes irisées moyennes. Dans le

sondage 7-85 (Rorhlach 1), en forêt de Haguenau, cette anhydrite présente de rares intercalations argileuses et son épaisseur est de 5,5 m.

La Dolomie de Beaumont est un équivalent du Hauptsteinmergel du bassin germanique (Aigner et Bachmann, 1992).

t5-6. **Marnes irisées supérieures, Carnien moyen à Norien**. Elles sont subdivisées, de haut en bas en :

t5-6*M* : Argiles bariolées dolomitiques ;

t5-6*C* : Argiles rouges de Chanville.

Épaisseur totale : 48 à 50 m (Schnaebelé, 1948). Phase argileuse : illite, parfois accompagnée de chlorite (Lucas, 1962 ; Sittler, 1982).

t5-6*C*. **Argiles rouges de Chanville, argiles rouges, riches en anhydrite, épaisseur 7 à 11 m**. Le faciès classique des Argiles de Chanville : argile rouge riche en anhydrite, se reconnaît bien dans les descriptions de sondages pétroliers. Son épaisseur avoisine 9 m dans le secteur de Péchelbronn – Soultz-sous-Forêts, se limite à 7 m à Schirrhein (sondage 8-30) et atteint 11 m dans le sondage 7-85 (ROH 1), au Nord de Haguenau, où elle présente de rares intercalations de grès silteux à ciment carbonaté. Elle se maintient à 9 m à Ohlungen (sondage 6-99, PSAEM, 3479). L. Van Werveke (1897) lui attribue 9 m dans le secteur de Niederbronn. Dans les zones d'affleurement, l'anhydrite ne se voit plus, dissoute par l'altération due aux eaux d'infiltration superficielle.

t5-6*M*. **Argiles bariolées dolomitiques, argiles plus ou moins dolomitiques et silteuses à intercalations de dolomies, teintes pastel, gris violacé, rosâtres, vertes ou rouges, épaisseur 30 à 35 m**. L'ensemble marneux à dolomitique surincombant, épais d'une trentaine de mètres (38 m dans le sondage 7-85), comprend bien le faciès typique des Argiles bariolées dolomitiques dans son tiers ou sa moitié supérieure. Ce sont des argiles plus ou moins dolomitiques souvent assez dures et sèches, avec des teintes claires « pastel » rosâtres à violacées (Code Munsell 10R5/1 à 5/2 ; 10R6/2 ; 10R3/6, 2,5YR4/3, 5/6 à 6/6 ; 5YR5/3 …), verdâtres, gris bleuâtre, très particulières, renfermant de petits bancs de dolomie à grain fin, présentant la même gamme de teintes ou encore blanches. Ce faciès est dépourvu d'évaporites. En dessous, l'interprétation est plus difficile, car des faciès assez variés sont difficiles à classer dans l'une ou l'autre formation. La présence de dolomies et de teintes variées, en particulier de couleurs grises et vertes sont des arguments pour les placer dans les Argiles bariolées dolomitiques. Au contraire la présence d'anhydrite et de teintes rouges et brunes incline à les réunir aux Argiles de Chanville. En outre, c'est à peu près à ce niveau que se place une discordance liée à un événement tectonique (Bentler et Schüler, 1978 ; Bourquin et

Guillocheau, 1996 ; Durand et Bourquin, 2001) : la phase éocimmérienne majeure (discordance D4 du bassin germanique, Bachmann *et al.*, 1999), entraînant des érosions et en conséquences des réductions d'épaisseur (Durand et Bourquin, 2001). Cette discordance marque, selon Kozur et Bachmann (2008), la base des dépôts noriens. Les marnolites ont souvent une structure bréchique.

À l'Est de Gundershoffen, les faciès dolomitiques apparaissent bien développés dans les Argiles bariolées dolomitiques et peuvent être confondus avec la Dolomie de Beaumont, en particulier dans leur partie supérieure dans le sondage 4-100 (Kappelmeyer *et al.*, 1991) . Au Sud de Frœschwiller, dans un affleurement de surface gisent, au milieu des faciès argileux typiques des argiles bariolées dolomitiques, des fragments de dolomie à grain fin et de stromatolites en dômes , structures déjà observées dans la formation au Luxembourg (Bock *et al.*, 1977), aux confins Sud de la Lorraine (Durand, 2013, p. 20 et 21) et dans le Nord de l'Allemagne (Arp *et al.*, 2005).

À Ohlungen, R. Schnaebelé (1948) donne une coupe synthétique fondée sur le log de sondage 6-99 (PSAEM 3479) et celle du forage voisin 6-70 (PSAEM 3570). Il attribue une épaisseur de 37,5 m aux Argiles bariolées dolomitiques.

Au Sud d'Oberbronn, L. Van Werveke (1897) attribue aux Argiles bariolées dolomitiques la partie inférieure d'une coupe, publiée par E. Haug (1885) qui l'a placé dans le Rhétien. Quelques sondages, en Alsace (sondage 7-85) et en Lorraine signalent des bancs de grès dans les argiles bariolées dolomitiques. À Oberbronn, ils sont assez nombreux (4), mais ce sont les bone bed, abondants dans la partie inférieure de la coupe, soit 7 m environ sous le toit de la formation, qui frappent l'attention. Constitués de dents des genres *Hybodus*, *Acrodus*, *Certodus Termatosaurus* et de *Saurichtys acuminata*. Notons que H. Hof a retrouvé un bone bed à *Hybodus* et *Saurichtys* dans le grès rhétien de Morsbronn. De façon plus certaine, les Argiles bariolées dolomitiques contiennent des restes de Lamellibranches (*Corbula*) et des écailles de poissons.

À l'Est du Rhin, les Löwenstein (Stubensandstein) et Trossingen-Formationen correspondent approximativement aux Argiles bariolées dolomitiques.

Keuper supérieur ou Rhétien

Étage terminal du Trias, le seul utilisé comme unité cartographique dans le NE de la France, le Rhétien correspond, en termes de lithostratigraphie, au Keuper supérieur des auteurs allemands (Exter-Formation). Il comprend deux unités, de haut en bas :

t7*A* - les Argiles de Levallois, 5 à 8 m ; rouges en affleurement ;

t7*G* - la Formation de Frœschwiller, Keuper silto-gréseux ou Grès et pélites à *Avicula contorta*, épaisseur 0 à 15 m ou plus.

En sondage, les Argiles de Levallois peuvent être grises et dans les coupes et logs, toutes les siltites surmontant les grès leur sont généralement attribuées. En l'absence de grès, le Rhétien entièrement gris n'est pas subdivisé. Quelques observations, mentionnées ci-dessous, nous amènent à interpréter le faciès rouge des Argiles de Levallois comme un faciès d'oxydation des siltites grises du Rhétien.

Dans les sondages, les valeurs extrèmes des épaisseurs ne paraissent pas localisées dans des secteurs particuliers.

Ces formations affleurent à Zinswiller, en particulier à l'est de la localité et le long d'étroites bandes de Reichshoffen à Frœschwiller et de Griesbach à Wœrth. Sur le terrain, le Rhétien est souvent identifié par ses plaquettes de grès jonchant les champs et les talus. Moins souvent apparente, l'Argile de Levallois se reconnaît par sa teinte rouge. Rarement fossilifère, le grès peut être confondu avec le Grès à Roseaux des Marnes irisées moyennes, l'argile rouge avec l'Argile de Chanville.

En **palynologie**, le Rhétien du NE de la France (Lorraine et Luxembourg, Schuurman, 1977) -u redoublé - se caractérise par l'association *Ovallipollis pseudoalatus*, *Riciipolites tuberculatus*, *Rhaetipolis germanicus*, *Granuloperculatipollis rudis* et *Corollina* sp. La partie supérieure de l'étage où les 4 premières espèces disparaissent et prédomine *Hélioporites sporites reissingeri* n'est pas représentée. La présence de l'ostracode *Hungarella* confirme cette attribution (Kozur et Mostler, 1972).

La **faune** marine est rare, avec la présence sporadique des foraminifères *Astracolus* et *lingulina*. En Lorraine, les études sédimentologique et paléontologiques (voir Durand, 1980) indiquent un milieu littoral, marécageux, perturbé par des courants de marée, où des fleuves venus du Nord, apportent des sables et, rarement quelques galets, déposés dans de nombreux estuaires.

t7*G*. **Formation de Frœschwiller, Keuper supérieur silto-gréseux ou Grès et pélites à Avicula contorta, épaisseur 0 à 15 m ou plus**. Dans le NE de la France, la formation inférieure du Rhétien comprend 2 faciès principaux : des siltites noires, plus ou moins argileuses et pyriteuses, à débit souvent feuilleté, dépôt d'une vasière marine en milieu calme et peu oxygéné. Leur phase argileuse comprend de l'illite et de la kaolinite (Lucas, 1962 ; Sittler, 1982). Le faciès gréseux parfois appelé ici « Grès de Frœschwiller » représente des apports d'origine fluviatile dans la vasière ; son épaisseur varie donc beaucoup et, en dehors des chenaux, il n'existe plus. Souvent fins, surtout lorsque les bancs sont peu épais, les corps gréseux présentent fréquemment un débit en plaques ou en plaquettes, voire feuilleté. La surface de ces plaques et plaquettes, garnie de paillettes de muscovite, scintille.

Le **grès rhétien** est bien représenté de Wœrth à Zinswiller et à Griesbach. D'après les sondages pétroliers, il manque souvent dans les secteurs d'Ohlungen, Merkwiller-Péchelbronn et Soultz-sous-Forêts (tabl. 7). Dans le secteur de Zinswiller, L. Van Werveke (1897) signale de minces intercalations de conglomérats à petits galets de quartz et de lydiennes litées noires. À Morsbronn, Henri Hof a observé un *bone-bed* conglomératique, à galets impressionnés, dents de *Saurichtys*, d'*Hybodus* et écailles de poissons ganoïdes. À la partie supérieure de la formation, un grès ocreux présente des traces de terriers en U. La dureté des grès varie beaucoup. Jadis, quelques carrières les exploitaient pour l'empierrement des chemins, en particulier à Zinswiller. Les faciès fins et durs servaient de pierre à affiler.

Commune	Hochs.	Ohlung,	Schw.	Hague.	Morsb.	Dieff.	Merkwiller-Péchelbronn				Soultz/Forêts		Schirr.
N° sur la carte	6--8	6-77	7-68	7-85	3-23	3-29	3-85	3-2283	3-25	3-45	4-68	4-81	8-30
Numéro° PSAEM	4548	4477	SHM 1D	Roh 1	4804		4485	4713	1266	Les Hélions	4608	4581	4770
			faille										
tr*A*	8	15	6 (grise)	6									
tr*G*	3	0	2,5	1,5	traces	15	0	0	0	13			9
tr silt arg gris		-15	2	1,5									
total	13	30	-10,5	10	26	35	25	22	13	40	29	22	20

Tabl. 7 - Épaisseurs des formations du Rhétien dans divers sondage de la carte à 1/50 000 Haguenau. Abbréviations : Hochs - Hochstett ; Ohlung. - Ohlungen ; Schw - Schweighouse-sur-Moder ; Hague. - Haguenau ; Morsb. - Morsbronn ; Dieff. - Dieffenbach ; Schirr. - Schirrhein

Siltites grises surmontant le Grès à *Avicula contorta* (sondages)

Nous prendrons en référence le sondage 7-68, à **Schweighouse-sur-Moder** ; de haut en bas ; épaisseurs en mètres :

– troncature par faille ;

– 6,00 - argile gris clair, finement pyriteuse et silteuse ;

– 2,85 - grès à grain fin à moyen, gris brun, à ciment argileux, bitumineux, mica et pyrite ;

– 2,25 - argile gris noir silteuse et pyriteuse.

Dans la forêt de Haguenau, au Nord de la ville, le sondage 7-85 présente une coupe très semblable :
– niveau à galets de quartz, à la base du Calcaire à gryphées ;

– 6,00 - argile gris clair, à débit en plaquettes et argile feuilletée gris sombre ;
– 0,15 - grès fin, gris clair, pyriteux, à ciment anhydritique, devenant argileux et verdâtre vers le bas ;

– 0,15 - argile non décrite, avec une lentille d'anhydrite.

Inconnue dans la formation, l'anhydrite est vraisemblablement d'origine diagénétique.

On pourrait objecter que l'argile rouge ait été éliminée par faille dans le sondage 7-68 et par érosion dans le 7-85. Mais dans d'autres sondages, comme le 4-49 à Soultz-sous-Forêts, le Rhétien silto-argileux (désigné « marnes »), épais de 25 m n'est pas tronqué par une faille ou un conglomérat.

t7*A*. **Argiles de Levallois, argiles calcaires brun-rouge, souvent grises en sondage, 5 à 7 m**. Les Argiles de Levallois se reconnaissent, à l'affleurement, par leur teinte rouge, presque aussi vive que celle des Argiles de Chanville, mais tirant légèrement vers le brun (teinte moyenne à sec, code Munsell : 10YR4/6). Parfois, elles comprennent des passées grises. En sondage, elles sont bariolées rouges ou grises. Leur teneur en CO_3Ca avoisine souvent les 15-20 %, expliquant le terme de « Marnes de Levallois », souvent utilisé dans la littérature. Leur phase argileuse comprend de l'illite et de la kaolinite (Lucas, 1962 ; Sittler, 1982). Dans leur partie supérieure, elles peuvent renfermer des concrétions calcaires, dues à la fixation de carbonate de calcium dissous par altération du Calcaire à gryphées surincombant. Altérées, les Argiles de Levallois deviennent souvent verdâtres.

Au Nord de Dettwiller, sur la feuille de Saverne, la tranchée creusée en 2011 pour la ligne à grande vitesse Paris – Strasbourg montrait que le faciès rouge est bien un faciès d'oxydation. Sa base recoupait irrégulièrement des couches de siltites argileuses grises. Oxydation ancienne, complétée par une oxydation récente après leur mise en affleurement, généralisant la teinte rouge sur une épaisseur de 5 à 8 m.

Jurassique

Hettangien - Sinémurien

l1-2*C*. **Formation de Hochfelden : Calcaires et marnes à Gryphées (*Liogryphaea arcuata*). Hettangien à Sinémurien inférieur ; alternances de bancs calcaires et de couches de marnes, épaisseur 18 à 24 m dans le Fossé rhénan principal**. En contraste avec la teinte rouge des Argiles de Levallois, Les Calcaires et marnes à gryphées débutent la longue succession des formations du Lias où prédominent des argiles silteuses et des marnes grises, plus ou moins riches en intercalations de calcaire gris à grain fin (fig. 9). Elles apparaissent en affleurements discontinus de Zinswiller à Wœrth, par Reichshoffen, au Nord et par Griesbach, plus au Sud. Huîtres de taille modeste, à coquille bombée et non plissée, les gryphées n'y sont que localement abondantes. Des lamellibranches des genres *Pholadomya*, *Pleurotomarya*, *Modiolus*, *Entolium* ; *Pseudolimea duplicata* et des exemplaires

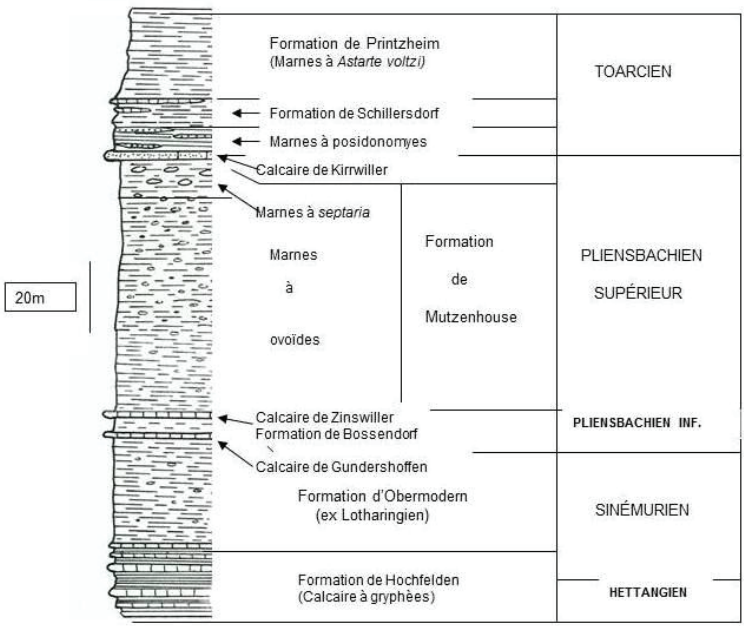


Fig. 9 - Coupe synthétique des formations du Lias dans le secteur de Péchelbronn (Bas-Rhin) et dans la partie septentrionale du champ de fractures de Saverne

de taille réduite de *Plagiostoma gigantea* sont encore moins nombreux. La faune d'ammonites sera prise en compte ci-dessous pour son intérêt biostratigraphique.

Les auteurs (Schirardin, 1923, Schmitt, 1987) retiennent une **épaisseur** d'une quarantaine de mètres pour les Calcaires et marnes à gryphées dans le Nord de l'Alsace. Cette valeur est déduite des observations de tranchées de chemin de fer à l'Ouest de Bouxwiller (Weigand *in* Haug, 1888) et Obermodern (Van Werveke, 1897) et aussi du sondage 02341x0030 à Hochfelden (feuille à 1/50 000 Brumath, Dubois et Guillaume, 1929). Dans la partie orientale de la feuille de Haguenau, les coupes des sondages pétroliers donnent des valeurs de moitié inférieures (tabl. 8).

Commune	Diffenbach	Merkwiller*	Merkwiller*	Merkwiller*	Ft. de Haguenau		Schirrhein
N° sur la carte	3-27	3-2283	3-100	3-85	4-65	7-85	8-30
N° PSAEM ou autre	DIE 2	4713	HOE 1	4585	1245	ROH1	4770
Épaisseur	**18**	**22**	**18**	**22**	**23,8**	**22**	**22**

Tabl. 8 - Épaisseurs des Calcaires et marnes à Gryphées (Hettangien à Sinémurien inférieur) dans quelques sondages pétroliers de la carte à 1/50 000 Haguenau (* commune de Merkwiller-Péchelbronn)

Les épaisseurs de 40 m et plus, maximales pour les Calcaires et marnes à gryphées en Alsace seraient donc localisées dans une cuvette plus ou moins centrée sur un axe Bouxwiller – Hochfelden.

La Formation de Hochfelden est constituée d'une alternance de marnes gris-bleu ou gris foncé et de bancs calcaires de mêmes teintes. La puissance des couches de marne augmente légèrement vers le haut ; en conséquence, les anciens exploitaient de préférence les niveaux inférieurs de la formation. Les bancs calcaires ont une épaisseur de 10 à 15 cm, rarement plus de 30 cm. Celle des couches de marnes peut atteindre 50 cm. Les calcaires ne forment pas toujours des bancs continus, mais se réduisent parfois à des niveaux de nodules. Dans la partie inférieure de la formation, les couches de marnes ont un débit plus ou moins feuilleté avec un faciès de schistes bitumineux. Les Calcaires à gryphées sont faiblement dolomitiques (1 à 5 % de Mg0).

Bien qu'incomplète à la base et au sommet, la coupe de référence locale, aujourd'hui disparue, reste celle de la carrière Brill à Hochfelden (Laugier, Blanalt et Hirlemann *in* Blanalt, Maire *et al.*, 1972, Feuille de Brumath-Drusenheim).

La Formation de Hochfelden comprend, dans sa localité type de haut en bas :

– les Couches à *Belemnites acutus* et *Pentacrinus tuberculatus* : environ 10 m ;

– les Couches à Arietites : environ 23 m ;

– les Couches à *Schlotheimia angulata* : environ 5 m (Zone à Angulata) ;

– les Couches à *Psiloceras planorbis* : environ 2 m (Zone à Planorbis).

Selon les remarques faites dans la rubrique « Rhétien », nous envisageons une période d'altération, avec possibles érosions locales entre les dépôts attribués à cet étage et les Couches à *Psiloceras planorbis*. Rappelons qu'en Lorraine, la partie supérieure du Rhétien manque en palynologie (Schuurmann, 1977) -u redoublé- ; une lacune est donc possible entre les Argiles de Levallois et le Calcaire à gryphées. La coupe du sondage 7-85 (ROH 1) mentionne la présence « d'éléments conglomératiques » à la base de la formation avec des galets de quartz.

Les 2 niveaux inférieurs ont un âge Hettangien (Zone à Planorbis et Zone à Angulata). Les 2 supérieurs appartiennent au Sinémurien inférieur (Zone à Obtusum et Zone à Oxynotum, avec *Arietites Bucklandi*, *Oxynoticeras simpsoni* et *Schlotheimia ventricosa*. *Plagiostoma gigantea* est fréquente dans les Couches à Planorbis, riches, selon L. Van Werveke (1897), en piquants de l'oursin *Cidaris psilonoti*. A Wœrth, J.-A. Stuber (1893) recueillit dans les premiers bancs calcaires *Caloceras johnstoni*, ammonite caractérisant la sous-zone supérieure de la Zone à Planorbis ; ammonite observée aussi au Nord de Morsbronn par Henri Hof. Ces niveaux sont peu épais ; à Obermodern (feuille de Bouxwiller), L. Van Werveke (1904) leur rattache les 2 m inférieurs de la formation.

Les Couches à Angulata se présentent sous un faciès bitumineux renfermant des fossiles écrasés : *Schlotheimia angulata*, *Inoceramus weissmanni*, *Pseudomonotis papyrea*. Deecke (*in* Haug, 1885) y a récolté une faune de foraminifères diversifiée. *Liogryphaea arcuata* est fréquente dans les Couches à Arietites qui ont livré *Coroniceras bucklandi*, *Arnioceras semicostatum*, *Coroniceras bisulcatum*, *C. rotiforme*, etc. Les bancs calcaires renferment *Alsatites* (*Echioceras*) *laqueum* (sous-zone supérieure de la zone à Liasicus) et *Schlotheimia angulata*, caractérisant la 3e et dernière zone de l'Hettangien. Haug mentionne *Arietites liasicus* dans le banc inférieur de la « zone à *Arietites bucklandi* », conduisant à l'hypothèse d'une condensation locale de l'Hettangien. L. Van Werveke (1897), désignant cette succession : « **Couches à Angulata** », leur attribue à Obermodern une épaisseur de 5 m. Notons qu'à Hochfelden (feuille à 1/50 000 Brumath-Drusenheim), 5m environ de couches à *Schlotheimia angulata*, sont attribuées, probablement par erreur, au Sinémurien par R. Laugier, J.-G. Blanalt et G. Hirlemann *in* J.-G. Blanalt, G. Maire *et al.*, (1972).

Les niveaux supérieurs des Calcaires et marnes à gryphées appartiennent au Sinémurien inférieur (Zones à Bucklandi et Semicostatum), avec *Coroniceras rotiforme*, *Arietites Bucklandi*, *Oxynoticeras simpsoni*, *Schlotheimia ventricosa*, *Coroniceras bisulcatum*, *Arnioceras semicostatum*, *Liogryphaea arcuata*, etc. les bancs supérieurs peuvent être riches en belemnites. La zone à Turneri pourrait être représentée, mais n'a pas été caractérisée. Au toit de la formation existe un niveau à nodules noirs à *Pentacrinus tuberculatus* et *Belemnites acutus*, nodules phosphatés et ammonites « *Verkieselt* », traduit par N. Théobald par « pyritisé » ; *kies*, actuellement un cailloux ou nodule siliceux, désignait souvent, au XIXe siècle, un nodule de pyrite. L. Van Werveke (1895 et 1897) y signale *Aegoceras planicosta*. C'est une surface d'omission selon N. Théobald (*in* Ménillet, Théobald *et al.*, 1976) ou un niveau de condensation.

J.-P. Schmitt (1987) a étudié **la microflore** des Calcaires et marnes à gryphées dans une localité voisine d'Hochfelden (niveaux très inférieurs du Sinémurien dans la coupe de la carrière Brill, feuille de Brumath) et dans le forage géothermique de Strasbourg, Cronenbourg (02346X0100). Il y distingue 2 zones. La zone 1, correspondant à l'Hettangien, débute avec l'apparition de *Lycopodiumsporites semimuris* et la disparition de *Rhaetipollis germanicus*, et des dynokystes *Rhaetogonyaulax rhaetica*, *Suessia swabiana* et *comparodinium diacrorhaeticum*. On y remarque la diversification spécifique du genre *Lycopodiumsporites* et les acmés des spores de type *Kraeuselisporites reissingeri* et des *Circumpolles*. La zone 2 (Sinémurien) voit apparaître les premières formes du genre *Nannoceratopsis* et de *Dapsilidinium caminuspinum* et de *Liasidium variabile*. Ces deux espèces disparaissent au sommet de la zone.

En **sédimentologie**, N.-T. Khatib *et al.*, (*in* Haguenauer et Hilly, 1975) interprètent les Calcaires et marnes à gryphées comme un dépôt cyclique, comprenant, à la base, une marne, puis un calcaire microcristallin assez fin (wackstone), constituant la masse principale du banc calcaire, bioturbé à sa partie supérieure, un enduit de calcaire microcristallin, encore plus fin, comblant les terriers. La faune indique un milieu marin peu profond.

l2*A*. **Formation d'Obermodern ou Argiles à Dudressieri (Sinémurien supérieur, épaisseur 30 m environ)**. Équivalentes des argiles à *Promicroceras* de Lorraine (Lotharingien de Haug, 1910), appelées aussi « argiles pauvres en fossiles », ou encore Argiles à *Dudressieri*, la Formation d'Obermodern (Obtususton-Formation, à l'Est du Rhin) comprend une succession d'argiles calcaires grossièrement feuilletées, carbonatées, silteuses à finement sableuses, micacées et pyriteuses. Leur phase argileuse comprend essentiellement de l'illite, accompagnée de montmorillonite, mal individualisées, C. Sittler (1982). Elles renferment des nodules de calcaires ferrugineux et de petits nodules ferrugineux, de forme plus ou moins ovoïdale. Leur débit feuilleté à écailleux et la petite dimension des nodules, dépassant rarement 3 cm, permettent de les distinguer des marnes à ovoïdes du

Pliensbachien où ils sont beaucoup plus gros. Rares et petites, les ammonites permettent d'identifier la formation avec plus de certitude : *Xiphiroceras* (*Aegoceras*) *dudressieri*, *Oxynoticeras oxynotum*, *Promicroceras planicosta*. Vers la base, un banc de calcaire argileux présente une structure cône in cône.

Calcaire de Gundershoffen (l2*R*) (niveau repère à *Echioceras raricostatum*), Sinémurien supérieur, épaisseur 0,7 m environ ; **non figuré**. Le Calcaire de Gundershoffen ou banc calcaire à Raricostatum forme un niveau repère entre les Argiles d'Obermodern et les marnes carixiennes surincombantes. Épais de quelques décimètres, gris, argileux, ressemblant aux bancs calcaires à gryphées arquées de la Formation de Hochfelden, il en diffère par sa faune : *Gryphaea obliqua*, moules de pholadomies, de fréquentes belemnites et surtout l'ammonite de zone *Echioceras raricostatum*. Il présente un autre faciès, apparemment plus rare, mais probablement moins visible, car plus souvent altéré, constitué de petits bancs de calcaire à oolites ferrugineuses, séparés par de minces couches de marnes irrégulièrement délimitées ou encore de nodules de forme arrondie ou allongée dans un fond de marne. Oxydé il prend l'aspect du Calcaire ocreux inférieur, son équivalent en Lorraine où il livre aussi *Oxynoticeras oxynotum*. Il n'affleure guère. Dépôt de faible profondeur, il peut présenter des traces de remaniements.

Pliensbachien

Ensemble marno-calcaire, épais d'environ 60 m, le Pliensbachien est subdivisé en 2 unités cartographiques, de haut en bas :

– Pliensbachien supérieur ou Domérien comprenant :
  - le Calcaire de Kirwiller, quelques dm,
  - les Marnes à septaria, 6 m,
  - les Marnes à ovoïdes, 50 à 60 m ;

– Pliensbachien inférieur ou Carixien comprenant :
  - le Calcaire de Zinswiller, 0,5 m environ,
  - les Marnes de Bossendorf, 5 m environ.

l3*BZ*. **Calcaire de Zinswiller (l3*Z*, niveau repère à *Prodactylioceras Davoei*, épaisseur 0,5 m environ) et Formation de Bossendorf ou Marnes à *numismalis* (l3*B*), Pliensbachien inférieur, marnes gris clair, épaisseur 5 m environ**. Les Marnes à *Cincta* (*Zeilleria*) *numismalis* se reconnaissent par leur teinte gris clair. Outre la petite térébratule plate (« *numismalis* »), symptomatique, elles renferment *Hastites* (*Belemnites*) *clavatus*, *Plicatula spinosa* et *Phricodoceras* (*Aegoceras*) *taylori*. En palynologie, le Carixien de la région (Schmitt 1987) est marqué par l'apparition de nombreuses espèces : *Mancodinium semitabulatum*, *M. woodhamense*, *Valveodinium armatum*, *Comparodinium stipulatum*, *C. lineatum* var. *magnum*, *C. perpunctum*, *C. koessenium* et la disparition des espèces mentionnées dans le Sinémurien.

Banc repère remarquable, facilement identifié à l'affleurement par sa teinte gris clair, souvent tachetée de gris bleu foncé, le **Calcaire de Zinswiller** comprend 2 ou 3 bancs épais de 8 à 15 cm, séparés par de minces couches de marne. Ces bancs se débitent en « pavés » et renferment les ammonites *Deroceras* (*Prodactylioceras*) *davoei*, *Androgynoceras* (*Aegoceras*) *capricornu*, *Fimbrilytoceras fimbriatum*. E. Haug (1885 et 1888) a signalé l'abondance de *Pentacrinus basaltiformis* et de la belemnite *Hastites clavatus* à Zinswiller. Dans le sondage 7-68, à **Schweighouse-sur-Moder**, son niveau lithostratigraphique est représenté par un banc de « calcaire argileux beige clair à bioclastes » (mudstone à wackstone) de 6 m d'épaisseur. Il correspond au Calcaire ocreux supérieur de Lorraine.

l3*M.* **Formation de Mutzenhouse (Pliensbachien supérieur, épaisseur 60 m), Marnes à septaria (6 m), Marnes à ovoïdes (50 à 60 m), Marnes feuilletées (2 m)** (de haut en bas). *Les marnes du Pliensbachien supérieur* sont localement désignées « Marnes de Mutzenhouse ». Jusqu'à son comblement, l'ancienne carrière de cette localité (feuille à 1/50 000 Brumath) était prise en référence. Elle est aujourd'hui relayée par la carrière de Lixhausen où leur partie supérieure est exploitée (feuille à 1/50 000 Bouxwiller, à proximité de l'angle SW de la feuille), Elles affleurent de Wœrth à Morsbronn et Mertzwiller, de Frœschwiller à Gumbrechtshoffen, de Zinswiller à Uhrwiller, à Schalkendorf, Bossendorf et Minversheim. Aussi appelées « Couches à Margaritatus », elles comprennent, à la base, 2 m de marnes feuilletées surmontées par les marnes à ovoïdes (50 m environ), elles-même recouvertes par les marnes à septaria (6 m). Les marnes du Pliensbachien supérieur renferment des ammonites pyriteuses dont le fossile de zone *Amaltheus margaritatus* se récolte depuis la base jusqu'au sommet de l'unité cartographique (*cf.* Argiles à amalthées en Lorraine ; Amaltheenton-Formation en Baden-Württemberg). En **palynologie** (Schmitt, 1987) la base du Domérien local se marque par l'apparition de *Nannoceratopsis triceras*, *Luehndea spinosa*, *Comparodinium scalatum*, var. *magnum*, et *C. punctatum*.

Dans les sondages pétroliers, l'**épaisseur** des marnes du Pliensbachien supérieur atteint 62,5 m au SW de Surbourg (sondage 4-65), 66 m à Schirrhein (8-30) et 70 m en forêt de Haguenau (7-85).

De teinte sombre, gris souris, les marnes sont silteuses, massives ou à débit feuilleté fruste. Les ovoïdes, en calcaire gris très dur ou en calcaire ferrugineux, ocre ou rouge sombre à l'altération, sont allongés dans le sens de la stratification où ils forment souvent des niveaux. Leur longueur dépasse rarement 10 cm ; certains sont fossilifères. À l'altération, le fer libéré par l'altération des pyrites s'est souvent fixé à la périphérie des ovoïdes. Le gel et l'altération superficielle libèrent et fragmentent cette pellicule en donnant des plaquettes ferrugineuses à section souvent courbe, excellent indice de la formation.

Le membre supérieur de la formation se distingue par la présence de **septarias**, gros nodules de calcaire fin, « cloisonnés » par des veines de calcite spathique, bordées de pyrite dans un site localisé au SW de Frœschwiller (attention, les marnes du Toarcien supérieur peuvent contenir aussi des septarias). Minces, ondulées et en disposition irrégulière, les veines de ces septarias, dont la taille varie habituellement de 5 à 25 cm, n'ont pas l'aspect esthétique des pièces de collection. Dans l'argilière de Lixhausen (feuille de Bouxwiller, près de près de l'angle SW de la carte), un niveau de gros nodules, de formes variées, dont certains présentent de larges digitations semble former la base des marnes à septarias. La phase argileuse des Marnes de Mutzenhouse comprend de l'illite, de la chlorite et de la kaolinite qui peut être prédominante dans les faciès altérés et accompagnés d'interstratifiés illite/smectite.

l3*K*. **Calcaire de Kirrwiller (niveau repère à *Pleuroceras spinatum*), sommet du Pliensbachien, épaisseur 0,2 à 1,5 m, calcaire grenu, très fossilifère**. Terminant le Pliensbachien, les Couches à Spinatum comprennent, à la base, le niveau repère du Calcaire de Kirrwiller, l3*K* (Costaten-kalk de Lepsius, 1875) et au-dessus, une couche de marne gris bleu renfermant aussi l'ammonite de zone *Pleuroceras spinatum*. Bienqu'il soit probablement continu, ce niveau repère n'est figuré que dans les sites où nous l'avons observé. Souvent gréseux et correspondant aux grès médioliasiques de Lorraine, le Calcaire de Kirrwiller est habituellement grenu et se remarque par sa richesse en fossiles, entiers ou brisés, en particulier des bélemnites et *Pseudopecten aequivalvis* (voir liste complémentaire dans Haug, 1888, p. 32).

L'**épaisseur** du Calcaire de Kirrwiller est faible (0,20 m à Mertzwiller, Van Werveke, 1898b). La couche de marne qui termine le Pliensbachien n'est guère plus épaisse, 0,21 m à Mertzwiller où elle contient aussi de nombreuses bélemnites. Dans la ravine (Silzklamm) de la forêt d'Uhrwiller (Lepsius, 1875) où elles n'affleurent plus, les Couches à Spinatum, épaisses de 1,5 m, sont constituées de plusieurs bancs calcaires séparés par des intercalations argileuses. Elles renferment de la pyrite et une faune variée, comprenant de nombreux bivalves et quelques brachiopodes. À coté de *Pleuroceras spinatum*, Lepsius signale une forme probablement évoluée (« *in seinen extremen varietäten* ») d'*Amaltheus margaritatus*. L'épaisseur du Calcaire de Kirrwiller est de 0,40 m au sommet de l'argilière de Lixhausen (feuille de Bouxwiller, près de l'angle SW de la carte) où il est bioturbé et contient quelques moules de tiges de végétaux et des passées riches en entroques. Elle atteint 1 m au SW de Surbourg, dans le sondage 4-65 (PSAEM 1245), et 2 m à Schweighouse-sur-Moder, dans le sondage 7-68. Dans le forage 7-85 (ROH 1, Forêt de Haguenau), il n'est pas mentionné, mais la coupe indique la présence de « dolomie cristalline et de bioclastes » dans la partie supérieure du Pliensbachien et un « calcaire détritique beige » à la base du Toarcien.

Toarcien

Le Toarcien actuel regroupe 3 unités cartographiques distinguées sur les cartes à 1/25 000 de la Geologische Landesamstalt von Elsass-Lothringen, de haut en bas :

– l4*P* - les Couches à *Astarte voltzi*, (Formation de Printzheim), jadis rattachées à l'Aalénien (attribution conservée sur la 1ère édition du 1/50 000 Haguenau), 28 à 33 m ;

– l4*S* - les Couches à Jurense ou Marnes de Schillersdorf, environ 4 m ; zones à Bifrons, Variabilis, Thouarcense et Dispansum ;

– l4*C* - les Couches à *Posidonomya bronni*, environ 9 m (partie sommitale probable du Toarcien inférieur, partie supérieure de la zone à Serpentinum).

La faible épaisseur des 2 formations inférieures nous a conduit à les regrouper sur la carte à 1/50 000, sous la notation l4*CS*.

La position stratigraphique de ces différentes formations est précisée selon les travaux de Schirardin (1938, 1960a) et replacée dans l'échelle stratigraphique adoptée actuellement par les instances internationales (fig. 10, 11, 12 et 13).

l4*CS*. **Formation de Schillersdorf (l4*S*) ou Couches à Jurense, Toarcien moyen à supérieur, marnes à intercalations riches en nodules calcaires et nodules phosphatés, épaisseur 4 à 5 m. Couches à *Dactyloceras commune*, Toarcien moyen, marnes, épaisseur 2 à 2,5 m. Marnes à posidonomyes (l4C), Toarcien inférieur, marnes feuilletées bitumineuses (Schistes carton) avec des lentilles de calcaire gréseux, épaisseur 6 m environ**. L'épaisseur de l'ensemble l4*CS* avoisine 9 m dans les coupes bien observées par L. Van Werveke (Mertzwiller, 1897, 1898b et au SW de Soultz, sondage carotté 4-65, PSAEM 1245). Les autres sondages pétroliers donnent des épaisseurs de 10 à 15 m qui seraient « exagérées », selon J. Schirardin (1938). Ces niveaux n'ont généralement pas été carottés dans ces sondages et la limite supérieure de l'ensemble l4*CS*, entre 2 séries de marnes grises, a peut être été placée de manière approximative.

Les **Marnes à Posidonomyes** (l4*C*) ; les marnes (ou, selon l'acceptation ancienne « schistes ») à posidonomyes consistent en une succession de marnes finement feuilletées (« papyracées »), bitumineuses, présentant le faciès des « Schistes cartons » de Lorraine. S'enrichissant en calcaire vers le haut, elles renferment *Steinmannia* (*Posidonomya*) *bronni* et plus fréquemment *Inoceramus dubius*. Un changement dans la faune d'ammonites, souvent écrasées, marque la base de la formation, avec l'apparition des genres *Harpoceras* dont *H. falcifer* en Lorraine (Hanzo, 1980), *Hildoceras*, *Pseudolioceras* et *Dactylioceras*. Les coupes classiques d'Uhrwiller (« Silzklamm », Lepsius, 1875) où elles sont manifestement remaniées au fond

du ruisseau et mélangées avec des éléments provenant des marnes aaléniennes, de Minversheim (Mieg, 1885) et Mertzwiller (Van Werveke, 1897 et 1898b) sont actuellement masquées par des limons soliflués ou des remblais.

Les marnes à posidonomyes étant altérées et rarement visibles, la formation s'identifie sur le terrain par la présence de dalles, plaquettes et fragments parallélépipédiques ou de nodules peu épais et allongés de calcaire gris sombre, souvent gréseux et parfois riches en écailles de poissons. À l'altération ces éléments calcaires prennent une teinte beige rosâtre, pouvant tirer sur le violet, à brun clair assez particulière et un cortex blanchâtre. La succession des couleurs, grise au centre, brun rosâtre puis blanchâtre à la périphérie donne souvent à ces éléments calcaires un aspect zoné en coupe. Autre marqueur de la formation, des plaquettes de calcite spathique bordées d'une mince couche de calcaire fin pourraient provenir de remplissages par de la calcite de vides ouverts entre deux strates par la fermentation de la matière organique. Toujours associées au Toarcien à Uhrwiller, ces plaquettes sont nettement incluses dans les Schistes cartons, sur le flanc nord de la ravine qui sépare le bois de Mietesheim du massif occidental de la forêt de Haguenau. La phase argileuse est constituée principalement d'illite acccompagnée de chlorite ou de kaolinite (Sittler, 1982).

Le profil observé par L. Van Werveke (1898b) à la gare de Mertzwiller sert de référence. J. Schirardin (1938) en donne une traduction, de haut en bas :

– un ensemble supérieur de 3,45 m où prédominent des marnes feuilletées, comprenant :
- 0,05 m plaquettes marno-calcaire, en partie desagrégées en rognons,
- 0,75 marnes feuilletées à *Inoceramus dubius*, peu bitumineuses,
- 0,05 plaquette marno-calcaire,
- 2,60 marnes feuilletées bitumineuses grises, riches en *Inoceramus dubius*.

– un ensemble inférieur (2,92 m), bitumineux, constitué de marnes finement feuilletées, avec des intercalations de minces bancs calcaires :
- 0,15 m banc de calcaire se délitant en plaquettes de 2 cm,
- 0,72 marnes feuilletées,
- 0,03 plaquette marno-calcaire, par endroits réduite en rognons,
- 0,94 marnes feuilletées, avec 3 lits de calcaire bitumineux gris bleuâtre, brun à l'air,
- 0,09 banc de calcaire bitumineux, se réduisant en rognons, restes de poissons ; *Leptolepis, Discina*, *Euomphalus minutus*,
- 0,05 marnes feuilletées,
- 0,09 calcaire bitumineux.

Faune et microflore. Des belemnites (*Dactylotheuthis acuarius*) accompagnent les inocérames et les posidonomyes, ici très rares. Toujours écrasées, les ammonites appartiennent aux espèces : *Pseudolyoceras lythense*,

Dactylioceras cf. commune, *Harpoceras falciferum* et *lytoceras cornucopiae*. Dans un puit, creusé en 1988, à Gundershoffen, Eulenberg, Henri Hoff (inédit) y a observé d'innombrables débris et restes d'insectes. Pauvre, la microfaune comprend des formes fréquentes dans le Toarcien lorrain (Rosenwiller, 1/50 000 Saverne, Ménillet, Vogt *et al.*, 1979). Mal conservée, la microflore comprend des pollens, des spores et des formes marines (acritarches, principalement, tasmanacées et dinokystes selon J.-P. Schmitt (1987) qul place le Toarcien inférieur de la région dans la même zone palynologique que le Pliensbachien (fig. 10).

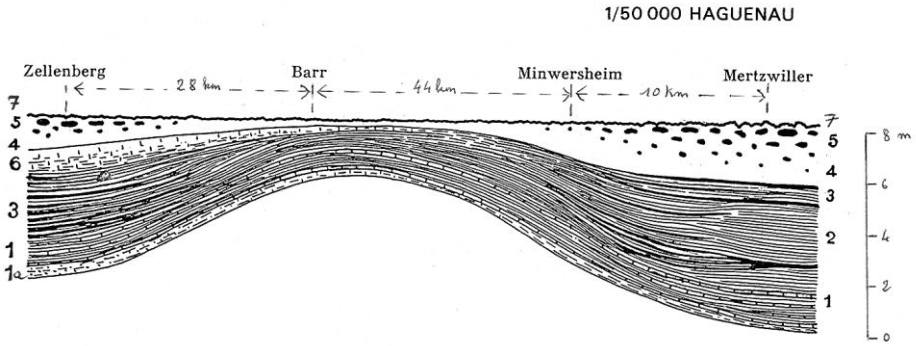
Couche à *Dactylioceras commune* (Toarcien moyen, Zone à Bifrons probable). Rattaché aux Couches à posidonomyes par L. Van Werveke (1898b), ce niveau épais de 2,50 m à Mertzwiller est décrit par J. Schirrardin (1938). Il débute avec des marnes feuilletées grises, plus foncées que les Marnes à posidonomyes et dépourvues de bitume, riches en *Inoceramus dubius* et individus écrasés de *Coeloceras sp*. Vers le haut, elles deviennent plus argileuses et se chargent en nodules calcaires de taille croissante, jusqu'à former un niveau de « miches » assez caractéristique et bien connu en Lorraine (Nancy, Metz). Localisée dans les marnes, la faune présente beaucoup d'affinités avec celle des Couches à posidonomyes, mais comprend en outre *Dactylioceras commune* et l'ammonite de zone *Hildoceras bifrons*. La couche à *Dactylioceras commune* se termine par une surface taraudée, perforée de trous de pholades. À Uhrwiller et Minversheim, elle présente les mêmes caractères, mais elle est peu fossilifère (Schirardin, 1938).

La **Formation de Schillersdorf** (l4S) d'âge Toarcien moyen à supérieur (Zones à Bifrons, Variabilis, Thouarsense et Dispansum) est également appelée Couches à Jurense (Van Werveke, 1898 a-b, Janensch, 1902).

Nous avons préféré le terme de Formation (ou Marnes) de Schillersdorf à celui de Couches à Jurense, car cette ammonite n'a pas conservé, de nos jours, une valeur biostratigraphique précise et le travail paléontologique de J. Schirardin (1938, 1960), le plus détaillé sur ces niveaux, la mentionne uniquement dans la partie supérieure de la formation, dans les sous-Zones à Fallaciosum et Insigne auxquelles W. Janensch (1902) a limité l'extension des Couches à Jurense.

Les Marnes de Schillersdorf ont été essentiellement identifiées par des fragments d'ammonites présentant souvent une patine blanche ; des harpoceratidés, en particulier des *Pseudogrammoceras* gr. *fallaciosum* dont certains sont usés et la plupart ont perdu leur arête dorsale. Des fragments de moules internes en calcaire gris, à lignes de sutures bien conservées, les accompagnent fréquemment. Observé dans une vingtaine de sites, il nous a servi de niveau repère. Il correspond probablement au niveau 15 de la coupe de J. Schirardin (1938, fig. 11) et à un banc calcaire à surface couverte de moules

S-SW N-NE



1) Marnes feuilletées et calcaires bitumineux; 1 a) Marnes et calcaires sableux, à *Harpoceras falciferum*. — 2) Schistes cartons, à *Harpoceras falciferum*. — 3) Marnes feuilletées et plaquettes calcaires, à *Harpoceras falciferum*. — 4) Marnes argileuses grises, à *Dactylioceras commune*. — 5. Marnes et nodules calcaires (miches), à *Dactylioceras commune*. — 6) Marnes à Bélemnites, à *Harpoceras falciferum*.

Fig. 10 - Couches à Posidonomyes (« Schistes cartons ») 1 à 3, Toarcien inférieur et Couches à Dactylioceras commune 4 et 5, Toarcien moyen, partie inférieure. Coupe schématique, la surface d'émersion 7 étant rabattue à l'horizontal d'après J. Schirardin (1938)

de *Pseudogrammoceras* gr. *fallaciosum* que nous avons observé en place, isolé dans des marnes altérées, dans la tranchée de l'autoroute A4 à Rosenwiller sur la feuille de Saverne (*cf.* Ménillet, Vogt *et al.*, 1979). Il pourrait s'agir d'une thanatocénose.
Des nodules phosphatés bruns (terre de Sienne brûlée) à nids d'oolites beige clair, puis des nodules gris clairs lumachelliques à *Pleydellia cf. subcompta* (Uhrwiller) constituent les indices les plus élevés de la Formation de Schillersdorf, dans les labours.

Nous reprendrons l'essentiel de la description de la coupe de référence de **Mertzwiller** (fig. 11). Au-dessus de la surface taraudée (fig. 10, couche 5), les Marnes de Schillersdorf débutent par une assise ferrugineuse à nombreux fragments de nodules et de miches remaniés des Couches à *Dactylioceras commune*. Ensuite, une couche de marne grise à gris jaunâtre à nombreux petites concrétions de calcaire phosphaté présente à sa base un lit de petits galets de phosphorite à nombreux fragments de l'ammonite *Hildoceras bifrons*. Bien que ces ammonites soient remaniées, J. Schirardin (1938) rattache encore ce niveau à la zone à Bifrons sur un argument de corrélation avec des assises comparables en Lorraine.

Au-dessus, J. Schirardin (1938) attribue à la Zone à *Haugia variabilis* les niveaux de la coupe de Mertzwiller correspondant aux couches 4 et 5 de la fig. 11, qui présentent un changement complet de faune. Les marnes grises du niveau 4, à petites concrétions phosphatées où sont fossilisées les ammonites *Haugia illustris*, *Denckmannia erbaense*, *Harpoceras bicarinatum* et *grammoceras muelleri*, espèces classiques de la zone à *Haugia variabilis*. Celles du niveau 5, à ammonites pyriteuses, plus ou moins oxydées : *Harpoceras bicarinatum*, *Cotteswoldia frequens*, *C. Praecostulata*, *Lioceras seidlitzi*, *Pseudolioceras ramosum* présentent déjà des analogies avec celle de la Zone à Thouarsense.

Avec la couche suivante (7), des argiles feuilletées gris noirâtre à fossiles écrasés, apparaît la « faune pigmée » à *Amberleya* (*Trochus*) *subduplicatus*, mais sans *Astarte voltzi*, qui constituera un faciès récurrent jusqu'au sommet du Toarcien. L'accompagnent des ammonites des genres *Pseudolioceras* et *Harpoceras*. Les argiles et marnes feuilletées surincombantes (8), à concrétions et ammonites pyriteuses ont livré *Pseudolioceras dumortieri* et *Costeswoldia praecostulata*. Plus rares, ces ammonites se retrouvent dans la couche (9), pétrie de petites concrétions phosphatées. Ces niveaux appartiennent probablement à la zone à Thouarsense dont la partie inférieure a été observée à l'Ouest de Morsbronn par Henri Hoff (inédit) avec les ammonites suivantes (déterminations J. Gabilly) : *Pseudogrammoceras bingmani*, caractérisant la première sous-zone de Thouarsense, *P. cf. muelleri*, *P. cf. doerntense*, *P. quadrata*, *Denkmannia cf. obliquata* et une forme pathologique du genre *Monesteria*.

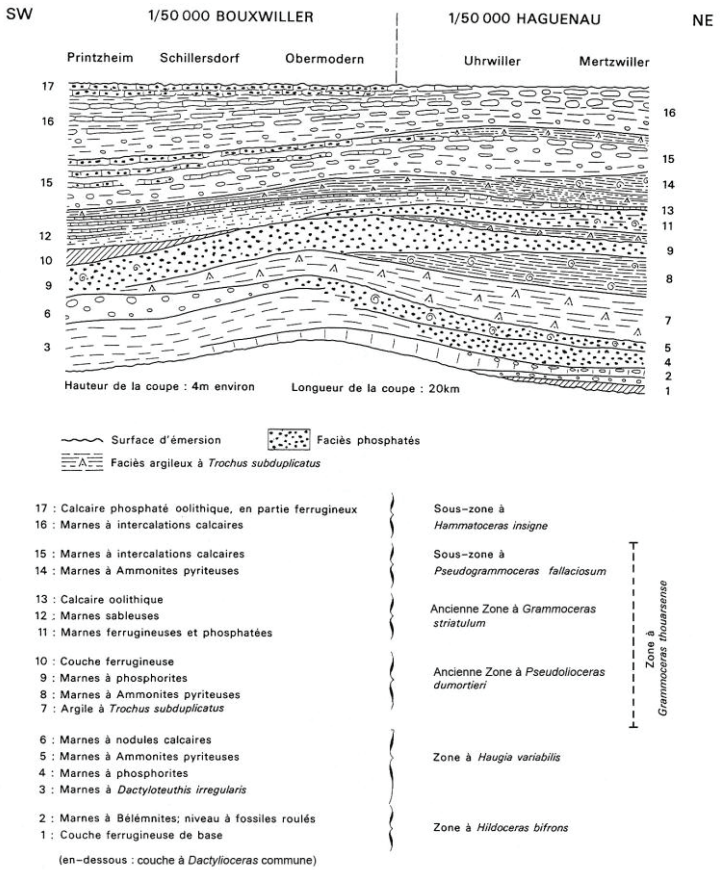


Fig. 11 - Coupe de la partie médiane du Toarcien dans le Nord du champ de fractures de Saverne (schémas de J. Schirardin, 1938, regroupés)

La formation continue avec un lit d'argile noirâtre ferrugineuse (10) à *Amberleya* (*Trochus*) *subduplicatus*, surmonté par des marnes à concrétions phosphatées (11) à *Grammoceras doerntense*, à Uhrwiller, couronnées par un mince niveau de calcaire oolitique (13) à *Grammoceras thouarsense*, *G. penestriatulum*, *G. striatulum* et *Lytoceras jurense*. Ensuite, la succession devient plus uniforme dans le secteur avec une récurrence du faciès à *Trochus subduplicatus* (14), puis une marne (15) à nodules et lentilles de calcaire gris à *Pseudogrammoceras fallaciosum*, *P. subfallaciosum*, P*hymatoceras ogerieni*, *Lytoceras sigaleon*, *Lytoceras jurense*. Les Marnes de Schillersdorf se terminent par un second niveau de marnes à nodules et lentilles calcaires, plus nombreux, contenant l'ammonite de zone *Phlyseogrammoceras dispansum* et celle de sa sous-zone inférieure : *Hammatoceras insigne*. En palynologie, le Toarcien moyen local est marqué par l'apparition de de très nombreuses espèces de dinokystes (Schmitt, 1987) dont une bonne partie disparaissent à la fin de l'Aalénien inférieur.

Dans les 4 m de marnes feuilletées d'une coupe temporaire à Gumbrechtshoffen, Hof (1993) identifie *Phlyseogrammoceras dispansum* et *Dumorteria levesquei*.

Parmi les sondages pétroliers, les Couches à Jurense sont distinguées uniquement dans le sondage 4-65 (PSAEM 1245), au SW de Surbourg, avec une épaisseur de 5,3 m, confirmant leur faible épaississement vers le NE. La coupe du forage 7-68, à Schweighouse-sur-Moder, représente seulement un banc de calcaire argileux de 1 m d'épaisseur environ, entre les Schistes cartons et la série marneuse du Toarcien supérieur.

Outre les ammonites et les mollusques, les Marnes de Schillersdorf contiennent des Belemnites (espèces indiquées par niveaux *in* Schirardin, 1938), des Serpules et des Pentacrines. Parmi les mollusques, la faune pigmée à *Trochus subduplicatus* comprend *Palaeonucula hammeri* et *Leda rostralis*. Le sondage 7-85 (ROH 1, Forêt de Haguenau) mentionne la présence de foraminifères et de nombreux fossiles pyritisés.

l4*P*. **Formation de Printzheim ou Marnes à *Astarte voltzi* (Toarcien supérieur, épaisseur 28 à 33 m.), argiles silteuses calcaires et marnes silteuses, zones à *Pseudoradiosa et Aalensis***. Rattachées à l'Aalénien sur la 1ère édition de la carte, les Marnes de Printzheim affleurent assez largement dans un large 1/8 SW de la carte. Constituées d'argiles silteuses calcaires et de marnes silteuses (la fraction silteuse sera sous entendue dans les descriptions détaillées, reprises de la littérature), elles contiennent un peu de pyrite, oxydée dans les zones d'affleurement avec formation, à l'altération, d'oxydes de fer et de petits cristaux de gypse. Elles n'offrent guère de coupes. Les fronts de taille de la carrière qui les exploitait à Printzheim (1/50 000 Bouxwiller), il y a une quarantaine d'années, sont

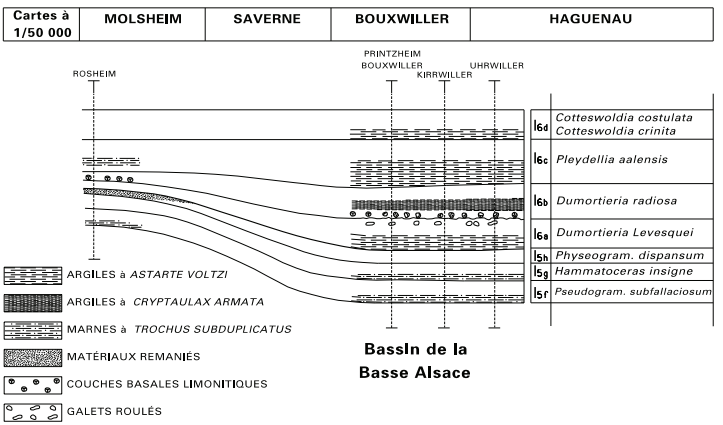


Fig. 12 - Coupe schématique des formations du Toarcien supérieur du Seuil d'Alsace moyenne au bassin de Basse Alsace (d'après J. Schirardin 1960)

aujourd'hui très dégradés ; leur description fera donc appel aux données de la littérature, en particulier à J. Schirardin (1960).

La Formation de Printzheim est classiquement caractérisée par une abondance de **petits mollusques**. Apparentées à la « faune pygmée » à *Trochus* (*Amberleya*) *subduplicatus* des Marnes de Schillersdorf, les petites faunes des argiles et marnes de Printzheim appartiennent, selon J. Schirardin (1960), à 2 types différents : la faune à *Astarte voltzi* et celle à *Cryptaulax* (*Cerithium*) *armatum*. En surface, la faune pygmée est rarement conservée. Les Marnes de Printzheim peuvent contenir des *septaria*, de la taille du poing, concrétions calcaires cloisonnées par des veines de calcite spathique, élément de confusion possible avec les marnes à *septaria* du Domérien. La succession ci-dessous a été établie par J. Schirardin (1960) sur une série d'affleurements allant de Prinzheim (feuille de Bouxwiller) à Langensoultzbach (feuille de Lembach) en passant par Uhrwiller, Kindwiller et Mertzwiller. Il l'attribuait à L'Aalénien inférieur. La **phase argileuse** est constituée de kaolinite, d'illite, d'interstratifiés et de chlorite dégradée (Sittler, 1982).

La première séquence (S1) débute avec des argiles gris noirâtres, très finement sableuses et feuilletées, (fig. 12), avec la faune à *Astarte voltzi*, comprenant *Paleonucula hammeri*, *Leda rostralis*, *L. claviformis*, *Eucyclus subangulatus*, *E. subangulatus* et *Thecocyathus mactra*. Suit une argile calcaire gris foncé à nodules de calcaire argileux compact gris assez foncé avec l'ammonite *Dumortieria Levesquei* (sous-Zone inférieure de la Zone à Pseudoradiosa) et d'autres du même genre, accompagnées de *Amberleya* (*Trochus*) *subduplicatus* et *Paleonucula hammeri*. La séquence se termine par une marne assez argileuse grise et gris jaunâtre à traînées d'oxydes de fer, passées de calcaire argileux gris jaune à nids, irrégulièrement répartis, de petites oolites ferrugineuses. Au sommet, des galets roulés, couverts d'un enduit ferrugineux jaune brunâtre soulignent une probable surface d'érosion.

La seconde séquence (S2) commence avec une argile grise et gris jaune tachetée de jaune brunâtre, assez grumeleuse et à stratification peu nette, à nombreuses particules ferrugineuses et ovoïdes ferrugineux roulés et fortement usés. Parmi les rares fossiles citons *Dumortieria radiosa*. La série continue avec une argile calcaire noirâtre, finement stratifiée, à lentilles de débris coquilliers appartenant à la faune pigmée à *Cryptaulax* (*Cerithium*) *armatum* et *Leda rostralis*, *L. claviformis*, *Alaria subpunctata*, *Dentalium elongatum*, *Variamussum pumilum*, *Thecocyathus mactra* et rares ammonites dont *Dumortieria radiosa*. La séquence s'achève avec une marne assez argileuse, feuilletée, à rares petits nodules calcaires et amas de débris coquilliers, faune d'ammonites assez riche avec l'ammonite de Zone *Dumortieria pseudoradiosa* et d'autres du même genre et des bélemnites.

La troisième séquence (S3) repart avec une argile gris foncé à noirâtre feuilletée, contenant la faune à *Astarte voltzi* et *Paleonucula hammeri*, *Leda rostralis*, *L. claviformis*, *Nucula hammeri*, et *Posidonomya opalina*. La terminent des marnes gris foncé, à taches argileuses, nodules de calcaire argileux gris, lumachelles d'ammonites et amas de débris coquilliers à ciment calcaire. Dans les nodules calcaires, les lumachelles et les moules appartiennent aux genres *Dumortieria* et *Pleydellia* dont l'ammonite de zone *P. aalensis*.

J. Schirardin termine la Formation de Printzheim par une couche de marnes assez argileuses, gris foncé, feuilletées à petits nodules de calcaire argileux, débris coquillier et lumachelles d'ammonites, comprenant *Pleydellia mactra*, *Cotteswoldia costulata*, *C. crinita*, *C. egena*.

La partie inférieure de la **ravine de Gundershoffen** ayant livré à N. Schneider (1927) *Dumortieria levesquei*, *D. pseudoradiosa* et *Cotteswoldia costulata* appartiendrait aux Marnes de Printzheim. Elle renferme aussi *Scaphotrigonia navis*.

Aalénien à Toarcien supérieur

Au sens actuel, l'Aalénien du Nord de l'Alsace comprend, de haut en bas :

– les argiles sableuses de la Zone à *Ludwigella concava* que nous avons regroupées avec les Marnes et calcaires d'Ettendorf, sous la notation j1-2*M* ;

– j1*S*, Marnes et silts de Schalkendorf ou Couches à Murchisonae, 28 à 33 m ;

– j1*G*, Marnes de Gundershoffen ou Couches à Opalinum ou Couches à *Trigonia navis*, 40 m environ.

Ces couches affleurent dans la ravine de Gundershoffen, connue dès le milieu du XVIIIe siècle (Walsch, 1755) et célèbre pour avoir fourni des ammonites du Toarcien supérieur et de l'Aalénien dans de nombreux musées du monde. Aujourd'hui, les affleurements sont très réduits. Déjà, pour effectuer son travail N. Schneider (1927) a été obligé de recourrir à quelques travaux de terrassement et, surexploité, le fameux niveau fossilifère, l'« *Opalinen-Ton-knolen-Schicht* » ne lui a guère fourni d'ammonites. Pour les Marnes de Gundershoffen, cette coupe pose encore beaucoup de problèmes. La révisant pour résoudre l'apparent mélange de faune dans les Ton-knolen, selon la liste de Lepsius (1875), N. Schneider voit *Pleydellia aalensis* cotoyer *Leioceras opalinum* sur toute la hauteur des Marnes de Gundershoffen et monter jusqu'aux Marnes de Schalkendorf, laissant poindre un problème de détermination. Polymorphisme, variétés, sous-espèces etc, les ammonites du Toarcien supérieur et de l'Aalénien ne peuvent être étudiées que par des spécialistes de ces groupes.

l4-*j*1. **Toarcien supérieur et Aalénien indifférenciés**. La partie supérieure du Toarcien et l'Aalénien forment ici un ensemble d'une centaine de mètres d'épaisseur qu'il est souvent difficile de subdiviser, par manque de niveaux

repères. À Schweighouse-sur-Moder, l'épaisseur de cette série marneuse atteint 124 m. En Baden-Württemberg, les marnes équivalentes de celles de Printzheim et de Gundershoffen constituent l'Opalinuston-Formation.

l4-j2. **Toarcien supérieur à Bajocien inférieur indifférenciés**. En l'absence de marqueurs identifiables sur le terrain, nous avons parfois regroupé cet ensemble monotone de marnes. Tronqué par une érosion croissante vers le Nord ; épaisseur maximale sur la bordure méridionale de la carte, 200 m environ.

j1*G*. **Formation de Gundershoffen ou Couches à *Trigonia navis*, marnes et argiles calcaires et silteuses (Aalénien, épaisseur 40 m environ)**. Dans l'ensemble, les « Marnes » de Gundershoffen ou Couches à *Trigonia* (*Scaphotrigonia*) *navis* ou encore Couches à Opalinum sont plus riches en argiles dans leur partie inférieure et moyenne, plus silteuses, avec quelques intercalations silto-sableuses dans leur tiers supérieur. Elles contiennent un peu de pyrite, donnant par altération des oxydes de fer et de petits cristaux de gypse. Les paillettes de muscovite, très fines dans les parties inférieure et moyenne, deviennent plus abondantes et plus grandes dans les passées silto-sableuses de la partie supérieure. La formation présente des niveaux à nodules et lentilles calcaires. Dans la ravine de Gundershoffen leur limite supérieure est placée au sommet des 3 bancs calcaires traversés en cascade, il y a quelques années, par le ruisseau. Au Nord de la forêt de Haguenau, dans le sondage 7-85 (Rohrbach 1) un banc calcaire, épais de 1 m pourrait correspondre aux bancs de la cascade. Dans cette interprétation, les Marnes de Gundershoffen auraient une épaisseur de 38,5m dans ce sondage. La coupe du sondage voisin 7-121 (4761) et le forage profond de Bertsheim (6-22, 4687) leur attribue une puissance de 40m. Celle de 56,5 m donnée par le sondage 4-65 (1245, SW de Soultz-sous-Forêt) nous semble excessive, mais nous ne disposons pas d'une coupe lithologique détaillée pour la contrôler. La phase argileuse comprend de la kaolinite, de l'illite, des interstratifiés et de la chlorite dégradée (Sittler, 1982).

En biostratigraphie, la Formation de Gundershoffen appartient à la Zone à Opalinum, *Lioceras opalinum* ayant été récoltée sur toute sa hauteur. *Lytoceras torulosum* est plus rare. Elle renferme diverses bélemnites et des trigonies dont *Scaphotrigonia navis*, fréquente mais présentant une distribution plus large, N. Schneider (1927) l'ayant observé dans les Marnes de Printzheim.

j1*S*. **Formation de Schalkendorf ou Couches à Murchisonae, silts argileux et calcaires à passées sableuses (Aalénien, épaisseur 28 à 33 m)**. Souvent désignées comme une formation gréseuse (Grès de Schalkendorf), les Couches à Murchisonae sont principalement constituées de silts plus ou moins argileux et calcaires, avec quelques passées à fraction sableuse notable. Ia fraction argileuse diminue sensiblement vers le haut, bien que des passées assez argileuses existent encore dans la partie supérieure de la

formation. Gris sombre, très micacés et pyriteux, ces silts sont parfois cimentés par du calcaire. Oxydés à l'affleurement, jusqu'à une profondeur variable, mais pouvant atteindre et dépasser 10 m, leur aspect peut rappeler certains lœss anciens altérés. Ils en diffèrent par des teintes plus jaunes ou plus ocre et leur richesse en paillettes de muscovite dont la taille peut atteindre et dépasser le millimètre. Leur décalcification est généralement beaucoup moins profonde que leur oxydation.

Armées de passées silto-gréseuses, souvent ferrugineuses dans les faciès altérés, les Couches de Schalkendorf affleurent souvent en cuesta, notamment à Minversheim, Ettendorf, Grassendorf, Kindwiller et Engwiller. Bien qu'elle n'offre actuellement aucune coupe, la Formation de Schalkendorf s'identifie facilement en surface, par l'abondance des fragments de siltites ocre, rouille ou noirâtres, plus ou moins ferrugineuses. La fraction sableuse (quartz) varie de 3 à 25 %, avec une large prédominance de la fraction < 160 µm. La fraction sableuse moyenne à grossière comprend essentiellement de menus débris de siltites et grès ferrugineux ; parfois des grains de quartz. La teneur en carbonate de calcium varie de 2 à 15 %. Outre l'ammonite de zone ***Ludwigia murchisonae***, la formation renferme souvent *Pecten pumilus*. Sur la feuille de Bouxwiller, elle a livré une microflore de pollens et spores assez riche (Ménillet, Vogt, Adloff *et al.*, 1979).

À Hochstett, dans le sondage 6-88 (PSAEM 4548), N. Théobald (1953) a découvert une nouvelle espèce de crustacé décapode : *Pseudoglyphea straeleni*.

Dans la partie médiane de la Formation de Schalkendorf, la coupe du sondage Ohlungen 1 (6-98) mentionne quelques figures sédimentaires : litages ondulés (« rides de courants »), *flaser bedding, slumping*, petits chenaux érosifs, terriers possibles.

Aalénien terminal à Bajocien

À cet ensemble sont attribuées 2 séquences évoluant des argiles et marnes (dépôt de bassin) jusqu'à la plate-forme carbonatée, épisodique à la fin de la première séquence, au Bajocien moyen (Calcaires d'Ettendorf), bien établie dans la seconde au Bajocien supérieur (Grande Oolithe). S. Gillet (1937) a revu la biostratigraphie du Bajocien d'Alsace d'après l'ancienne collection de l'Institut de géologie de Strasbourg et la collection Mieg, récoltée principalement à Minversheim et conservée au musée d'histoire naturelle de Bâle (fig. 14).

Classiquement (Van Werveke 1897, Gillet, 1937, fig. 14), la partie inférieure et moyenne du Bajocien, à prédominance de marnes, comprend 5 formations ; de haut en bas :

– Marnes et calcaires de Griesbach ;

– Marnes de Grassendorf ;

– Calcaire d'Ettendorf ;

– Calcaire de Mietesheim ;

– Marnes et calcaires d'Ettendorf.

Le suivi sur le terrain de la partie médiane carbonatée a permis la subdivision de cet ensemble en 3 unités cartographiques, tandis que 2 ont été distinguées dans le Bajocien supérieur à terminal.

j1-2*M*. **Marnes et calcaires d'Ettendorf ou Couches à Sowerbyi (Bajocien inférieur), épaisseur 14 à 17 m. Argiles sableuses de la zone à *Ludwigella concava* (Aalénien, épaisseur 2 à 5 m)**. La notation **j1-2*M*** regroupe les deux unités impossibles à distinguer cartographiquement (voir la rubrique « Bajocien »).

Découvertes par E. Haug (1885), suivies et décrites dans toute l'Alsace par J. Schirardin (1960b), **les assises de la Zone à *Ludwigella concava*** ne sont pas mentionnées dans les sondages pétroliers de la carte Haguenau où elles n'ont pas été distinguées des Marnes d'Ettendorf, à l'exception du sondage Haguenau I (7-33) (fig. 13). Elles diffèrent des Couches de Schalkendorf par leur grande pauvreté en muscovite. Dans ce sondage, J. Schirardin leur rattache 7 couches, d'une épaisseur cumulée de 5,30 m, appartenant à 2 séquences, la seconde débordant sur les Marnes d'Ettendorf ; de haut en bas, épaisseurs en mètres.

Séquence supérieure

Base des Marnes d'Ettendorf :

– 3,2 - Argile sableuse gris foncé, rares inclusions pyriteuses (Zone à *Hyperlioceras discites*) ;

Zone à Concava :

– 0,40 - marne sableuse grise, à taches de marno-calcaire gris bleuâtre ; fossiles très rares, *Nucula aalensis*, *Inoceramus polyplocus* ;

– 1,05 - argile sableuse assez calcaire, gris foncé, à *Posidonomya suessi*, *Variamussium pumilum* et *Modiola scalata* ;

– 1,55 - argile sableuse gris noirâtre ; inclusions de pyrite ;

– 0,25 - argile sableuse gris foncé à très rares concrétions de pyrite, tachetée à la base de nombreux granules et « tigelles » de grès gris clairs à grain fin ;

Séquence inférieure

– 0,75 - marne sableuse, assez argileuse, gris foncé, concrétions de pyrite ;

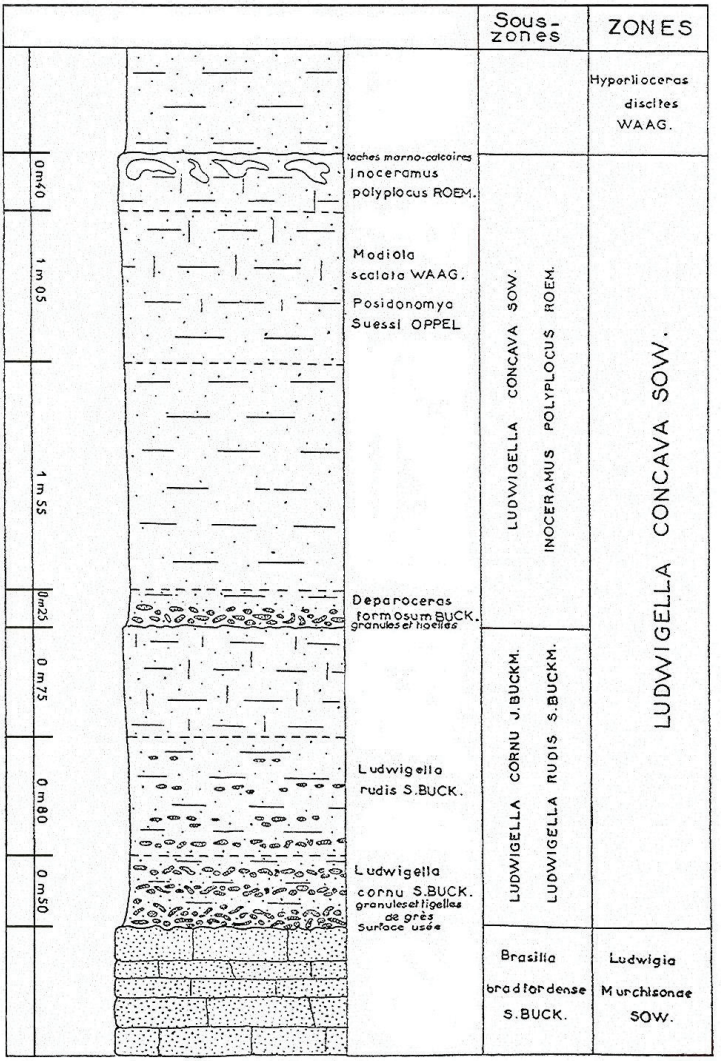
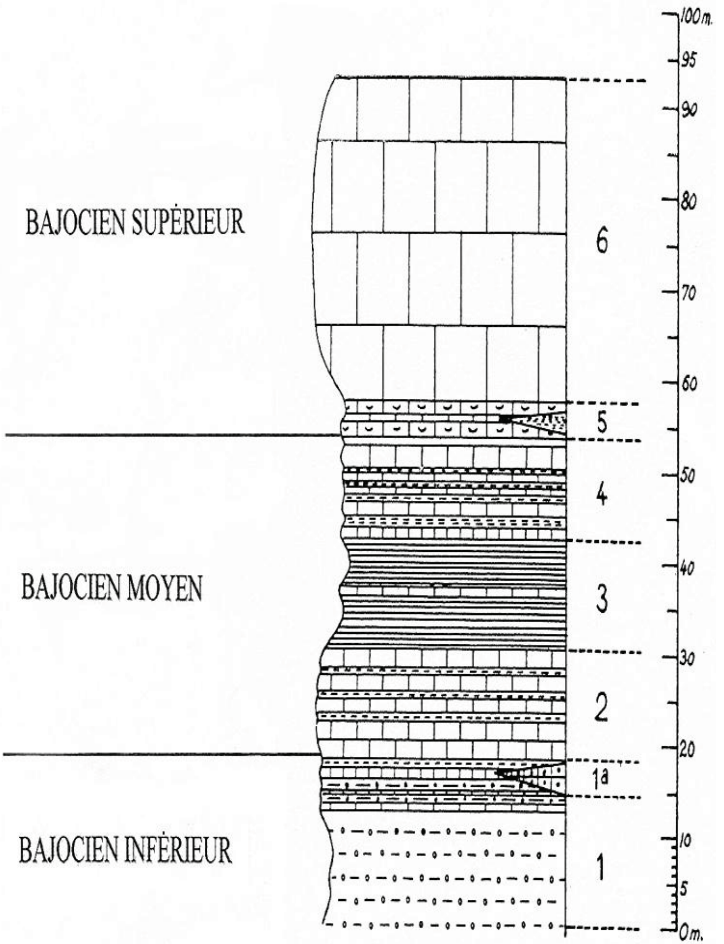


Fig. 13 - Coupe de la zone à *Ludwigella concava* (sow.), faciès argilo-arénacé, dans le sondage Haguenau 1 (01987X0033) (J. Schirardin,1960)



1 - Marnes et calcaires d'Ettendorf ; 1a - Calcaires de Mietesheim ;
2 - Calcaires d'Ettendorf (beaucoup moins épais en Alsace septentrionale) ;
3 - Marnes de Grassendorf ; 4 - Marnes et calcaires de Griesbach
5 - Marnes et lumachelles à *Ostrea acuminata* ; 6 - Grande Oolithe

Fig. 14 - Bajocien d'Alsace (d'après S. Gillet, 1937)

– 0,80 - argile sableuse assez calcaire, gris foncé, enrobant de nombreux granules et « tigelles » de sables fins ou grès gris clairs à grain fin ; rares inclusions de pyrite ; *Ludwigella rudis* ;

– 0,50 - argile sableuse gris foncé, à rares petites concrétions de pyrite, criblée de nombreux granules et « tigelles » de sables fins ou grès gris clairs à grain fin, surtout à la base où il y a formation de véritables passées argilo-gréseuses ; *Ludwigella cornu*.

Cette succession appartient au faciès « argilo-arénacé » de J. Schirardin (1960b), dépôts d'une cuvette qui était centrée sur le Nord du Pays de Bade. Autour, selon une auréole assez étroite et large d'une dizaine de kilomètre dans l'emprise de la feuille Haguenau, s'est formé le « faciès argilo-calcareo-ferrugineux ». 2 km au Nord de Mietesheim, les argiles sableuses et calcaires sont entrecoupées par des passées minces et un banc plus épais de calcaire argilo-gréseux gris à gris jaunâtre à très petites taches brunes « provenant d'oolites ferrugineuses altérées ». J. Schirardin a retrouvé ce calcaire à Uttenhoffen et à Minversheim où la base de la formation renferme des nodules phosphatés remaniés. À Schalkendorf et au Nord de Niedermodern, ces nodules brun sombre, très bioclastiques, contiennent de gros fragments de *Graphoceras cf. comosum* (cotes très coudées, selon un angle de 120° environ), caractérisant la dernière sous-zone d'ammonites de l'Aalénien. Dans les labours, ils cotoyent des fragments de grès calcaires et de calcaires gréseux gris blanchâtres ou plus souvent oxydés, ocre sale ; des fragments calcaires à grain très fin, gris clairs, à veines ferrugineuses et d'autres plus foncés à nids de petites ooïdes inframillimétriques, blanchâtres ou oxydées qui pourraient bien être les oolites de J. Schirardin. Localement, ces faciès paraissent former des bancs durs, notamment au Nord de Morschwiller, sur la bordure orientale du bois de Ringeldorf et contribuent probablement à armer le sommet des cuestas formées par la Formation de Schalkendorf. La plupart de ces roches contiennent peu de muscovite, en très petites paillettes. Nous y avons cependant observé de rares délits psammitiques.

Si *Ludwigella concava* n'a pas été découverte sur la feuille, J. Schirardin a identifié des espèces compagnes, notamment *L. rudis* et *L. cornu* dans le sondage Haguenau I (7-33) et à Uttenhoffen. Les *Graphoceras* des nodules phosphatés montrent que la **zone sommitale de l'Aalénien** est bien représentée sur la feuille Haguenau.

La Formation des **Marnes et calcaires d'Ettendorf**, partie inférieure du Bajocien, est constituée de marnes silteuses gris foncé avec des passées un peu sableuses et quelques fines intercalations de calcaires argileux, notamment les Calcaires de Mietesheim que nous avons placé, pour des raisons pratiques, dans l'unité j2*E*. Dans le sondage 7-68 (Schweighouse), 2 passées de calcaire gréseux s'intercalent 13 et 16 m au-dessus de la base de la formation. Ils pourraient correspondre au *Blaukalk* des *Wedelsandstein* du Baden-Württemberg (*cf.*

Théobald, 1954 ; Geyer *et al.*, 2011, *fig. 91*). Les Marnes et calcaires d'Ettendorf contiennent un peu de muscovite et en sondage, dans les faciès non oxydés, de la pyrite. Les niveaux calcaires peuvent être bioclastiques contenant parfois des oolites ferrugineuses ; la faune comprend *Pecten pumilus*, des astartes, rhynconelles et *Gonomya sp.*, ainsi que des figures en gerbes : *Cancellophycus* (*Zoophycus*) *scoparius*. Citons la récolte de l'ammonite *Sonninia sowerbyi* « sur les hauteurs de Mietesheim » (Lepsius, 1975) ; selon S. Gillet (1937), cette ammonite se répartirait depuis la Zone à Concava jusqu'à un niveau élevé de la Zone à Laeviuscula.

S. Gillet (1937) attribue les Marnes et calcaires d'Ettendorf à la zone à *Witchellia laeviuscula*. L'appartenance de leur partie inférieure à la Zone à Discites est mentionnée dans la littérature, mais nous n'avons aucune indication de récolte de cette ammonite sur le territoire couvert par la carte.

L'épaisseur des Marnes et calcaires d'Ettendorf dans les sondages pétroliers varie d'une quinzaine à une trentaine de mètres, mais dans la plupart d'entre-eux, les assises de la Zone à Concava sont incluses dans la formation. Il est probable que les niveaux à nodules phosphatés signalés, sans position précise, dans la littérature appartiennent à cette dernière zone. Dans le sondage Haguenau I (7-33) où la zone à Concava est individualisée, les Marnes et calcaires d'Ettendorf ont une épaisseur de 19 m.

La formation se charge en bancs calcaires vers le haut : calcaires gris, finement grenus, ocre à l'altération, devenant plus fossilifères en montant la série, avec en particulier des sections « spathiques » d'entroques. Dans le secteur d'Ohlungen, la coupe synthétique de Schnaebelé (1948) décrit ces niveaux comme une alternance de marnes gris foncé et de calcaire gréseux.

j2*E.* **Calcaires médians du Bajocien inférieur, épaisseur 1 à 10 m, dont les Calcaires d'Ettendorf, bioclastiques à petites gravelles ferrugineuses et les Calcaires de Mietesheim**. À Mietesheim quelques bancs calcaires ont été jadis exploités et désignés comme « Calcaires de Mietesheim » ; ils ont livré *Lingula beani*, *Trigonia signata* et les ammonites *Witchellia laeviuscula*, *Otoites* (*Stephanoceras*) *sauzei*, *Sonninia mesacantha* et *Emileia polyschides*. Ne dépassant guère 3 m, ces calcaires sont signalés aussi sur les hauteurs de Griesbach (Haug, 1885, qui donne une longue liste de leur faune). Ils pourraient correspondre au *Blaukalk* ou au *Demissumbänke* du Baden-Württemberg (*cf.* Geyer *et al.*, 2011, *fig. 91 et 92*). Dans le sondage Haguenau I (7-33), ces calcaires, épais de 1,5 m, sont surmontés par 2,5 à 3 m de marnes.

Directement au-dessus des Calcaires de Mietesheim ou sur les minces couches de marnes qui les surmontent, des bancs de calcaire gris, ocre à bruns à l'altération, présentent un faciès finement bioclastique et souvent de petites

gravelles ocre, mentionnées dans la littérature comme oolites ferrugineuses, interprétation infirmée par leur examen au microscope. Appelés **Calcaires d'Ettendorf**, ces bancs forment un niveau repère que nous avons pu suivre dans les champs de Minversheim jusqu'à l'Ouest d'Huttendorf, d'Ettendorf à Pfaffenhoffen, à Mietesheim, Bitschhoffen et Morschwiller.

Faune : les Calcaires d'Ettendorf sont souvent fossilifères. E. Haug (1885, 1888) donne la liste de ses récoltes et de celles de ses contemporains, notamment les ammonites de 2 zones successives du Bajocien moyen : *Sonninia propinquans* et *Stephanoceras humphriesianum*. Il s'agit donc d'un niveau de condensation. Citons encore *Emileia polyschides*, des belemnites, *Lima* (*Ctenostreon*) *pectiniformis*, *Ostrea flabelloïdes*, *Modiola gigantea*, *Pholadomya reticulata*, *Pecten* (*Entilion*) *disciformis* et des radioles de l'oursin *Rhabdocidaris horrida*. La surface supérieure de certains bancs présente des figures de type *Cancellophycus* (*Zoophycus*) *scoparius* dont la forme a inspiré le nom des *Wedelsandstein* du Baden-Württemberg. Comme le note N. Théobald (1954), la distribution de *C. Scoparius* dépasse largement le Calcaire d'Ettendorf, en particulier vers le bas. À Ettendorf, nous avons recueilli un fragment de tige végétale (diamètre 1 cm) à nervures parallèles. Les Calcaires d'Ettendorf peuvent présenter des intercalations argileuses, renfermant une riche faune de foraminifères (Deecke, 1884).

L'épaisseur des Calcaires d'Ettendorf apparaît assez variable. Ainsi dans le sondage Ohlungen I (6-98), la partie médiane carbonatée du Bajocien inférieur comprend 11 m de calcaires gris, sableux, argileux et pyriteux, surmontés par 3 m d'alternance de couches de marnes et de bancs calcaires. La coupe n'est pas assez détaillée pour déterminer si l'ensemble doit être rattaché aux Calcaires d'Ettendorf ou seulement sa partie supérieure, la partie inférieure pouvant appartenir, dans cette hypothèse, au Calcaire de Mietesheim. À Schweighouse (sondage 7-68) l'épaisseur se réduit de moitié ; le facies y est franchement bioclastique et plus au SE, la coupe du sondage Haguenau I (7-33) attribue seulement une épaisseur de 1,50 m aux Calcaires d'Ettendorf. Suivis à la surface des champs, selon l'abondance de leurs débris, la largeur de leur zone d'affleurement est vraisemblablement exagérée sur la carte.

j2*G*. **Calcaires et marnes de Griesbach ou Couches à Blagdeni. Marnes de Grassendorf. Bajocien inférieur, épaisseur 25 à plus de 30 m**. Constituant la moitié inférieure de l'ensemble j2*G*, les Marnes de Grassendorf s'identifient par la fréquence de la grosse belemnite *Megateuthis giganteus*. Assez argileuses, silteuses, de teinte gris bleu foncé, finement micacées et pyriteuses, elles renferment quelques nodules calcaires. Au-dessus, les Marnes de Griesbach ou Marnes à *Teloceras blagdeni* s'en distinguent par une plus grande abondance de calcaire argileux en bancs peu épais, essentiellement localisés dans son tiers supérieur, ou en nodules, parfois jointifs. À l'affleurement, la présence de nodules gris très clair est un bon indice de la

formation. Dans le sondage pétrolier Ohlungen I, 6-98, les coupes ne mentionnent pas de franches intercalations calcaires. Carottés, les 7 m supérieurs de la formation présentent une dizaine d'intercalations calcareuses, sableuses et fossilifères. épaisses de 5 à 15 cm, irrégulièrement réparties ; les deux plus élevées atteignant 30 cm. Dans les sondages Haguenau I (7-33) et Schweighouse 1 (7-68), les niveaux calcaires, argileux ou sableux, peuvent atteindre ou dépasser le mètre. *Teloceras blagdeni* et de nombreuses térébratules ont été récoltées à Minversheim (Haug, 1885). Selon S. Gillet (1937), cette ammonite ne serait pas exclusive de l'unité j2*G* et monterait même, selon E. Haug (1885), jusqu'à la base de la Grande Oolithe. À Ettendorf, les pierres des labours indiquent un passage progressif probable au Calcaire à Acuminata, le calcaire gris clair (type Griesbach) se chargeant peu à peu en coquilles et débris d'*Ostrea acuminata*.

j2*A*. **Marnes et calcaires à *Ostrea acuminata* (Bajocien inférieur terminal à Bajocien supérieur), marnes puis calcaires à lumachelles d'huîtres, épaisseur 2 à 6 m**. Lumachelle de petites huîtres dans une marne puis dans un calcaire bioclastique à petites oolites, les **Couches à Acuminata** affleurent à Ettendorf, Pfaffenhoffen, Mietesheim. Généralement faible, 2 à 3 m, en particulier pour les faciès marneux, leur épaisseur atteint 8 m à Batzendorf (Sondage 6-66 = PSAEM 3796), où les deux faciès sont superposés, et seulement 1 m à Minversheim où elles passent progressivement à la Grande Oolithe et renferment *Stenoceras subfurcatum* (Gillet, 1937), accompagnée de *Garantiana garanti* (Schlippe, 1888).

j2*O*. **Grande Oolithe, Bajocien supérieur ; calcaires oolitiques, épaisseur maximum 30 m**. Au-dessus, le faciès typique de la Grande Oolithe est constitué de gros bancs de calcaire à oolites contigues (packstone), avec quelques bioclastes, irrégulièrement répartis. La teinte est grise en sondage, beige jaunâtre à l'affleurement (oxydation d'une faible fraction pyriteuse). C'est un dépôt typique de plate-forme carbonatée. Dans les sondages pétroliers du secteur Ohlungen – Haguenau, ces calcaires sont souvent argileux, gris, verdâtres à noirâtres, à oolites moins nombreuses (wackstone), friables, avec des parties plus consolidées. Ces faciès argileux, faiblement silteux et parfois pyriteux, annoncent la limite orientale de la plate-forme carbonatée ; dans les sondages du secteur de Soufflenheim (Carte à 1/50 000 Seltz-Wissembourg), la Grande oolithe n'existe plus, à la suite d'un rapide passage latéral au faciès marneux souabe, déposé en eau plus profonde. Selon S. Gillet (1937), la formation n'est vraiment fossilifère que dans sa partie supérieure. L'ancienne carrière de Minversheim a livré les ammonites de zones *Garantia garantiana* à la base de la formation et *Parkinsonia parkinsoni*, dans sa partie supérieure.

Dans les rares sondages où elle n'a pas été tronquée par l'érosion, à Batzendorf, l'épaisseur de la Grande Oolithe oscille de 28 à 30 m (sondages

6-66 et 6-67). La formation s'amincit vers l'Est : 17 m dans le sondage 6-25 à Harthouse ; 10 m dans le sondage 7-32, au SW d'Haguenau.

Bathonien

j3. **Marnes et calcaires à *Rhynchonella alemanica* (17 m). Marnes et calcaires marneux à *Parkinsonia ferruginea*, épaisseur (19 m)**. Bien connues à Bouxwiller (Gillet, 1927), les assises du Bathonien n'affleurent qu'à l'Est de Mietesheim (Lepsius, 1875 ; Schlippe, 1888), Minversheim (Mieg, 1885) et ponctuellement au Nord de Ringeldorf (Haug 1885 et 1888). De Batzendorf à Haguenau, 4 sondages les ont recoupées dont Haguenau 2 (7-32) qui en donne la coupe la plus complète.

La série y débute avec 19 m de marnes grises à passées de calcaire. Leur faune comprend des huîtres, des rhynconelles, des algues et des lamellibranches. Avec *Parkinsonia ferruginea* et *P. wurttembergica* (Zone à Zigzag) et *Spheroceras subcontractum*, recueillies à Mietesheim, ces couches correspondent aux Marnes et calcaires d'Imbsheim (feuille à 1/50 000 Bouxwiller) qui regroupent les Couches à *Terebratula globata* et celles à *Waldhemia Ornithocephala* (« Cornbrash » d'Emile Haug).

Le Bathonien conservé se termine avec 17 m de marnes grises à gris foncé micacées, équivalent probable des marnes de Bouxwiller à *Rhynchonella alemanica* (= *Rhynconella varians*).

Vraisemblablement érodées pendant la longue période d'émersion du Jurassique terminal au Paléocène, les assises du Jurassique supérieur manquent.

Cénozoïque

Dans son acception actuelle, l'ère Cénozoïque comprend les anciennes ères Tertiaire et Quaternaire. En Alsace, le Tertiaire est représenté par une succession sédimentaire propre au Fossé rhénan, comprenant, à la base des dépôts lacustres peu épais d'âge éocène moyen, puis une puissante série, sédimentée dans des milieux lacustres ou marins, d'âge éocène supérieur à oligocène, liée à la phase de subsidence principale de la partie méridionale du Fossé rhénan supérieur. Le Tertiaire se termine, au Mio-Pliocène par un dépôt local, sablo-argileux au Sud et au NE de Haguenau, accumulation fluvio-lacustre dans un fossé tectonique local. Au Quaternaire, la « logique » sédimentaire change radicalement et ne correspond plus en Alsace à des dépôts de bassin et de fossé, prédominants lors des périodes précédentes, mais à une évolution continentale rythmée par une alternance de périodes froides et tempérées, marquée par l'altération et le remaniement des formations antérieures affleurantes, des dépôts de

poussières éoliennes, les lœss, de rivières, les alluvions et de remaniement de tous ces matériaux sur les pentes des reliefs et les versants des vallées.

Tertiaire

Lutétien

β. **Basalte de Gundershoffen à olivine et augite**. Un pointement de roche volcanique était exploité dans une carrière, aujourd'hui comblée, située près de la route D86 joignant Eberbach-près-Wœrth à Reichshoffen. G. Linck (1888) l'a décrite. Selon cet auteur, le basalte de Gundershoffen perce les marnes de Mutzenhouse, probablement remontées par l'intrusion, car tous les indices que nous avons recueillis tout autour nous indiquent les marnes du Toarcien. C'est une roche de teinte gris-noir à l'état frais, à rares lattes de plagioclases de petite taille, phénocristaux et nodules d'olivine. À l'altération, elle devient vacuolaire et se décolore. Au microscope, on observe des phénocristaux d'olivine, d'augite et de plagioclases, moins nombreux. La pâte comprend de nombreux microlites de feldspath, d'olivine et d'augite apparemment de même nature que les phénocristaux. Elle contient de nombreux cristaux de magnétite, quelques-uns d'apatite et de très rares quartz et plages vitreuses. G. Link (1888) en donne une analyse chimique (tabl. 9).

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fer total	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O
52,6	0,57	14,17	11,38	6,37	9,17	2,9	1,06	2,08

Tabl. 9 - Analyse chimique du basalte de Gundershoffen (Lutétien), d'après G. Linck (1888)

Selon W. Wimmenauer (1967) le basalte de Gundershoffen (ou de Reichshoffen) se classe parmi les roches basaltiques les plus riches en silice du Fossé rhénan, voisines des tholéiites et représentées essentiellement dans les venues volcaniques pliocènes du Taunus au Nord de Francfort. Il aurait une origine magmatique primaire. Le volcanisme associé au Fossé rhénan, peu important pour un fossé de type rift, comprend presque exclusivement des roches sous-saturées en silice, à feldspathoïdes (Kaiserstuhl, feuille Colmar-Artolsheim), ce qui donne une certaine importance à ce témoin de basalte d'origine infracrustale. Par la méthode potassium-argon H.-J. Lippolt *et al.*, (1974) ont attribué au basalte de Gundershoffen un âge de 44 Ma (Lutétien supérieur), aube de la grande période de subsidence tectonique de la partie alsacienne du Fossé rhénan.

e5*B*. **Formation de Bouxwiller (partie supérieure). Calcaire à *Planorbis pseudoammonius*** (Lutétien supérieur) (épaisseur 0 à 8 m). Les assises tertiaires les plus anciennes d'Alsace, dépôts de marécages et d'étendues lacustres dans un Fossé rhénan primitif encore peu subsident, affleurent à la surface de quelques champs au Sud de Dauendorf et Bitschhoffen (calcaire à

Planorbis pseudo-ammonius). Les coupes des anciennes minières de ces localités donnent une idée de la succession lithostratigraphique. A. Daubrée (1852) a souligné les analogies entre le gisement éocène de Dauendorf et celui de Bouxwiller, référence régionale pour ces niveaux dans la région, célèbre pour avoir livré des ossements de vertébrés (Cuvier, 1922 ; Duvernoy, 1935 ; Andreae, 1884 ; Déperet et Gignoux, 1923 ; Stehlin, 1923-1916 ; Hürzeler, 1947 ; Thaler, 1966 ; Jaeger, 1971), utilisés par Georges Cuvier pour étayer ses théories. De nombreuses études et un sondage stratigraphique (Trauth *et al.*, 1977) complètent les connaissances sur la carrière de Bouxwiller. Très élémentaire, la coupe de A. Daubrée (1852) de l'ancienne carrière de Dauendorf montre bien la succession des principales assises de l'Éocène de Bouxwiller ; de haut en bas, sous des « argiles » que nous rattachons à la Formation de Mietesheim :

– calcaire lacustre à *Planorbis pseudo-ammonius* ;

– lignites, associés à des marnes brunes et des argiles verdâtres ;

– minerai de fer pisolithique (gisant habituellement dans une argile rouge), souvent appelé « Sidérolithique » dans la littérature.

Les marnes et argiles à lignites ont livré, selon Voltz, une canine d'*Anthracotherium*, une molaire de *Lophiodon tapiroides*, des paludines et une espèce de *Cypris*. De la pyrite de fer y est disséminée en petits grains. La phase argileuse est généralement riche en kaolinite (Sittler, 1965, 1982 ; Trauth *et al.*, 1977).

Outre les « coquilles palustres et terrestres », les calcaires contiennent des characées. Sur la butte située à mi-distance entre Morschwiller et Dauendorf, ils surmontent la Grande Oolithe du Bajocien supérieur, contiennent *Planorbis pseudo-ammonius* et montrent des faciès typiques des calcaires d'eau douce de faible profondeur, à restructuration souvent polyphasée (*cf.* Valleron *et al.*, 1983). Leur teinte est beige. Si, à Dauendorf, *Planorbis pseudo-ammonius* indique un âge lutétien, à Bouxwiller, une intéressante faune de mammifères confirme cette datation. Étudiée par d'assez nombreux auteurs depuis G. Cuvier (1822) jusqu'à J.-J. Jaeger (1971), la mammalofaune de Bouxwiller comprend des formes primitives correspondant au début de nombreux phyllum. Toujours à Bouxwiller, les characées (Grambast, 1972) placent le Calcaire au sommet du Lutétien moyen, dans la « Zone de Bouxwiller » ; la palynoflore (Schuler et Ollivier, 1981 ; Schuler, 1990) attribuant la base de la formation au Lutétien inférieur. Les principales espèces sont citées dans la notice de la feuille Bouxwiller (Ménillet *et al.*, 1979) Le Calcaire de Bouxwiller et les marnes associées comprennent une fraction argileuse constituée d'illite et de kaolinite mais peuvent présenter aussi des intercalations riches en smectites ou en attapulgite (Sittler, 1965, 1982 ; Trauth *et al.*, 1977).

A. Andreae (1884) lève à Dauendorf la coupe d'un puit à une altitude nettement supérieure à la carrière décrite par Daubrée (situation précise inconnue) ; de haut en bas, épaisseur en mètres :

– 2,50 - lehm ;

– 0,50 - banc de marnes dures, jaunes ;

– 6,00 - marne sableuse claire, jaune et grise, très pyriteuse, dégageant une odeur de soufre, à *Hydrobia dauendorfi*, *H. cf. Websteri* ;

– 9,00 - marnes bleu noir, grasses (Jurassique ou Marnes de Mietesheim ?) ;

– 1,00 - calcaire marneux, jaune « sale ».

Au NE de la commune, au Herrenwald, dans une ancienne exploitation localisée à l'Est de la faille rhénane (« gîte du Neubourg »), Daubrée (1952) retrouve les mêmes faciès, mais la couche d'argile peut être rapportée à la Formation de Mietesheim (voir ci-dessous), car elle recouvre le calcaire lutétien ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 2,60 - sable et graviers d'origine vosgienne (alluvions quaternaires) ;

– 10,00 - argile grise et très plastique à nombreux rognons gypseux ;

– 1,50 à 4,00 - argile noire chargée d'empreintes de plantes ;

– épaisseur non indiquée - argile brune ;

– 1,00 calcaire gris très riches en limnées, planorbes, bulimes et cyclostomes « analogues à celles de Bouxwiller » ;

– minerai de fer pisolithique.

Les terrils contiennent près de 50 % de concrétions brun ocre de forme irrégulière (gœthite probable), de 2 à plus de 10 mm de diamètre, probablement délaissées au profit des beaux pisolites, minerai jadis très apprécié. Les plus gros sont des graviers de grès, enduits d'oxydes de fer. Remarquons qu'à Bitschhoffen dans l'ancienne mine du Billingerberg (Daubrée, 1852), le calcaire recouvre, comme au Neubourg, directement la couche de minerai ; de haut en bas, épaisseurs en mètres) :

– 5,30 - argile ;

– 8,00 - calcaire palustre, alternant avec quelques lits d'argile, à très grand nombre de planorbes, limnées et cyclostomes « ces derniers appartenant à une espèce trouvée à Bouxwiller et au Neubourg » ;

– 2,60 - argile à minerais, reposant sur un calcaire jurassique.

Bartonien

e6*M*. **Formation de Mietesheim, marnes molles gris bleu ; épaisseur maximale connue, 18 m**. Quelques sondages à la tarière mécanique ont permis de caractériser les marnes grises surmontant le Calcaire de Bouxwiller,

observés par F.-P. Dietrich (1789) et A. Daubrée (1852) à Mietesheim et à Dauendorf, hameau du Neubourg.

Au Nord-Ouest du Neubourg, commune de **Dauendorf**, sous les alluvions de la basse terrasse de la Moder, le sondage 6-1046 a pénétré, sur 1,50 m, une marne grise très molle, contenant une microflore bien conservée, riche en espèces forestières sempervirentes de milieu tropical ou subtropical humide où prédominent les Myricacées, les Juglandacées et les Cupressacées-Taxodiacées. Étudiée par J.-J. Chateauneuf (Châteauneuf et Ménillet, 2014), cette flore, proche de celles qui, ont été décrites dans les formations du Lutétien supérieur de Bouxwiller et des Marnes et caillasses du bassin de Paris, présente beaucoup d'analogies avec celles de l'Auversien de ce même bassin. Quasiment dépourvue de Pinacées et d'espèces herbacées, cette association végétale, riche en espèces hygrophiles et en arbres tropicaux à larges feuilles se place sur la bordure d'un lac ou marigot où une forêt luxuriante forme un filtre ne laissant passer que des particules très fines, argileuses.

À **Bitschhoffen et Mietesheim**, la Formation de Mietesheim se localise dans un petit fossé tectonique que les sondages 2-157, 5-115, 5-116 et 5-118 ont bien mis en évidence (Fossé de Mietesheim). Le plus profond d'entre-eux, l'ouvrage 5-115 l'a pénétrée sur près de 18 m. sans atteindre sa base. Sa partie supérieure y apparaît assez altérée et oxydée, avec des teintes brun beige, brun rouille ou brun ocre, plus ou moins panaché de gris verdâtre clair. En-dessous, aux profondeurs 8 et 14,5 m, les faciès bleu sombre, gris bleu verdâtre clair à sec, ont fourni une **microflore** étudiée par J.-J. Chateauneuf (Châteauneuf et Ménillet, 2014). Les Myricacées et les Juglandacées y abondent dont des Caesalpiniaceae, quelques *Normapolles* résiduelles, quelques formes cicatricosées abondantes jusque dans le Lutétien et des formes à répartition limitée tels *Retrovoipollenites parisiensis* et *loburgensis*, *Pentapollenites pentangulus*, *striatus* et *laevigatus*, *Psitricolporites crassus*, *Tricolporopollenites rhombus*. Cet ensemble où des formes chaudes subtropicales sont encore bien représentées au-dessus du Lutétien et avant le Priabonien, soit un âge bartonien. Les pollens d'espèces arborescentes y abondent : Cupressacées, Juglandacées, Hamamelidacées, Fagacées, Myricacées, Oléacées et spores de fougères. Toutefois des pinacées et quelques formes d'herbacées indiquent une légère ouverture du milieu. Ce milieu forestier explique l'absence de phase détritique sableuse à grossière et l'aspect typique (couleur, consistance molle) d'une vase fluviatile ou lacustre déposée par décantation. Le sédiment contient 20 à 40 % de Carbonate de calcium et du gypse secondaire, provenant de l'altération de pyrite. Elle pourrait contenir des lentilles ou niveaux de calcaire dur à grain fin, plutôt dans sa partie supérieure, cause possible du refus de plusieurs sondages à la tarière. Le sédiment contient peu de particules de quartz (environ 5 %), des traces de dolomite et de pyrite. Dans la fraction argileuse, les minéraux micacés prédominent (60 à 65 %, illite probable), accompagnés de kaolinite (30 %) et de vermiculite (5 à 10 %).

A. Daubrée (1952) donne une coupe synthétique de l'ancienne « mine profonde » (*Tiefe Grube*) de Mietesheim ; nous y ajoutons notre interprétation stratigraphique ; épaisseurs en mètres, de haut en bas :

– 2,00 - lœss renfermant à sa base des débris calcaires.

Formation de Mietesheim :

– 3,30 - marnes grises, se débitant avec facilité ;

– 6,50 - marnes gris foncé, renfermant des restes de plantes fossiles et quelque fois de petits lits de lignite (notamment à la « mine du jardin »), près du village ;

– 2,00 - argile bleu verdâtre, très plastique ;

– 1,30 - minerai en grains, de couleur olive, abondant, dans une argile verdâtre semblable à celle qui le recouvre ; grains de pyrite fréquents ; gypse plus rare.

Calcaire de Bouxwiller :

– 3,00 à 5,00 - calcaire gris très compact, à cassure bréchiforme, à cavités renfermant des pisolites ; ce calcaire est imprégné de pyrite de fer.

La structure « bréchiforme » évoque plus le calcaire lutétien qu'un calcaire du Jurassique, malgré sa teinte grise, marque possible de son origine palustre, pouvant être conservée sous un niveau de marnes à passées de lignite, le protégeant de l'oxydation.

Nous avons retrouvé la Formation de Mietesheim au SE de Mertzwiller (sondage 6-1044) dans une lanière formant un petit fossé (Fossé de Dauendorf) entre deux panneaux où affleure la Formation de Schalkendorf de l'Aalénien.

Base de la série tertiaire dans les sondages pétroliers des bassins de Péchelbronn, du Sommerbaechel, de la forêt de Haguenau et du fossé de Schirrhein

Dans les sondages pétroliers, R. Schnaebelé (1948) désigne la base de la série tertiaire sous le nom de « zone de transition » ; dans le cadre de la feuille Haguenau, cette dernière repose sur des formations jurassiques d'âge aalénien au Nord à bathonien au Sud (Batzendorf), avec une légère discordance angulaire. Quand elle est bien développée, cette zone comprend, selon R. Schnaebelé (1948), au-dessus des marnes et calcaires jurassiques altérés, des marnes ou argiles vertes, blanches, grises ou gris violacé, puis des calcaires à grain très fin et cassure esquilleuse. Les argiles vertes contiennent quelques limnées et planorbes. Dans ces formations s'intercalent souvent des conglomérats à petits éléments calcaires et surtout des formations riches en « limonite » (hydroxydes de fer) et pisolites ferrugineux (« sidérolithique »).

L'**épaisseur** de la zone de transition varie entre 0 et 20 m. En faisant abstraction des variations locales, elle augmente du Sud vers le Nord. La limite supérieure de la zone de transition correspond à l'apparition des bancs et nodules d'anhydrite qui caractérisent la partie inférieure de la zone dolomitique et marque le passage de la sédimentation dulçaquicole à la sédimentation évaporitique.

Âge : par analogie avec les marnes associées aux calcaires de Bouxwiller, la zone de transition est généralement attribuée au Lutétien, mais le Calcaire de Bouxwiller n'est pas mentionné dans les sondages et il n'est pas possible de préciser la position stratigraphique de ces différents matériaux, les marnes gris violacées et vertes pourraient appartenir soit à la Formation de Mietesheim soit à celle de Bouxwiller.

Dans le secteur de **Bertsheim – Ohlungen**, la zone de transition surmonte la Grande Oolithe du Bajocien supérieur, d'autant plus ammeublie dans sa partie supérieure par altération, qu'elle est mal cimentée dans cette zone, proche de sa limite orientale d'extension. Ainsi, dans le sondage PSAEM 3322 (6-371 Ohlungen Est, situé 150 m environ en aval du sondage 6-98), les oolites sont largement remaniées dans la zone de transition épaisse ici de 14m, au-dessus d'une couche d'oolites désagrégées (Schnaebelé, 1948). Remarquons que le Calcaire de Bouxwiller comprend des faciès riches en ooides (ancienne carrière de Bouxwiller) qu'il ne faut pas confondre avec des oolites ; elles en diffèrent par leur taille et leur forme plus variables et une zonation moins régulière, réduite à une ou deux couches.

À **Schirrhein** la zone de transition constituée de marnes grises, plus rarement vertes a une dizaine de mètres d'épaisseur (sondage 8-30). Dans le sondage 7-85 (ROH 1, **forêt de Haguenau**), elle est représentée par 5,5 m d'argile gris clair silteuses, à traces de marnes vertes, brun rouge, ocre jaune et violettes, et rares passées de grès fin argileux et contient des quartz rubéfiés, de la limonite et de la pyrite.

Dans le secteur de **Soultz-sous-Forêts** la zone de transition comprend essentiellement des marnes, vertes ou bariolées, de 5 à 10 m d'épaisseur. Un seul sondage mentionne nettement un calcaire à ooides, pouvant appartenir à la Formation de Bouxwiller (sondage 4-100, GPKI, près du 4-69, Kapellmeyer *et al.*, 1991) ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 5,00 - calcaire argileux, brun, beige ou noir avec ooides ;

– 13,00 - marnes silteuses grises ;

– 6,00 - calcaire non décrit.

L'ensemble recouvre les Marnes de Printzheim (Toarcien supérieur) ; 10 m de dolomie attribués à la Zone dolomitique le surmonte.

Éocène supérieur indifférencié

e6-7*F*. **Unité de Forstheim : marnes vertes à ocre sale (altérées) à lentilles et nodules de calcaire à grain fin. Épaisseur inconnue**. Nous avons groupé dans cette unité des marnes vertes, parmi lesquelles nous avons observé des faciès analogues aux altérites de la Formation de Mietesheim et des lentilles et nodules de calcaire à grain fin contenant localement des limnées.

Éocène moyen à Oligocène inférieur indifférenciés

e6-g1. **Marnes prédominantes**. Au Nord d'Uhlwiller, en l'absence de sondages, nous n'avons aucun repère dans la série tertiaire entre l'ancien gîte de fer éocène du Neubourg et les Couches de Péchelbronn supérieure du bois d'Uhlwiller. Les couches ayant un pendage SE probable, la succession stratigraphique du Bartonien au Rupélien inférieur pourrait être représentée. Cette disposition se retrouve vraisemblablement entre Mertzwiller et Laubach.

Groupe de Péchelbronn (Priabonien à Rupélien inférieur)

Proposé par L. Van Werveke (1909), le terme de « Couches de Péchelbronn » s'applique, selon Schnaebelé (1948), à « un ensemble hétérogène de sédiments multicolores, bigarrés, d'une extrême diversité de constitution pétrographique, déposés dans des eaux saumâtres, salées, douces ou sursalées ». Avec les changements de faciès, des variations d'épaisseur vont de pair. La puissance des Couches de Péchelbronn, dans le domaine exploré jusqu'à l'heure actuelle, oscille entre un minimum de 225 m (région de Ohlungen – Keffendorf), sur le seuil de Haguenau et un maximum de 650 m (région de Mommenheim, feuille à 1/50 000 Brumath) d'une part, de Retschwiller – Birlenbach (N. de Soultz-sous-Forêts) d'autre part (Schnaebelé, 1948). Les Couches de Péchelbronn comprennent de nombreux niveaux fossilifères. E. Hœhne (1923), J. Jung (1923), S. Gillet (1944 et 1950) et R. Schnaebelé (1948) ont inventorié la macrofaune ; A. Stchépinsky (1960, 1963 et 1964), F. Dœbl (1964) et E. Martini (1973), la microfaune. S. Gillet (1954) complète les données sur la macroflore examinée aux environs de Mulhouse par C. Lakowitz (1895) ; C. Sittler (1965) et M. Schuler (1990) étudient la microflore. P. Duringer (1988) en donne une interprétation en analyse séquentielle (fig. 15). Les couches de Péchelbronn comprennent 3 formations : Les Couches de Péchelbronn inférieures, moyennes et supérieures (Sittler et Schuler, 1988).

Sur le territoire de la feuille Haguenau, seule la partie supérieure de la « série » de Péchelbronn affleure largement : les Couches de Péchelbronn supérieures. Bien connue par les quelques 3 000 sondages profonds dont la coupe est conservée, effectués à l'intérieur du triangle Wœrth – Wittersheim – Schirrhein, la monographie de R. Schnaebelé (1948) et les études récentes plus spécialisées (Sittler, 1965, 1992 ; Blanc-Valleron, 1991 et Schuler, 1990), la

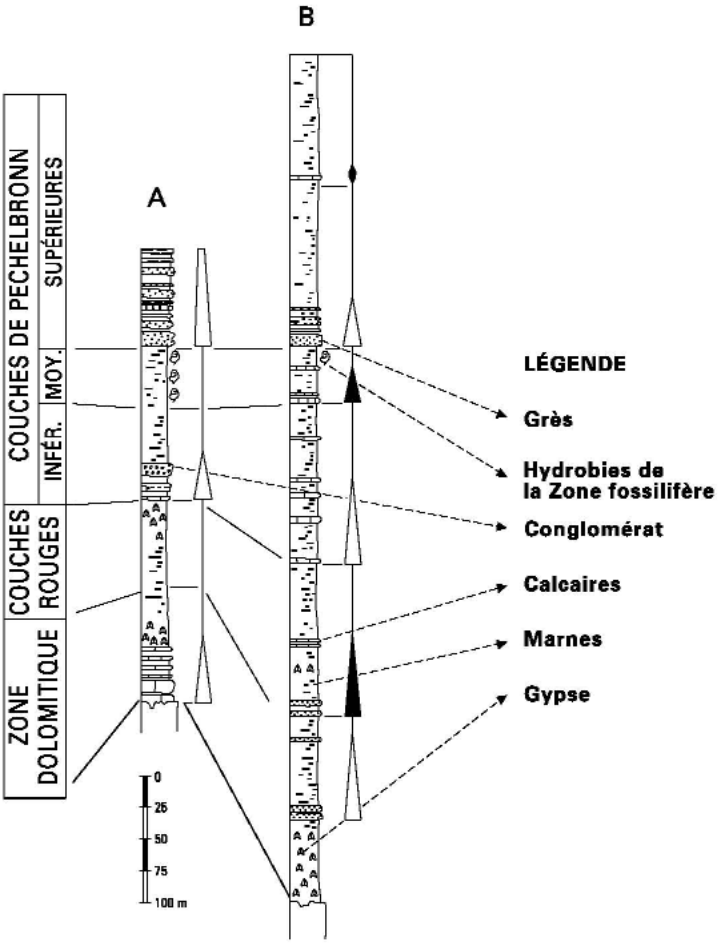


Fig. 15 - Exemple d'interprétation séquentielle de coupes de sondages dans le Groupe (Série) de Péchelbronn (par P. Duringer, 1988)

A - Sondage de Diffenbach 1 (01983 x 0026)

B - Sondage de Schwabwiller 1 (01984 x 0026)

Succession de séquences positives et transgressives (pointes de flèches blanches), limitées par des surfaces d'érosion, avec superposition, de bas en haut de faciès proximaux (conglomérats et grès), médians (grès fins et silts grossiers) et distaux, (silts fins argiles et calcaire). Les évaporites sont sourtout développées dans les faciès régressifs (pointes de flèches noires), ici érodés.

série tertiaire de Péchelbronn est figurée sur le log, en marge de la carte. De haut en bas, dans l'ordre stratigraphique, 5 formations regroupées sous l'entité « Groupe de Péchelbronn » (Sittler et Schuler, 1988) ont été distinguées ; épaisseurs en mètres :

– les Couches de Péchelbronn supérieures, 200 environ ;

– les Couches de Péchelbronn moyennes, 80 environ ;

– les Couches de Péchelbronn inférieures, 60 à 140 ;

– la Couche rouge, formation limitée au secteur de Péchelbronn, 0 à 210 ;

– la Zone dolomitique, formation avec laquelle débute l'importante subsidence tectonique du Fossé rhénan principal 125 à 300.

La planche IV de la thèse de R. Schnaebelé (1948) figure en couleurs 9 logs représentatifs du groupe de Péchelbronn, du Sud (Wittersheim) au NE de la carte.

Les marnes prédominent dans les différentes couches de la série de Péchelbronn, qui comprennent des faciès continentaux, saumâtres ou sursalés à évaporites. La feuille Haguenau se situe dans la partie médiane du Fossé rhénan supérieur, au niveau et légèrement au Nord du seuil de Haguenau. Cette zone haute du plancher jurassique du fossé, sépare le « bassin » ou plutôt palier de Péchelbronn de celui de Strasbourg où la subsidence a été particulièrement marquée au moment du dépôt de cette série qui a 1 172 m d'épaisseur à Entzheim, près de Strasbourg, et seulement 600 à 800 m sur le seuil de Haguenau et dans le secteur de Péchelbronn. Vers le Nord, l'épaisseur de la série diminue encore, la fosse de Heidelberg ne s'étant individualisée qu'à partir de l'Aquitanien. La phase argileuse des formations de la série de Péchelbronn est principalement constituée d'illite accompagnée de quantités variables de chlorite et de Kaolinite. Les Couches de Péchelbronn moyennes et supérieures comprennent un peu d'interstratifiés illite/smectite (Sittler, 1963 et 1982).

La Formation « **Zone dolomitique** » (Priabonien) comprend deux membres, non identifiées en affleurement ; de haut en bas :

– les Marnes dolomitiques, 100 à 150 m ;

– les Marnes à anhydrite, 25 à 150 m.

Les deux coupes les plus complètes publiées par R. Schnaebelé (1948) se situent à **Biblisheim** (sondage 3-70, PSAEM 1270) où les deux assises ont sensiblement la même épaisseur (Marnes à anhydrite 118 m et Marnes dolomitiques 116) et à **Wittersheim** (6-67, PSAEM 3797) avec des puissances moindres, 95 pour les Marnes à anhydrite et seulement 65 pour l'assise supérieure.

Dans le sondage **Preuschdorf** 2 (3-102) où les deux assises ne sont pas désignées, un ensemble inférieur, traversé ou pénétré sur 80 m assez riche en silt et grès fins comprend une dizaine de franches intercalations gréseuses ou microconglomératiques. Huit d'entre-elles ont été échantillonnées par deux carottages de 11 et 24 m de puissance. Au contraire, l'ensemble supérieur, épais de 100 m, ne renferme que de rares et fines passées de grès. Remarquons que ce sondage se situe près de la bordure occidentale du Fossé rhénan principal.

Au centre de la **forêt de Haguenau**, la coupe du sondage Rohrlach 1 (7-85), subdivise la Zone dolomitique en 2 membres. Un membre inférieur constitué de marnes gris sombre à gris clair, parfois très carbonatées, à rares passées de grès fin carbonaté dans sa partie sommitale. Il présente des intercalations de calcaire dolomitique, plus fréquentes à sa base où les passées et nodules d'anhydrite sont nombreux. Il a été carotté sur 9 m dans sa partie supérieure où les intercalations de grès et d'anhydrite sont très fines. Le membre supérieur est formé de marnes dolomitiques gris foncé à gris clair, rarement rougeâtres ou verdâtres. Il comprend de fines intercalations de calcaire dolomitique et de grès carbonaté gris clair à blanchâtre, grossier à sa base. Il contient de l'anhydrite et de la pyrite.

Au Sud de **Soultz-sous-Forêts**, une passée conglomératique de 6 m d'épaisseur est mentionnée dans le sondage 4-75. À l'Ouest de Soultz, dans le sondage 4-100 (GPK1, près du 4-69, Kappelmeyer *et al.*, 1991), la Zone dolomitique débute par 10 m de dolomie, suivie par une masse de 40 m d'anhydrite, avec 2 intercalations argilo-silteuse dans sa partie basale. Au-dessus viennent 18 m de grès conglomératiques, puis 120 m d'argile silteuse avec de rares et minces intercalations d'anhydrite et de grès conglomératiques.

Les ***Marnes à anhydrite*** contiennent des masses importantes de ce minéral. Fait général pour les dépôts évaporitiques, leur épaisseur varie dans une très large mesure (25 à 150 m). De teinte grise à noirâtre, elles présentent des intercalations verdâtres ou brunes.

Les ***Marnes dolomitiques***, de teinte verte, gris verdâtre, blanchâtre ou grise, ne contiennent que de rares intercalations d'anhydrite ; leur cassure est souvent conchoïdale. Leur épaisseur varie de 100 à 150 m. Les intercalations de grès peuvent être conglomératiques (3 dans la concession de Péchelbronn, selon Cassel, 1954). Les Marnes dolomitiques contiennent de rares fossiles (Hœhne, 1923 ; Gillet, 1944 et 1950 ; Schnaebelé, 1948) dont *Lymnaea longiscata* var. *orelongo*, *Brotia albigensis* et *Potamides aporoschema*, ensemble d'âge priabonien (ludien) et probablement ludien moyen (Cavelier, 1979). Essentiellement lacustre, le milieu pouvait être localement saumâtre (Potamides). La microfaune comprend des ostracodes (*Haplocytheridea gilletae* ; Stchepinsky, 1960). Les végétaux proviennent des bordures ; des lauracées : *Cinnamomum lanceolatum*, *C. polymorphum*, *C. scheuzeri* et *Glyptostrobus europaeus*. Hors du domaine de la carte, l'existence de la base du

Priabonien moyen dans les dépôts du Fossé rhénan méridional est confirmée par la présence de *Palaeotherium magnum girundicum* dans les conglomérats côtiers de Pfaffenweiler au Sud-Ouest de Freiburg i. B. (Franzen, 1968). Cette espèce est caractéristique de la zone de la Debruge, représentée dans le Bassin de Paris par la 2e masse du gypse. La corrélation du groupe dolomitique, défini dans le sondage Schirrhein 2, avec le salifère inférieur du bassin de Strasbourg est parfaite (Blanc Valleron, 1991).

Les marnes dolomitiques de faciès saumâtre sont plus ou moins synchrones de la première masse du gypse de Montmartre. Vers le Nord, la zone dolomitique passe à des dépôts continentaux : les marnes vertes à Limnées de la région de Landau – Karlsruhe.

Une sur-épaisseur du groupe dolomitique au SE de Haguenau (525 m, dans le Sond. Hag 2 [7-32] Blanc Valleron 1991, fig. 82) marque un petit ombilic de subsidence lié à des dépôts de sel gemme, minéral aussi présent dans les sondages pétroliers de Schirrhein.

e7R. **Couche rouge, Priabonien, marnes rouges (épaisseur 0 à 210 m)**. Formation locale limitée au secteur de **Péchelbronn**, à l'Ouest d'une ligne Haguenau Betschdorf, et au Palatinat, la Couche rouge n'a pas été rencontrée dans les sondages effectués dans la partie sud-est du territoire de la feuille. Son épaisseur croît du SE au NW : 0 m au Sud de Haguenau, 45 m dans le sondage 7-85, en forêt, au Nord de la ville ; 135 m dans le forage 3-25 (PSAEM 1266), à Merkwiller ; 210 m à Preuschdorf. Ses limites, inférieure avec la zone dolomitique, supérieure sous les Couches de Péchelbronn ne sont pas toujours très nettes. Longtemps utilisée comme mur de l'exploitation par sondages, elle sert de niveau repère pour marquer la base des Couches de Péchelbronn, seules réputées productives dans les premières phases de l'exploitation pétrolière locale.

La Couche rouge est constituée par des marnes dolomitiques ou argileuses rouge brique à rouge vineux, à nodules d'anhydrite irrégulièrement répartis. R. Schnaebelé (1948) donne les coupes détaillées des sondages 3-2880 (PSAEM 1530, SW de Walbourg gare) et 4-1346 (PSAEM 1531, Schwabwiller S.) et précise que l'anhydrite se rencontre sur toute la hauteur de la formation dans le faciès « normal » (Mertzwiller, Kutzenhausen, Biblisheim, Preuschdorf), mais manque au Nord et à l'Est de Soultz-sous-forêts et dans le secteur de Bertsheim-Wittersheim. Elle est transformée en gypse poudreux dans la partie occidentale de la forêt de Haguenau (SW d'Eschbach). La Couche rouge est presque azoïque et ne contient que de rares limnées. Dans son aire de dépôt, les apports continentaux prédominaient sur la sédimentation évaporitique. Nous lui avons attribué « au faciès » les marnes rouges affleurant dans la cote de la D148, entre Mertzwiller et Laubach.

e7-g1. **Couche rouge et Couches de Péchelbronn indifférenciées**. Non affleurantes **les Couches de Péchelbronn inférieures** (Synonyme : « Zone bitumineuse inférieure ») comprennent des marnes rubanées gris noirâtre à brun foncé chocolat, généralement bitumineuses et pyriteuses, caractéristiques, et des marnes grises, vertes et rouges avec intercalations de marnes dolomitiques, de grès, de sables et plus rarement de dolomies et de calcaires ou encore de passées conglomératiques. Elles renferment de nombreux niveaux pétrolifères, jadis exploités. Bien qu'elles puissent être mises en corrélation avec le sel III du bassin potassique (secteur au Nord de Mulhouse) elles ne contiennent pas de halite (Blanc Valleron, 1991). Leur **épaisseur** varie en général de 100 à 120 m, avec un minimum à 60 m, entre Ohlungen et Keffendorf. Une réserve concerne leur limite supérieure, pouvant présenter un passage progressif vers les Couches de Péchelbronn moyennes, avec lesquelles de nombreux sondages PSAEM les ont regroupés. La coupe la plus complète donnée par R. Schnaebelé (1948) est celle du sondage 3-70 (PSAEM 1270), à Biblisheim ; épaisseur 139 m ; le log du puit III (3-48) donne une coupe assez détaillée de ses 79 m supérieurs.

Fossiles : les Couches de Péchelbronn inférieures contiennent encore des Mollusques d'eau douce (*Limnaea*), mais également des espèces saumâtres, plus nombreuses dans la partie supérieure de la formation avec *Mytilus socialis*, *Potamides aporoschema* (à la base de la formation) et surtout *Nystia plicata*, *Pseudocyrena convexa* qui avec *Cyrena* (*Batissa*) *aff. obtusa* forment une association caractéristique du Ludien supérieur (Marnes supra-gypseuses du Bassin de Paris, Bembridge marls de l'île de Wight, G.B. ; Cavelier, 1979). Ces couches ont également fourni des Crustacés (*Eosphaeroma margarum*), des Characées (*Chara petrolei*), des restes Végétaux (*Cinnamomum*) et, au Sud de Heidelberg (R.F.A.), à Rotmalsch, une petite association de Mammifères avec *Palaeotherium magnum*, caractéristique de la zone de Montmartre *s.l.* (Tobien, 1968).

g1*PM*. **Couches de Péchelbronn moyennes ou Zone fossilifère, Rupélien inférieur ; marnes, épaisseur 80 m environ**. Les géologues et mineurs de Péchelbronn ont défini trois zones dans les Couches de Péchelbronn moyenne (log assez détaillé dans la coupe du puit III 3-48) De bas en haut :

– zone à *Mytilus*. Les Couches de Péchelbronn inférieures passent vers le haut à des marnes ou marno-calcaires en plaquettes grises à gris foncé à nombreuses coquilles, parfois des lumachelles de *Mytilus socialis*, pouvant être encroûtées par des bryozoaires. L'épaisseur de cette zone est généralement comprise entre 20 et 40 m ;

– zone à Bryozoaires : marnes grises plus ou moins litées, épaisses de 8 m au plus, à Bryozoaires filiformes ou en plaques, généralement libres dans la marne. Excellent niveau repère, les marnes riches en bryozoaires peuvent constituer 2 niveaux, distants de 3 à 8 m dans le secteur de Merkwiller, Lampertsloch, Hœsloch ou se réduire à un mince niveau, d'épaisseur inférieure à 40cm, voire

à un enduit crayeux millimétrique sur un plan de stratification de marne foncée feuilletée. La zone à Bryozoaires livre aussi des cyrènes, des *Mytilus* isolés et des ostracodes isolés ou en amas ;

– zone à Hydrobies : marnes grises compactes ou peu litées à tests pyriteux ou moules de nombreuses espèces d'hydrobies, principalement *H. hassiaca*. L'épaisseur moyenne de cette zone est de l'ordre de 35 à 45 m (6 à 12 m à Berstheim ; 23 à 47 m, à Soultz). Une oxydation affecte la partie supérieure de la zone sur une épaisseur variable, pouvant atteindre 10 m, transformant en hydroxydes de fer (« limonite » des anciens auteurs) tous les éléments riches en pyrite. Parfois, le fer se retrouve concentré en pisolites (Bohnerz). Cette altération est liée à un épisode d'émersion, marqué aussi, dans certains secteurs par des ravinements (secteur de Bertsheim – Wittersheim).

Liée à une élévation du niveau de base dans le domaine rhénan, en relation possible avec une montée générale du niveau marin (Roussé, 2006), la zone fossilifère a été rencontrée dans de nombreux sondages du Fossé rhénan et s'avère très utile pour les corrélations à distance.

La faune, abondante et diversifiée, comprend, pour l'essentiel, des espèces de milieu saumâtre, à faible salinité. D'un point de vue **stratigraphique**, la Zone à hydrobies correspond selon C. Cavelier (1979) à l'apparition d'espèces de la faune rupélienne : *Mytilus faujasi*, *Stenothyra pupa*, *Pseudamnicola angulifera*, *Tympanotonos labyrintus rhodanica*, de nombreuses espèces d'*Hydrobia* et de *Melanoides* en particulier *Melanoides nysti*. Les Mollusques d'eau douce sont peu nombreux. En outre, la zone fossilifère contient une riche faune d'ostracodes et des débris végétaux (*Cinnamomum lanceolatum*).

Parmi la **microflore**, les pollens de pins prédominent (60 à 80 %), suivis par ceux des Cupressacées (10 à 25 %), de Ptéridophytes (3 à 10 %) et de juglandacées du genre *Engelhardtia* (Schuler, 1990) ; le nannoplancton la rattache aux zones **NP21** et **NP22** (Schuler, 1990 ; Berger *et al.*, 2005a). Elle appartient à la zone de charophytes à *Chara tuberculata* (Reichenbacher, 2000) et à la **zone de mammifères MP 21** (Martini, 1973). Blanc-Valleron (1991) met en équivalence les Couches de Péchelbronn moyennes avec le Salifère moyen du bassin potassique. Sur la carte, nous avons repris la petite zone d'affleurement des Couches de Péchelbronn moyennes figurées sur celle de R. Schnaebelé (1948), entre Mertzwiller et Eschbach.

g1*PS*. **Couches de Péchelbronn supérieures, Rupélien inférieur : marnes grises à bariolées, massives ou finement litées, à intercalations sableuses ou gréseuses ; gypse fréquent (épaisseur 200 à 300 m)**. La partie supérieure des Couches de Péchelbronn affleure, en particulier aux environs de Merkwiller. Les nombreux sondages pétroliers ont permis de reconnaître une distribution géographique des faciès :

– un faciès normal (épaisseur 210 à 230 m), formé de sédiments marneux avec niveaux de gypse et d'anhydrite, au NE d'une ligne Batzendorf – Ohlungen, jusqu'à Biblisheim, Surbourg et Schwabwiller. R. Schnaebelé (1948) en donne une coupe détaillée avec le sondage 3-305 (PSAEM 1568, Forêt de Haguenau, Bruderhaus) ;

– un faciès d'eau douce (230 à 280 m), à marnes vertes ou gris verdâtre, sableuses avec de nombreuses intercalations de grès calcaires et de conglomérats apparaît à Merkwiller ainsi qu'à Soultz-sous-Forêts et se développe rapidement vers le Nord (puissance maximale 430 m à Birlenbach, feuille à 1/50 000 Lembach) ;

– des faciès de bordure, à proximité de la faille rhénane ; des marnes à gypse en limite du faciès normal ; des marnes sableuses à nombreuses intercalations de grès et de conglomérats en limite des faciès d'eau douce (Wittersheim, Dieffenbach). Ces marnes à conglomérats passent latéralement au Conglomérat côtier (g1*Cg*).

Dans le « faciès normal », les géologues de Péchelbronn distinguaient 6 niveaux (Schnaebelé, 1948) ; de haut en bas :

Zone à gypse fibreux (80 à 90 m) ; alternances de marnes feuilletées gris brunâtre à gypse fibreux (faciès saumâtre) et de marnes verdâtres, plus ou moins sableuses à limnées ;

Zone à pseudomorphoses de sel gemme (30 m) ; sans gypse, mais avec un peu de halite dissoute ;

Zone intermédiaire supérieure (20 m) ; alternance de marnes feuilletées et de marnes verdâtres à limnées ;

Zone à nodules d'anhydrite (25 à > 30 m) ; à faciès identique à celui de la Couche rouge (e7*R*), soit des marnes rouges à nodules d'anhydrite, à rares intercalations de marnes d'eau douce verdâtres ;

Zone intermédiaire inférieure (45 m) ; marnes grises rubanées à *Eosphaeroma*, très semblables à celles de la zone bitumineuse inférieure et souvent réunie avec la zone de Glaswinkel sous le nom de « Zone bitumineuse supérieure ». Elle peut renfermer du gypse fibreux (puit III (3-48) et puit VII (3-87) ;

Zone (ou Horizon) de Glaswinkel (8 à 15 m) ; marnes rouges, contenant, dans certains secteurs, des nodules d'anhydrite et de gypse ; faciès ressemblant à la Couche rouge ; sa base, souvent constituée par un grès, devient vers le Nord, à proximité du faciès d'eau douce, conglomératique et oxydée (Bohnerz).

S'appuyant sur les données diagraphiques de deux puits, localisés « du bassin de Péchelbronn », S. Bourquin *et al.* (1990) interprètent la succession des 3 zones inférieures. L'horizon de Glaswinkel, où R. Schnaebelé (1948) a déjà remarqué une influence continentale, placé dans un environnement fluviatile ; la zone intermédiaire, évoluant vers une cuvette de type « sebkha » (Zone à nodules d'anhydrite). Cette publication comprend un tableau donnant les

caractéristiques diagraphiques des principaux faciès de l'Oligocène du Fossé rhénan.

Le **faciès d'eau douce**, très monotone, devient plus varié sur sa bordure méridionale, c'est-à-dire sur la partie septentrionale de la feuille Haguenau où il est, de plus en plus vers le Sud, imbriqué avec le faciès normal, comme on pouvait le voir, par exemple, dans l'ancienne exploitation de lœss et d'argile située au Sud de Merkwiller. R. Schnaebelé (1948) donne de nombreuses coupes de sondages du secteur de Péchelbronn. Au Nord-Est de Lampertsloch, à Lobsann (feuille à 1/50 000 Lembach) une lentille de calcaire asphaltique, dans la partie supérieure des Couches de Péchelbronn supérieures, a été exploitée. Le Calcaire de Lobsann a fourni une association classique de Mammifères à *Anthracotherium alsaticum*, caractéristique de la zone de Ronzon d'âge **rupélien inférieur**. Les mollusques des Couches de Péchelbronn supérieures, pour la plupart des formes héritées de niveaux plus anciens comprennent des espèces terrestres (hélicidés), d'eaux douces (limnées, planorbes) ou, pour le faciès normal, des espèces supportant de grandes variations de salinité, appartenant aux genres *Hydrobia*, *Bithinella*, *Melanoïdes*, *Melanopsis*... Des crustacés isopodes (*Eosphaeroma margarum*), des ostracodes (*Haplocytheridea gilletae*), quelques foraminifères, en particulier dans le sondage 6-568 (PSAEM 3879), près de Hochstett (Barbier, 1938), et *Hyperaminium* (Hœhne, 1923) dans un faciès à sel et anhydrite des sondage 4-1346 (Schabwiller) et 3-305 (forêt de Haguenau) complètent cette faune saumâtre. Les restes de poissons n'ont pas été déterminés.

R. Schnaebelé (1948) prend le type du **faciès de bordure** du précédent à Wittersheim : série de marnes monotones, hétérogènes dans le détail, plus ou moins sableuses, brunes, avec des tons s'échelonnant du brun jaunâtre au brun-rougeâtre, comprenant de très nombreux niveaux de grès et de conglomérats, généralements grossiers.

Sur sa bordure, le faciès normal est mal connu, il apparaît constitué de marnes brunes à brun-rouge contenant du gypse en nodules ou à faciès fibreux.

g1*Cg*. **Rupélien inférieur : cônes fluviatiles conglomératiques de bordure du Fossé rhénan (« Conglomérat côtier »)**. Appelés « Conglomérat côtier » dans la littérature, les faciès conglomératiques du Rupélien affleurent de Lampertsloch à Laubach, ainsi qu'à Uhlwiller, dans la partie occidentale du secteur de Péchelbronn, en bordure de la faille rhénane. Comme l'a bien montré P. Duringer (1988), ce sont des cônes deltaïques qui s'installent en phase régressive et se réduisent en phase transgressive (fig. 16). Les torrents, originaires du horst vosgien, déposent leur charge grossière dans les étendues lacustres ou lagunaires, au pied de l'escapement de la faille rhénane. D'une longueur pouvant dépasser largement 20 cm, les galets, à façonnement fluviatile, proviennent ici essentiellement des calcaires du Muschelkalk

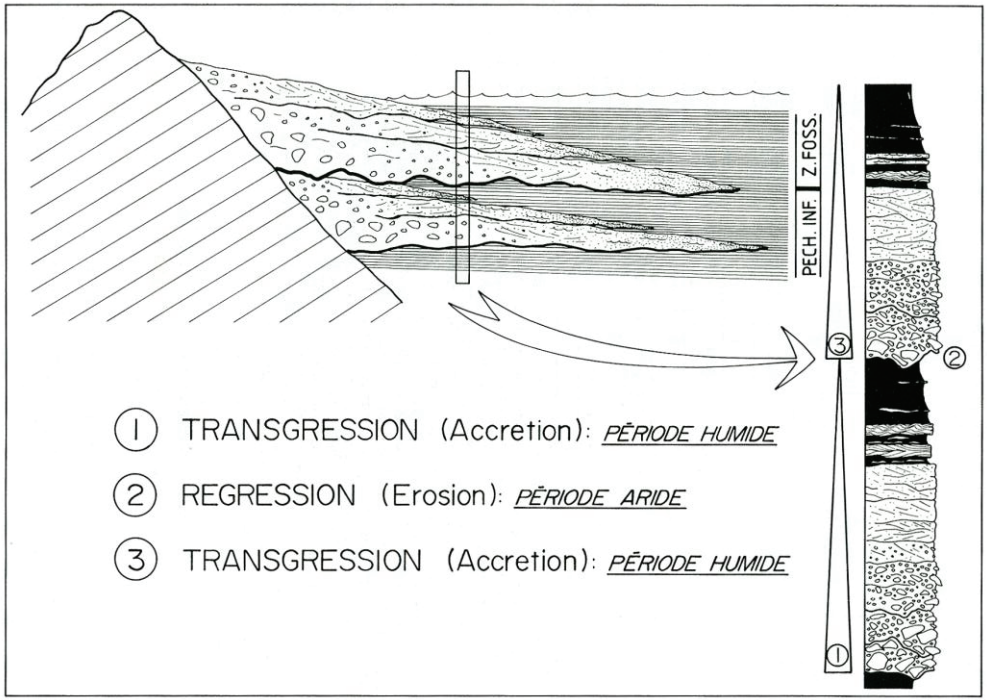


Fig. 16 - Conglomérats de bordure du Fossé rhénan (Série de Péchelbronn), processus de progradation érosive et de rétrogradation des cônes de déjection provoqués par l'alternance de phases climatiques arides et humides (par P. Duringer, 1988)

supérieur. À Morsbronn, H. Hof (inédit) a identifié quelques galets de calcaires jurassiques, en particulier du Calcaire de Kirrwiller à *Pleuroceras* et belemnites, des fragments de septarias partiellement ferruginisés et des éléments hématitisés (origine possible : marnes du Pliensbachien). Il confirme l'observation de Haug, à Morsbronn, de fragments émoussés de bois de conifères silicifiés, et les retrouve aussi remaniés dans des formations de fonds de vallons récentes. Sur la colline d'Oberdorf-Spachbach, le conglomérat contient des fossiles provenant de formations du Jurassique, arrondis par usure fluviatile (gryphées et *Ostrea*). A Gunstett, A. Daubrée (1952) signale la présence de galets de grès du Buntsandstein, observés aussi dans les fondations de l'ancien monument dédié au Kaiser Friedrich, à l'Est de Wœrth, accompagnés de quelques fragments de marnolithes des argiles bariolées dolomitiques du Keuper. Selon P. Kessler (1909), à Uhlwiller, le conglomérat g1*Cg* comprend de nombreux galets de calcaires du Dogger à coté de ceux du Muschelkalk, du Keuper et de plus rares et petits galets de quartz du Buntsandstein. La matrice, argileuse à argilo-sableuse du conglomérat présente souvent à l'affleurement une couleur ocre à rouge. En sondage, sa teinte est plus variable, avec des passées grises.

Dans le domaine de la feuille Haguenau, les cônes deltaïques affleurants s'insèrent dans les Couches de Péchelbronn supérieures. Leur âge est donc rupélien inférieur (lattorfien *s.l.*), comme le Conglomérat de Rott, plus au Nord (feuille de Lembach, Ménillet Coulombeau *et al.*, 1989), à microfaune de cet âge. À Dieffenbach-lès-Woerth, dans le sondage 3-26, les conglomérats g1*Cg*, épais d'une cinquantaine de mètres, se situent dans la partie inférieure des Couches de Péchelbronn supérieures. Ils reposent sur des marnes, d'une douzaine de mètres de puissance, qui recouvrent les Couches à hydrobies, par l'intermédiaire d'un niveau sableux, de 3 à 4 m d'épaisseur. À distance de la faille rhénane, à l'exception de rares passées conglomératiques, les Couches de Péchelbronn supérieures ne comprennent qu'une fraction détritique fine et des passée sableuses souvent pétrolifères.

Rupélien (au-dessus des Couches de Péchelbronn)

g1*G*. **Rupélien. Série grise**. Marnes silteuses grises. Aux Couches de Péchelbronn, à faciès géographiquement différenciés dans le détail, font suite des assises, à faciès très constant tout le long du Fossé rhénan. Constituée de marnes très monotones de teinte grise, cette formation appelée aussi « Formation de Froidefontaine » (avec l'inconvénient que seuls les 2 membres inférieurs affleurent dans la carrière de Froidefontaine) comprend 4 membres, de haut en bas :

– les Marnes à Cyrènes, le plus souvent érodées ; épaisseur maximale observée : 256 m ;

– les Couches à Mélettes, souvent érodées, épaisseur totale maximale connue 229 m ;

– les Marnes feuilletées à amphisiles, 8 à 10 m ;
– les Marnes à Foraminifères, 18 m (10 à 30 m).

Si la faune des Couches de Péchelbronn n'indique jamais un milieu marin franc, les Marnes à Foraminifères correspondent à une très nette incursion marine dans le Fossé rhénan, mettant en communication la « mer alpine » et la « mer du Nord » (Weiler, 1953). Ensuite suivent les faciès euxiniques des Marnes feuilletées à amphisiles puis les Couches à Mélettes, à caractère marin moins accusé que les Marnes à Foraminifères, et enfin les Marnes à Cyrènes, à faciès de dessalure.

La **phase argileuse**, identique à la base à celle des Couches de Péchelbronn supérieures (illite prédominante, chlorite, kaolinite et interstratifié illite/smectite), comprend en plus des smectites dès la partie supérieure des Marnes à Foraminifères. La proportion de smectite augmente vers le haut jusqu'à égaler ou dominer l'illite dans les Couches à melettes et devenir franchement prédominante dans les Marnes à Cyrènes (Sittler, 1965 et 1982). Parallèlement, la kaolinite et les interstratifiés régressent jusqu'à disparaître, tandis que la chlorite constitue 20 à 25 % de la phase argileuse. La phase carbonatée est plus ou moins dolomitique.

L'épaisse succession de marnes monotones gris clair, silteuses à sableuses formant la masse principale de la Série grise apparaît difficile à subdiviser sans étude détaillée. De nombreux sondages placent l'ensemble des dépôts datés du Rupélien supérieur dans les Couches à melettes, avec des épaisseurs atteignant et dépassant 300 m, la puissance maximale connue de ces dernières sous couverture de Marnes à cyrènes identifiées se limitant à 229 m.

La Série grise, principalement les Couches à Mélettes, affleure de façon sporadique entre Schweighouse-sur-Moder et Soultz-sous-Forêts.

g1*F*. **Marnes à foraminifères. Rupélien inférieur, marnes riches en gros foraminifères, épaisseur moyenne 18 m (10 à 30 m)**. Jadis appelées : *Septarienton* (Andreae, 1884), terme encore utilisé dans le bassin de Mayence, les Marnes à foraminifères sont grises à brunâtres, généralement sans stratification visible. Elles se distinguent par leur richesse en foraminifères de grande taille, appartenant à de nombreuses espèces. À l'affleurement, elles contiennent fréquemment de petits cristaux limpides de gypse secondaire (générés lors de l'oxydation de la pyrite) et quelques intercalations de calcaire argileux ou de marnes noirâtres, litées ou non. La limite inférieure est nette, sauf lorsque les Couches de Péchelbronn se terminent par des marnes grises. Elle correspond à la transgression marine de l'Oligocène moyen, la mer ayant envahi le Fossé rhénan par le Sud, à partir de la Mésogée. Au maximum de la transgression, une communication s'est ouverte avec la mer du Nord, par la Hesse. L'association palynologique (Châteauneuf, 1980) permet de mettre en

corrélation les Marnes à Foraminifères avec la partie terminale du Rupélien inférieur du bassin de Paris (argiles à Corbules et falun de Morigny). Elles se rattachent au sommet de la zone de nannoplancton NP 22 ou à la base de la zone NP 23 (Dœbl *et al.*, 1976 ; Schuler, 1990 ; Grimm, 1998 ; Grimm *et al.*, 2000 ; Picot, 2002 ; Pirkenseer *et al.*, 2005 ; Berger *et al.*, 2005a et Pirkenseer et Berger, 2006). D. Becker (2003) classe les Marnes à foraminifères dans la zone de mammifères MP 22. En diagraphie, les Marnes à Foraminifères présentent des valeurs élevées sur les diagrammes γ-ray, un peu moins fortes que celles des Schistes à poissons.

g1*A*. **Marnes feuilletées à amphisiles ou Schistes à poissons. Rupélien moyen, marnes sombres, riches en matière organique ; épaisseur moyenne 8 à 10 m**. Dans les Schistes à poissons, les marnes « papyracées », bitumineuses, prédominent. Le débit feuilleté est généralement souligné par des pellicules blanches carbonatées, plus ou moins dolomitiques, formées par l'accumulation de plancton monospécifique (Dœbl *et al.*, 1976). Ces marnes contiennent d'assez nombreux restes de Poissons, en particulier des espèces du genre *Meletta*. L'espèce *Aeoliscus* (= *Amphisile* = *Centricus*) *heinrichi*, plus rare, poisson originaire de la mer périalpine, (Leriche, 1927) caractérisait cette formation en biostratigraphie, mais elle perdure dans les Couches à melettes. Des datations récentes en micropaléontologie et nannoplancton attribuent les Marnes à amphisiles aux zones NP 23 et P 19 (Dœbl *et al.*, 1976 ; Grimm, 1998 et Grimm *et al.*, 2000). En diagraphie, elles s'identifient par 2 pics très élevés en γ-ray, parfois dentelés, en fort contraste avec la faible radioactivité des Couches à melettes surincombantes. Les Marnes à amphisiles contiennent de la pyrite ; une analyse chimique sur un échantillon prélevé en forêt de Haguenau indique 8,2 % d'oxydes de fer provenant de l'oxydation de la pyrite (Sittler, 1965).

L'**épaisseur** moyenne des Marnes à amphisiles est de 8 à 10 m. Les épaississements locaux se font généralement aux dépens des Marnes à Foraminifères. La limite supérieure des Marnes à amphisiles est réputée nette. Une coupe dans la partie inférieure des Couches à mélettes à Surbourg, nous a montré des récurences de marnes feuilletées, riches en matière organique, à la base de cette formation. Ce fait et des variations de faciès pourraient expliquer les différences d'épaisseurs entre des sondages voisins, liées peut être à une question d'interprétation. Les Schistes à amphisiles représenteraient le maximum de la transgression rupélienne (Roussé, 2006).

g1*M*. **Couches à mélettes ; Rupélien supérieur, marnes gris clair, à passées silteuses à sableuses à grain fin. Épaisseur 200 m environ souvent réduite par érosion**. Ce sont des marnes gris clair, plus ou moins feuilletées, fréquemment silteuses et micacées (muscovite), à faciès assez monotone. Elles peuvent renfermer de la pyrite et des lentilles riches en

fragments de bois transformés en lignite. Dans leur partie inférieure ou vers le sommet, elles présentent des intercalations lenticulaires de sables ou grès, à grain fin à moyen et à débris végétaux, repérables sur les diagrammes de résistivité. Dans la région de Schwabwiller, la partie inférieure est principalement formée de grès (Grès de Schwabwiller) jaune-brun, riches en muscovite, à débris de végétaux (*Daphnogene bilinica*, *D. cinnamomifolia*, Lauracées). Les Couches à melettes se rattachent à la zone de nannoplancton NP 24 et dans l'échelle des Charophytes à la zone à *Chara microcera* (Riveline, 1984).

Trois sondages pétroliers donnent l'**épaisseur** des Couches à mélettes sous couverture. En forêt de Haguenau, 4 km au NE de la ville, l'ouvrage 8-24 (G4), 229 m ; 2 km plus au Nord, le 8-144 (répertorié 8-22 sur la 1ère édition de la carte, 207 m et à Schirrhein, au SE de la carte, le 8-30, 185 m.

Fossiles : les Couches à mélettes contiennent des écailles et des restes de Poissons du genre *Melleta* (= *Clupea*), Clupéidés, plus nombreux dans la partie inférieure de la formation et déjà présents dans les Marnes feuilletées à amphisiles. La microflore comprend des éléments d'associations végétales de niveaux plus anciens, crétacés et tertiaires (Sittler, 1965), originaires du Nord (Muller, 1971). L'association autochtone, pauvre en espèces tropicales (Taxodiacées, Myricacées) indique un raffraichissement climatique.

Marnes à Cyrènes. Rupélien supérieur (indications ponctuelles **g1C**), marnes gris clair, à passées silteuses à sableuses à grain fin, épaisseur maximum 256 m, le plus souvent réduite par érosion.

Largement érodées, les Marnes à cyrènes ont été reconnues seulement dans quelques sondages. À **Hohwiller** (sondage 4-24, PSAEM 3692), la Série grise a 407 m d'épaisseur, avec *Ostrea cyathula* identifiée par Schnaebele dans sa partie supérieure (375 m au-dessus de sa base) qui se place donc dans les Marnes à cyrènes.

La coupe du sondage 8-22 (PSAEM, 4735), 6 km au **NE de Haguenau**, attribue 25 m aux Marnes à Cyrènes. Dans le sondage voisins 8-144 (g3), c'est 50 m et 2 km plus au Sud, le forage 8-24 (g4) en conserve 256 m, épaisseur maximale connue sur la feuille. Dans la partie sud-est de la carte, selon les sondages pétroliers de **Schirrhein**, la formation est aussi érodée sur des épaisseurs très variables, la puissance maximale conservée revenant au forage 8-26 : 205 m.

Dans leur partie inférieure, les Marnes à cyrènes comprennent, pour l'essentiel, des marnes grises, plus ou moins micacées, d'aspect semblable aux Couches à Mélettes. Elles contiennent quelques Mollusques de milieux saumâtres : *Tympanotonos margaritaceum, Potamides lamarcki*, *Ostrea*

cyathula, *Benoistia abbreviata*, *Cyrena* sp. Les éléments de cette faune indiquent une corrélation avec le Stampien supérieur du bassin de Paris, en particulier *Benoistia abbreviata* qui n'apparaît qu'à partir du niveau d'Ormoy. S. Gillet (1953 et 1954), par l'étude des foraminifères et des mollusques, et A. Stchépinsky (1963), par l'étude des ostracodes, ont montré la dessalure progressive du milieu dans lequel se sont déposées les marnes à Cyrènes, la salinité passant de la base au sommet d'une valeur de l'ordre de 17 pour mille à une valeur de 1 pour mille (eau douce).

Chattien

Couches à Niederrœdern, Chattien (indications ponctuelles), marnes grises à bariolées, érodées et conservées seulement au SE de la carte ; épaisseur maximale connue : 150 m.

Les Couches de Niederrœdern sont conservées seulement au SE de la carte, en particulier dans les sondages 8-25, 8-28 et 8-29, à Schirrhein. Dans le sondage 8-29, 150 m de Couches de Niederrœdern reposent par un contact faillé sur les Couches à Mélettes. Marnes grises à bariolées, les Couches de Niederrœdern contiennent une faune d'eau douce d'âge oligocène supérieur : citons les hélicidés *Plebecula ramondi*, *Cepaea rubiosa*, et *Canariella lapicidella*, ainsi qu' *Abida subvariabilis*. Elles sont subdivisées en Couches de Niederrœdern inférieures, essentiellement détritiques et en Couches de Niederrœdern supérieures, carbonatées. Les premières débutent dans la partie supérieure de la zone à *Chara microcera* (Riveline, 1984) et au sommet de la zone de nannoplancton NP 24 et s'élèvent jusqu'à la base de la zone NP 26, soit la partie inférieure du Chattien. Les secondes, non représentées avec certitude sur la coupure Haguenau, couvrent la partie supérieure du Chattien et la base de l'Aquitanien (zone à *Stephanochara ungeri* et *Chara notata* ; intervalle mammalien MP 29 à MN1 (Berger *et al.*, 2005a).

Mio-Pliocène

Les dépôts détritiques mio-pliocènes du secteur de Haguenau-Riedseltz comblent la partie alsacienne septentrionale d'un graben dissymétrique ou demi graben, recoupé par la partie SE de la carte Haguenau. Au Pliocène, ils se placent dans une gouttière qui débute en Alsace moyenne et s'ouvre de plus en plus vers le Nord (fig. 17). Ils sont schématiquement localisés à l'Est d'une ligne Haguenau – Betschdorf et se prolongent vers le Nord, jusqu'à Mayence en Allemagne. en passant à l'Est de Wissembourg (Altenstadt) et le Palatinat et vers le SW jusqu'au Nord de Brumath En forêt de Haguenau, la limite NW, précisée par des sondages effectués dans le cadre des levers de la carte, apparaît formée par un talus (24 m de décalage vertical du toit de l'Oligocène entre les sondages 8-83 et 8-61, distants seulement de 200 m). Ce talus pourrait s'être formé par érosion à partir de l'escarpement d'une faille SW-NE qui passerait au SW d'Haguenau près du château La Walk, ensuite au SE de la ville, puis à

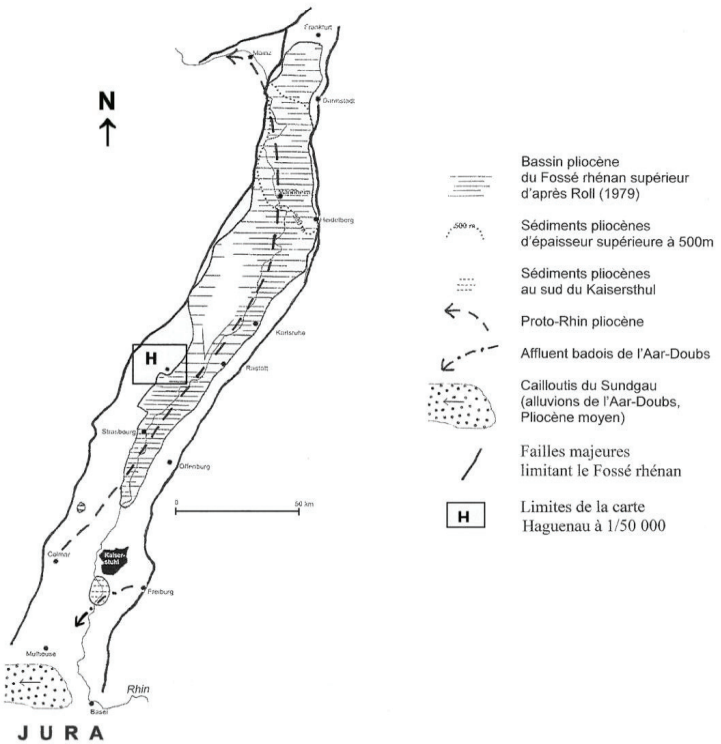


Fig. 17 - Bassin pliocène du Fossé rhénan supérieur (modifié d'après E.-M. Haguedorn et W. Boenigk, 2008)

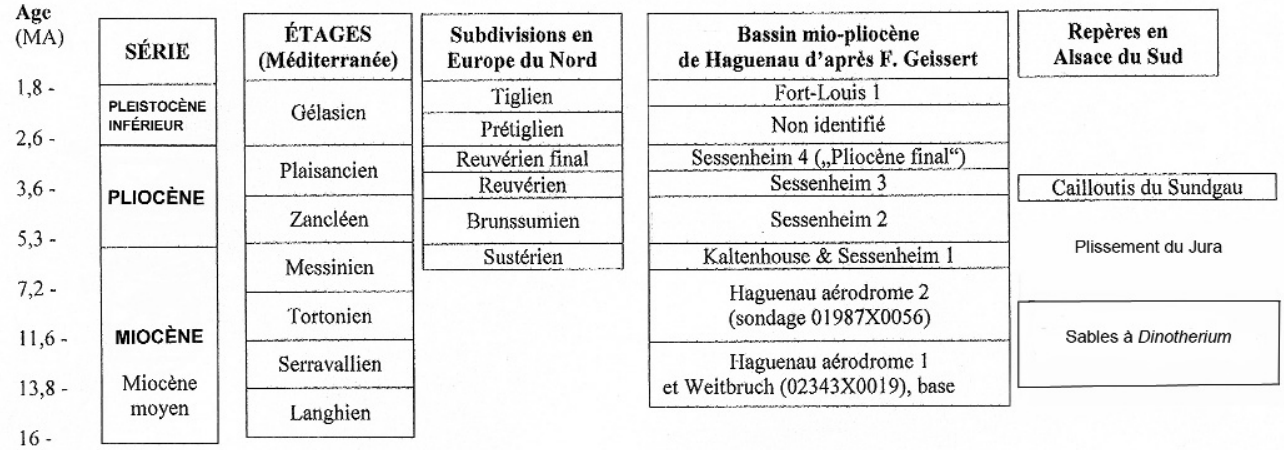
l'Ouest du Gros Chêne pour se diriger vers Hatten (feuille de Seltz). Dans cette hypothèse, les inflexions de la limite vers l'Ouest correspondraient à l'entaille de modestes rivières se jetant dans le bassin.

L'existence de couches d'âge **miocène supérieur** (tabl. 10) dans la partie inférieure du graben est une découverte récente (Geissert *et al.*, 1990 ; Sittler et Geissert 1993). En surface, seuls affleurent les sables et argiles du Pliocène. Contrairement à ce qui est figuré sur la 1ère édition, le Pliocène n'est pas conservé avec certitude à l'Ouest de la ligne Haguenau – Betschdorf. Cette interprétation vient de l'habitude ancienne, en France ou dans des pays voisins, d'attribuer au « Villafranchien », ancien étage continental, souvent traduit aujourd'hui par Pliocène supérieur ou Plio-Quaternaire, le plus haut niveau d'alluvions des bassins versants actuels. Sans éléments de datation, mais modérément altérées, ces alluvions, pourraient appartenir au Pléistocène (voir la rubrique Fu).

Les principaux **chenaux d'alimentation** du graben pliocène dans le secteur de Haguenau semblent être une paléo-Zorn et une paléo-Moder, sans exclure des rivières plus modestes débouchant sur le bassin au niveau de la forêt de Haguenau : une hypothétique paléo-Zinsel du Nord (voir Fw*H*, sables blanchâtres de la Hohwarth), une paléo-Sauer et un paléo-Brunnbach. Au Nord du centre ville de Haguenau, F. Geissert (1962) a récolté des coquilles de la noix *Juglans Bergomensis*. La présence de sables blancs dans ce secteur (quartier de la Mare aux canards) est confirmée par des fouilles récentes (observation inédite d'André Wagner). Un chenal d'alimentation du bassin pliocène passant par le Nord du centre ville de Haguenau apparaît donc possible.

Le graben mio-pliocène s'appronfondit vers le SE, son remplissage atteignant la centaine de mètres, dans certaines parties de la basse plaine rhénane, par exemple dans le sondage 8-28 à Schirrhein. Dans ce secteur, les sondages pétroliers font apparaître de fortes variations d'altitude de la base du Mio-Pliocène. Des points hauts dans les sondages 8-37 (65 m), 8-39 (75m), et 8-34 (61 m) ; des points bas, inférieurs à l'altitude de 20 m, dans les autres sondages. La coupe sismique figurée sous la carte montre le rejeu en compression du fossé de Schirrhein, avec des formes en voussoir affectant les formations de l'Oligocène et pouvant former un axe haut SW-NE. Les points bas de la base du Mio-Pliocène pourraient correspondre à l'entaille de rivières de cette époque, traversant en cluse cet axe haut. Un chenal, jalonné par les sondages 8-28, 8-29, 8-34 et 8-35 ; dans les 2 premiers sondages, la base du Mio-Pliocène est formée par un niveau riche en galets, indiquant un épisode d'érosion. Plus au Nord, un second chenal passerait par les sondages 8-26, 8-27 et 8-30.

À Schweighouse-sur-Moder, un profond chenal NW-SE, bien souligné par les courbes isobathes du toit de l'Oligocène obtenues par prospection électrique



Tabl. 10 - Position stratigraphique des divers niveaux identifiés dans le bassin Mio-pliocène de Haguenau. Âges, d'après F.-M. Gradstein, J. Ogg & A.-J. Smith (2004) ; étages selon la commission internationale de Stratigraphie (2008). Le Sustérien est rattaché par la plupart des auteurs au Miocène ; par quelques uns au Pliocène. Les cailloutis du Sundgau ont été attribués au Reuvérien par Jean Chaline à l'aide des micromammifères (Petit *et al.*, 1996)

(feuille Haguenau, 1ère édition), correspond probablement à l'arrivée, dans le bassin, d'une grande rivière (paleo-Moder ?) originaire des Vosges gréseuses.

Le graben mio-pliocène est rempli de sables, principalement d'origine vosgienne, entrecoupés d'intercalations silteuses à silto-argileuses. Ces divers matériaux se présentent en corps lenticulaires : remplissages de chenaux fluviatiles pour les sables ; dépôts de marécages ou de cuvettes lacustres pour les silts et les argiles. La figure 18 montre bien la difficulté de mettre en corrélation les différentes coupes de sondages, leur maille, de 500 à 2 000 m, étant généralement supérieure à la largeur des corps sédimentaires. Les sables mio-pliocènes d'Haguenau Riedseltz renferment de fréquentes passées riches en bois flottés. Des fruits, graines, cônes de résineux, feuilles, divers restes végétaux, des pollens, des spores et des restes d'insectes (elythres de coléoptères) sont aussi conservés dans maintes intercalations silteuses et silto-argileuses. Découverte par le forestier A. Gerber en 1930 (Hickel, 1932 ; Geissert, 1987), la flore fossile d'Haguenau – Soufflenheim a été étudiée par F. Kirchheimer (1949) et surtout par F. Geissert (1962, 1972a) F. Geissert *et al.*, (1979 et 1990) et C. Sittler et F. Geissert (1993). Avec plus de 300 taxons identifiés cette flore compte parmi les plus riches d'Europe pour cette période. Une grande partie de ces végétaux appartiennent à des genres actuellement représentés en Extrême orient et au SE des États-Unis (Geissert, 1992), éliminés par les grandes périodes froides du Pléistocène. Pour les ensembles les mieux caractérisés, en particulier par leur flore ou leur faune, nous avons introduit des noms de formations ; de haut en bas :

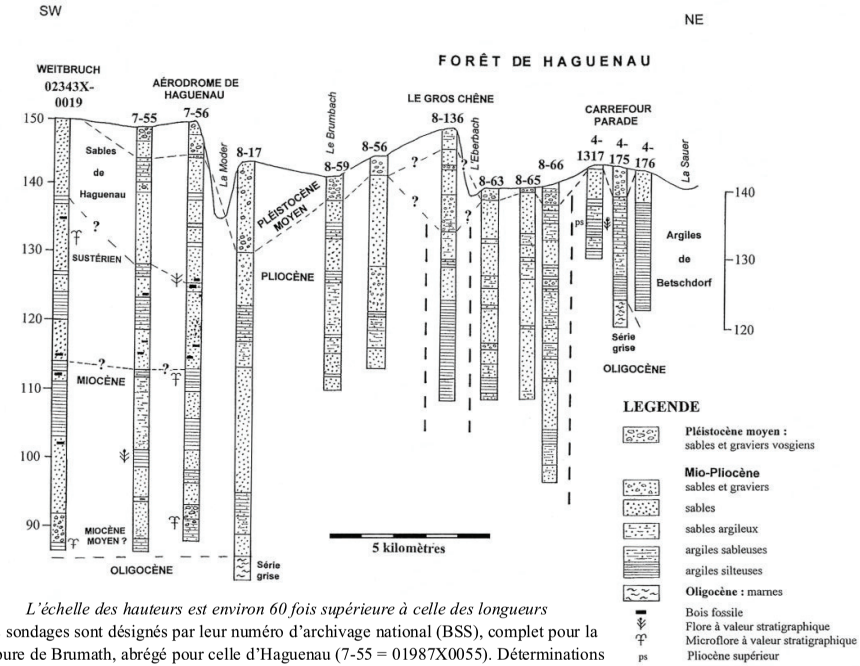
PLIOCÈNE	Reuvérien final	Formation de Sessenheim
	Reuvérien	Formation de Riedseltz
	Brunssumien	Indices ponctuels
MIOCÈNE	Sustérien supérieur à moyen	Formation de Kaltenhouse
		Formation de Weitbruch

Terrains non affleurants

Formation de Weitbruch (Miocène moyen ? à supérieur) ; sables, silts argileux, argiles silteuses ; passées grossières à galets de quartz, quartzite, grès vosgiens et silexites; présence de muscovite ; minéraux lourds ubiquistes et grenat (Boenigk, 1987).

Connue seulement en sondage et au fond de gravières, la formation de Weitbruch a une épaisseur d'environ 35 m dans le sondage 7-56.

Dans le sondage (02343X0019, feuille à 1/50 000 Brumath) au Nord de Weitbruch, à proximité de la limite méridionale de la carte et dans le forage 7-56, sur le site de l'aréodrome d'Haguenau, C. Sittler et F. Geissert, 1993) ont découvert une flore et microflore à cachet miocène. Préalablement Geissert *et*



L'échelle des hauteurs est environ 60 fois supérieure à celle des longueurs

Les sondages sont désignés par leur numéro d'archivage national (BSS), complet pour la coupure de Brumath, abrégé pour celle d'Haguenau (7-55 = 01987X0055). Déterminations paléontologiques selon F. Geissert *et al.* (1979) ; C. Sittler et F. Geissert (1993).

Fig. 18 - Corrélation des sondages selon une coupe parallèle à l'axe du bassin mio-pliocène du Fossé rhénan supérieur du secteur de Haguenau

al., I990 avaient identifié une riche flore du Sustérien (157 espèces) dans la partie inférieure de la gravière du Rhin (anciennement Mary-Kocher) à Sessenheim (Geissert *et al.*, 1990, feuille à 1/50 000 Seltz-Wissembourg). À la base de ces sondages, dans des sédiments fins, argileux, silteux à finement sableux, C. Sittler et F. Geissert (1993) décrivent plusieurs associations végétales, indiquant le passage progressif d'un milieu fluviatile ouvert (forêts riches en pins) à une forêt marécageuse, bien documentée par les récoltes du sondage 7-56, à une profondeur de 58,8 m. Celle-ci comprenait plusieurs biotopes :

– une forêt dense, marécageuse à *Nyssa*, *Castanopsis*, Cupulifères, Symplocacées, Taxodiacées, Vitacées, Ulmacées, Oléacées et Loranthacées ;

– des surfaces tourbeuses à *Sphagnum*, *Pedicularis*, *Scheuzeria*, Cypéracées et Ericacées ;

– une forêt ouverte, à bouleaux, Myricacées, Juglandacées (surtout *Carya* et *Engelhardtia*), *Picea* et *Cathaya* ;

– une végétation steppique ou halophile, à *Ephedra*, Chenopodiacées, Euphorbiacées et *Artemisia*.

Le climat est chaud et humide. Parmi les restes de plancton d'eau douce, se mêlent les dynokystes de microflores d'âges crétacé à paléogène, probablement remaniés de la Série grise du Rupélien (Sittler, 1965) où ils étaient déjà allochtones. Les flores de la partie inférieure des sondages 02343X0019 et 7-56 pourraient appartenir au Miocène moyen (Sittler et Geissert, 1993).

Une vingtaine de mètres plus haut (profondeur 36,4), dans le sondage 7-56, l'ensemble argileux inférieur, avec quelques passées sableuses, présente un second niveau à microflore ante-Pliocène, indiquant une tourbière acide à *Sphagnum* et Ericales, dans un environnement forestier ouvert, à peuplements de pins, de bétulacées (*Carpinus*), d'aulnes, de marécages à poacées (graminées), Spargarniacées, Typhacées, Cypéracées etc..., mais aussi des forêts extra-palustres à Juglandacées (*Engelhardtia*), Fagacées, Ulmacées (*Celtis*), Tiliacées, *Ginkgo*, *Ilex*, *Vitis*, des Sapotacées, Taxodiacées ; les genres *Tsuga* et *Castanea* indiquant un climat encore assez chaud et humide.

Formation de Kaltenhouse (Miocène terminal ou base du Pliocène, Sustérien). Argile silteuse et sables à nombreux débris végétaux.

Dans la sablière de Kaltenhouse, à une profondeur probable de 15 à 20 m, soit nettement au-dessus de l'association précédente, C. Sittler et F. Geissert (1993) retrouvent la très riche flore du fond de la « Gravière du Rhin » (anciennement « Mary-Kocher ») à Sessenheim (Geissert *et al.*, 1990, feuille à 1/50 000 Seltz-Wissembourg), avec 72 taxons communs ; par ordre de fréquence : *Taxodium* aff. *dubium*, *Fagus* sp., *Styrax maximum*, Symplocacées, *Cornus*, *Corylus* sp., *Carya globula*, *Pterocarya* sp., *Juglans bergomensis*, *Ceratophyllum* sp., *Vitis*

sp., *Prunus* sp., *Liquidambar* sp., *Nyssa disseminata*. - *Alangium deutschmannii*, *Cyclocarya nucifera*, *Rehderodendron ehrenbergerii*, *Sabia europea*, *Sapium maedleri* et *Schisandra geissertii* sont réputées miocènes. Dans la microflore, les pollens de pins prédominent, accompagnés de *Picea*, *Sciadopitys* et *Ginkgo*, ainsi que des Bétulacées, Myricacées, Ericacées, Sphagnacées, *Dryopteris*, et *Nyssa*.

Les tourbières à sphaignes et bruyères semblent moins développées que dans l'association précédente et entourées d'une forêt plus sèche, mais sous un climat peu différent. F. Geissert *et al.*, (1990), C. Sittler et F. Geissert (1993) rattachent cette seconde association floristique au Sustérien, étage « continental » attribué, selon les auteurs soit au Miocène supérieur, soit à la base du Pliocène.

Entre 20,7 et 21 m de profondeur (altitude ~128,5 m), le sondage 7-56 a livré (Geissert *et al.*, 1979) : *Symploca globosa*, *S. casparyi*, *Corylopsis urselensis* et *Fagus decurrens* ; cette couche correspond à celle rencontrée à profondeur inconnue dans le sondage 8-20 à *Corylopsis urselensis*, *Symplocos casparyi*, *S. elongata*, *S. globosa* et *Engelhardtia nucifera*. Cette flore encore riche en éléments à cachet sub-tropical à tropical, récoltée dans un niveau sableux, correspond à celle des lignites de Wetteravie, au NE de Francfort/Main. Vers l'Est, sur la feuille de Seltz, elle comprend de nombreux cônes et graines de *Taxodium dubium*, espèce fossile très voisine du Cyprès chauve (*Taxodium distichum*) et se trouve dans une couche de lignite compact (Geissert, 1987). Initialement rattachée au Reuvérien inférieur, Pliocène moyen (Geissert, 1972a), et liée à un biotope plus pauvre en espèces, un marécage analogue aux « *swamps* » à Cyprès chauve actuels du SE des États-Unis, elle pourrait dater encore du Sustérien.

Terrains affleurants

Pliocène

La zone d'affleurement des dépôts pliocènes de Haguenau, façonnée par l'érosion quaternaire, recoupe, pour l'essentiel, les sables et argiles silteuses de la partie moyenne de la série (Reuvérien). La partie inférieure (Brunssumien), a été reconnue seulement en sondages. La partie terminale, bien identifiée par la malacofaune sur la feuille voisine de Seltz par F. Geissert (1972a), N. Nordsieck (1974, 1976), W.-R. Schlickum et F. Geissert (1980) et la récolte de molaires de mastodontes (*Mammut borsoni*, à ne pas confondre avec les mammouths du Quaternaire et *Anancus arvernensis* ; Geissert 1967, Geissert *et al.*, 1992), ne l'a pas été sur la carte Haguenau où l'érosion quaternaire l'a très probablement éliminée, en particulier sur le compartiment de la forêt de Haguenau.

Le meilleur affleurement naturel, donc pérenne, est une petite falaise (hauteur 3 à 5 m), en rive droite du Halbmuhlbach, juste en aval du pont de la route

forestière de Betschdorf sur cette rivière. La falaise, accessible avec précaution, expose successivement 3 faciès assez caractéristiques du Pliocène de la carte Haguenau : des sables blancs assez fins et un peu argileux, puis à la base, des silts argilo-sableux gris et plus loin des sables blancs hétérométriques avec un passée noire riche en débris de bois.

En l'absence de niveaux repères dans les zones affleurantes de la coupure Haguenau, cette 2e édition de la coupure Haguenau distingue :

ps. **Pliocène sableux**. Pliocène indéterminé, le plus souvent sableux, mais refermant des lentilles argileuses.

pa. **Pliocène argileux**.

Non figurés sur carte (identifié seulement en sondage).

p*B*. **Brunssumien (Pliocène, partie inférieure)** : sables à intercalations sablo-argileuses, niveaux à bois fossiles et débris organiques.

Le sondage 7-56 a fourni à l'altitude 117 m (profondeur 32 m, 3,5 m environ au-dessus de la flore des marais à cyprès de la Formation de Kaltenhouse) : *Juglans bergomensis*, et à 125,4 m (profondeur 24,6 m) : *Liquidambar europea*, *Nyssa disseminata*, *Stuartia beckarana* et *Taxodium* cf. *distichium* (*Dubium*), flore du Brunssumien (Pliocène inférieur), F. Geissert *et al.* (1979). À l'Est de Kaltenhouse, dans le sondage 8-74, à 3,3 m de profondeur, soit une altitude voisine de 129 m, la flore carpologique comprend : *Corylopsis urselensis*, *Dulichium arundinaceu*m et *Epipremnites reniculus*. F. Geissert, qui a déterminé ces espèces, place cette association à un niveau assez bas du Pliocène, proche de sa base, sans exclure un âge sustérien.

p*R*. **Formation de Riedseltz, Reuvérien (Pliocène, partie moyenne et supérieure non terminale)** : sables souvent blancs, hétérométriques, (« Sables à quartz » de Haguenau) à intercalations silto-argileuses, passées riches en bois fossiles et lentilles riches en galets, subaffleurants sous une couverture discontinue de sables et galets pléistocènes résiduels. Épaisseur variable, généralement réduite par érosion, environ 20 m dans les sondages 7-55 et 7-56.

Hétérométriques, de teinte claire, blanche, blanc beige, blanc rosâtre, gris parfois un peu violacé quand ils sont argileux, plus rarement blanc verdâtre, les sables sont essentiellement constitués de grains de quartz. Altérés, les grains de feldspaths sont peu abondants. L'étude granulométrique des sables de Haguenau (fig. 19) fait apparaître 2 modes, l'un dans les sables fins (entre 160 et 200 µm), l'autre, dans les sables moyens (entre 250 et 315 µm). Les sables alluviaux quaternaires d'origine vosgienne des bassins versants de la Moder et de la Sauer

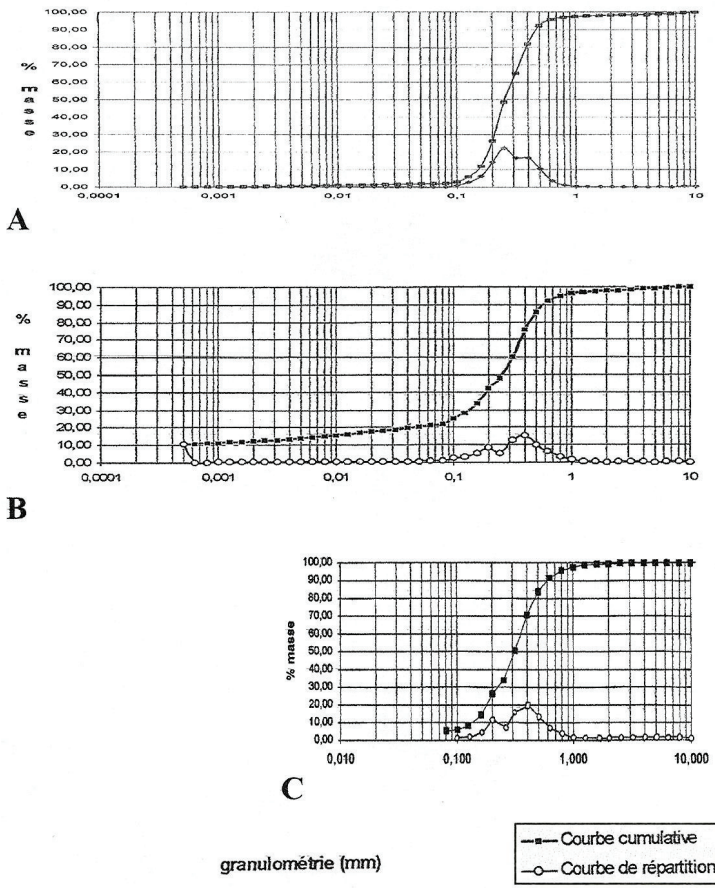


Fig. 19 - Courbes granulométriques de sables alluviaux du Pléistocène et de sables pliocènes. A - Alluvions du Pléistocène moyen - récent, Schweighouse-sur-Moder, B - Alluvions du Pléistocène moyen - ancien, Walbourg, vallée de la Sauer, sondage 01983X2866, profondeur 0,2 à 1 m, C - Sable du Pliocène, forêt de Haguenau, en amont du Gros Chêne, sondage 01988X0085, profondeur 3 à 4,5 m. Les répartitions granulométriques bimodales similaires marquent une même origine : le Buntsandstein des Vosges du Nord. Analyses granulométriques : H. Haas, BRGM ; interprétation : F. Ménillet

(fig. 19) présentent souvent cette même répartition bimodale. La seule différence vient de la plus grande fréquence de la fraction sableuse fine dans le Pliocène. En outre, elle s'accompagne souvent de silt et d'argile. Dans les sondages et les points d'affleurement, l'indication « sb » (sables blanchâtres) désigne les sables indifférenciés entre le Pliocène et le Quaternaire.

Le cortège de minéraux lourds (Bœnick, 1987 et études BRGM) comprend essentiellement des ubiquistes : tourmaline brune (médiane 33 %), zircon (méd. 12 %), rutile (méd. 6 %), anatase (méd. 5 %), du leucoxène, quelques silicates et un peu d'oxydes de fer. Il montre qu'ils proviennent du remaniement des altérites sableuses des grès du Buntsandstein des Vosges.

Les sondages des environs de Haguenau ont, dans l'ensemble, recoupé une à trois lentilles d'argile silteuse pour 10 m de sable traversés. Ces **lentilles argileuses** ont des épaisseurs de l'ordre de 0,20 à 3 m. Comme la fraction argileuse associée aux sables, elles sont connues pour leur richesse en kaolinite (ou metahalloysite). Les smectites et les interstratifiés irréguliers illite-smectite, mieux détectées par les diffractomètres récents, peuvent être aussi abondants. L'illite apparaît moins bien représentée, mais en quantités assez variables. De forme très arrondie, les galets des passées grossières proviennent des conglomérats du Buntsandstein. Seulement émoussés, des fragments de silexites originaires des Couches blanches du Muschelkalk moyen, les accompagnent en quantités variables. La taille des galets de quartz et de quartzite dépasse rarement 3 cm ; celle des silexites peut atteindre et dépasser 10 cm.

À Schweighouse-sur-Moder, dans le sondage 7-72, le Pliocène, essentiellement sableux, comprend entre 16,6 et 18,7 m de profondeur, une intercalation d'argile sableuse riche, vers - 17 m (altitude ~ 148 m), en restes végétaux. La microflore (Geissert *et al.*, 1979 ; déterminations Geneviève Farjanel), riche en pollens de résineux (pins, *Tsuga*, *Abies*, *Picea*, *Sequoia*), apparaît pauvre en fruits et graines et dépourvue de restes des genres *Taxodium*, *Styrax*, *Stuartia*, et *Sciadopytis*, à la différence des autres gisements du secteur de Haguenau. Parmi les feuillus, notons la présence de *Platycaria*, *Meliosma* et d'Hamamelidacées, genres et famille à affinité tertiaire. À la profondeur de 32 m, 1 m au-dessus du fond du sondage, la microflore comprend 96 % de pollens d'arbres dont 45 % de résineux. Les fossiles carpologiques et foliaires sont nombreux, appartenant, en particulier aux genres *Nyssa*, *Zelkova*, *Pterocarya*, *Liquidambar*, *Parrotia* et à l'espèce *Corylopsis urselensis*. Ce niveau est le *locus typicus* de l'espèce *Toddalia maii*, var. *abnormis* (Gregor, 1979), forme, restreinte au Miocène final et au Pliocène, d'un genre de Rutacée, actuellement monotypique.

Formation de Sessenheim (non reconnue sur la carte Haguenau). Découverte à Sessenheim, Soufflenheim et Hatten (feuille à 1/50 000 Seltz-Wissembourg), la flore d'une phase sèche du Pliocène, dans des sédiments

surmontant les dépôts reuvériens (« Pliocène final », Geissert, 1972, 2000) n'a pas été rencontrée dans le cadre de la feuille Haguenau. Le terme de « Pliocène final » s'entend dans le contexte d'un Quaternaire à chronologie longue, incluant le Praetiglien et tout le Tiglien, para-étages continentaux, rattaché actuellement au Pléistocène (Commision Internationale de Stratigraphie, 2009). Au « Pliocène final » de Sessenheim (Bœnick, 1987) se développe le spectre de minéraux lourds « rhénan » : grenat, épidote, hornblende verte, d'origine alpine ou péri-alpine (molasse helvétique). Ce changement, ici progressif, se produit entre le Reuvérien et le Praetiglien dans l'axe du Fossé rhénan, comme le confirment les études les plus récentes (Hagedorn et Bœnigk, 2008). Le Praetiglien n'a pas été caractérisé en Alsace.

Limite Pliocène – Pléistocène

En l'absence de Pliocène final caractérisé par la biostratigraphie et des critères sédimentologiques pour distinguer les sables pliocènes et quaternaires, il n'est pas toujours facile de placer avec précision cette limite sur la carte Haguenau où les alluvions du Pléistocène, le plus souvent du Pléistocène moyen dans la zone d'extension des dépôts pliocènes ravinent ces derniers. Près de la bordure orientale de la feuille, plus proche du secteur de Soufflenheim (feuille Seltz-Wissembourg) où la série du Pliocène est la plus complète en Alsace, la limite plio-quaternaire peut être discutée sur la meilleure coupe offerte par l'entaille de l'Eberbach (point d'observation 8-142) ; de haut en bas, épaisseurs en mètres, couleur à sec, évaluée au Code Munsell :

A = 0,30 - sables et graviers gris ;

B = 0,90 - sable ocre clair, hétérométrique avec des graviers ;

C = 0,35 - sable plus fin, argileux et silteux (fraction sableuse 50 %) gris-beige (entre 10YR7/2 et 2,5Y7/2) ;

D = 0,20 - sable un peu argileux et silteux (fraction sableuse 80 %) gris-beige (10YR7/2) à beige ocreux (10YR6/4) ;

E = 0,15 - argile silteuse et sableuse grise (10YR6/1), avec parties vert clair (5Y7/1) (fraction sableuse : 15 %) ;

F = 0,15 - sable grossier beige ocreux (10YR6/4) ;

G = 0,10 - argile silteuse et un peu sableuse grise (NY6/0) ;

H = 0,45 - sable grossier beige ocreux (un peu plus foncé et plus ocre que 10YR6/4) avec quelques galets (fraction sableuse : 90 %) ;

I = 0,10 - sable grossier brun-beige (10YR5/3) ; rose violacé à l'état humide fraction sableuse 70 % ; graviers 20 % ;

J = 0,10 - sable grossier beige ocreux (un peu plus foncé et plus ocre que 10YR6/4).

La limite entre le Pliocène et le Pléistocène peut être placée entre les couches B et C, à la première intercalation fine, argilo-silteuse. Une lacune de dépôt est possible entre les deux époques.

L'interprétation du sondage 8-141, situé 740 m plus au NW est moins aisée :

0,25 - sable un peu limoneux, noirâtre ;

0,25 - sable brun noir, un peu jaunâtre ;

0,30 - sable très argileux gris brunâtre (10YR4/1 à 7,5YR4/1) 60 % de sable, à grain moyen prédominant, remaniés des grès du Buntsandstein ;

0,10 - sable rosâtre ;

0,25 - sable gris, plus ou moins ocreux (parties oxydées).

S'agit-il de niveaux pliocènes et dans cette interprétation, le Pléistocène serait ici absent, ou de colluvions de sables pléistocènes remaniant de manière polyphasée, l'horizon « cendreux » d'un podzol formé sur des sables pléistocènes. L'horizon argileux serait dans la seconde hypothèse, un niveau d'accumulation argileuse d'origine pédologique.

Formations superficielles

Les formations « géologiques » superficielles ou « regolithe » (en prenant ce terme dans son sens le plus large), dépôts généralement meubles, d'épaisseur faible à modérée (quelques mètres à localement plusieurs dizaines de mètres), d'âge récent (quaternaire pour l'essentiel), largement liés à la topographie actuelle comprennent ici :

– des alluvions, dépôts des rivières du Quaternaire ;

– des formations d'altération, décrites pour l'essentiel dans l'annexe 5 de la notice ;

– des lœss, dépôts éoliens de poussières durant les périodes froides et sèches du Quaternaire ;

– des formations de versant, dues au remaniement, par gravité, des altérites, lœss et alluvions selon différents mécanismes, parfois associés ; solifluxion, cryoreptation (creeping), colluvionnement, localement glissements de terrain, chutes de blocs dans les Vosges, traitées, pour l'essentiel, dans l'annexe 5 de la notice.

Nous y ajouterons les accumulations argileuses d'origine pédologique. Nous avons été surpris en découvrant, en particulier avec des sondages à la tarière manuelle, leur grand extension. D'abord à la base des couvertures lœssiques (complexe infralœssique), comme nous les connaissions bien dans la partie centrale du bassin de Paris, sur les argiles à meulières ; en Normandie et Basse

Grandes subdivisions			Périodes tempérées	Périodes froides		
			Hollande et Allemagne du Nord		notations	Piémont N des Alpes
QUATERNAIRE	HOLOCÈNE				Fz	
	PLÉISTOCÈNE	supérieur		Weichsélien	Fy	Würm
			~ 112.000 ans			
			Eémien		Fy	
			~ 128 000 ans			
		moyen		Saalien	Fx	Riss
			~ 300 000 ans			
			Holsteinien			
			~ 350 000 ans			
				Elstérien	Fw ?	Hosskirch
			~ 500 000 ans			
			Cromérien (plusieurs cycles)		Fw ? Fv ?	Mindel ?
			~ 780 000 ans			
		inférieur	Bavélien (plusieurs cycles)			
			~ 1 000 000 ans			
				Ménapien	Fv ?	
			~ 1 200 000 ans			
			Waalien			
			~ 1 500 000 ans			
				Eburonien		Gunz ?
			~ 1 700 000 ans			
			Tiglien		Fu ?	Donau ?
			~ 2 100 000 ans			
				Prétiglien		Biber ?
			- 2 588 000			

Tabl. 11 - Position des notations utilisées sur les cartes à 1/50 000 Haguenau (2e édition) et « Formations superficielles » dans la chronologie du Quaternaire européen

Bourgogne, sur les argiles à silex. Ensuite à la base des sables alluviaux résiduels, tant en pays de Hanau qu'en forêt de Haguenau et aussi sur des altérites. Ces accumulations argileuses sont liées à différents mécanismes, bien connus des pédologues dans les pays du Nord Ouest européen : le lessivage, la planolisation sur les versants en pente douce (Baize, 1983) et des phénomènes pédologiques et mécaniques (gélifluxion des matériaux argileux non compacts ; mouvement de particules et modifications minéralogiques) liés au pergélisol (Fitzpatrick, 1956 ; Corte, 1962 ; T. Vogt *et al.*, 2010). Ces différents phénomènes se sont succédés ou ont alterné selon le rythme des variations climatiques du Pléistocène. Importantes en agronomie, les accumulations argileuses d'origine pédologique le sont aussi en génie civil (problèmes de drainage en topographie subhorizontale et de stabilité sur pente).

Les couvertures de formations superficielles très minces (quelques décimètres d'épaisseur) et souvent discontinues ne sont généralement pas figurées.

Ancienne ère géologique, actuellement regroupée avec l'ex ère Tertiaire dans l'ére Cénozoïque, le Quaternaire comprend une longue période, le Pléistocène, marquée par l'alternance de phases froides, avec glaciations sur les massifs montagneux, les hautes latitudes et de phases tempérées, puis une courte période de réchauffement, l'Holocène, aboutissant aux temps actuels.

Suivant la décision de la Commission internationale de Stratigraphie, en 2009, nous adopterons la **limite Néogène/Quaternaire à - 2,588 Ma**, au changement de polarité magnétique Gauss-Matuyama. Ainsi, le Prétiglien, premier épisode froid dans la zone paléoarctique et la totalité du Tiglien se placent dans le Pléistocène inférieur, selon l'usage adopté en Allemagne et aux Pays-Bas (Zagwyin, 1985 ; Kemna, 2008). Sur la première édition (Daum *et al.*, 1970), la limite était placée vers - 1,6 Ma, dans le Tiglien, selon les recommandations de cette commission au Congrès géologique international de 1973 (apparition des faunes froides en Méditerranée).

Nous utiliserons, dans la mesure du possible, les subdivisions du Pléistocène définies en Europe du Nord (Zagwyin, 1985 ; Kemna, 2008). Pour permettre au lecteur de faire le lien entre cette nomenclature et les anciennes subdivisions du Quaternaire alpin, largement utilisées dans la 1ère édition et dans la littérature régionale, nous indiquerons, entre parenthèse, les subdivisions sensiblement équivalentes dans l'échelle alpine (glaciations Biber, Donau, Gunz, Mindel, Riss, Würm), en soulignant qu'avant le dernier interglaciaire (Eémien), les équivalences ne sont pas encore bien établies (tabl. 11).

Usuelles, les équivalences figurées entre les phases de la chronologie nordique et celles de la chronologie alpine ne sont pas démontrées pour les périodes antérieures au Weichsélien.

Sur la légende de la carte du substrat et sur celle du régolithe, les formations superficielles sont classées en 4 catégories, selon leur type génétique, et dans chacune d'elles par ordre chronologique, sauf pour les altérites. L'intensité de la pédogénèse varie beaucoup en fonction des conditions locales et il n'est guère possible ici d'établir une chronologie dans ces dernières.

Nous commencerons par la description des alluvions qui nous fournissent quelques repères chronologiques. Leur représentation est identique sur la carte géologique à 1/50 000 et celle des formations superficielles. Les accumulations argileuses bariolées affleurantes à sub affleurantes seront traitées, selon l'importance des fractions sableuses, limoneuses ou argileuses, dans les formations alluviales, les lœss anciens ou les altérites.

Formations fluviatiles et colluviales pro-parte

À l'exception d'étroits restes de corps alluviaux rhénans, à éléments d'origine alpine, à l'Est et au Sud d'Oberhoffen-sur-Moder ainsi qu'à Schirrhein, les alluvions pléistocènes affleurantes sur la feuille Haguenau sont, pour l'essentiel, constituées d'éléments originaires des Vosges gréseuses ; sables et galets de quartz et de quartzite. Le cortège de **minéraux lourds** comprend principalement des éléments ubiquistes ; tourmaline : 40 à 50 %, zircon : 20 à 25 %, rutile : 10 à 18 %, anatase : 2 à 8 % (van Andel, 1950 ; Fx de la vallée de la Moder, au Neubourg, avec remaniements éoliens).

Distinction alluvions du Pléistocène ancien à moyen et sables pliocènes

À la différence de la basse plaine rhénane où les corps alluviaux sont superposés selon l'ordre stratigraphique, sur la feuille Haguenau, ils apparaissent étagés en terrasses, avec un âge décroissant selon leur altitude. Les plus anciennes sont résiduelles sur les plateaux du domaine sous vosgien. A. Briquet (1930) et F. Fisher (1962) avaient bien vu cette disposition, guère reprise par la première édition de la feuille Haguenau (Daum *et al.*, 1970) où les alluvions anciennes étaient regroupées et indifférenciées sous deux notations : p (Pliocène) pour les plus hauts niveaux ; Fy pour les autres, y compris des alluvions remaniées sur les versants. Avec H. Vogt (1992), nous pensons que les plus anciennes appartiennent au Pléistocène inférieur. La décoloration des sables et galets de grès d'origine vosgienne, rouges au moment de leur dépôt, n'est pas exclusive aux dépôts pliocènes mais peut affecter les alluvions du Pléistocène inférieur et moyen, en conditions hydromorphes (réduction des oxydes de fer). Dans les sondages et les points d'affleurement, l'indication « sb » (sables blanchâtres) désigne les sables indifférenciés entre le Pliocène et le Quaternaire. L'abondance fréquente de fer à la base du profil (cimentation partielle des sables par des oxydes de fer, plus rarement ébauche d'alios, amas ferrugineux, localement épais de 40 cm, observés par J.-L. Dupouey, 1983) est un argument

pour rattacher certains sables blanchis au Pléistocène. La tranchée de la future ligne de chemin de fer à grande vitesse (LGV) au Nord-Ouest de Wilwisheim (observée en 2011) montre clairement la présence de lentilles de sables, avec ou sans graviers, presque blanches au sein des alluvions anciennes Fv (Pléistocène ancien récent ou Pléistocène moyen ancien). La couleur rouge est rarement conservée dans les dépôts fluviatiles quaternaires antérieurs au Pléistocène moyen (Vogt, 1980, 1992 ; Vogt et Ménillet, 1980), mais le plus souvent salies par des oxydes de fer, ces alluvions anciennes sont rarement aussi blanches que certains sables pliocènes. À l'affleurement, leur teinte varie du blanc beige au brun, en passant par une large gamme de teintes ocre.

Granulométrie, nature et morphoscopie des alluvions originaires des Vosges gréseuses

Provenant du remaniement des altérites des grès du Buntsandstein, les sables alluviaux originaires des Vosges gréseuses ont un mode habituellement compris entre 0,250 et 0,315 mm ou 0,315 et 0,400 mm (fig. 19, à comparer aux fig. 20 et 21 portant sur des altérites). Ils présentent souvent un mode secondaire, qui peut localement égaler le premier, entre 0,16 et 0,2 mm. Nous avons vu que cette répartition granulométrique existe aussi dans les sables pliocènes, mais ces derniers sont plus fréquemment fins et accompagnés d'une fraction silteuse et argileuse. Les sables alluviaux originaires des Vosges gréseuses sont essentiellement constitués de grains de quartz ; les grains de feldspath, en forte diminution par rapport aux grès du Buntsandstein, n'excèdent habituellement pas 2 %. Emoussés, les grains de quartz ont des formes variées ; ils présentent tous les aspects intermédiaires entre la parfaite transparence et l'opacité mate, avec des variations dans la proportion des grains mats, souvent plus abondants dans les grandes tailles (1 mm) où les formes subsphériques sont plus fréquentes. Malgré leur faible abondance, les grains de quartz rose marquent bien leur origine vosgienne, indiquée aussi par des restes d'enduits argileux et ferrugineux rougeâtres.

Remaniement des alluvions anciennes

Mises en place sur d'anciennes surfaces dont les lambeaux résiduels se sont retrouvés en position haute lors de l'enfoncement des vallées au cours du Quaternaire, les alluvions du Pléistocène ancien ont été largement remaniées et étalées sur les versants par ruissellement et probablement aussi par le vent, pour les sables. Ainsi accumulés sur les versants et les fonds de vallons ou de paléovallons, ces matériaux constituent localement des dépôts d'épaisseur notable (5 m, dans le sondage 2-129, en tête du vallon séparant, au NE de Mertzwiller, le bois du Zang du massif principal de la forêt de Haguenau), non directement reliés aux systèmes de terrasses alluviales des grandes vallées. Comme ils sont plus ou moins mêlés de limon et d'argile, nous les avons placés parmi les formations colluviales. Souvent recouverts de lœss, les restes d'alluvions du Pléistocène ancien ont été aussi mêlés, par cryoturbation,

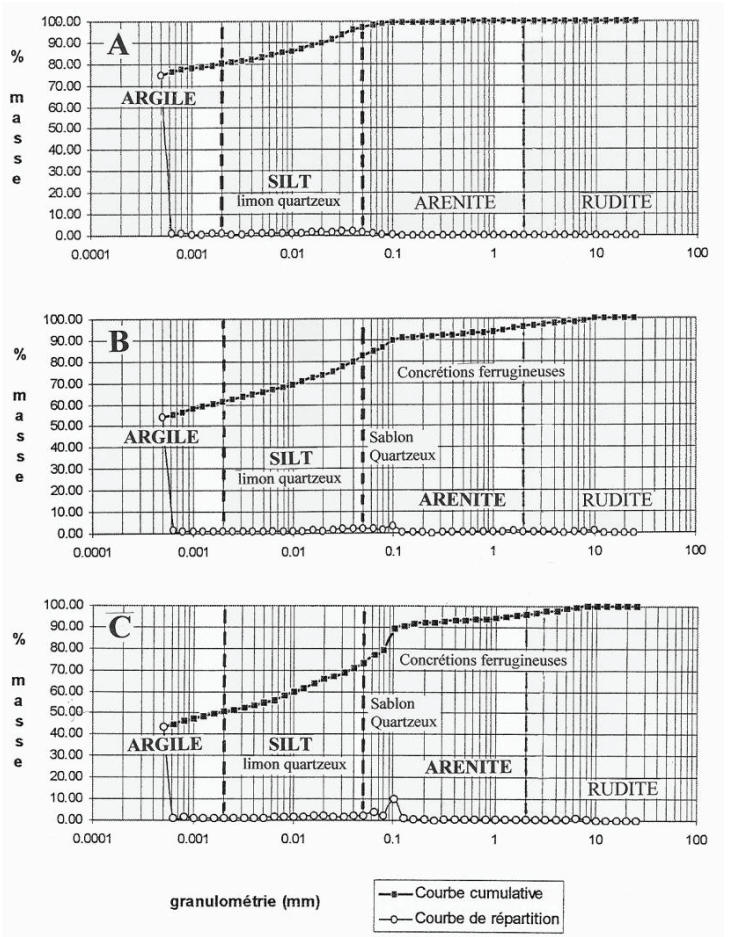


Fig. 20 - Courbes granulométriques d'altérites de la Formation de Schalkendorf (Aalénien). A - Faciès argileux, faiblement silteux, sondage 01985X0064 (-3,75 m), Kindwiller, B - Faciès argilo-silteux, à grains ferrugineux, sondage 01982X0127 (-4,75 m), Gundershoffen, C - Faciès argilo-silto-sablonneux à grains ferrugineux, sondage 01982X0125 (-6,75 m), Froeschwiller. Analyses granulométriques : H. Haas, BRGM ; interprétation : F. Ménillet et J.-P. Party

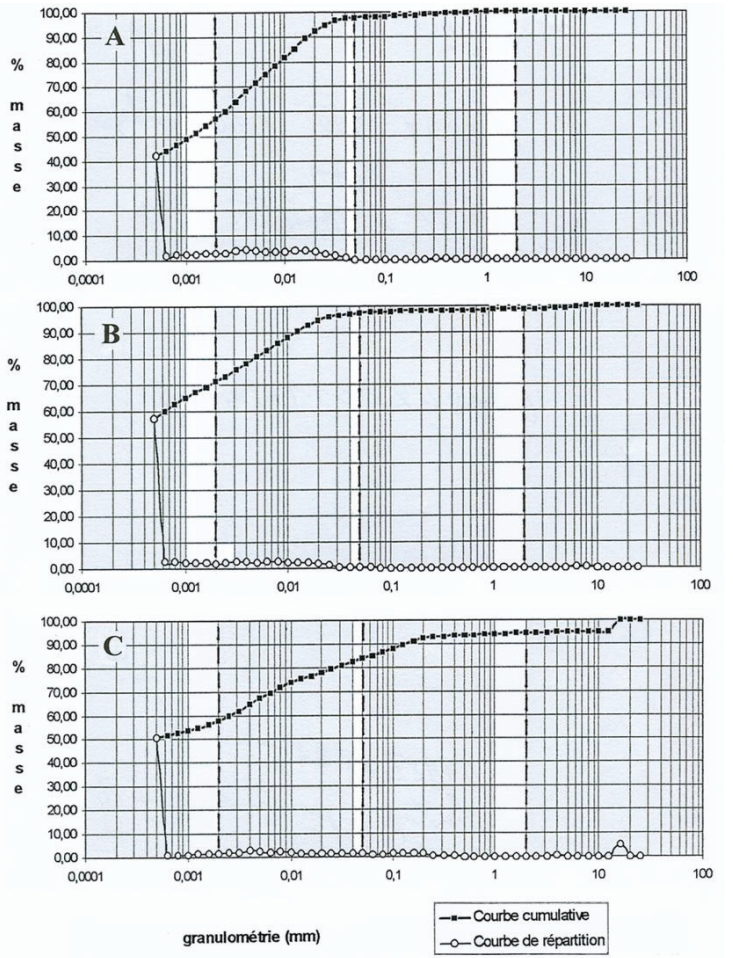


Fig. 21 - Courbes granulométriques d'altérites de formations tertiaires du Fossé rhénan. A - Faciès silto-argileux des Couches à Mélettes (Rupélien), Schwabwiller, sondage 1984 X 1309 (-1,4 à 2,0 m), B - Faciès silto-argileux des Couches à Mélettes (Rupélien), Schwabwiller, sondage 1984 X 1311 (-6,0 à 6,5 m), C - Matrice argilo–silteuse du « Conglomérat côtier » (Rupélien inférieur), Oberdorf-Spachbach, sondage 1983 X 2865 (-1,0 à 2,0 m), rudites et arénites grossières : concrétions calcaires. Analyses granulométriques : H. Haas, BRGM ; interprétation : F. Ménillet et J.-P. Party

gélifluxion, voire bioturbation, aux altérites du substrat, aux lœss de cette époque très altérés et enrichis en argile par pédogénèse, constituant un élément de l'unité cartographique ∅/-R : complexe infralœssique (∅/-RFu, ∅/-RFv, ∅/-RFw).

Divers éléments ont favorisé la convergence des rivières vosgiennes vers le futur domaine de la forêt de Haguenau :

– le changement de direction de la faille vosgienne, au Nord du Pays de Hanau, où elle s'oriente N45°E ;

– l'arrivée de l'écoulement N-S du fossé de Lembach (cours de la Sauer) ;

– l'attirance de l'ombilic de subsidence du bassin pliocène de Haguenau, zone encore basse au Pléistocène inférieur et moyen, au substrat sableux facile à éroder.

La découverte d'*Elephas trogontherii* par Paul Wernert dans des alluvions anciennes de la Zorn, à la base de l'ancienne lœssière de Mommenheim (Geissert *in* Ménillet, Théobald *et al.*, 1976 ; feuille à 1/50 000 Brumath) constitue le meilleur repère chronologique que nous ayons dans les alluvions anciennes entre la Zorn et la Lauter. Nous établirons donc la chronologie et le système de notations des alluvions anciennes de la carte à 1/50 000 Haguenau à partir de ce repère.

Notation	Âge probable	Hauteur au-dessus du fond des vallées actuelles
Fu	Alluvions du Pléistocène inférieur	60 à 80 m
	Fu_1	70 à 80 m
	Fu_2	60 à 70 m
Fv	Alluvions du Pléistocène inférieur récent ou du Pléistocène moyen ancien	30 à 52 m
Fw	Alluvions du Pléistocène moyen médian (*Elephas trogontherii* à Mommenheim)	10 à 27 m
Fx	Alluvions du Pléistocène moyen récent	2 à 18 m
Fy	Alluvions du Pléistocène supérieur	-10 à + 12 m
Fz	Alluvions holocènes	-4 (-9) à + 1 m

Alluvions anciennes des plateaux et hauts replats du domaine sous-vosgien. Galets de quartz résiduels, parfois accompagnés de galets de quartzite et de fragments de silexites.

RFu1. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur ancien probable ; base 70 à 80 m environ au-dessus du fond de la vallée du Falkensteinbach, 60 m environ au-dessus de celui de l'Eberbach**. En placages résiduels, les témoins d'alluvions les plus élevés s'observent entre l'escarpement de la faille vosgienne et une ligne Uhrwiller – Engwiller. Seuls les points les plus élevés du domaine sous vosgien les dominent de 10 à 20 m au maximum. Ils se situent 70 à 80 m au-dessus du

fond des vallées principales dont le creusement n'était pas encore ébauché à l'époque de leur dépôt. Les plus élevés sont conservés à faible distance de l'escarpement de la faille vosgienne (jusqu'à 3 km environ). Ici et là sur les plateaux sous-vosgiens on rencontre un peu partout quelques galets de quartz, mais en quantité si faible qu'ils ont pu être apportés par les engins agricoles ou forestiers à partir de l'empierrement des chemins. Ainsi nous n'avons représenté que ceux qui nous paraissent en place ou remaniés par un phénomène naturel tel que la solifluxion. Citons les principaux :

– au NE de **Niederbronn**, les alluvions résiduelles RFu1 sont conservées au lieu-dit Uttenheeg, puis dans la zone sommitale du bois Eyler, au moins jusqu'à l'altitude de 270 m environ. Sur la pointe du ban communal de Reichshoffen, en direction du point coté 274 (sondage 2-169), ces alluvions, recouvertes par 1 m d'argiles limoneuses ocre bariolée de gris clair (𝒜-R), sont constituées de débris de silexite, subanguleux à subarrondis, accompagnés d'un peu de sable moyen à grossier, d'origine vosgienne, semblable à celui des autres alluvions anciennes. Comme ceux d'Uttenheeg, ils se situent à faible distance d'affleurements des Couches blanches du Muschelkalk moyen riches en silexites ;

– deux petits témoins d'alluvions Fu1, près de la limite nord de la carte jalonnent probablement l'ancien cours allant du plateau d'Uttenheeg vers le Bois Eyler. En contre-bas du bois, le versant qui s'abaisse jusqu'au plan d'eau du Wolfartshoffen est tapissé d'argile limoneuse solifluée à fréquents fragments de silexites dont la longueur peut atteindre et dépasser 15cm. Leur abondance montre que le dépôt initial Fu1 avait probablement une certaine extension et une épaisseur notable. La gélifluxion a aussi remanié les alluvions résiduelles Fu1 enrichies en argile (𝒜-RFu1) sur le haut versant qui flanque le bois Eyler vers le SW (sondage 2-168 près de la ferme Euler ; sondage 2-167, près du cimetière militaire allemand) où les fragments de silexites s'accompagnent de nombreux galets de quartz et de plus rares galets de grès, remaniés aussi des formations du Buntsandstein, décolorés par altération ;

– au Sud-Ouest de Nehwiller (commune de **Reichshoffen**), le sondage 2-186 a rencontré des sables d'origine vosgienne à une altitude voisine de 270 m ; Ils contiennent quelques galets de quartz et sont emballés dans une argile bariolée (complexe infralœssique 𝒜-RFu1). À Frœschwiller, à des cotes comprises entre 250 et 260 m, on retrouve des alluvions RFu1 à galets de quartz et fragments de silexites (sondage 2-183) ;

– au SW de **Frœschwiller** les alluvions RFu1 affleurent, probablement remaniées, sur un haut de versant en faible pente ; leur faciès est sableux, comme l'indique le lieu-dit « Sand ». De l'autre coté du Grosserwald, sur la crête, jalonnée par un chemin, menant au château d'eau de Reichshoffen, subsiste un dépôt de sables résiduels. Comprenant quelques galets, ces alluvions ont été largement solifluées sur les versants en particulier vers le Nord. Plus au Sud, elles tapissent la partie sommitale du Grosserwald (256 m) et se trouvent à l'état résiduel au carrefour coté 247 m (sondage 2-175) où la D149 rejoint la D86.

Plus à l'Est, on retrouve des alluvions anciennes à silexites sur la butte atteinte par la D86, 1 km au NW d'Eberbach (Thiergarten, voir alluvions RFu2) ;

– en rive droite du Falkensteinbach, au **Sud de Niederbronn**, les alluvions RFu1 affleurent discrètement sur les bords du plateau séparant Oberbronn de Niederbronn. L. Van Werveke (1892) décrit une coupe à l'Est des anciennes tuileries (probablement dans les carrières, aujourd'hui comblées, situées à mi-distance entre Oberbronn et Niederbronn) ; épaisseurs en mètres :

- 1,00 - Lehm (limon argileux) ; mince couche de galets avec en-dessous des blocs de grès du Buntsandstein, décolorés à cœur et à cortex brun ferrugineux, à arêtes émoussées, dont la longueur atteint 50 cm,
- 4,00 - Sable jaune à blanc, avec des parties de sable rouge carmin à galets de grès du Buntsandstein décolorés, galets de quartz et de quartzite gris clair ; le tout recoupé par des veines brun rouille,
- Couche d'argile sableuse blanche à rouge carmin.

La couche argilo-sableuse de base pourrait être une « accumulation argileuse bariolée ».

L. Van Werweke attribue ces sables à blocs au Pliocène, comme toutes les alluvions anciennes de plateaux, mais pour les raisons exposées ci-dessus, nous les plaçons dans le Pléistocène inférieur. Les blocs de 50 cm impliquent, pour un apport fluviatile, un régime torrentiel ou proviennent directement de l'escarpement de la faille vosgienne par un phénomène de gravité (coulées de neige ? Distance de l'escarpement : 1 km).

Au **SE de Niederbronn**, le Neuschied (point coté 256 m), présente un « tapis » de galets de quartz si mince qu'il laisse apparaître, dans les sillons des labours, l'argile d'altération des marnes de la Lettenkohle. Vers l'Ouest, le versant est également couvert de galets, mais nettement remaniés.

À **Oberbronn**, sur la partie sommitale de la forêt de Frohret (sondages 1-131 et 1-132), des sables résiduels sont mêlés aux formations d'altération argileuses (∅/-RFu1) ; ils sont hétérométriques et semblables à ceux des alluvions (origine vosgienne). Dans le sondage 1-130, les argiles limoneuses ne contiennent plus guère de grains de quartz, mais des éléments calcaires (concrétions, fragments de calcaire fin et de fossiles, certains émoussés), probablement remaniés du Calcaire à gryphées qui affleure plus à l'Ouest entre la forêt de Frohret et les Vosges.

Âge des alluvions Fu1 du secteur de Niederbronn : l'altération modérée des fragments de silexites et faible des galets de quartz nous conduisent à attribuer aux alluvions RFu1 un âge pléistocène plutôt que pliocène. Au SW de Niederbronn, dans la tranchée de la voie rapide, près du sondage 1-61, du sable blanc homogène piégé dans une poche karstique des calcaires du Muschelkalk supérieur pourrait être un témoin d'un ancien écoulement pliocène dans ce

secteur. Sables pliocènes et quaternaires ayant la même origine (altérites des grès du Buntsandstein), les paramètres sédimentologiques ne permettent pas de les distinguer et la teinte blanche, comme nous l'avons vu dans la rubrique « Pliocène », ne suffit pas à les différencier. Sur substrat argileux, les sables alluviaux du Quaternaire ancien ont été généralement décolorés par des phénomènes de réduction en conditions hydromorphes.

Dans les collines de Brumath, à **Huttendorf** (sondage 6-1036), des dragées de quartz et de quartzite, probablement remaniées d'alluvions anciennes, se présentent en passées dans les lœss du Pléistocène moyen récent (ŒEx), dans la fourchette d'altitude 224-230 m, soit 70 à 75 m au-dessus du fond de la vallée de la Moder. Il s'agit vraisemblablement du remaniement d'alluvions Fu1 d'un site voisin. Plus près de cette rivière, toujours sur sa rive droite, les traces d'alluvions les plus élevées s'observent à l'Est de Dauendorf, sur un replat à 220 m. Ce sont des sables dont la mise en place pourrait être éolienne. Sur les flancs sud des vallées W-E du Nord de l'Alsace, les remaniements éoliens de sables des terrasses fluviatiles sont fréquents (Schumacher, 1890b ; Geissert *et al.*, 1976).

Sur les plateaux à l'Est de la Sauer, les seuls éléments détritiques pouvant se rapporter à la phase Fu1 apparaissent dans la fraction sableuse de la mince couverture d'altération du conglomérat g1*Cg* entre Gœrsdorf et Dieffenbach (20 à 25 % dans les premiers décimètres du sondage 3-2865). Cet apport, originaire des formations gréseuses du Buntsandstein, se relie facilement à la formation de piémont du Hochwald, sans exclure la divagation possible d'un bras de la Paléo-Sauer sur la partie distale de ce piémont. Il manque sur la colline du Füchshubel (bois d'Oberdorf). La fraction sableuse d'origine vosgienne des limons colluviaux du Mittelallmend, au S-SE de Dieffenbach-lès-Wœrth (sondage 3-2911) ne peut provenir que du remaniement d'un dépôt sableux localisé sensiblement sur ce village où un forage aurait recoupé 2 m de sables argileux. Un modeste chenal, venant du Liebfrauenthal ou de l'Est de Gœrsdorf passait donc probablement à Dieffenbach.

ØA-RFu1. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur ancien probable, avec accumulation argileuse bariolée (Complexe infralœssique)**. Les alluvions résiduelles RFu1 ont subi une pédogénèse, avec développement d'une accumulation argileuse bariolée (voir la rubrique ØA-R), notamment dans 6 sites :

– Oberbronn Est, point d'observation 1-125 ;

– Reichshoffen : Bois Euler (sondages 2-167 ; 2-168 ; 2-169) Neuwald et plateau de Nehwiller (sondage 2-186) ;

– Frœschwiller (sondage 2-183) ;

– Gundershoffen, Grosserwald, arête SE de la zone sommitale ;

– Engwiller : angle NE du bois d'Engwiller (Chêne de l'amitié) et point d'observation 1-146 ;

– Oberbronn : zone sommitale de la forêt de Frohret (sondage 1-128, 1-130, 1-132).

RFu2. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur médian probable (paléo-Eberbach) ; base 60 à 70 m environ au-dessus du fond des vallées principales**. Galets de quartz et de quartzite et fragments de silexites, plus ou moins altérés, très abondants dans certains dépôts. Au Sud du Grosserwald de Gundershoffen, les alluvions RFu2 sont relayées par une série de lambeaux, jalonnant un ancien cours d'eau, jusqu'au centre de la forêt de Haguenau, souvent sur des points hauts, en inversion de relief. Leur altitude décroît plus rapidement vers l'aval ;

notés RFu2 :

– A - 242 m, 1 km au NW d'Eberbach (commune de Reichshoffen, lieu-dit Thiergarten) où d'anciennes exploitations artisanales conservent des fronts dégradés de 1,5 m de hauteur environ ;

– B - 235 m, au SE du réservoir de Forstheim ;

– C - 220 m, sur la butte « Der Wald », aux confins des bans de Forstheim et de Laubach.

notés RFv :

– D - 205 à 210 m à l'Ouest de Laubacherhof ;

– E - 192 m, un peu plus au Sud, en forêt de Haguenau, au Sud de la D72, près du point coté 194 (carrefour des Tziganes) où les gros galets de silexite sont très abondants ; ensuite, le Paléo-Eberbach infléchissait son cours vers l'Est ;

– F - les lambeaux de la butte du carrefour des routes forestières d'Eschbach et du Seeweg (carrefour des Quatre Triages ; point coté 180 m sur le 1/50 000 IGN ; 186 m sur le 1/25 000), puis ;

– G - à l'Est du Bruderhaus, la butte cotée 172 où quelques silexites résiduelles reposent sur les altérites des Couches à mélettes.

En tenant compte de ces cotes avec une certaine réserve, puisqu'il s'agit de dépôts résiduels, la pente, en moyenne de 0,7 %, atteint 1 % entre le Grosserwald et le site (A) ; 1,5 % entre les sites C et E. La surface, faiblement entaillée par les épandages Fu et Fv, est elle déformée par un léger basculement au SE de la ligne Uhrwiller – Frœschwiller ou le Paléo-Eberbach en aval de Laubach est-il un cours d'eau Fv plus récent ayant entaillé davantage l'ancien plateau sous-vosgien ? L'abaissement des reliefs et l'absence d'alluvions à des cotes supérieures à 220 m au Sud de la ligne Uhrwiller – Frœschwiller privilégient la première hypothèse. Ayant pris le parti de classer les alluvions selon leur altitude au-dessus du fond des vallées, nous optons sur la carte pour

la seconde, en notant les niveaux D à F en RFv. La pente plus forte entre les sites C et E pourrait aussi correspondre, en suivant H. Vogt (1992), au passage possible d'une faille E-W, d'âge pléistocène moyen, jalonnant sensiblement le rebord du plateau qui domine au Nord le cours de la Sauer entre Morsbronn et Betschdorf. L'examen des sondages pétroliers n'a pas permis de démontrer cet accident, mais les coupes ne sont pas assez précises pour mettre en évidence une faille de faible rejet.

À l'amont du large vallon situé au NE de **Reichshoffen**, à une altitude voisine de 245 m, trois lambeaux d'alluvions dans le bois du Grosserwald et un quatrième, plus réduit, en face dans le Neuwald proviennent probablement du remaniement des alluvions RFu1 dans ce vallon au tout début de son creusement. De nombreux galets de quartz les jalonnent.

À l'Ouest de **Forstheim**, le Paléo-Eberbach recevait peut-être un affluent venant du secteur de Reichshoffen, comme le suggèrent un affleurement situé à une distance de 1,3 km au Sud-Est de Gundershoffen et la longue bande sableuse **RFu2**, à l'Ouest de Forstheim. Un ancien écoulement du Paléo-Eberbach vers la Paléo-Moder apparaît aussi possible avec les alluvions résiduelles du bois de **Mietesheim** et de la butte reconnue par le sondage 5-118 à l'Est de Bitschhoffen, riches en grosses silexites. La position haute des lambeaux résiduels des alluvions du Paléo-Eberbach (inversion de relief) implique un interfluve plus élevé le séparant d'une Paléo-Sauer, drain naturel du fossé de Lembach, dont on ne peut exclure l'existence au Pléistocène inférieur.

Secteur à l'Est du Paléo-Eberbach

Atteignant localement 50 %, la fraction sableuse de la couverture lœssique entre **Frœschwiller** et Elsasshausen dérive probablement d'un dépôt fluviatile remanié, son hétérométrie ne suggérant pas une mise en place éolienne. Plus au Sud, la couverture limoneuse de la colline du Pferchfeld (point coté 237 m) ne renferme que 5 % de sables d'origine vosgienne, mais celle que la D250 entaille autour du carrefour coté à 221 m en contient 25 à 40 %. Leur moindre hétérométrie permet d'envisager une mise en place éolienne.

RFu2. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur médian probable, avec accumulation argileuse bariolée (Complexe infralœssique)**. L'altérite argileuse des alluvions Fu2 résiduelles tapisse, au NE de Gundershoffen, la zone haute parcourue par la D86, du carrefour avec la D149 vers Eberbach (butte de Thiergarten). Là, dans le sondage 2-177, sous 0,7 m de limons sableux plus ou moins lessivés, l'argile, pénétrée sur 1m, contient seulement 1 % de sable, sablon fin provenant de l'altération des grès rhétiens.

La partie centrale du bourg de Forstheim repose sur une argile plus ou moins silteuse et sableuse, bariolée ocre et gris clair.

Le replat du **Lauterbacherhof**, présente une couverture résiduelle, comprenant d'anciens lœss et des sables alluviaux Fu ou Fv. Dans le sondage 2-180, 0,5 m de limons sableux gris beige, plus ou moins lessivés recouvrent, pénétrée sur 1 m, une argile limono-sableuse panachée ocre et gris blanc bleuâtre comprenant 20 % de sable hétérométriques, orginaires du Buntsandstein et quelques grains ferromanganiques. Sur le versant de ce replat (sondage 2-181), les limons sableux sont plus épais (1 m) ; l'argile limono-sableuse sous jacentes présente le bariolage typique du complexe infralœssique : ocre (teinte à sec, 10YR5/6 à 7/6) et gris blanc bleuâtre (10YR8/1) à enduits noirs ferromanganiques irrégulièrement répartis.

RFv. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien ; situées 25 à 52 m au-dessus du fond des vallées principales -** Fvg**. Faciès à blocs de grès**. Dans la **vallée de la Moder**, les alluvions RFv « coiffent » la partie sommitale du bois de Zutzendorf, à une altitude de 215 à 217 m, où elles sont sableuses, avec des galets de quartz, de quartzite et de rares silexites, plutôt localisés à leur partie inférieure. Des remaniements sur les versants environnants ont largement étendu cette couverture de sables et de galets. On peut rattacher aux alluvions RFv du **bois de Zutzendorf** la traînée de galets de quartz qui domine le confluent Rothbach – Moder au SE de Kindwiller et se poursuit au NW d'Uberach, à une altitude comprise entre 205 et 210 m. L'existence d'alluvions anciennes sous les lœss, à l'Est et au NE de Kindwiller, est possible ; dans ce secteur ; dépôts probable d'un ancien cours d'eau venant probablement du Rieselberg, à l'Ouest d'Uhrwiller et jalonné par des lœss assez sableux. Le meilleur indice de ce cours d'eau est l'affleurement 5-150, au Sud d'Engwiller, exposant, entre les altérites des marnes jurassiques (Pliensbachien probable) et les lœss, une argile silteuse contenant 30 % de sable à grain moyen prédominant, semblable à celui des alluvions anciennes d'origine vosgienne. Des oxydes de fer cimentent en partie ces sables, remaniés sur la partie basses du versant (CFv) en amas atteignant la taille du poing. Le lien entre les alluvions Fv de la Moder et les galets résiduels sur la butte située au NE de **Bitschhoffen** (Mordfeld, sondage 5-118 ; altitude 203 m) à nombreux éléments de silexite apparaît peu probable. Plus vraisemblable est l'hypothèse d'un apport des galets à silexites du Mordfeld par un Paléo-Schwartzbach ou un Paléo-Eberbach. Dans le sondage 5-118, l'épaisseur des alluvions RFv atteint encore 2 m. La matrice des galets est un sable argileux. Au Sud de la Moder dans le Sandwald de Schalkendorf, au-dessus de la boucle de la voie ferrée, vers l'altitude 215, une couverture de sable pourrait avoir une origine éolienne ; nous l'avons noté Dw-x.

Paléomoder de Bertsheim : au début du Pléistocène moyen, la Paléo-Moder s'est écoulée, à partir du secteur du Neubourg, vers le SE, en direction de

Bertsheim. La trace d'un premier cours, dans la tranche altitudinale actuelle 189-200, est attestée par la présence de sables blancs, jaunes ou rouges dans les sondages 6-316 (épaisseur 10 m), 6-715, 6-736 et 6-49 (épaisseur 8 m), au Nord de Bertsheim. Plus au Sud, ce cours d'eau pouvait soit longer vers l'est l'éperon morphologique de Bertsheim (Frœhn) et expliquerait la présence de sables mélangés aux lœss, sur la courbe de niveau 200 m, au SE de Wintershouse et ceux du sondage 6-314 au Nord de la localité ; soit, avec une moindre probabilité, franchir cet éperon à Bertsheim où la surface d'érosion du substrat tertiaire s'y abaisse à moins de 190 m. Plus au Sud on retrouve, de Wittersheim à Batzendorf, dans la tranche altitudinale de 187 à 200 m, une formation sableuse, également sous les lœss (sondages 6-688, 6-718, 6-856, 6-861) qui semblent jalonner un tronçon de corps alluvial de direction W-E. Son épaisseur atteint 13,5 m dans le sondage 6-861. Cependant, ces sables, situés 40 à 53 m au-dessus du fond de la vallée de la Zorn peuvent se rattacher plus logiquement à la partie supérieure des alluvions anciennes Fv de cette vallée ; sondage de référence 02333X0093, près de la Chapelle Kreutzfeld, à l'Est de Saverne où ces alluvions ont été rattachées par erreur au niveau Fw (Ménillet *et al.*, 1979). Leur teinte rouge, mais souvent décolorée, avec des passées blanchies dans le secteur de Saverne, laisse présumer un âge Pléistocène moyen ancien.

Paléomoder d'Ohlungen : des alluvions anciennes constituées de sables et de galets de quartz occupent le replat ceinturé par la courbe de niveau 180 m, au centre du bois d'Uhlwiller et surtout la partie haute du bois d'Ohlungen (180 à 185 m). Quelques fragments émoussés de silexites indiquent un lien possible avec la Paléo-Moder (*cf.* RFv du bois de Zutzendorf) ou un cours d'eau originaire du Nord (Schwarzbach ou Paléo-Eberbach).

Paléocours Wittersheim – Batzendorf : près de la bordure méridionale de la carte, du Sud de Wittersheim à Batzendorf, des sables blancs, jaunes ou roux recoupés dans une demi-douzaine de sondages : 02342X0235, 0204, 0021 (feuille à 1/50 000 Brumath), 6-492, 6-746, 6-40 pourraient jalonner un ancien corps alluvial de la Zorn. Leur puissance atteint 6 m dans les sondages 6-492 (altitude 179 à 185 m) et 6-40 (altitude 177 à 183 m). Situés 32 à 38 m au-dessus du fond de la vallée da la Zorn, ces témoins d'alluvions correspondent à la partie inférieure des alluvions Fv du sondage 02333X0093 cité au paragraphe précédent.

Remaniements éoliens : à Ohlungen, nous avons observé des interstratifications de lamines de sables éoliens dans les lœss (nouveau quartier au Sud de la D241, avant le carrefour de la route d'Ohlungen). À Uhlwiller, le flanc oriental de la butte du Rottenberg est tapissé de sable rouge, de sables limoneux et de limons sableux. Dans les sondages 6-331 et 6-336, les sables rouges, en tête des ouvrages, ont 1 m d'épaisseur, quelque soit leur position topographique ; leur mise en place est donc éolienne ou colluviale. Nous n'avons pas retrouvé les restes d'alluvions figurées sur la première édition à la chapelle de la Croix Noire au Sud de Dauendorf et dans tout ce secteur. Ils

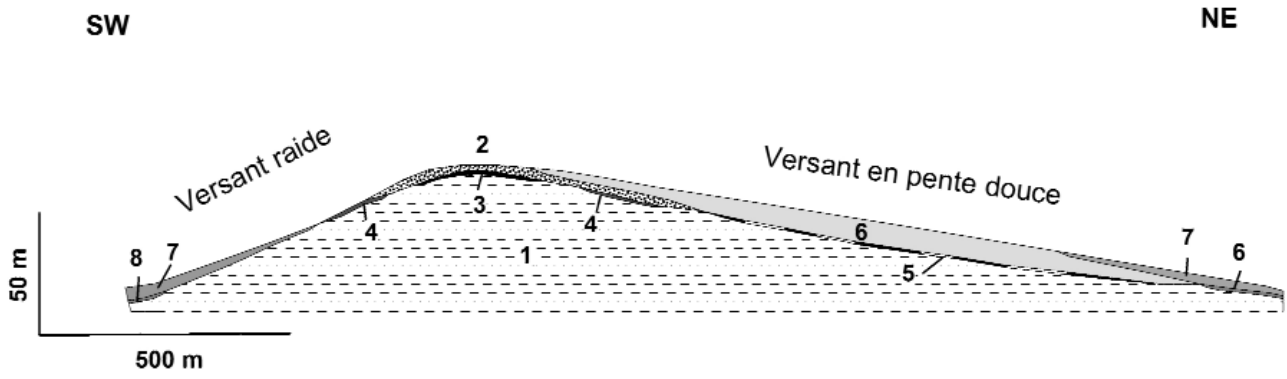


Fig. 22 - Disposition schématique des formations superficielles d'une colline sous-vosgienne à substrat de marnes jurassiques, dans le pays de Hanau (Bas-Rhin, France) selon F. Ménillet

8 - Accumulation argileuse hydromorphe (gley plus ou moins oxydé), à la base des colluvions de bas versant ou de fond de vallon, avec ou sans concrétions ferromanganiques.
7 - Colluvions limono-argileuses à sablo-limoneuses de bas versant et de fond de vallon.
6 - Lœss souvent altérés du Pléistocène moyen (Œw-x), plus ou moins remaniés sur le versant par cryoreptation et colluvionnement, sableux sur certaines buttes.
5 - Accumulation argileuse bariolée, à la base des lœss, continue, discontinue ou irrégulièrement répartie sur le versant (complexe infralœssique).
4 - Accumulation argileuse bariolée de haut de versant, au moins localement issue du remaniement, par gélifluxion, du complexe infralœssique de sommet de butte (3).
3 - Accumulation argileuse de sommet de butte (complexe infralœssique), sub-affleurante ou recouverte et mêlée d'alluvions résiduelles du Pléistocène ancien ou moyen.
2 - Alluvions résiduelles du Pléistocène ancien ou moyen (RFu, RFv, RFw) ; absentes sur les plus hautes buttes.
1 - Marnes du Jurassique, plus ou moins altérées près de la surface.

correspondent à la mention « *diluvium* » sur les anciennes minutes allemandes à 1/25 000 qui désignait souvent, mais pas toujours, des alluvions anciennes. La teneur des lœss en sable y est faible et probablement d'origine éolienne.

En marge de la vallée de la **Zinsel du Nord**, le lobe NE du bois d'Uhrwiller forme une butte dont la partie sommitale, cotée à 232 m, est parsemée d'alluvions résiduelles, sables et galets de quartz et de quartzite, mêlées aux altérites du Lias et à de vieux lœss très enrichis en argile par altération (Complexe infralœssique *A*-RFv, *cf.* fig. 22 l'exemple d'une succession impliquant des altérites du substrat, alluvions, Complexe infralœssique, lœss et colluvions). Plus au SW, sur la butte cotée à 230 m, ce complexe comprend, à sa base dans le sondage 1-104 (fig. 23, hors texte), à 6,8 m de profondeur une passée argileuse contenant 25 % de sables constitués de grains de quartz hétérométriques ; les plus gros, arrondis mats, sont semblables à ceux des alluvions anciennes, originaires des Vosges. Cette même fraction se retrouve, un peu moins abondante, un bon mètre plus haut et se maintient, en faible quantité, dans les limons surincombants. Sur le ban de Zinswiller, l'axe sommital du Bodenwald supporte, entre les courbes de niveau 220 et 225 m, des restes de sables alluviaux décolorés. Plus au Nord, les alluvions portées sur la première édition sont si éparses et discontinues que nous ne les avons pas figurées (remaniement anthropique possible de l'empierrement du chemin). Cependant, la présence d'une fraction sableuse dans les limons du versant sud est un indice de leur existence ancienne.

Paléolauterbaechel : en rive gauche de la Zinsel, des alluvions RFv ne sont conservées qu'au Nord de Gumbrechtshoffen, sur l'éperon SE du Kirchenkopf où elles ont probablement été exploitées dans une petite excavation, occupée actuellement par une mare (sables blancs, un peu argileux, rencontrés en tarière sous 1,5 m de limons argileux). Ce témoin peut se rattacher à une série de lambeaux d'alluvions (**Fvg**) bien préservés sur le flanc septentrional de la forêt de Frohret, remarquables par leur richesse en gros galets et blocs de Grès vosgien, dont la couleur rouge rosâtre est conservée, impliquant un âge ne remontant pas au-delà du Pléistocène moyen, à moins que ces lambeaux soient les restes d'un corps alluvial épais dont la base n'ait été atteinte que tardivement par l'altération. Le remplissage limoneux du fond du ruisseau; entre les deux lambeaux Fvg, emballe des blocs de grès émoussés, remaniés de ces alluvions. La longueur des plus gros atteint 1,10 m et atteste un régime torrentiel pour le Paléo-Lauterbaechel, en relation probable avec la morphologie très encaissée du cours vosgien de ce ruisseau (Ungerthal). Une crue violente du Paleo-Lauterbaechel, liée par exemple à la rupture d'un barrage créé par un glissement de terrain ou une avalanche, apparaît probable.

En aval de Gundershoffen, sur la rive gauche de la Zinsel, deux lambeaux d'alluvions, au Nord de Mertzwiller, paraîssent en place, puis en forêt de Haguenau celles qui coiffent les replats des districts de Mattsthal et de

Sonnenplan dont la base se situe 26 à 30 m au-dessus du fond de la vallée, peuvent se rattacher aux alluvions Fv. Elles sont assez riches en galets de quartz. Les galets de silexites abondent dans le district de Mattsthal, comme, plus à l'Est, sur la butte du carrefour des routes forestières d'Eschbach et du Seeweg (carrefour des Quatre Triages). Les alluvions résiduelles de cette butte, plus haute de 5 m d'après la carte IGN à 1/25 000 (186 m), peuvent appartenir au cours du Paléo-Eberbach (voir la rubrique RFu2).

Dans l'interfluve Falkensteinbach – Eberbach, à l'Ouest de Forstheim, le sondage 2-140 a recoupé, sans la traverser, une couche de sables blancs à roses, d'origine vosgienne, entre les cotes 218,5 et 222 m.

RFvS. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien, faciès sableux**. Des sables à grain moyen ont été jadis exploités dans une modeste carrière, sur une épaisseur de 2 m environ, dans la partie sud-ouest de la butte du carrefour des routes forestières d'Eschbach et du Seeweg.

Épandages du Pléistocène moyen ancien au Nord du Seltzbach. Au Nord de la carte, les lambeaux de plateaux, ou plutôt de glacis, prolongeant le piémont du Hochwald sont plus ou moins tapissés par une formation argilo-limono-sableuse ; en particulier au Nord de Preuschdorf (sondage 3-2910) et en Forêt de Kutzenhausen où leur altitude s'abaisse du NW au SE de 210 à 200 m (sondages 4-1363, 4-1364, 4-1365). En l'absence d'indices de néotectonique pléistocène dans ce secteur, nous rattachons ces épandages à un Pléistocène moyen ancien (∅-RFv).

Au Sud du Seltzbach, nous n'avons pas trouvé de témoins notables d'alluvions anciennes Fv, en particulier sur le Fuchshuebel d'Obersdorf-Sparbach et sur les points hauts des confins SE du ban de Dieffenbach-près-Wœrth (sondages 3-2912 et 3-2913).

RFvSx. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien, riche en galets de silexite**. En forêt de Haguenau, à proximité des bans de Laubach et d'Eschbach (secteurs du carrefour Meynier et du carrefour des routes forestières d'Eschbach et du Seeweg, appelé carrefour des Quatre triages) les alluvions RFv contiennent de nombreux galets de silexites dont la taille dépasse souvent 10 cm. Ils présentent localement une accumulation argileuse bariolée, en particulier autour du carrefour des Quatre triages. D'une épaisseur de 1 à 2 m, souvent argileuse dès 50 cm de profondeur, cette couverture à silexites repose sur des sables gris, plus ou moins argileux, avec souvent un niveau franchement argileux dans leur partie supérieure, la teneur en sable pouvant tomber à 20 % ; possible accumulation argileuse d'origine pédologique, mais sans taches d'oxydation ; Comme de chaque coté de la butte les altérites des marnes oligocènes affleurent (Couches à melettes),

ces sables, identiques aux sables alluviaux d'origine vosgienne, sont vraisemblablement peu épais. La première édition de la carte géologique Haguenau (Daum *et al.*, 1970) les attribue au Pliocène, mais un âge pléistocène moyen nous paraît plus probable. Ces matériaux sont largement étalés sur les versants par colluvionnement et solifluxion, en particulier du coté Est (voir Hw).

Fv-R. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent à moyen ancien avec accumulation argileuse bariolée (Complexe infralœssique)**. Des accumulations argileuses bariolées (voir la présentation du complexe infralœssique -R) dans des alluvions Fv résiduelles ont été observées dans 4 principaux sites :

– au Nord de Gumbrechtshoffen : au Sud (sondage 1-138) et au Nord (sondage 1-136) de la butte boisée du Kirchenkupp ;

– à la limite occidentale de la carte, commune de Bischholtz, légèrement remaniées en tête d'un petit vallon (sondage 1-145) ;

– au Sud d'Uhrwiller, hauteur du Vierzelfield, sondages 1-148 ;

– à Wintershouse, dans la tranchée de la D160, 1 km environ à l'Est du bourg et à proximité dans le sondage 6-1031 dont les échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique à la pipette de sédimentation ;

Épaisseurs en mètres, de haut en bas :

– A - 1,00 - sable silteux et un peu argileux beige rosâtre (55 à 70 % de sable, 10 à 20 % d'argile < 2 µm) ;

– B - 0,50 - limons très argileux (40 % d'argile < 2 µm) et un peu sableux (8 % de sable) ;

– C - 0,50 - limons assez argileux (30 % d'argile < 2 µm) et sableux (22 % de sable) à concrétions ferromanganiques, ayant jusqu'à 5 mm de diamètre ;

– D - 2,50 - limons argileux et sableux id.supra, non analysés ;

– E - 1,80 - limon argileux à argile limoneuse jaune ocreux, à taches gris rouille et concrétions ferromanganiques (substrat assez altéré) ;

– 3,00 - argile gris ocreux (substrat peu altéré).

Les niveaux B, C et D, peuvent être interprétés comme une accumulation argileuse bariolée, assez semblable à celle que nous avons observée dans la tranchée de la D60 où elle passe progressivement à un sable argileux brun rose ; granulométrie sur la figure 25 et minéralogie de la fraction argileuse dans la présentation du complexe infralœssique.

Alluvions anciennes du Rhin, d'origine alpine

Fv-w*R*. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent à moyen médian, regroupées : succession argile silteuse carbonatée, sables fins carbonatés**. Dans une ancienne gravière ouverte au bord de la terrasse sur

laquelle est bâtie la partie nord du bourg d'Oberhoffen (coordonnées approximatives : x = 1 006,700 ; y = 135,400), F. Geissert (Geissert *et al.*, 1976) a reconnu une succession stratigraphique, s'échelonnant sur une grande partie du Quaternaire ; de haut en bas, âges harmonisés par F. Ménillet avec les repères chronologiques adoptés dans le reste de la notice ; épaisseurs en mètres :

– 1 - 6 m sable non altéré et graviers, Weichsélien ancien ;

– 2 - 2 m env. sables d'origine vosgienne décolorés et graviers, Pléistocène moyen récent, ravinements par endroits ;

– 3 - 0 à 1 m sables rhénans gris décalcifiés (Pléistocène moyen médian) ;

– 4 - 1 à 2 m sables rhénans gris calcaires avec concrétions calcaires en plaques.

Le sondage 8-45 complète la coupe, à partir du plancher d'exploitation :

– 5 - 2 m marne plus ou moins humifère à la base, jaunâtre au sommet, à Planorbes, Limnées et *Bithynia leachi* (milieu marécageux ou limnique, dépôt de phase anaglaciaire ou interglaciaire) ; Cromérien probable ;

– 6 - 0,50 m argile rougeâtre silteuse 0,50 m, Pléistocène inférieur ou moyen ancien ;

– 7 - 13 m sable grossier couleur rouille, Pléistocène inférieur ou moyen ancien ;

– 8 - 0,50 m horizon tourbeux à flore banale du Quaternaire (*Pinus diploxylon*, Chénopodiacées et Composées, *Hippuris vulgaris*, *Menianthes trifoliata*) Pléistocène inférieur probable ;

– 9 - 1,00 m argile silteuse de teinte gris-bleu à spores de *Laevigatispontes haardti* et pollens de Taxodiacées, *Pinus diploxylon*, *Corylus*, composées, bouleaux, graminées, aulnes, épiceas, Cupressacées et Cupulifères ;

– 10 - 1,00 m sables hétérométriques de teinte rosée, Pliocène.

Couches	Tourmaline	Zircon	Grenat	Anatase	Rutile	Hornblende verte	Biotite	Épidote	Apatite	Staurotide	Disthène
2	53	11	2	3	1	1	18	11			
3a	4					73		13	3	3	4
3b	1	8	5	6	2	35		42			1
4	1	1	19		1	31		42		3	2
5			3			78		10	1	3	5
7	54	10	2	3	2		17	12			

Tabl. 12 - Spectres minéralogiques des minéraux lourds des couches 2 à 7 (pourcentages) de la coupe du sondage 01988X0045 à Oberhoffen-sur-Moder, Bas-Rhin, France (Geissert *et al.*, 1976). Étude minéralogique par W. Bœnigk *in* F. Ménillet, Théobald *et al.*, 1976 et Bœnigk (1987)

Les couches **2 et 7** ont un spectre à peu près identique avec une prédominance de tourmaline, minéral bien représenté dans le Buntsandstein des Vosges et un fort pourcentage de biotite (tabl. 12). Les matériaux de ces alluvions proviennent de l'érosion des grès du Buntsandstein.

Les couches **3 à 5**, riches en hornblende verte, épidote, à minéraux de métamorphisme alumineux (grenat, staurotide, disthène) (tabl. 12) sont constituées de matériaux d'origine alpine, apportés par le Rhin. Les sables rhénans gris (4) se localisent le long d'une longue bande allant d'Hangenbieten, à l'Ouest de Strasbourg, jusqu'à Mothern, au Sud de Lauterbourg, soit sur la bordure occidentale de la basse plaine rhénane. Leur composition, faciès et granulométrie est très voisine de celle de la Molasse nord-alpine (Geissert *et al.*, 1978). À flore et faune froide (Geissert *et al.*, 1976, sondages 02721X0065 et 01993X0041), ils seraient contemporains des Sables de Mosbach, près de Wiesbaden, au Nord du Fossé rhénan (Geissert, 1970), soit le début de la phase froide suivant le Cromérien (Elstérien probable ; « Mindel » dans les publications de F. Geissert). Leur mise en place est vraisemblablement fluviatile, les intercalations argileuses, la présence de minéraux micacés, des passées mêlées de sables d'origine vosgienne et localement de rares galets n'étant guère favorables à l'hypothèse d'une origine éolienne. Leur étroite localisation, en terrasse, sur la bordure occidentale de la basse plaine rhénane est liée à l'accident Hangenbieten – Lauterbourg ; on les retrouve en contre-bas, dans le sondage 8-73, également sous une couverture de sables roses (épaisseur 6 m), abaissés de 8,5 m environ par cette faille. L'épaisseur des sables et marnes gris rhénans est ici très faible (4 m) ; les sondages implantés plus au Sud-Ouest (feuille à 1/50 000 Brumath) leur attribuent une puissance nettement supérieure : Bischwiller (02344X0200, > 12,5 m), Gries (02343X0096, > 16 m) et Weitbruch (02343X0057 > 24 m). La Paléo-Moder du Pléistocène moyen les a probablement érodés. Les deux premiers sondages, plus récents que la carte géologique de Brumath, montrent que le cône alluvial « Fy » figuré au Sud-Ouest de Bischwiller n'existe probablement pas et qu'il doit être, en grande partie remplacé par une zone d'affleurement des sables rhénans gris FwR, plus ou moins recouverts de sables remaniés des alluvions du Pléistocène inférieur ou moyen d'origine vosgienne.

À la fin du Cromérien (première partie du Pléistocène moyen), l'actuelle vallée du Rhin, des Alpes suisses à la mer du Nord était déjà individualisée. Au milieu du Pléistocène moyen, la plaine rhénane, située à l'époque au niveau de la surface de Birklach – Aschbruch (terrasse de Haguenau dans la littérature antérieure), le Rhin débordait légèrement sur cet élément morphologique, mis en relief par l'effondrement de la basse plaine rhénane à une époque plus récente du Pléistocène moyen (Saalien ?) au Pléistocène supérieur.

À la différence des couches silteuses à argileuses, la flore des dépôts ligniteux et tourbeux apparaît très uniforme, avec une grande abondance de *Menyantes*

trifoliata (« trèfle d'eau ») et *Hippuris vulgaris* (« pesse d'eau »), association encore actuelle et répandue depuis les régions arctiques jusqu'en Europe méridionale (Geissert, 1980).

En rive droite de la Moder, au SE de **Kaltenhouse**, des sables silteux et micacés se retrouvent dans une ancienne tranchée de voie ferrée et se suivent sur la feuille de Brumath-Drusenheim jusqu'au Sud-Est de Weitbruch par Gries où G. Lemée et J. Tricart (1955) les ont curieusement interprétés comme des alluvions anciennes de l'Ill. Le sondage 02344X0590, entre Gries et Bischwiller a traversé, sous ces sables micacés, 9 m de sables et graviers qui pourraient correspondre à la couche 7 de la coupe d'Oberhoffen-sur-Moder (8-45) et les sables micacés aux couches 3 et 4. Au NW de la tranchée, sur l'escarpement qui limite la vallée de la Moder, nous n'avons plus retrouvé les sables micacés, mais seulement des sables blancs. Dans le sondage 8-20, le mince niveau sommital de sables et graviers recouvre 6,50 m d'argile sableuse et de sables gris fin surmontant 1,50 m de sables et graviers dont la description n'est pas suffisante pour choisir de les rattacher au Pléistocène inférieur à moyen ou au Pliocène. Les sables micacés ne semblent ici pas très épais, mais comme nous l'avons indiqué précédemment, leur puissance augmente vers le Sud.

Alluvions du Pléistocène moyen : sable rose ou décoloré et galets de quartz et de quartzite

Fw. **Alluvions du Pléistocène moyen médian, situées 10 à 30 m au-dessus du fond des vallées principales -** Fws **- Faciès sableux**. Comme sur la feuille de Bouxwiller (Ménillet, Bücking *et al.*, 1979b), les alluvions Fw de la **vallée de la Moder** sont souvent sableuses. La pente longitudinale des corps alluviaux apparaît faible (0,5/1 000 environ). Dans le secteur de Pfaffenhoffen et un peu plus en amont (Uhrwiller), les alluvions Fw, vraisemblablement érodées ou remaniées sur les versant et mêlées par solifluxion à des alluvions plus anciennes, sont rarement identifiées avec certitude. Aucun élément : terrasse, carrière, sondages, ne permet de les suivre. Elles furent exploitées au NW de La Walk. En aval d'Uberach, dans le district forestier de Stocklach, le sondage 6-1047 a traversé, sous 2,5 m de limons sableux, des sables sur 1,8 m, puis 0,7 m de graviers et galets. Les sables sont limoneux, brun beige, puis argileux et gris verdâtre clair. Les galets et graviers comprennent 70 % de quartz, 15 de quartzite, 10 de grès roses et blancs, durs peu altérés et 5 de silexites ; leur matrice, gris verdâtre clair, est constituée de sables limono-argileux. De 2,5 m d'épaisseur, ces alluvions, situées 26,5 à 29 m au-dessus du fond de la vallée de la Moder apparaissent un peu hautes et peuvent soit se rattacher au niveau Fw soit être des alluvions Fv remaniées. À l'Est de Mertzwiller, au Sud du canton forestier de Sonnenplan, le sondage 6-501 à traversé 7,5 m de sables qui présentent un faciès blanchâtre argileux dans le fossé de la route forestière (voir l' unité Fw*H* ci-dessous).

Dans la vallée de la Zinsel, les alluvions Fw, constituées de sables et graviers en proportions variables, résiduelles au SE de Zinswiller, forment de belles terrasses en rive droite, sur la commune de Gumbrechtshoffen. Au lieu dit Schwarzenacker, une petite sablière les exploite sur une épaisseur de 1,5 m où ils sont largement décolorés. En rive gauche de cette rivière, les alluvions Fw sont mal conservées, souvent résiduelles et solifluées : deux lambeaux à l'Ouest de Gundershoffen, l'un au lieu-dit Eulenberg, l'autre au Nord de la ferme Finkenberg appartiennent plutôt à la vallée du Falkensteinerbach.

Paléomoder de Schweighouse-sur-Moder : une dizaine de mètres en contre-bas des alluvions RFv des bois d'Uhlwiller et d'Ohlungen, vers l'Est, les replats supportant les parties hautes du bourg de Schweighouse-sur-Moder, de son bois communal du Hardtwald, puis celui, vers Haguenau, de la Bischwiller-Hardt présentent une mince couverture alluviale. Ce niveau, souvent riche en galets de quartz et de quartzite, situé 20 à 25 m au-dessus du fond de la vallée de la Moder, se suit, vers le Sud par la Hardt de Batzendorf puis le Spitalwald, au NE d'Harthouse où il semble largement remanié (voir la rubrique CFv/p). Epais le plus souvent de quelques décimètres à 2 m, il présente localement, à sa base, des chenaux entaillant les sables pliocènes. Dans la sablière de Batzendorf, la plus méridionale et la plus récente, le front de taille recoupait un chenal de 3 m de profondeur, rempli de sable rouge et séparé, à sa base, des sables pliocènes par une lentille d'argile grise.

Toujours en rive droite de la Moder, nous rattachons au niveau Fw, les alluvions recouvrant la partie haute du bourg de **Schweighouse-sur-Moder** et, plus au SE, ceux du large replat boisé du Forlen et de la Bischwiller Hardt. Leur épaisseur, souvent inférieure à 2 m, atteint 5 m dans le sondage 7-72. Elles contiennent quelques galets de silexite, probablement remaniés des alluvions Fv ; leur taille est moindre (< 5 cm) et ils sont plus émoussés. Plus en aval, les alluvions Fw sont largement remaniées sur la surface d'érosion de Marienthal, (voir la rubrique RFw-x/p).

Les alluvions Fw pourraient être contemporaines des sables gris rhénans (couches 3 et 4 de la coupe d'Oberhoffen ; voir ci-dessus rubrique Fv-w*R*) et des alluvions anciennes de l'ancienne lœssière de Mommenheim à *Elephas trogontherii* (Geissert, *in* Ménillet, Théobald *et al.*, 1976).

Dans la vallée de la Sauer, les sables et graviers formant la belle terrasse conservée de Morsbronn jusqu'au confins de la forêt de Haguenau sont notés Fw-x (voir aussi cette rubrique), car ils se sont probablement déposés au cours d'une assez longue période avec une phase ancienne d'un cours Fw qui suivait la direction de l'actuelle Sauer, vers Surboug et Betschdorf où sont conservés quelques restes d'alluvions RFw (voir cette rubrique). Une seconde phase (Fx) correspond à une diffluence momentanée de la Sauer vers la Moder ou la paléo-Zinsel qui se raccorde aux alluvions Fx de ces rivières.

Localisation	N° sur carte	Cotes des corps sableux		Épaisseur de sable	Hauteur au-dessus du Seltzbach
		Toit	Mur		
N. de Kutzenhausen	4-733	181	164	17 probables	31 à 14
NW de Soultz\Forêts	4-729	167	156,5	10,5	17 à 6,5
SW de Soultz\Forêts	4-36	181	172	9	31 à 22
	4-162	174	161	13	24 à 11
	4-785	177	167	10	27 à 17

Dans le secteur de Kutzenhausen et de Soultz-sous-forêts, quelques sondages pétroliers mentionnent la présence de sables sous les lœss, en position haute :

Bien que nous n'ayons aucune description précise de ces sables, il est peu probable qu'ils appartiennent à un niveau de l'Oligocène, car les substrats ne sont pas tous au même niveau sratigraphique et, à l'exception du sondage 4-729, leur position au-dessus du fond de la vallée du Seltzbach correspond à celle du remblaiement alluvial Fw. L'existence d'un cours d'eau, au Pléistocène moyen médian, empruntant l'actuelle vallée du Frœschwillerbach à l'amont, puis celle du Seltzbach en aval de Soultz est donc fort possible.

Faciès sableux. Le critère de différenciation des alluvions par leur altitude au-dessus des fonds de vallées conduit à noter FwS des lambeaux d'alluvions de nature essentiellement sableuse, notamment à **Gundershoffen et Uhrwiller**.

Fw*H*. **Sables blanchâtres de la Hohwarth, alluvions du Pléistocène moyen (hypothèse choisie) ou du Pliocène - ∅/-RFw*H*. Idem avec accumulation argileuse bariolée**. En **aval de Mertzwiller**, au NE de la Zinsel et donc en forêt de Haguenau, les replats des districts de Sonnenplan (replat sud) et de la Hohwarth conservent une couverture alluviale d'épaisseur variable (1 à 10 m). Blanchâtres, souvent assez fins et un peu argileux, ces sables ressemblent à certains faciès du Pliocène et ont été rattachés sur la première édition à cette période. Cependant, il paraissent se raccorder au paléochenal du Bruderhaus et nous avons vu que les sables du Pléistocène inférieur et moyen peuvent être décolorés en condition de mauvais drainage ; hypothèse choisie). Une autre hypothèse possible est un remaniement au Pléistocène moyen, de matériaux plus ancien, comme ceux d'un ancien chenal d'alimentation du bassin pliocène. Dans la tranchée de l'ancienne voie ferrée stratégique (point d'observation 7-570, parcelle 1068) et la parcelle 1067 (parcelles figurées sur la carte du régolithe), leur partie supérieure est souvent argileuse et plus finement sableuse (accumulation argileuse bariolée ou épisode de sédimentation plus fine, sur quelques décimètres à plus d'un mètre). Dans les parcelles suivantes (1066 et 1065), les sables, reconnus sur 1m de profondeur, apparaissent très largement engorgés, ce qui suppose un niveau argileux à faible profondeur. Nous l'avons interprété, à titre hypothétique, comme un niveau d'accumulation argileuse bariolée noté : ∅/-RFw*H*.

RFw. **Alluvions résiduelles du Pléistocène moyen médian**. Les alluvions résiduelles RFw se localisent sur des replats situés, 10 à 30 mètres au-dessus du fond des vallées. Un léger remaniement par colluvionnement et gélifluxion n'est pas exclu. Elles reposent sur différentes formations indiquées dans la légende avec la notation du substrat sous la barre de fraction sur la carte du Régolithe. L'épaisseur de cette couverture ne semble guère dépasser le mètre, sauf dans la partie axiale des anciens chenaux. Juste sous ces alluvions remaniées, les marnes sont plus ou moins altérées et mêlées d'alluvions.

Au Nord de la Sauer, entre Gunstett et Surbourg, subsistent quelques témoins d'alluvions anciennes. Bien que nous ne soyons pas certains qu'ils soient en place, nous les avons notés RFx. Dans l'affleurement observé, à l'Est de Gunstett, le sable est rose. Au Sud du bois de Gunstett, les deux sondages pétroliers figurés sur la carte des formations superficielles mentionnent du sable rouge dont l'épaisseur atteint 5 m dans le sondage le plus oriental. Sur la carte à 1/50 000, nous avons très élargi la zone d'affleurement, pour bien faire apparaître ces alluvions ; la carte des formations superficielles figurent de façon plus précise ce qui a été observé.

Plus à l'Est, sur le replat culminant à 185 m à l'Est de **Surbourg**, la couverture lœssique est localement sableuse, 25 à 30 % de fraction arénite dans le sondage 4-1308 où elle passe en profondeur (à - 7,5 m) à des sables limoneux, à courbe de fréquence bimodale, typique des sables alluviaux originaires du Buntsandstein des Vosges. Plus à l'Est, dans le sondage 4-1311, cette fraction sableuse n'apparaît qu'entre 4 et 4,5 m de profondeur (9 %). Nous interprétons ces sables comme des témoins d'une haute terrasse de la Sauer, continuant vers l'aval la terrasse Fw-x de Morsbronn, avec une très faible pente, fait cohérent dans cette phase de pré-capture de la Sauer par un affluent de la Moder. En continuant vers Betschdorf, la couverture RFw devient plus tenue et probablement discontinue. Curieusement, à la base des fronts de taille de lœss, actuellement exploités à Betschdorf, apparaît un niveau de sable, d'origine vosgienne, plus ou mons mêlé d'argile, à une altitude de 155 m environ, soit une quinzaine de mètres en contre-bas des dépôts RFw de Schwabwiller. Existe-t-il une faille décalant le substrat des loess à l'Ouest de Betschdorf ou une importante phase d'érosion ?

Plus au Nord, une fraction sableuse se retrouve dans les lœss du **secteur de Soultz-sous-Forêts**. Ainsi, dans le sondage 4-1306, à Schœnenbourg, la partie inférieure du complexe lœssique contient 5 à 15% de sable, à une altitude sensiblement comprise entre 170 et 172 m. Dans le sondage 4-1307, elle est remaniée dans les 2 m supérieurs de la formation de versant. Des écoulements fluviatiles, en provenance du Hochwald, ont probablement divagué sur ces replats, au Nord de la zone haute culminant à 218 m entre Surbourg et Soultz, avant le creusement de la vallée du Seltzbach. Une remobilisation par le vent, à

partir de ces chenaux est possible et pourrait expliquer le mélange de ces sables avec les lœss.

« Terrasse » du Walterspiel à Mietesheim. Une couverture de sables, apparemment de faible épaisseur (2 m dans le sondage 2-157), recouvre le replat du lieu-dit Walterspiel (fond topo IGN à 1/25 000) au SE de Mietesheim. Elle est constituée de sable un peu argileux et limoneux brun rouge. On peut l'interpréter soit comme le dépôt d'un méandre de la Zinsel dans le vallon de Mietesheim, au Pléistocène moyen médian, soit comme un remaniement, à cette période, de sables alluviaux Fv de la partie occidentale du bois de Mietesheim ou des hauteurs qui séparent cette commune de celle de Bitschhoffen (*cf.* sondages 1-106 et 5-118).

𝒜-RFw. **Alluvions résiduelles du Pléistocène moyen médian avec accumulation argileuse bariolée (Complexe infralœssique)**. **Entre Betschdorf et Schwabwiller**, sur l'étroit plateau parcouru par la D234, la mince couverture d'alluvions Fw, résiduelle, sur substrat argileux, apparaît souvent engorgée. La pédogénèse hydromorphe a développé à sa base une accumulation argileuse bariolée où sont mêlées les alluvions sableuses résiduelles et les altérites du substrat, dans des proportions variables. Dans le sondage 4-1369, sous couverture limono-sableuse très mince (10 cm), on peut rapporter au complexe infra-lœssique, 1 m d'argile silteuse ocre (10YR7/6 à 6/8, à sec) un peu panachée de beige très clair (2,5Y8/3), irrégulièrement sableuse. En-dessous, le sondage a pénétré, sur 0,10 m, une argile assez silteuse, beige jaunâtre (2,5Y7/4 à 7/6), altérite des Couches à mélettes.

RFw/p. **Alluvions du Pléistocène moyen médian résiduelles et largement remaniées sur argile ou sable du Pliocène**. Si au Sud de **Schweighouse-sur-Moder**, les alluvions Fw forment une couverture bien continue dans le secteur forestier « Forlen », vers l'Est et le Sud, elles deviennent discontinues. Entre la mince couverture résiduelle de sables et graviers RFw et quelques chenaux de sables rouges (sablière de Batzendorf) affleurent des sables blancs d'âge pliocène probable. Parmi les galets de quartz, des éléments de silexites émoussés sont fréquents dans la Hardt de Batzendorf où leur longueur atteint 5 cm, ils deviennent moins abondants vers le SE (moins de 2 % des éléments) et généralement plus petits (Spitalwald, Halliswald, Bois de Walk, Gosshardt), mais restent assez régulièrement présents. Ils jalonnent l'ancien cours Fw de la Moder, en direction du Sud-Est. Guère plus abondants, les galets de grès sont décolorés, mais encore bien cohérents.

Hw. **Épandage de la Hohwarth, remaniant des sables argileux et graviers à silexites FvSx**. **4 km au NW de Haguenau** le large glacis, à faible pente, qui s'étend à l'Est de la butte du carrefour des routes forestières d'Eschbach et du Seeweg (carrefour des Quatre Triages ; point coté 180 m sur le 1/50 000 IGN) est tapissé par une formation sablo-argileuse, riche en galets

de silexites. Ces matériaux proviennent, pour l'essentiel, du remaniement des alluvions FvSx du paléo-Eberbach et de leur substrat sableux. Les sables argileux à silexites s'observent plutôt dans la partie supérieure de l'épandage, ne formant pas toujours une couverture continue. En-dessous, les sables gris semblent plus constamment présents, au moins dans les parties centrale et méridionale de l'épandage. Ils présentent souvent une accumulation argileuse, comme dans le point d'obervation 7-571 (talus + sondage tarière) ; épaisseurs en mètres, de haut en bas :

0,25 - sable gris cendre ;

0,45 - sable blanchâtre, à grain moyen, devenant argileux à sa base et plus ou moins ocreux ;

0,70 - même type de sable, mais nettement argileux, panaché ocre et gris ;

0,20 - argile très sableuse gris clair, (40 % de sable id. supra, avec un gravier de quartz de 6 mm ; (possible accumulation argileuse d'origine pédologique) ;

0,10 - (pénétré sur) - sable jaunâtre id. supra, siège d'un aquifère superficiel.

L'accumulation argileuse bariolée apparaît fréquente dans les parcelles 1120, 1085 à 1082, indiquées sur la carte du régolithe. Dans d'autres coupes, le niveau argileux peut contenir moins de 30 % de sable.

À l'Est du chenal du Bruderhaus, les modestes buttes du district Srohhuebel, sensiblement à la même altitude, ont une couverture alluviale résiduelle identique à l'épandage Hw de la Hohwarth, plus ou moins riche en grosses silexites. Affectés par une altération pédogénétique, ils présentent fréquemment une accumulation argileuse bariolée, indiquée par un figuré (parcelles 1079 et 1078).

Recouvrant en partie les alluvions Fw*H* et recoupées par le chenal Fx*B* du Bruderhaus, l'épandage Hw date vraisemblablement de la fin de l'épisode « w » du Pléistocène moyen.

Fw-x. **Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent**. Les sables et graviers formant la belle terrasse conservée de **Morsbronn à la forêt de Haguenau** sont notés Fw-x à Morsbronn et dans la branche méridionnale du corps alluvial, diffluence momentanée de la Sauer vers la Moder qui se raccorde aux alluvions Fx de cette rivière. À Morsbronn, leur épaisseur atteint 12,5 m ; ce sont des sables rouges présentant des intercalations lenticulaires à graviers et petits galets de quartz et de quartzite. **À Durrenbach et Walbourg**, elles sont très peu épaisses (2 m) et quasi résiduelles, à une altitude proche du niveau de capture et de la base du corps alluvial de Morsbronn – Hinterfeld, mais aussi à celle de la base des lambeaux d'alluvions RFw de Surbourg et Betschdorf. Si elles appartiennent à la phase ante-capture, la pente de la Sauer était extrèmement faible. Sinon elles correspondent au début de la reprise du cours de la Sauer vers l'Est. Dans l'incertitude, nous conservons la notation Fw-x.

En rive gauche, les alluvions anciennes sableuses apparaissent très remaniées et mêlées de limons colluviaux (voir RFx).

À l'Ouest de Surbourg, les sables alluviaux sont mêlés aux lœss (sondage 3-2870) et aux colluvions limoneuses sur le versant situé en contre-bas et localement redéposés dans le vallon situé à l'Est de la voie ferrée. Là, sur l'ensellement de l'interfluve séparant le bassin versant de la Sauer de celui du Seltzbach, les sondages 3-43 et 3-44 ont rencontré des sables et graviers (voir la coupe dans le paragraphe Cy). Les logs des sondages pétroliers effectués au fond du Sumpfgraben ne mentionnant pas de sables et de graviers, une diffluence temporaire, au Pléistocène moyen, de la Sauer vers le Seltzbach apparaît improbable.

RFw-x. **Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent résiduelles**. Au SW du ban de Goersdorf et à l'Est de la D677, de petits blocs de silexites, de forme arrondie et des galets de quartz reposent sur un modeste interfluve, entre les courbes de niveau 190 et 200 m. La longueur des silexites atteint et dépasse 15 cm.

RFw-x/Fv-w*R*. Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent résiduelles sur alluvions rhénanes du Pléistocène inférieur récent à moyen médian. Au SE de Kaltenhouse, le replat emprunté par la route D29 est recouvert par une formation sableuse blanchâtre, localement entaillée par des chenaux de sable rose. Le talus et quelques sondages (voir le dernier alinéa de la rubrique Fv-w*R*) montrent que cette couverture sableuse, dont l'épaissseur, variable, pourrait atteindre 5 m, recouvre les sables et silts micacés du Pleistocène moyen médian de bordure de la basse plaine rhénane qui affleurent dans l'ancienne tranchée de voie ferrée recoupée par la D29.

RFw-x/p. **Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent résiduelles sur formation pliocène**. Le substrat de la surface qui s'étend **du SE de Haguenau à Marienthal et Kaltenhouse** présente au dessus des sables pliocènes une couverture discontinue de sables blancs, l'ensemble étant recoupé par quelques chenaux de sable rouge dont la profondeur peut atteindre 3 m.

Fx. **Alluvions anciennes du Pléistocène moyen récent, situées 2 à 18 m au-dessus du fond des vallées principales -** FxB**. Remplissage du paléochenal du Bruderhaus**. Épaisses d'une quinzaine de mètres, les alluvions Fx de la terrasse « *Grosse Hardt* » en aval de **Mertzwiller** sont bien représentatives de ce niveau, lié à un creusement de la vallée proche de l'altitude du fond des vallées actuelles de la Moder et de la Zinsel, suivi d'un remblaiement important. Les fronts des anciennes sablières recoupaient des sables rouges, originaires du Buntsandstein, à grain moyen à grossier, avec des passées à petits graviers et quelques galets de quartz. Des lentilles riches en

galets dans la partie supérieure comprenaient quelques galets de grès rouges ou décolorés. Plus en aval, dans le canton forestier de la Maegstub, la terrasse de la *Grosse Hardt* a été érodée et a subi des remaniements éoliens avec une belle dune en forme de barkhane et des terrassements anthropiques (*tumuli*), donnant à ce secteur une topographie ondulée très irrégulière.

Au NE de Schweighouse-sur-Moder, toujours en forêt de Haguenau, les alluvions Fx se retrouvent dans la partie septentrionale de la Sandlach, avec une épaisseur atteignant localement 9 m, où elles sont aquifères, souvent jusqu'en surface. Au niveau de la D27, la rivière recevait en rive gauche le Paléochenal du Bruderhaus creusé par une diffluence de la Sauer et rempli de sables rouges et de graviers, mis en évidence par les anciens sondages pétroliers de la Société de Péchelbronn (PSAEM), avec une profondeur maximale de 10 m. L'axe du paléochenal diffluant que nous appellerons « paléochenal du Bruderhaus » (FxB), suit à peu près la route D27 avant de s'infléchir vers l'Est, par le carrefour de Berwiller, en direction de la maison forestière du Gros Chêne pour déboucher sur la surface orientale de la forêt de Haguenau (surface de Birklach – Ashbruch). Le paléochenal du Bruderhaus présente, à sa base, une pente de 2 % (166 m, dans la zone de diffluence ; 145 m environ dans le secteur du Gros Chêne), très supérieure à celle de la base du corps alluvial de la terrasse de Morsbronn à Walbourg, presque horizontale (170 m). Il s'agit d'une capture de l'amont du cours de la Sauer, temporaire, puisque cette rivière retrouvera ultérieurement un cours vers l'Est ; dans un premier stade probable, par l'Eberbach, puis au Nord de Walbourg, par Biblisheim. Cette capture est vraisemblablement liée à un creusement plus rapide dans les sables pliocènes, favorisée par un cours assez septentrional de la Zinsel du Nord (chenal supérieur de la Sandlach, au NW de Haguenau), tandis que celui de la Sauer pouvait être ralenti par une érosion plus lente dans les bancs de grès des Couches à melettes, nombreux entre Surbourg et Schwabwiller. Cette capture pourrait être aussi liée à un abaissement du niveau de base local : la basse plaine rhénane, à la suite d'un premier jeu de la faille Bischwiller-Mothern (Geissert, 1962 ; Vogt, 1992 ; Lemeille *et al.*, 1999).

En aval de sa diffluence, cette Paléo-Sauer méridionale a pu divaguer sur toute la largeur de la surface de la partie orientale de la forêt de Haguenau et peut être même creuser un chenal en aval de la maison forestière de Wolfswinkel (feuille à 1/50 000 Seltz, à proximité de la limite orientale de la carte Haguenau), préfigurant l'aval du cours de la Sauer. Dans le secteur du Gros Chêne, un écoulement de la Paléo-Sauer selon l'actuel cours inférieur de l'Eberbach apparaît aussi possible. Une troisième hypothèse la mène vers l'aval du cours du Brunnbach (orthographié aussi « Brumbach » sur les fonds topographiques IGN antérieurs). Peut-être a-t-elle suivi successivement ces trois voies. Plus à l'Ouest, des écoulements vers le chenal du Brunnbach ne sont pas exclus en amont de la ferme Dentsch. Des flèches en tiretés indiquent sur la carte des formations superficielles, les passages les plus probables.

En rive droite de la Moder, les coupes des sondages 7-23 et 7-58, au Sud de Schweighouse-sur-Moder, mentionnent une couverture de sables et graviers de 4 à 5 m d'épaisseur qui peut être attribuée à un corps alluvial Fx (hauteur au-dessus du fond de la vallée de la Moder : 7 à 12 m).

RFx/g1*M*. **Alluvions du Pléistocène moyen récent résiduelles et largement remaniées sur les Couches à melettes (épaisseur faible, maximum 2 m)**. **Au NW de Haguenau**, de la ferme des Sœurs Grises à la ferme Oberlin, sur l'interfluve entre le Brunnbach et la Moder, les Couches à mélettes sont recouvertes par un dépôt résiduel de sables bruns à gris, plus ou moins riches en galets de quartz et de quartzite, de 0,5 à 3,5 m d'épaisseur. Cette bande haute du substrat argileux donne un petit aquifère superficiel, à l'origine de quelques modestes sources et de petits ruisseaux, en particulier le Neufeldgraben et le Burlenfeldgraben (ruisseaux figurés, mais nommés seulement sur le 1/25 000 IGN). Ces eaux furent jadis utilisées (André Wagner, documents inédits, 2009).

RFx/g1*G*. **Alluvions du Pléistocène moyen récent résiduelles et largement remaniées sur la Série grise**. 5 km environ au NE de Haguenau, sur le flanc méridional du Dachshuebel, les marnes de la Série grise sont recouvertes par 1 à 1,5 m de sables et graviers.

RFx/p. **Alluvions du Pléistocène moyen récent résiduelles et largement remaniées sur les sables pliocènes**. À l'aval du paléochenal du Bruderhaus, les alluvions du Pléistocène moyen récent deviennent difficile à suivre sur le substrat sableux pliocène ; la maille des sondages est trop lâche pour suivre le paléochenal ou les différents bras possibles de cet ancien cours d'eau vers le Nord-Est, l'Est ou le Sud-Est.

RFx*W*. **Alluvions résiduelles du Pléistocène moyen récent, situées 10 à 12 m au-dessus du fond de la vallée de la Sauer, ancien cours hypothétique de l'Eberbach par le carrefour de Walbourg**. **Au Nord de la forêt de Haguenau**, des sables et graviers dont l'épaisseur ne semble guère dépasser 3 m tapissent le replat de la maison forestière et du carrefour de Walbourg. Situé 10 à 13 m au-dessus du fond de la vallée de la Sauer, ce dépôt est plus récent que le cours FxB, de la Sauer, empruntant le chenal du Bruderhaus. Il contient quelques galets de silexites. Sa position, près de la gare de Walbourg, sur l'interfluve entre l'Halbmuehlbach et l'Eberbach appelle 2 hypothèses ; celle d'un retour de l'écoulement de la Sauer vers l'Est par l'Halbmuehlbach ou celle d'une ancienne jonction entre l'amont du cours de l'Eberbach et l'aval de celui du Halbmuehlbach, étape possible entre l'écoulement méridional de la Sauer par le chenal du Bruderhaus et le retour de son cours, au Nord de la forêt de Haguenau. Si un cours Sauer-Eberbach s'est établi par le léger ensellement de la terrasse de Morsbronn Walbourg au SW de Durrenbach, cette connexion a probablement peu duré.

Alluvions anciennes résiduelles du Pléistocène moyen récent au Pléistocène indifférenciées (RFx-y) : sables roses et galets de quartz et de quartzite

La partie orientale de la forêt de Haguenau forme une surface d'érosion, très légèrement inclinée vers l'Est. Elle s'abaisse d'Ouest en Est de 145 m à 130 m environ sur le rebord de l'escarpement qui la sépare de la basse plaine rhénane (feuille à 1/50 000 Seltz-Wissembourg), selon une pente moyenne de 0,15 %. Elle est entaillée de 1 à 3 m par des ruisseaux et deux petites rivières : l'Eberbach et le Halbmuehlbach, bras méridional de la Sauer. La littérature l'appelle souvent « terrasse de Haguenau », que nous proposons de changer par « **surface de Birklach – Aschbruch** », car ce n'est pas une véritable terrasse alluviale et la ville de Haguenau se situe sur une terrasse plus récente et plus basse (Fy2). Au début du Weichsélien (Vogt, 1992), le dernier jeu de la faille Bischwiller – Mothern a mis la surface de Birklach – Aschbruch en position de terrasse, avec un escarpement d'une quinzaine de mètres au-dessus de la basse plaine rhénane. L'érosion, rapide dans un matériau sableux, a transformé l'escarpement de faille en cuesta ; le recul atteint 1 500 m. L'abaissement du niveau de base rhénan, peut être accentué par la baisse du niveau marin si la faille a joué à l'époque maximum glaciaire du Saalien, a entraîné un creusement de l'axe du Brunnbach (Paléo-Zinsel-du-Nord ?) aussi profond, localement plus, que l'entaille Weichsélienne de l'actuel cours de la Moder. Il a été suivi par l'important remblaiement des alluvions Fy1, jusqu'au niveau de la surface de Birklach – Aschbruch, avec de possibles débordements sur cette surface.

Du Pléistocène moyen récent (Saalien probable) au Weichsélien ancien, l'Eberbach et le Halbmuehlbach ont divagué sur cette surface, érodant, remaniant et déposant des sables et des galets. Ces divagations ont entraîné des phénomènes de capture dont la plus importante est celle, très probable, de l'amont du cours de l'Eberbach qui, après avoir probablement rejoint le Halbmuehlbach par la maison forestère de Walbourg (épisode Fx*W* ; présence d'assez nombreuses silexites autour du carrefour de Walbourg), a du être capturé en direction du Gros Chêne, par un ruisseau affluent du cours d'eau qui empruntait l'aval de l'ancien cours FxB de la Sauer, transitant par le chenal du Bruderhaus. La présence de galets de silexites peut être considérée comme un indice de remaniement, à partir de l'épandage Hw, pour l'essentiel. Sur la surface Birklach – Aschbruch, ils sont peu abondants, mais on en trouve jusqu'à la limite orientale de la carte, par exemple au lieu-dit Oberfeld, entre l'Eberbach et la RN63.

Note : seules les zones où la couverture sableuse atteint et dépasse habituellement 1 m sont cartographiées dans les 2 unités présentées ci-dessous où les alluvions anciennes résiduelles (RFx-y) recouvrent la série grise ou les sables pliocènes.

RFx-y/g1*G*. **Alluvions résiduelles du Pléistocène moyen récent au Pléistocène supérieur ancien, plus ou moins remaniées sur les marnes et silts de la Série grise (épaisseur faible, maximum 2,5 m)**. Dans la **forêt de Haguenau**, à l'Ouest de la limite du bassin pliocène, du secteur de la route de Rendel à celui du Schwarzbruch et du carrefour Nanquette, une couverture résiduelle de sables et galets atteint au maximum 2,5 m d'épaisseur et repose sur les marnes de la Série grise. L'arrivée de la Sauer par le chenal du Bruderhaus ayant cessé, à la fin du Pléistocène moyen, cette surface n'est plus draînée que par de petits cours d'eau dont l'Eberbach.

RFx-y/p. **Alluvions résiduelles d'âge probable pléistocène moyen récent à pléistocène supérieur ancien, plus ou moins remaniées sur sables et argiles du Pliocène (épaisseur faible, maximum 4 m)**. À l'Est de l'unité précédente, le substrat de la surface Birklach – Aschbruch est formé par les sables et argiles du Pliocène. Assez variable l'épaisseur de la couverture résiduelle dépasserait localement 3 m, avec un maximum de 6,2 m dans le sondage 8-58. Il faut cependant souligner la difficulté de mettre une limite, dans ce secteur entre les sables pliocènes et ceux du Pléistocène. Près de la bordure orientale de la carte, dans la meilleure coupe sur les menues falaises de rives concaves de l'Eberbach (8-142), la limite peut être mise de façon hypothétique au-dessus de la dernière intercalation argilo-silteuse, soit à 1,2 m en dessous du sommet de la falaise (voir la coupe à la fin de la rubrique « Pliocène »).

Alluvions anciennes du Pléistocène supérieur : sables roses et galets de quartz et de quartzite et leur couverture limoneuse

Fy1. **Alluvions du Pléistocène supérieur ancien (Eémien à Weichsélien 1 probables), situés de 10 m en dessous à 10 m au-dessus du fond des vallées principales. Différenciation des apports de la Zinsel du Nord (Fy1*Z*) et de la Moder (Fy1*M*) dans le secteur de leur confluence**. **Dans la vallée de la Moder**, au Nord de Schalkendorf, les alluvions Fy1 forment une basse terrasse, élevée au maximum d'une dizaine de mètres au-dessus du fond de la vallée. Des sablières exploitaient, sur une épaisseur maximale de 4 m, des sables rouges originaires du Buntsandstein, présentant des lentilles riches en galets de quartz et de quartzites d'une longueur maximale de 10 cm. Cette basse terrasse se retrouve en aval de Niedermodern et se suit, localement entaillée et remplacée par les apports colluviaux des ruisseaux affluents. Elle s'élargit en atteignant les bans d'Ohlungen et de Schweighouse où les sables ont été exploités.

Dans la vallée du Rothbach, au Nord-Ouest de Pfaffenhoffen, des alluvions anciennes ont été extraites sur une épaisseur de 5 à 6 m. Elles sont essentiellement constituées de sables rouges, d'origine vosgienne, auxquels sont

associés des galets de quartz. Ces alluvions ne sont guère altérées et peuvent être rapportées au Weichsélien.

En rive gauche de la Moder, une basse terrasse alluviale est conservée en aval d'Uberach, d'abord très étroite, puis plus large mais plus difficile à délimiter dans le secteur de la Maegstub, en raison du remaniement des sables alluviaux Fx. Au NW du Neubourg, le sondage 6-1046 a traversé 10,5 m de sables alluviaux, avant de rencontrer des marnes de l'Éocène moyen ; épaisseurs en mètres :

7,00 - sable rose à grain moyen ;

0,15 - passée de sable blanc grisâtre, à grain fin ;

0,35 - sable hétérométrique gris noir à brun humique ;

2,50 - sable blanc grisâtre humique, à fines passées gris sombre à brunes ;

0,50 - sable gris noir, humique ;

1,50 - argile gris vert bleuté clair à granules calcaires (Formation de Mietesheim, Bartonien).

Une recherche palynologique sur le sable humique inférieur a été négative ; il pourrait dater de l'Eémien.

Dans la vallée de la Zinsel du Nord, à Gumbrechtshoffen, s'individualise une basse terrasse alluviale qui fut exploitée en aval de la localité, dans l'interfluve Zinsel – Schwarzbach. Leur hauteur maximale au-dessus du fond de vallée atteint 8 m et leur base serait 6 m en-dessous, selon le sondage 2-25. En rive droite les alluvions Fy1 se suivent au delà d'Uttenhoffen. On les retrouve à l'Est de la maison forestière de Mietesheim puis à Mertzwiller sur les deux rives et en « montils » en fond de vallée, en aval de cette ville. À la pointe de la Maegstub, elles se joignent à celles de la Moder. La ligne de sondages pétroliers qui recoupe l'interfluve Moder – Zinsel à la Maegstub montre que le fond de la vallée de la Zinsel est entaillé d'une dizaine de mètres par le profond chenal creusé à la fin du Pléistocène moyen (Saalien probable) par la Moder. L'important remblaiement de la Moder après ce creusement (alluvions Fy1) a remis les deux fonds de vallées au même niveau. Les alluvions Fy1 de la Zinsel du Nord comprennent donc des alluvions antérieures au grand creusement saalien de la Moder, partiellement érodées lors de cet événement, puis un comblement des parties érodées lorsque le niveau de cette rivière a rejoint celui de la Zinsel.

Paléochenal du Brunnbach : le chenal surcreusé Fy1 de la Moder se prolonge vers l'Est, rempli de sable aquifère, en rive gauche, par la Sandlach, puis suit sensiblement le cours actuel du Brunnbach au Nord de l'agglomération de Haguenau (paléochenal du Brunnbach). Au passage de la route forestière de Krummstein, sa base ne dépasse guère l'altitude de 140 m. Deux étroits axes

hauts (altitude égale ou supérieure à 150 m), sensiblement W-E, l'encadrent ; l'axe septentrional passe par la ferme de Dentsch ; le méridional, légèrement au Sud de la maison forestière de Sandlach et du Hundshof. Le paléochenal du Brunnbach pourrait donc appartenir au cours Weichsélien de la Zinsel du Nord ou à un bras septentrional de la Moder si la confluence Zinsel – Moder se situait, déjà à cette époque, à l'emplacement actuel. Au Sud de l'axe haut méridional, la basse terrasse du Metzgerhof est le reste d'un corps alluvial déposé par la Moder au Weichsélien. Par le quartier de Marxenhouse, elle se continue et s'élargit considérablement en aval de Haguenau et passe à la surface orientale de la forêt de Haguenau (surface de Birklach – Ashbruch), qui s'étend depuis le camp d'Oberhoffen jusqu'au bois d'Aschbruch (feuille à 1/50 000 Seltz), vers le NE. Il faut cependant remarquer que dans la partie méridionale du camp d'Oberhoffen, cette surface est une véritable terrasse, terminant un dépôt alluvial épais. Entre Oberhoffen et Haguenau, dans une sablière située près de la ferme Kestler, Fritz Geissert a observé la coupe suivante, de haut en bas :

6 m - sables rouges avec petits galets de quartz et de quartzite ;

0,50 à 0,60 m - argiles bigarrées, plus ou moins litées et tourbes contenant quelques grains et fruits de Carex ;

– niveau « aliotique » (grès à ciment ferrugineux) ;

≥ 1 m - sables rouges, ferrugineux, à grains relativement grossiers.

Au SE de Soultz-sous-Forêts, entre la D28 et le Seltzbach (point d'observation 4-1367), des sables alluviaux rouges gisent sous 2,50 m de lœss, soit une dizaine de mètres au-dessus du fond de la vallée. Nous les avons observés sur une profondeur de 2,50 m et la cote de leur base n'est pas connue. Bien que le Seltzbach et ses affluents le Augrabenbach de Lampertsloch et le Frœschwillerbach de Lobsann n'aient que leur tête de vallon dans le Hochwald, l'apport des altérites des grès du Buntsandstein reste dans ce site, une dizaine de kilomètres plus en aval, prépondérant.

En amont de Soultz, en rive droite du Seltzbach, des sondages pétroliers mentionnent des sables sous les lœss :

N° sondage	Épaisseur du sable	Altitude	Hauteur au-dessus du fond de vallée
4-49	3 m	153 à 156	4 à 7
4-139	16 m	140 à 156	-9 à 7
4-153	3 m	160 à 163	11 à 14

Les sables des 2 premiers pourraient appartenir au niveau Fy1, mais, en l'absence de descriptions précises, on ne peut exclure leur provenance d'un remaniement d'une formation oligocène, en place ou remaniée ou de sables alluviaux Fv (voir la rubrique RFv). Le remaniement par colluvionnement ne

fait guère de doutes pour les 9m de sables du sondage 4-737 au Nord de Kutzenhausen, dans la vallée du Frœschwillerbach, 75 m au Nord du sondage 4-733. Gisant sous 5 m de « lœss », à proximité d'un fond de vallon, ils proviennent très probablement du colluvionnement de sables provenant du haut du versant, reconnus par le sondage 4-733 (voir la rubrique RFv).

Fy2. **Alluvions du Pléistocène supérieur médian (Weichsélien 2 probable) ; surface peu élevée au-dessus du fond de la vallée de la Moder (centre ville de Haguenau)**. Le centre historique de Haguenau occupe une ancienne terrasse de la Moder largement affectée par des excavations, remblaiements et fondations d'immeubles (altitude initiale vers 140-141 m). Les alluvions Fy2 de la Moder sont essentiellement constituées par des sables rouges plus ou moins mêlés de graviers et galets de quartz et de quartzite, d'origine vosgienne. Elles ne sont pas altérées et ont, pour l'essentiel, un âge weichsélien, étayé par la présence de quelques restes de la dernière espèce de mammouth (*Mammuthus primegenius*) et une datation au Carbone 14 de charbons de bois d'un site archéologique plus récent, rue de la Moos à Haguenau, entre 10 914 cal BC et 10 771 cal BC (rapport ARC12/R3960C2, communiqué par André Wagner). Les sondages montrent que cette terrasse termine ou tronque (s'il s'agit d'une terrasse d'érosion) un corps alluvial épais de 3 m environ. Selon un axe WNW-ESE, cette terrasse et localement son substrat (Couches à melettes), a été entaillée par le cours fini-weichsélien de la Moder. En aval de Haguenau, la terrasse Fy2 s'élargit, en rive droite, au Schneckenfeld. Un talus, de 3 m de hauteur environ la sépare du fond de la vallée, creusé dans les sables pliocènes à un niveau plus bas (137 m). Plus en aval, la partie basse du bourg de Kaltenhouse, au NE de la D99, est probablement construite sur les alluvions Fy2. En rive gauche, ce corps alluvial discontinu, forme en particulier le replat de la ferme Stangen.

FyB. **Alluvions du Pléistocène supérieur médian (Weichsélien 2 possible) ; terrasse de Biblisheim ; surface très peu élevée au-dessus du fond de la vallée de la Sauer**. **Dans la vallée de la Sauer**, nous avons noté FyB une très basse terrasse au relief, au-dessus du fond de la vallée, à peine marqué en amont de Biblisheim (maximum 1 m), mais plus nettement en aval de ce village. Les sondages pétroliers montrent une base sableuse dont la fourchette d'épaisseur (2 à 6 m) suggère une continuité avec celles du fond de la Sauer et du Bieberbach. Ces sables pourraient représenter le remblaiement consécutif au creusement de la fin du Pléistocène moyen que nous avons observé dans la vallée de la Moder, aussi profond que celui de la fin du Weichsélien. Le sous sol de la forêt de Biblisheim et du canton forestier d'Oberstritten apparaît en continuité avec cette très basse terrasse, avec la même succession : 2 à 5 m de sables rouges avec une couverture discontinue de limons plus ou moins sableux. À l'Est de la D263 (canton forestier d'Unterstritten), le fond argileux oligocène est plus élevé et cette zone semble évitée par les anciens

chenaux, comme le Bruchmuehlgraben, qui passe à la maison forestière de Surbourg, en se dirigeant vers le Nord-Est.

Alluvions du Weichsélien 3 (non affleurantes)

En Europe de l'Ouest, le creusement maximum des vallées est attribué à la période de développement maximal des glaciers du Weichsélien, le « stockage » de l'eau dans les glaces ayant provoqué un fort abaissement du niveau marin (- 140 m dans la mer de la Manche). À la fin du Weichsélien, la remontée du niveau de base, provoqué par la fonte des glaces, a entraîné le remblaiement du fond des vallées, d'abord par des alluvions constituées de sables et graviers d'âge weichsélien tardif, puis des dépôts fins d'âge holocène (voir les rubriques Fz et C-Fz.

Fy*H*. **Alluvions du Pléistocène supérieur très récent (Weichsélien 4 probable) ; remplissage du paléochenal du Heuscheuer au Sud de Betschdorf**. Au Nord de la forêt de Haguenau, près de sa limite avec le ban de Betschdorf, les sondages pétroliers mettent en évidence un paléochenal joignant l'actuelle vallée de la Sauer à l'aval du cours du Halbmuehlbach. Nous le nommons « paléochenal du Heuscheur » ; le long de son axe, l'épaisseur des alluvions sablo-graveleuses atteint 5 m.

Alluvions holocènes

Fz. **Alluvions fines du fond des vallées principales, limons, limons sableux, limons argileux, sables plus ou moins argileux et limoneux ; épaisseur 1 à 4 m, localement plus (maximum 9 m)**. La notation Fz a été appliquée aux alluvions récentes des rivières principales qui drainent le territoire de la feuille, originaires pour la plupart du massif des Basses Vosges (Moder, Zinsel du Nord, Sauer) ; les alluvions récentes du Rhin sont notées Fz*R*. Seules la basse vallée de la Moder et la basse plaine rhénane comprennent des formations tourbeuses étendues : Tz. Les alluvions holocènes constituent la partie supérieure du remblaiement des fonds de vallées dont la partie inférieure, des sables et graviers d'âge Weichsélien tardif, a été localement entaillée par les chenaux fluviatiles les plus dynamiques au cours de l'Holocène. En conséquence, l'épaisseur des sables et graviers de base et des matériaux fins supérieurs (limons, argiles et sables argileux) varient en sens inverse.

Essentiellement sableuses dans les vallées des Vosges gréseuses et sur quelques kilomètres en aval de la faille vosgienne, les alluvions holocènes s'enrichissent ensuite en limon et en argile, produits de l'érosion des manteaux d'altération des formations du Muschelkalk, du Keuper, du Jurassique et de leur couverture de lœss. Le remaniement par ruissellement des alluvions anciennes a cependant continué à maintenir une fraction sableuse notable, localement prédominante dans certaines couches. Sur la carte des formations superficielles,

les alluvions holocènes sont notées FzA, quand les faciès limono-argileux prédominent dans leur partie supérieure ; FzS lorsqu'elles sont sableuses dès la surface. L'aspect des alluvions holocènes varie en fonction de leur état de réduction ou d'oxydation et aussi de leur teneur en matières organiques plus ou moins décomposées. Souvent brunes et meubles en surface, elles passent en profondeur à un matériau panaché gris et brun, à taches d'hydroxydes de fer (gley oxydé) puis à des limons ou sables gris, meubles, à aspect et odeur de vase (gley ; gyttja pour les faciès riches en matière organique) ou à une argile silteuse compacte qui pourrait être confondue, à première vue, avec une marne du Lias décompressée. La présence fréquente, en dessous, de sables et graviers alluviaux permet habituellement d'éviter cette erreur d'interprétation. De teinte souvent gris foncé tirant sur le bleu ou le vert, les gleys deviennent souvent et rapidement très clairs au séchage.

Vallée de la Moder (1 à 3 m). En amont de Pfaffenhoffen (secteur de la Sandmühle, groupe de sondages 5-20 à 5-29), des dépôts fins épais de quelques décimètres à plus d'un mètre recouvrent des sables, souvent fins et parfois argileux. Seul le forage 5-20 en a atteint la base ; en voici la coupe « sondeur », épaisseurs en mètres, de haut en bas :

0,60 - remblai ;

0,90 - sable ;

4,10 - « argile bleue » ; vase holocène compacte probable ;

3,60 - sables et graviers, avec débris végétaux à la base ;

1,80 - « argile bleue » ;

2,00 - « argile bleue » avec quelques graviers.

Si on attribue ces 13 m de dépôts au remplissage fin Weichsélien – holocène du fond de vallée, on dépasse largement le maximum d'épaisseur connu dans le cours moyen de la Moder (10 m au Nord de Schweighouse). En prenant l'hypothèse d'une chute accidentelle de galets au fond du trou à la fin du sondage et en plaçant les 2 passes inférieures d'argile dans le substrat jurassique, la puissance du remplissage se réduit à 9m, valeur plus en accord avec le contexte local.

En aval, **entre le Neubourg et Schweighouse**, les dépôts fins superficiels sont discontinus et peu épais, selon les sondages pétroliers (maximum 2 m). En arrivant sur le ban de **Haguenau**, les limons, sableux, ont une épaisseur voisine du mètre et, dans le sondage 7-92, 2,9 m de sables rouges, contenant des galets dans leur tiers inférieur, les séparent des marnes oligocènes. Dans la ville de Haguenau, la Moder déployait trois bras entre l'église Saint-Georges et la place Barberousse ; les deux bras septentrionaux ont été vraisemblablement utilisés dans le système défensif de l'ancien château fort impérial, aujourd'hui détruit. En aval de la place et du château, les bras étaient réunis en un seul chenal, un

peu plus profond, entaillant le substrat jusqu'à des cotes comprises entre 133 et 136 m. Nous expliquons le dénivelé notable de la Moder entre son entrée et sa sortie de la ville historique (3,50 m), remarqué par André Wagner, par un creusement plus important en aval, dans les sables du Pliocène. Ce dénivelé, utilisé pour l'installation de moulins, a vraisemblablement favorisé le développement de la ville au Moyen-Âge. À Haguenau, les alluvions Fz ont une épaisseur moyenne de 2 m, quand elles n'ont pas été tronquées ou éliminées par les terrassements urbains.

En aval de Haguenau, dans les sondages de la station d'épuration (7- 445 à 449), les alluvions Fz, limono-sableuses à sableuses fines, ont une épaisseur variant de 1,6 à 3 m. 1 à 2 m de sables et graviers gris les séparent des sables pliocènes. Plus en aval, dans le sondage 8-74, 1 m d'alluvions Fz sont constituées de *gyttja*, vase très riche en matière organique surmontée par 30 cm de silts argileux panachés gris et ocre. En contre-bas d'Oberhoffen, elles sont tourbeuses (voir la rubrique FzT).

Le cours de la Moder a été régularisé dans les années 1960 (Sotty et Lefort, 1968). Avant, il divaguait selon de très nombreux méandres et se divisait par endroits en bras, plus ou moins anastomosés, en particulier en amont de Haguenau, comme le montrent les anciennes cartes.

Alluvions de la Zinsel du Nord, 1 à 4 m

En amont de Zinswiller, dans les sondages 1-66 et 1-68 un limon gris, épais de 1 m, recouvre une couche, sensiblement de même épaisseur, de limon sableux « vasard » ou de sable limoneux à débris végétaux. Dans le premier sondage, il recouvre directement un substrat de marnes du Lias, dans le second 4 m de sables et graviers gris à rougeâtres d'âge Weichsélien tardif probable. Dans la traversée de la forêt de Haguenau, **en aval de Mertzwiller**, la rivière entaille par endroits le substrat argileux, recouvert par 1 à 2 m de limons plus ou moins sableux. Peu avant son confluent avec la Moder, les alluvions Fz sont localement plus épaisses (4 m dans le sondage 6-174) et même tourbeuses (sondage 7-186, avec une épaisseur de 2,5 m).

Alluvions holocènes du Falkensteinbach et du Schwarzbach, 1,5 à 3 m

À Niederbronn, les alluvions holocènes du Falkensteinbach sont constituées de limons argileux d'une épaisseur de 1,5 à 2 m. Au Nord de Reichshoffen, celles du Schwarzbach (sondage 2-6) varient d'un limon plus ou moins sableux à un sable très limoneux ou une argile sableuse, avec une épaisseur de 2 à 3 m. Elles reposent sur des sables fins limoneux rouges à graviers de quartz et petits blocs de grès. Plus au Sud, sous l'usine De Dietrich-Alstom, le sondage 2-112 débute par 1,5 m de remblais sur une couche de sable et graviers bruns de 2 m, recouvrant 2 m « d'argile grise » (argiles silteuses). Si la couche de sables et graviers est bien en place, ce serait un rare exemple de corps alluvial présentant

cette granulométrie dans l'Holocène de la feuille Haguenau. Sous les argiles silteuses on retrouve les sables et graviers de base (Fy3) pénétrés sur 2,5 m. À la pointe sud de l'usine, dans le sondage 2-113, l'Holocène est entièrement constitué de limons sableux, avec une épaisseur de 3,2 m. 150 m en amont du confluent Falkensteinbach – Zinsel, le sondage 2-23 a traversé 1,4 m d'alluvions holocènes fines, puis 2,3 m de sables et graviers avant d'atteindre les marnes du substrat.

Alluvions holocènes de la Sauer, 0,5 à 3 m

En amont de Wœrth, en l'absence de sondages, les alluvions Fz sont seulement connues dans leur partie superficielle où sont distinguées, sur la carte du régolithe, les faciès sableux (Fzs) et limono-argileux (Fza). Deux sondages nous renseignent sur celles de son affluent, arrivant en rive droite de Langensoultzbach. Dans le 3-107, situé près du Muhlacker, 1,3 m de limons bruns recouvrent 3,1 m de sable fin rouge, alternant avec de fins niveaux limoneux bruns. Ces sables reposent sur 1,3 m de sables et graviers à matrice limono-argileuse brune qui surmontent un substrat de marnes grises (Couches grises du Muschelkalk moyen probables). 400 m plus en aval, le 3-108 se place en bordure d'un léger relief au fond de la vallée constitué, en excluant 0,6 m de remblai, par 1,2 m de blocs de calcaires et dolomies, emballés dans une marne limoneuse brune, apport probable du versant (solifluxion, coulée boueuse ou glissement de terrain). En-dessous, on retrouve des limons bruns (1,8 m), ici finement sableux qui recouvrent 0,9 m de sables limoneux gris brun, avant d'atteindre un substrat de marnes grises.

En aval de Wœrth, de nombreux sondages ont traversé les alluvions du fond de la vallée. L'épaisseur des limons holocènes, argileux à très argileux, varie de 0,6 m (3-96) à 2,3 m (3-98). Ils recouvrent 0,5 à 1,5 m de sables roses à jaunâtres qui surmontent des sables et graviers argileux gris, épais de quelques décimètres à 1,5 m, reposant sur des marnes du Jurassique. Localement, près de la rive gauche, les alluvions de la Sauer contiennent des galets calcaires, remaniés du Muschelkalk supérieur ou des conglomérats du Rupélien.

Au Nord de Biblisheim, les sondages pétroliers ne mentionnent aucun recouvrement de matériaux fins sur les sables rouges, épais de 2 à 6 m, à l'exception d'un seul où 1,5 m d'argile sableuse recouvre 1,5 m de sables rouges. Dans le secteur de la Bruchmuehle, le dépôt holocène fin apparaît plus étendu, limoneux, avec une épaisseur de 1,5 m. En-dessous, les graviers ont 1,5 à 2,5 m de puissance.

Dans le secteur de Schwabwiller – Betschdorf, l'épaisseur moyenne des alluvions Fz avoisine 1,5 m, avec un maximum de 3 m au moulin de Schwabwiller (forage pétrolier 4-1355 non figuré sur la carte ; sables limoneux).

J.-P. Party donne une coupe détaillée du sondage 4-1310 ; les différents niveaux sont dépourvus de carbonates, épaisseurs en mètres :

– 0,30 - limons argileux bruns avec quelques taches d'oxydation ;

– 0,20 - argile limoneuse gris rosâtre, avec quelques taches d'oxydation ;

– 0,40 - sable argilo-limoneux rouille grisâtre, à taches d'oxydation plus nombreuses ;

– 0,60 - sables et graviers gris.

Substrat - marnes grises feuilletées

À Niederbetschdorf, au Nord du moulin de Neumuhl, F. Geissert (*in* Ménillet, Théobald *et al.*, 1976) a relevé une coupe intéressante pour la stratigraphie de l'Holocène de Basse-Alsace ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 0,35 - terre végétale ;

– 0,20 - couche argileuse brun foncé ;

– 0,30 - argile (silteuse) grise à faune de Mollusques comprenant des espèces aquatiques : *Valvata cristata*, *Vertigo antivertigo*, *Punctum pygmaeum* et des espèces sylvatiques *Helicodonta obvoluta*, *Iphygena lineolata* ; âge holocène ; écologie : rives de la Sauer avec couvert forestier ;

– 0,15 à 0,30 - argile (silteuse) brun-rouge à concrétions ferromanganiques et faune de Mollusques comprenant des espèces aquatiques : *Anisus leucostomus*, *Planorbis planorbis*, *Valvata pulchella*, des espèces sylvatiques : *Discus rotundatus*, *Clausilia* sp., *Cepaea nemoralis* et des espèces de prairies humides : *Vertigo antivertigo*, *Vertigo pusilla*, *Zonitoides nitidus*, âge holocène ; écologie : zone inondable de la Sauer avec prairies et bouquets d'arbres ou d'arbustes ;

– 0,10 à 0,15 - lœss argileux clair, crayeux, déposé en milieu sub-aquatique, relativement riche en mollusques : faune à *Gyraulus rossmaesleri*, connue de nombreuses localités dans la plaine rhénane (espèce de zones marécageuses, souvent asséchées) avec en outre : *Armiger cristata* et *Valvata piscinalis piscinalis* [répétition nécessaire] (milieu aquatique, *Valvata pulchell*a (rare) âge Weichsélien.

Ces formations reposent sur des argiles silteuses grises du Pléistocène moyen.

Les fossés voisins exposent un matériau plus homogène, argilo-limoneux, de teinte brun ocre, se débitant en fins polyèdres (0,5 à 2 cm de coté) quand il se dessèche.

Le cours de la Sauer a été régularisé après la seconde guerre mondiale. Les nombreux tronçons rectilignes contrastent avec l'ancien cours, souvent allongé par de nombreux méandres et plus ou moins divisé en bras naturels ou creusés jadis par l'homme, le plus souvent pour alimenter des moulins.

FzR. **Alluvions rhénanes holocènes, limoneuses et tourbeuses**. Les coupes des nombreux sondages pétroliers effectuées au Sud de Schirrhein ne donnent guère d'indications sur les alluvions rhénanes. En l'absence de coupes, nous mentionnerons les observations effectuées un peu plus à l'Est par F. Geissert (feuille Seltz – Wissembourg). Dans cette partie de la plaine rhénane, cet auteur note que l'épaisseur de la couverture alluviale holocène décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du fleuve. Les alluvions Weichséliennes se trouvent à faible profondeur à l'Est de Schirrhoffen où F. Geissert (1972b) a relevé la coupe de la gravière Sturm, de haut en bas :

Épaisseurs en mètres :

– 0,20 à 0,50 - argile à évolution tourbeuse (ried noir) ;

– 1,50 à 2,00 - limons sableux et tourbeux à *Columella columella gredleri*, (répétition nécessaire) *Abida secale*, *Neostyriaca corynodes* et *Vertigo substriata* (faune d'âge pré-boréal à boréal), troncs de Salicacées et de *Pinus* sp. ;

– substrat : galets, graviers et sables (alluvions du Weichsélien).

FzT. **Tourbes et alluvions tourbeuses sur alluvions weichséliennes tardiglaciaires**. Ces formations sont essentiellement localisées au débouché de la Moder sur la basse plaine rhénane et dans celle-ci.

Vallée de la Moder. Les tourbières sont assez étendues, mais généralement peu profondes (épaisseur de l'ordre de 2 m). En amont de Haguenau, des tourbières holocènes à *Menyanthes* sont liées à l'affleurement en fond de vallée des couches à Mélettes, très peu perméables. En aval de Haguenau, à proximité du camp d'Oberhoffen, E. Dillmann (1971) a établi la stratigraphie d'une tourbière de la Moder (tabl. 13).

Profondeur (mètres)	Lithologie	Caractère de la végétation	Période	Datations C 14 (arrondies au siècle ± 200 ans)
	Limons tourbeux	Pollens d"Aulnes prédominants, présence du Charme et des céréales	Sub-Atlantique	
0,70	hiatus (érosion ?)			
0,75	Tourbe très décomposée	Développement de l'Aulne, présence du Hêtre	Atlantique	3600 B.C.
1,00	Tourbe	Grand développement du Coudrier	Boréal	5100 B.C. 6100 B.C.
1,70	Tourbe	Pins et Bouleaux	Pré-Boréal	6400 B.C. 7200 B.C.
1,80	Tourbe très décomposée	80% de pollens d'herbacées Cypéracées	Dryas III	
1,90	Sable	40% de pollens d'herbacées Pins et Bouleaux	Interstade d'Alleröd	

Tabl. 13 - Stratigraphie d'une tourbière tardi-glaciaire à holocène à Oberhoffen-sur-Moder (Bas-Rhin, France) (Dillmann, 1971)

E. Dillmann (1975) a retrouvé un indice du caractère marécageux de la basse vallée de la Moder au Mésolithique par l'association de fragments de

carapace de Tortues des marais (*Emys orbicularis* L.) à une industrie lithique tardenoisienne (près de la ferme des Annonciades).

Le fond de vallée du Rothbaechel, au Sud de Haguenau est occupé par des alluvions holocènes très tourbeuses, sur l'ensemble de son cours. La composition du tapis végétal est identique à celle des tourbières de la basse plaine rhénane entre Oberhoffen et Schirrhein avec *Scutellaria minor* et *Dryopteris cristata*, espèces rares en Alsace mais très caractéristiques de l'influence atlantique.

En amont d'Haguenau, des tourbes furent exploitées dans le fond de la vallée de la Moder à Dauendorf et Schweighouse. Au fond de celle de la Zinsel-du-Nord, les extractions se situaient sur les communes de Gundershoffen (dont l'ancien ban de Griesbach) et Mertzwiller (Daubrée, 1852, Migneret, 1858). Tous ces sites tourbeux sont des bas marais acides.

FzT/Cs. **Tourbes et alluvions tourbeuses sur sables colluvionnés en bordure de la basse plaine rhénane**. En contrebas de la terrasse d'Oberhoffen-Schirrhein, les alluvions rhénanes, plus ou moins calcaires, ont été recouvertes par des colluvions décalcifiées, suffisamment épaisses pour favoriser le développement de types de végétation différents de ceux que l'on observe généralement sur les alluvions rhénane. En particulier, la conversion de la forêt primitive en prairies artificielles a entrainé la formation de tourbe sur ces colluvions. Ces aires tourbeuses sont occupées par un ensemble de plantes hydrophiles de grande taille, accompagnés par quelques espèces, que l'on trouve généralement dans les zones périphériques des tourbières : *Geum rivale*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*. Cette végétation est dépourvue de Sphaignes. Ces prairies marécageuses actuellement délaissées par l'agriculture retrouvent peu à peu leur couverture forestière climacique (climacique et non climatique) : l'aulnaie.

Au NE d'Oberhoffen, ces tourbes sont plus ou moins remaniées et mêlées au sable colluvial.

Dépôts de fonds de vallons

Fz-C. **Dépôts hydromorphes des fonds des vallées secondaires ; limons, limons sableux, limons-argileux, sables limoneux ou limono-argileux -** C-Fz**. Dépôts colluviaux hydromorphes des fonds de vallons, plus ou moins remaniés par les ruisseaux ; limons, limons sableux, limons argileux**. De façon arbitraire, mais en suivant la représentation adoptée sur les feuilles voisines (Bouxwiller, Lembach, Seltz-Wissembourg) avec un objectif d'harmonisation, nous avons séparé l'amont des vallons, où l'apport colluvial apparaît souvent important, de leur partie moyenne, regroupée avec leur aval où le transport longitudinal par le ruisseau

devient de plus en plus prédominant. Disposant de données beaucoup plus nombreuses sur la coupure Haguenau, nous pouvons proposer, sur la carte des formations superficielles, une subdivision lithologique distinguant les dépôts limoneux et sableux.

Le fond du vallon du Sommerbaechel, qui rejoint la Moder à **Schweighouse**, est constitué de limons plus ou moins sableux. La teneur en sable augmente en aval d'Ohlungen. L'épaisseur des dépôts varie de 2 à 5 m. Le fond de son affluent, le Landgraben – Jaegerbaechel a recueilli essentiellement des limons lœssiques, entaillés sur 2 m par le ruisseau qui coule, par endroits sur les marnes du Jurassique, faiblement altérées. En aval de Morschwiller, il longe un bois triangulaire qui occupe une ancienne station de lavage du minerai qui était extrait des minières situées plus au Sud. Cette activité a pu contribuer aux dépôts du fond du ruisseau. En aval d'**Huttendorf**, le Huenergraben est creusé dans des dépôts similaires sur 2 à 3 m, pouvant dépasser localement 4 m (sondage 5-125). Le sondage 5-126 pénètre, au fond du ruisseau, des marnes altérées, d'âge jurassique probable, riches en concrétions calcaires.

Au **SW de Haguenau**, le Rothbach et son affluent, l'Eschbach coulent sur un fond sableux, souvent humique, mais argileux à faible profondeur.

Le fond des petits vallons du **pays de Hanau** sont limoneux à sablo-limoneux. Si le drainage est bon, ils gardent la teinte des lœss du Pléistocène moyen (10YR6/4) sinon ils prennent un faciès hydromorphe gris foncé à l'état humide (gley) et se chargent souvent en taches et concrétions ferromanganiques (20 % dans les sondages 2-173 et 2-174 sur la carte des formations superficielles au Sud du Grosserwald de Gundershoffen). Dans les plus étroits d'entre eux, les limons des versants ont largement flués et recouvrent les dépôts de fonds de vallée (Grosserwald de Gundershoffen) dont l'épaisseur atteint souvent 2 m. Le gley peut être partiellement oxydé comme au fond des vallons du Grosserwald ou de la Silzklamm du bois d'Uhrwiller, avec de petites taches ocre (10YR5/8 à 6/6), rouille (7,5YR6/6) ou même brun-rouge (5YR4/8).

Une épaisse série de limons sableux, localement argileux et de sables limoneux s'est déposée dans le large vallon ouvert du Sud de Mietesheim jusqu'à la vallée de la Zinsel du Nord. À l'amont, le sondage 1-100 en donne une coupe ; de haut en bas, épaisseurs en mètres, teintes à sec selon le code Munsell :

– 2,00 - limon sableux beige ocreux (10YR6/6) ; 10 % de sable ;

– 1,00 - sable limoneux gris humique (gley assez clair ; 10YR6/3) ; 50 % de sable ; rares concrétions ferromanganiques ;

– 1,50 - sable limoneux panaché gris-brun beige (10YR6/4) et ocre (10YR5/6) ;

– 1,50 - limon sableux panaché gris-brun beige (10YR6/4) et ocre (10YR5/6) ; 10 % de sable ; quelques pisolites et grains ferrugineux (1,5 %) ; rares concrétions calcaires < 2 mm ;

– 1,20 - limon peu sableux et argileux panaché gris-brun beige (10YR6/4) et ocre (10YR5/6) ; quelques débris de coquilles de mollusques quaternaires ;

– 0,50 - argile limoneuse gris verdâtre clair (7,5Y7/3) ; Formation de Mietesheim altérée ;

– 1,30 - marne gris vert ; Formation de Mietesheim peu altérée.

La fraction sableuse est constituée de sable rose, originaire des grès du Buntsandstein et remanié des alluvions anciennes Fv. Notons que des horizons oxydés se trouvent en dessous du niveau gris humique ; nous avons retrouvé cette disposition dans les alluvions Fz de l'Eberbach au Sud-Ouest de Frœschwiller (épaisseur observée 3 m).

500 m en aval du sondage 1-100, dans l'ouvrage 2-126, la succession est moins épaisse (4,50 m) et un peu différente (coupe J.-P. Party) ; teintes humides :

– 0,50 - argile (41,5 %) limoneuse (32 %) et sableuse (20 %) panachée ocre (10YR5/6) et ocre clair (10YR7/8), à fragments de siltites et de bioclastes calcaires ;

– 1,00 - argile (65 %) limoneuse (32 %) très peu sableuse (2,5 %), avec quelques concrétions ferro-manganiques ;

– 0,50 - argile (57,7 %) limoneuse (37,5 %) et un peu sableuse (7,4 %), brun ocre (10YR5/4) à fins lits millimétriques ocre et verdâtres, micacés ;

– 0,50 - argile (61,6 %) limoneuse (36 %) très peu sableuse (2,6 %), gris verdâtre (gley réduit), avec quelques concrétions calcaires ;

– 2,00 - argile limoneuse, gris vert noirâtre, tourbescente, à nombreuses concrétions ferro-manganiques ;

– 0,50 - argile (71 %) silteuse (16,5 %), sableuse (12,5 %) et calcaire (13,3 %), gris bleuâtre, panaché de brun ocre, à nombreuses concrétions calcaires millimétriques et quelques-unes plus grosses (1 cm) : Marnes de Mietesheim altérées et mêlées de sable alluvial remanié) ;

– 3,00 - marnes gris sombre (Marnes de Mietesheim, Bartonien).

Au Nord-Est de Mertzwiller, dans le large vallon parcouru par la D28, le remplissage est entièrement sableux, avec une épaisseur du même ordre que celle du vallon de Mietesheim ; 6,7 m dans le sondage 2-129. Les sables sont un peu limoneux et argileux ; un peu plus entre 1,50 et 2,50 m de profondeur. À leur base, au-dessus des marnes oligocènes, ils contiennent des galets de quartz (sur 20 cm).

L'amont du fond de la vallée de l'Eberbach est rempli de limons, épais de 2 à 3 m au S-SW de Froeschwiller et à l'Est de Forstheim ; de 4 m dans le sondage 2-148 au Nord d'Eschbach.

Dans la partie Nord-Est de la carte, l'épaisseur du remplissage holocène est encore plus importante, comme l'avait déjà constaté F. Geissert (1977) dans un vallon, près de Hoffen (feuille à 1/50 000 Seltz-Wissembourg) avec une succession de 9,4 m où prédominent des vases, s'échelonnant du Préboréal à l'époque historique, marquée par des colluvions lœssiques liées au défrichement. Cette grande épaisseur se retrouve au fond de la vallée du Seltzbach, au Sud d'Hermerswiller où le remplissage holocène est entièrement limoneux : 9 m dans le sondage 4-1324 et 8 m dans le 4-1326. Jaunâtres dans les 2-3 premiers mètres, ces limons deviennent gris bleu en profondeur (gley). Entre 5 et 5,7 m de profondeur, la coupe du second sondage mentionne des débris végétaux et quelques tests de mollusques.

Au fond du Frœschwillergraben, au **NW de Soultz-sous-Forêts**, l'épaisseur du remplissage atteint encore souvent 5 m. Il s'agit principalement de lœss remanié, ce qui explique l'appellation lœss, fréquente dans les sondages pétroliers qui ont traversé ces matériaux. En amont de Soultz, le remplissage holocène du fond du Seltzbach paraît moins épais (1,5 m à Kuntzenhausen), mais des épaisseurs de 5 m apparaissent encore dans les coupes des sondages pétroliers du vallon de Lampertsloch.

Le vallon que longe la voie ferrée **au Sud-Ouest de Surbourg** présente, dans les sondages 3-43 et 3-44, un remplissage curieusement épais à proximité du seuil de partage des eaux entre la Sauer et le Seltzbach (coté Seltzbach) ; coupe sondeur, de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 3,2 à 3,5 - limon jaunâtre mou ;

– 3,00 à 3,1 - argile grise molle ;

– 0,05 à 1,00 - sables et graviers ;

– pénétrée sur 6,15 - argile grise et brune assez compacte (substrat oligocène).

En aval, dans le Sumpfgraben qui rejoint le Seltzbach, les coupes des sondages pétroliers ne mentionnent pas de couches de sables et de graviers, ce qui semble exclure une diffluence temporaire de la Sauer vers le Seltzbach. 400 m au Sud des sondages 3-43 et 3-44, le remplissage, constitué uniquement de sable rouge, n'a que 2m d'épaisseur. Les sables et graviers proviennent vraisemblablement du remaniement des alluvions anciennes Fw de la Sauer, mais l'histoire et la géométrie précises des dépôts de ce vallon nécessiteraient d'autres coupes.

Le petit vallon situé **entre Schwabwiller et Remerswiller** présente un remplissage de 2,50 m de colluvions lœssiques avec quelques passées sableuses

et des concrétions calcaires, qui reposent sur une argile verdâtre à *Pisidium amnicum*, marquant le début de l'Holocène.

Au NW de Betschdorf, le réseau du ruisseau venant de Remerswiller a essentiellement transporté du matériel lœssique, déposé, sur une épaisseur de 2 à 5 m, selon les sondages pétroliers. Le sondage 4-11 donne une coupe dans son cône de déjection, entre Ober et Niederbetschdorf, à son débouché sur la vallée de la Sauer. 2 m de limons bruns reposent sur une « argile grise molle », épaisse de 1 m. En-dessous, 2,20 m de sables moyens à grossiers brun rosâtre recouvrant 4,20 m d'argile bariolée gris-bleu et brun-ocre, rappellent la base de la coupe de la lœssière de Betschdorf et appartiennent probablement au Pléistocène moyen. Sous l'argile bariolée, le sondage a rencontré le sable pliocène.

Les petites rivières et les ruisseaux qui entaillent les **parties centrale et orientale de la forêt de Haguenau** coulent sur les marnes oligocènes, les sables et argiles du Pliocène, des sables et graviers d'âge tardiglaciaire probable ou encore sur leur propres dépôts limono-argileux à sablo-limoneux, exposés sur les « mini-falaises » des rives concaves des méandres, hautes de 1 à 2 m. L'extension latérale de ces dépôts est généralement très limitée (quelques dizaines de mètres).

C-FzT. **Dépôts tourbeux des fonds de vallons et petites cuvettes à fond argileux**. Quelques formations tourbeuses peu profondes, représentées sur la carte existent en forêt de Haguenau. Les plus étendues se situent de part et d'autre de la route forestière de Schirrhein à Oberbetschdorf, au Sud de l'Eisenbaechel. Ces tourbières comprennent, quand elles n'ont pas été très modifées par l'Homme, des espèces considérées comme montagnardes en Alsace : *Drosera rotundifolia* et *D. intermedia*, *Juncus squarrosus* et *Lycopodium inundatum*.

C-Fz*G*. **Dépôts colluviaux de fond de vallons à gros blocs de Grès vosgien**. D'assez nombreux blocs de Grès vosgien gisent au fond de deux vallons du versant septentrional de la forêt de Frohret (SE d'Oberbronn). La longueur des plus grands dépasse le mètre. Ils proviennent du remaniement, par solifluxion, des alluvions Fv du Paléo-Lauterbaechel, à faciès torrentiel.

Uz. **Travertin : dépôt calcaire de sources ou de ruisseaux (indication ponctuelle), Holocène à actuel**. Les anciennes cartes et minutes à 1/25 000 de la Geologische Landesanstalt von Elsass-Lothringen mentionnent deux petites formations de travertin : l'une 1,5 km au Nord-Est de Niederbronn sur le Muschelkalk moyen. La seconde au Nord de Morschwiller, dans la partie inférieure du versant situé au Nord du point coté 301. Nous en avons retrouvé une troisième, probablement active de nos jours, dans un vallon situé au NE de la maison forestière de Stocklach, dans l'apophyse la plus

occidentale de la forêt de Haguenau, au-dessus d'un affleurement de calcaire oolitique du Bajocien. Des encroûtements calcaires s'observent aussi dans le fond du vallon principal du bois d'Uhrwiller (Silzklamm) où leur extension ne dépasse pas quelques mètres.

Les ruisseaux qui drainent les lœss au NW de Wittersheim (Duerrbach et affluent en rive gauche du Huenerbach), cascadent localement sur des barres de travertins. Certaines sont constituées par un feutrage de fins filaments calcifiés d'un diamètre voisin du dixième de millimètre, enduits de limon qui donne au travertin une teinte brun beige.

Formations résiduelles et altérites

Dans la moitié occidentale de la carte et au Nord de la forêt de Haguenau, les formations secondaires et tertiaires sont largement recouvertes de formations limono-argileuses, limoneuses à limono-sableuses, épaisses souvent de plusieurs mètres, en place sur les plateaux et largement solifluées sur les versants. Sur les plateaux, elles comprennent, de haut en bas (fig. 22 et 23) :

– **Œ**, des lœss récents, généralement calcaires, d'âge Pléistocène supérieur (Weichsélien) ;

– **Œw-x**, des lœss, plus ou moins altérés et souvent décalcifiés, d'âge Pléistocène moyen ;

– **𝒜-R**, un ensemble de composition variable comprenant principalement des lœss anciens très altérés et très enrichis en argile et localement, des lentilles résiduelles de sables et argiles du Pléistocène ancien ou moyen, parfois mêlés, par solifluxion à des altérites ;

– *𝒜*, des altérites, souvent très argileuses.

Ces deux derniers types de formation sont décrits à la suite, les loess étant traités plus loin avec l'ensemble des formations éoliennes, limoneuses à sableuses.

𝒜. **Altérites**. Les altérites de formations secondaires affleurent localement dans la partie occidentale de la carte et celles de formations tertiaires de Morsbronn à Soultz-sous-Forêts, de manière discontinue. Ailleurs, la série lœssique les recouvre largement, sauf en forêt de Haguenau et ses abords méridionaux où la couverture est essentiellement sableuse. Tous les matériaux argileux ou enrichis en argile par pédogenèse peuvent présenter des teintes bariolées ocre et gris très clair un peu verdâtre ou bleu verdâtre liées à l'alternance de périodes d'engorgement par les eaux de surface ou de faible profondeur et d'assèchement. Ainsi altérés, ils ne sont pas toujours reconnaissables et nous les avons souvent regroupés avec des lœss très altérés et des alluvions anciennes résiduelles très enrichies en argile dans la rubrique « complexe infralœssique ». Sur versant, les altérites peuvent aussi présenter une

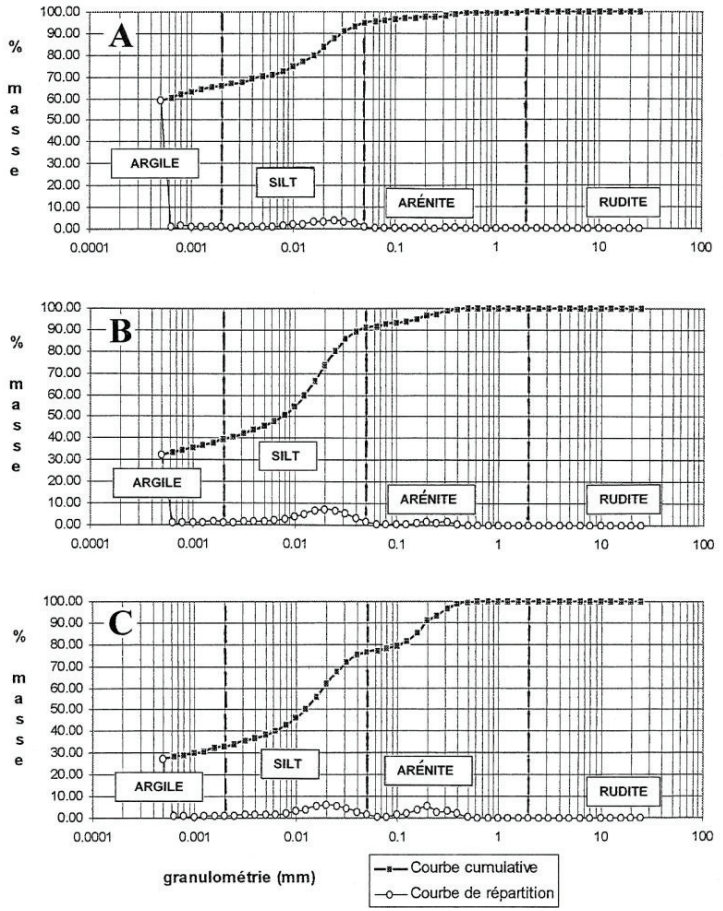


Fig. 25 - Courbes granulométriques du complexe infralœssique. A - Faciès argilo-limoneux 𝒜R, Forstheim : sondage 01982X128, profondeur 1,2 à 2,0 m, B - Faciès limono-argileux 𝒜RŒ, Wintershouse : sondage 01986X1032 profondeur 1 à 1,5 m, C - Faciès limono-argilo sableux 𝒜RFv, Wintershouse : sondage 01986X1032 profondeur 1,5 à 2 m. Analyses granulométriques : H. Haas, BRGM ; interprétation : F. Ménillet et J.-P. Party

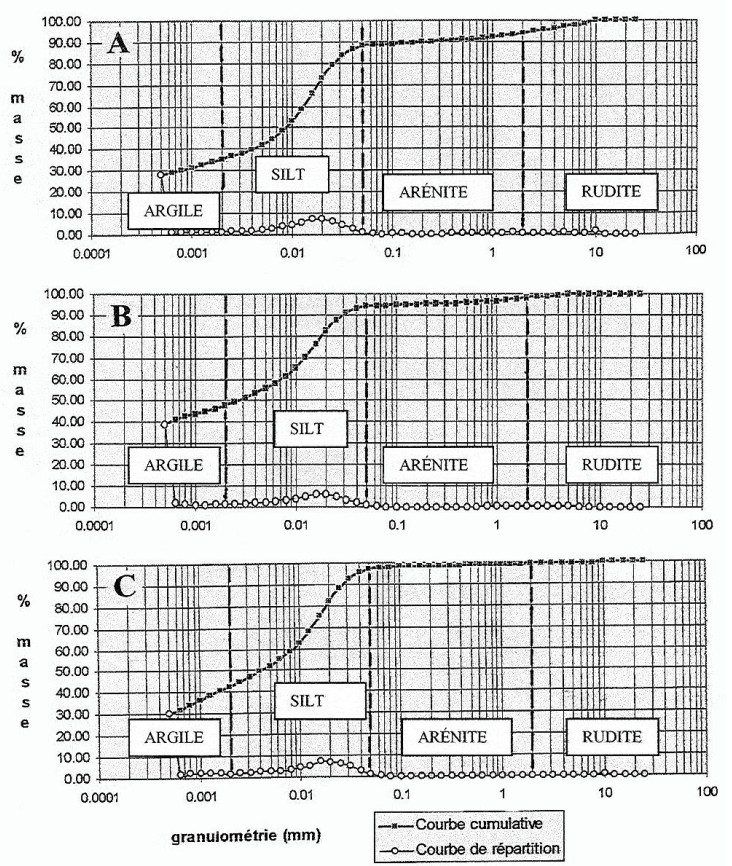


Fig. 26 - Courbes granulométriques de lœss du Pléistocène moyen. A - Lœss à concrétions calcaires et ferrugineuses (-3,25 m), âge saalien probable, B - Lœss altéré (lœss-lehm), horizon d'accumulation d'un sol brun sur lœss (-4,75 m), C - lœss d'âge pré-saalien probable (-9,25 m) . Analyses granulométriques : H. Haas, BRGM ; interprétation : F. Ménillet et J.-P. Party

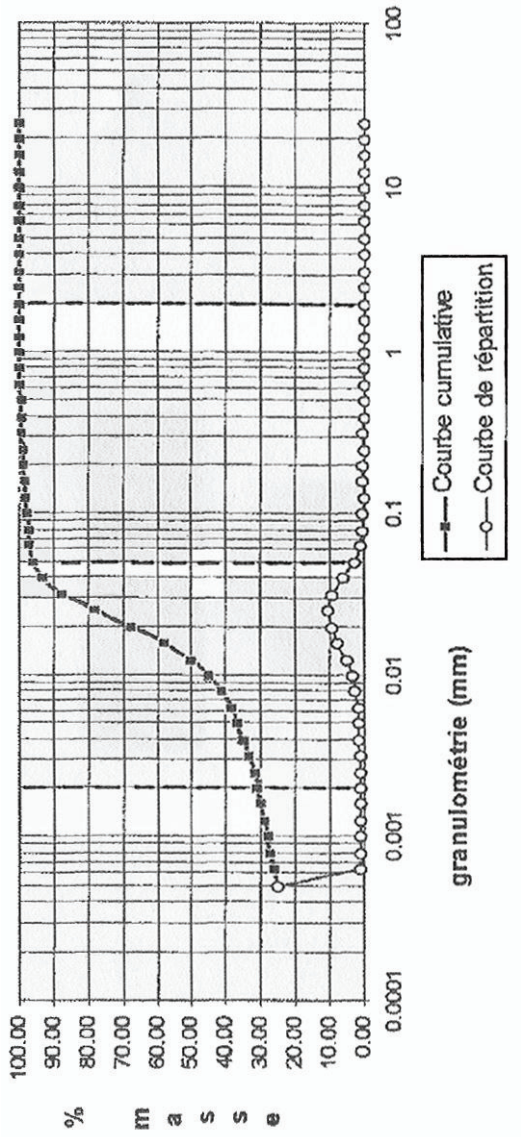


Fig. 27 - Courbes granulométriques d'un lœss du Pléistocène supérieur. Sondage 01986X1032, Olhungen. Ce lœss comprend 18 % de carbonate de calcium et de très fines paillettes de muscovite

accumulation argileuse bariolée. Ainsi, sur le versant NW du Kirchenkupp, au Nord de Gumbrechtshoffen, le sondage 1-137 a pénétré une telle accumulation sur 1,2 m, sous 0,2 m de limons sableux, plus ou moins lessivés. Bien qu'elles soient essentiellement traitées sur la carte des formations superficielles, nous présentons, ici, des courbes granulométriques d'altérites de la Formation de Schalkendorf (sommet du Lias, fig. 20) et de formations tertiaires (fig. 21) interessantes à comparer à celles des lœss (fig. 25, 26 et 27).

Les altérites étant figurées sur la carte des formations superficielles, elles ne sont donc guère représentées sur la carte du substrat sauf des altérites du Lias sur la bordure occidentale de la carte pour assurer l'harmonisation avec la feuille voisine de Bouxwiller.

𝒜l. **Altérites des marnes du Lias**. Grises, les marnes du Lias s'altèrent en argile de teinte gris olivâtre à gris verdâtre clair. Vers la surface, souvent au dessus d'un niveau de concrétions calcaires, elles se panachent d'ocre par oxydation et donnent, à l'affleurement, des terres brun gris, beaucoup plus sombres et généralement plus argileuses que celle des lœss altérés. Les altérites des différents niveaux du Lias étant très semblables, elles n'ont pas été différenciées sur la carte du régolithe, à l'exception des altérites de la formation de Schalkendorf : limons ocre d'aspect assez voisin des lœss altérés du Pléistocène moyen, mais souvent chargés en petits fragments de siltites plus ou moins imprégnés d'oxydes de fer et elles présentent une courbe granulométrique différente (fig. 20).

Complexe infralœssique mêlé d'alluvions résiduelles

L'intensité des altérations variant beaucoup selon des facteurs locaux (position topographique, hydromorphie), les différents niveaux d'alluvions anciennes peuvent présenter des faciès similaires, les plus évolués et les plus épais étant plus fréquents sur les plus anciens d'entre eux.

En fonction de l'altitude et en liaison avec les différents niveaux d'alluvions, le faciès sableux du complexe infralœssique est subdivisé en 5 unités cartographiques :

𝒜-RFu1 - Oberbronn Est, point d'observation 1-125 :

– Reichshoffen : Bois Euler (sondages 2-167 ; 2-168 ; 2-169), Neuwald et plateau de Nehwiller (sondage 2-186) ;

– Frœschwiller (sondages 2-183) ;

– Engwiller : angle NE du bois d'Engwiller (Chêne de l'amitié) et point d'observation 1-146 ;

– Oberbronn : zone sommitale de la forêt de Frohret (sondage 1-128, 1-130, 1-132).

RFu2 - Gundershoffen Grosserwald (sondage 2-175 et et plus à l'Est, le sondage 2-177).

RŒFu2 - Forstheim.

RFv - bois d'Uhrwiller (Buttes cotées 232 et 230 (sondage 1-104, fig. 23) :

– Oberbronn, forêt de Frohret (sondages 1-134 et 1-136) et Zinswiller, Bodenwald ;

– Gumbrechtshoffen, Kirchenkupp (sondage 1-138) ;

– Muhlhausen (NW Uhrwiller), sondage 1-145, résiduel et remanié ;

– bois de Zutzendorf (indications ponctuelles) ;

– Griesbach : Am Frœschenberg ;

– Forstheim : Vierlaengenrain ;

– bois de Mietesheim (sondage 6-1058) et plateau avoisinant de la forêt de Haguenau ;

– Laubach (sondage 2-180) ;

– Forêt de Kutzenhausen (sondages 3-2910, 4-1363, 4-1364, 4-1365).

RFw - Betschdorf.

Entre Betschdorf et Schwabwiller, approximativement sur la courbe de niveau de 165 m, les sables résiduels Fw sont argileux et bariolés de brun ocre et de gris clair.

En contrebas des fronts de taille actuellement exploités au centre du bourg, le complexe loessique repose sur des argiles brun ocre panaché de gris beige clair (altération hydromorphe) présentant une intercalation métrique de sables argileux (60 % de sable), vers la cote 155 m environ ; de granulométrie variable (grain moyen à fin), la fraction sableuse présente le faciès des alluvions originaires des grès du Buntsandstein.

Sous les loess Œw-x, assez altérés, mais encore reconnaissables, de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 1,50 - lacune d'observation ;

– 1,50 - argile limoneuse et sableuse (20 % de sable), avec concrétions calcaires de quelques centimètres de longueur et pisolithes ferromanganiques de 1 à 6 mm de diamètre ; lœss anciens très altérés possibles ;

– 1,50 - lacune d'observation ;

– 1,00 - sables argileux (60 % de sable), ocre plus ou moins panaché de gris clair, surtout à leur partie supérieure où leur grain est très fin ;

– 0,25 (visible sur) argile plus franche, à faible fraction sableuse (environ 1 %) et quelques grains de quartz grossiers (jusqu'à 3 mm).

Il est probable que cet ensemble se place au-dessus des argiles de Niederbetschdorf (Lvb).

Situé 10 m en contre-bas des alluvions résiduelles 𝒜-RFw reconnues à l'Ouest de Betschdorf, il pourrait soit appartenir à ce niveau d'alluvions, selon une pente longitudinale de 1,25 %, soit être plus ancien et se rattacher à un remblaiement du Pléistocène moyen ancien (Fv) au pied du talus dérivé de la limite occidentale du fossé pliocène.

𝒜-RŒ. **Complexe infralœssique comprenant des lœss anciens très enrichis en argile**. Nous avons observé une accumulation argileuse importante dans des vieux lœss très altérés sur le plateau situé entre Oberbronn et Niederbronn, au NW de Frœschwiller, sur le ban de Reichshoffen à Nehwiller et, au Sud de la carte, à l'Est de Wintershouse sondage 6-1031.

Le complexe infralœsique est subaffleurant sur le bas de versants exposés au NW entre Ohlungen et Keffendorf, à proximité des anciennes minières de fer. Même type d'affleurement sur le versant W du vallon situé au SE de Huttendorf où l'on peut imaginer une coupe assez semblable à celle de la partie inférieure du sondage 1036, figurée dans la présentation du complexe infralœssique.

𝒜-R. **Complexe infralœssique, d'âge pléistocène inférieur à pléistocène moyen, selon le site, argiles limoneuses ou sableuses de teinte ocre panachée de gris blanc, parfois rouges, contenant souvent des pisolites d'oxydes de fer**. Altérites diverses, lœss anciens très altérés, alluvions anciennes résiduelles. Couverture discontinue et peu épaisse de lœss altérés ou de limons lessivés dérivés de lœss ou d'altérites. Traversé en sondage sous les lœss, observé dans quelques affleurements temporaires dont des souches d'arbres et plus rarement à la surface des champs, le complexe infralœssique apparaît souvent sous l'aspect d'un limon très argileux, d'une teinte ocre, variant de celle des faciès les plus ocre des lœss altérés (10 YR5/8 à 6/8), jusqu'à des brun-rouge (7,5 YR 5/8 à 6/8). Ces teintes sont souvent panachées (« marmorisation ») de gris très clair, parfois de blanc verdâtre (5Y7/1, 7/2, 7/3, 10Y8/1 et 7/1). Les couleurs les plus rouges et les plus claires s'observent dans les faciès les plus argileux ou les plus sableux. Ces matériaux renferment souvent des concrétions ferrugineuses dures « limonitiques », de forme irrégulière et de teinte rouille à noirâtre, composées principalement de gœthite, accompagnée d'un peu d'oxydes de manganèse. Dans les faciès les plus profonds et les plus altérés, le **fer** s'est concentré en pisolites noirâtres plus durs, en forme de petites billes d'un diamètre voisin de 0,5 cm (« *Bohnerz* »). La majorité des anciennes minières de « fer en grain » dans le pays de Hanau l'exploitaient dans le complexe infralœssique.

Ancien profil de sol hydromorphe : sous les faciès panachés ocre et blanc verdâtre, apparaît parfois un matériau argilo-sableux ou argilo-silteux blanc

verdâtre de quelques décimètres d'épaisseur. Cette succession, de haut en bas des faciès bariolés ocreux et gris blanchâtre, se chargeant en concrétions ferromanganique puis en pisolites, ensuite des faciès ocre et blanc verdâtre et enfin d'un niveau blanc verdâtre correspond à une suite logique d'anciens horizons de sols hydromorphes dans un contexte de pédogenèse dominée par les phénomènes de lessivage et de planosolisation. Les carbonates ayant été lessivés et soit accumulés sous forme de concrétions dans la partie supérieure du substrat ou éliminés par lessivage latéral, ces horizons correspondent à d'anciennes zones d'accumulation d'argile et d'oxydes de fer et de manganèse. Les oxydes sont concentrés dans les anciennes zones de battement de l'aquifère superficiel (anciens pseudogley) ; les faciès ocre profonds à des zones à hydromorphie prédominante, secondairement oxydés (gley oxydés), enfin le faciès blanc verdâtre est un ancien gley dépourvu de fer, entièrement éliminé sous forme réduite soluble. le creusement des vallées a mis ces anciens sols hydromorphes en position haute (fig. 22), permettant souvent leur oxydation complète.

Cette succession d'anciens horizons de sols se retrouve fréquemment sur les **versants en faible pente** et aussi en fond de vallons et bas de versants, mais avec des teintes grises prédominantes, maintenues par l'hydromorphie actuelle. Les alluvions du Pléistocène moyen (Fw-x) faiblement remaniées peuvent présenter les deux états du profil hydromorphe, réduit (sondage 3-2917, Durrenbach) ou oxydé (sondage 3-2914, Walbourg, Hinterfeld ; panaché brun ocre [10YR6/4] et blanc verdâtre [10Y7/1]). Cette ancienne évolution pédologique permet de comprendre la similitude d'aspect du complexe infralœssique sur des matériaux différents : altérites du Trias, altérites du Jurassique, altérites de formations tertiaires, alluvions anciennes : sables chargés d'argiles d'illuviation ou limons d'inondation, lœss anciens.

Au Nord d'Uhrwiller, le sondage 1-104 donne une coupe assez représentative du complexe infralœssique (fig. 23). Altérés, les lœss du Pléistocène moyen surincombants présentent, à leur base, un niveau très enrichi en concrétions ferromanganique (22 % du poids total du sédiment). Ils présentent un faciès fréquent à la base des lœss Œw-x : teinte ocre à brun ocre (10YR6/6 à 5/6) ; abondance des taches noires et de petites concrétions ferromanganiques. Sous le limon très argileux, riche en concrétions ferromanganiques plus grosses, formant la limite entre les lœss et le complexe infralœssique, le matériau devient plus argileux et la teinte vire au brun-rouge (7,5YR5/6), plus ou moins panachée, d'abord faiblement de beige clair (2,5Y7/1) puis, plus profondément de gris-blanc verdâtre (5Y8/2). Entre les profondeurs 5,4 et 6,8 m, la large prédominance de la teinte gris verdâtre clair (5Y7/2) souligne la zone réduite à la partie inférieure du Complexe infralœssique. Une passée plus sableuse, oxydée et riche en petites concrétions ferromanganiques représente les alluvions du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien (Fv) qui contiennent quelques galets de quartz, à une altitude voisine, sur la butte cotée 232 m de l'autre coté de la Silzklamm (vallon

principal du bois d'Uhrwiller). En-dessous, on atteint les marnes du Toarcien, modérément altérées.

À Huttendorf, dans le sondage 6-1036 (tabl. 14 et fig. 24, coupe HU), sous les lœss du Pléistocène moyen, le complexe infralœssique comprend 1,75 m de limon très argileux, ancien lœss très altéré probable, surmontant des marnes jurassiques altérées et remaniées, pénétrées sur 2,25 m ; de haut en bas, profondeurs en mètres ; teintes code Munsell, à sec :

Limons très argileux :

– D - 7,00 à - 7,40, limon très argileux ocre rougeâtre (entre 10YR5/8 et 7,5YR5/8), à taches gris clair, noirâtres, ferromanganiques et concrétions ferrugineuses < 0,5 cm ;

– E - 7,40 à - 8,00, limon très argileux, homogène, panaché ocre (10YR6/8) et gris clair (2,5Y8/1) ;

– F - 8,00 à - 8,75, limon très argileux de teinte ocre prédominante (10YR6/8, tendant vers 7,5YR6/8 et concrétions ferrugineuses de 0,5 cm de diamètre.

Marnes jurassiques très altérées et remaniées :

– G - 8,75 à - 10,75, argile silteuse panachée rouge (2,5Y5/6) et gris clair (2,5YR8/1), avec des passées riches en pisolites ferrugineux, devenant abondantes à la base ;

– H - 10,75 à - 11,00, pisolites ferrugineux emballés dans une argile silteuse ocre, plus ou moins panachée de gris et de rouge ; argile gris clair en fin de passe.

Minéraux argileux	Interstratifiés smectite/chlorite	Illite	Kaolinite
Base des lœss Œw-x	71	13	16
Couche E	50	10	40
Couche G	72		28

Tabl. 14 - Composition minéralogique de la fraction argileuse du complexe infralœssique, couches E et G du sondage 6-1036, Huttendorf (Bas-Rhin, France). Diffractométrie RX, laboratoires du BRGM

Dans la tranchée fraîche de l'autoroute A4, à l'Ouest de la station de péage d'Hochfelden (feuille de Brumath – Drusenheim, observation inédite de F. Ménillet, 1975), sous une couverture d'alluvions anciennes (galets de quartz et de quartzite) épaisse de 1 à 2 m, nous avions observé le passage latéral des altérites des marnes à ovoïdes du Domérien à une formation argileuse bariolées

blanc grisâtre et rouge. A la limite des deux, les oxydes de fer des ovoïdes diffusaient dans l'argile en lui donnant sa couleur rouge. Les couches G et H du sondage d'Huttendorf ont précisément le même faciès (contrôlé sur échantillons) que les argiles blanches et rouges d'Hochfelden.

Localisation du complexe infralœssique et des accumulations ferrugineuses dans le secteur de Bertsheim : sur 460 sondages, forés dans une aire de 10 km² centrée sur cette commune, 180 mentionnent la présence de Bohnerz, le plus souvent à la base des lœss ou dans leur partie inférieure. Une vingtaine d'entre-eux ont traversé une couche d'ocre rouge sous les lœss, épaisse de 1 à 10 m (moyenne 4). Mis à part quelques occurrences à la tête du vallon du Hochstettengraben, cette couche ferrifère est localisée sur le panneau surélevé à l'Ouest de la faille de Bertsheim, de Wittersheim à Keffendorf, principalement sur les parties hautes des versants et des têtes de vallons (paléotopographie) qui ceinturent les points hauts. Si la faille de Bertsheim apparaît légèrement marquée dans la paléotopographie à la base des lœss et aussi dans la topographie actuelle, les restes de sables alluviaux pléistocènes, jalonnant d'anciens chenaux fluviatiles, sont sensiblement aux mêmes altitudes de part et d'autre de la faille, excluant donc un jeu néotectonique significatif.

D'autre part, dans la majorité des sondages où la **couche ferrifère** existe, le complexe infralœssique recouvre directement des niveaux allant de la partie sommitale des Couches de Péchelbronn supérieures à la base de Couches à melettes. Il apparaît donc un lien probable entre les oxydes de fer du complexe infralœssique et l'**altération de la pyrite**, fréquente, à la base de la Série grise, en particulier dans les Schistes à amphisiles (voir la rubrique « Substances utiles, anciennes exploitations de fer »).

Dans le compartiment abaissé, à l'Est de la faille de Bertsheim, le complexe infralœssique est rarement présent et les lœss du Pléistocène moyen recouvrent souvent directement les Couches à melettes ou leurs altérites comme dans le sondage 6-130 (fig. 24, coupe BH). Plus riches en silt, elles sont plus sensibles à l'érosion que les niveaux argileux sous-jacents, quand elles ne sont guère armées, comme dans le secteur de Bertsheim, par des bancs de grès. Ceci peut expliquer la grande largeur des têtes de vallons du Sommerbaechel et du Hochstettergraben à l'Est de la faille de Bertsheim et la légère marque de celle-ci dans la topographie.

À l'Est de **Wintershouse**, près d'Harthouse le complexe infralœssique $\mathscr{A}$-RFv affleure : limons très argileux, plus ou moins sableux, argiles ocre rouge, avec concrétions d'oxydes de fer (tabl. 15 et fig. 25).

Le complexe infralœssique se retrouve au fond des anciennes minières situées près de la lisière occidentale du bois de **Mietesheim**, aux confins de la limite de cette commune, avec celle de Bitschhoffen. On y retrouve les mêmes faciès qu'à

Minéraux argileux	Interstratifiés smectite/chlorite	Illite	Kaolinite
Évaluation quantitative (%)	63	12	26

Tabl. 15 - Composition minéralogique de la fraction argileuse du complexe infralœssique d'un affleurement à Wintershouse (Bas-Rhin, France). Diffractométrie RX, laboratoires du BRGM

Wintershouse, avec en plus des sables assez fins blanchâtres ou limoneux, accumulés dans des déblais et interprétés, par erreur, comme un édifice dunaire sur la première édition de la feuille Haguenau. Soulignons qu'une argile limoneuse gris clair, échantillonnée au fond des minières, présente le même faciès que celle qui recouvre les Cailloutis du Sundgau, d'âge pliocène moyen probable, aux confins des départements du Doubs et du Haut-Rhin. La courbe granulométrique montre que cette argile est un ancien lœss (partie centrale de la courbe en S), très enrichi en argile qui pourrait dater du Pléistocène ancien.

Plus au Nord, le complexe infralœssique se retrouve sur la plupart des plateaux du **pays de Hanau**, en particulier dans les zones forestières, souvent avec une fraction sableuse (alluvions résiduelles d'âge probable Pléistocène inférieur à moyen, **RFu**, **RFv** et **RFw** ; voir ces rubriques). La part de la fraction sableuse varie, selon le site et le niveau, de 2 à 40 %. Si ces sables proviennent le plus souvent d'apports fluviatiles originaire des Vosges gréseuses, certains ont pour origine les grès du Keuper moyen ou supérieur (Oberbronn, forêt de Frohret, sondage 1-129 ; NE de Gundershoffen, (sondage 2-177 *pro parte*) ou encore les passées sableuses de la Formation de Schalkendorf (replat au Nord de la maison forestière d'Uhrwiller, point d'observation 1-140 où ils sont remaniés) et peut-être sur le ban de Bischholtz, au NW d'Uhrwiller (sondage 1-144). En l'absence de galets, des remaniements éoliens peuvent être envisagés pour une fraction sableuse peu abondante : le sable est toujours hétérométrique et implique une mise en place par des coups de vents épisodiques et non des vents réguliers déposant des sables mieux triés. D'une épaisseur variant de quelques décimètres à quelques mètres, le complexe infralœssique constitue un des principaux « matériau-mère » des sols forestiers des plateaux sous vosgiens, particulièrement favorables aux futaies de chêne pédonculé.

Formations palustres à lacustres

Lvb. **Argiles de Niederbetschdorf : Pléistocène inférieur à moyen** (partie SE du plancher de la lœssière de Betschdorf et sondage 4-55). À l'Est de la carte, dans la vallée de la Sauer, les lœss reposent sur un tout autre faciès. Il s'agit d'argiles silteuses gris bleuté à gris violacé, plus ou moins riches en matière organique, épaisses de 5 à 6 m, découvertes à Betschdorf, à la base

de la carrière de lœss de Niederbetschdorf et en sondage, 900 m au Sud, près du moulin de Neumuhl (4-55), au-dessus des sables pliocènes. Au fond de la loessière de Niederbetschdorf, F. Geissert y a reconnu :

– des mollusques terrestres : *Vertigo genesii*, *V. pusilla*, *Arianta arbustorum*, *Pupilla muscorum* (*apex*), *Vallonia pulchella*, *Succinea oblonga*, *Clausilia* sp. (*apex*), *Trichia concinna*, et *Semilimax kochi* ;

– un mollusque aquatique : *Valvata piscinalis*.

Cette faune pourrait se trouver dans un lœss ; *Vertigo genesii*, cependant, se trouve dans les prairies humides et marécageuses. Cette espèce ainsi que *Semilimax kochi*, fossile-directeur du Pléistocène moyen ancien (« Mindel »), sont des indicateurs d'un climat froid, conditions confirmées par la microflore riche en espèces herbacées (graminées et chénopodiacées), la flore arborée comprenant essentiellement des pins, bouleaux et aulnes (déterminations G. Farjanel, BRGM).

Les argiles de Niederbetschdorf ont un aspect semblable aux formations Lvb décrites dans le cadre de la feuille Seltz-Wissembourg dans lesquelles F. Geissert a mis en évidence des flores du Tiglien et du Waalien. À Hatten, 6 km à l'Est de Betschdorf, elles renferment une faune de Mollusques complètement différente de la faune du Pléistocène moyen ancien énumérée ci-dessus. La paléogéographie marécageuse qui a régné en Basse-Alsace dans la période intermédiaire entre le régime fluvio-lacustre du Pliocène et l'installation du cours du Rhin actuel (Pléistocène inférieur ou Cromérien) a pu se maintenir au moins localement, en marge de la vallée rhénane jusqu'au Pléistocène moyen médian.

À Betschdorf, en contre-bas des fronts de taille actuellement exploités, le complexe loessique repose sur des argiles brun ocre panaché de gris beige clair (altération hydromorphe) présentant une intercalation de sables argileux (voir complexe infralœssique).

Formations éoliennes

Œ. **Lœss indifférenciés**. Cette notation a été utilisée au SW de la carte où les lœss, à composition de limons plus ou moins argileux, n'ont pu être différenciés, bien qu'ils soient constitués par la série loessique décrite ci-dessous.

Comprenant essentiellement des matériaux fins d'origine éolienne, les lœss se répartissent le long d'une demi-couronne cernant le massif forestier de Haguenau. Ces lœss, ou plus précisément ces complexes lœssiques, sont particulièrement épais :

– au Nord-Est de la feuille, où ils peuvent avoir une épaisseur de 10 m et plus et forment la terminaison, vers le Sud-Ouest, du « pays des lœss » qui s'étend depuis la forêt de Haguenau jusqu'à la Lauter (feuille de Seltz-Wissembourg) ;

– au Sud-Ouest où leur puissance augmente vers l'Est où elle dépasse souvent 20 m et atteint localement 40 m (secteur de Bertsheim). C'est la partie sud-est du pays de Hanau, prolongement septentrional des riches collines de Brumath et du Kochersberg.

Entre ces deux secteurs, la couverture de lœss est moins épaisse et discontinue.

La figure 23 donne un essai de corrélation des logs de sondages que nous avons suivi dans ces deux secteurs avec une coupe synthétique des anciens fronts est de la lœssière de Betschdorf (fig. 28, hors texte), référence des lœss du Nord de l'Alsace (Geissert 1968 Buraczynski 1982 Buraczynski et Butrym, 1984 et 1987 Buissez 1988 Ludwig 1988). Comme la plupart des coupes de référence des lœss en France, celle de Betschdorf se situe sur un versant, situation géomorphologique propice à la conservation des lœss anciens, quand ils n'ont pas été trop affectés par des ravinements. Comme le montre bien la figure 23, il est difficile de suivre sous les plateaux une grande partie des niveaux distingués dans la coupe de référence, car les lœss des plateaux, surtout les plus anciens, y sont moins bien drainés et beaucoup plus altérés.

Dépôts de poussières, apportées par le vent, au cours des périodes froides du Pléistocène, les lœss d'Europe comprennent une succession de couches limoneuses formant des séquences, souvent tronquées par érosion, avec :

– à la base une ou plusieurs couches de silt à passées grossières, parfois sableuses et souvent des indices de remaniement par solifluxion et des débris de bois (phase anaglaciaire fraîche et humide) ; elles sont rarement conservées en Alsace ;

– la masse principale du corps de lœss apparaît souvent homogène et sans litage ; les lœss récents sont généralement carbonatés. le calcaire étant souvent concentré dans les canalicules laissés par la nécrose des radicelles (*pseudomycelium*) ou sous forme de concrétions beiges microcristallines (les « poupées »), petites dans les lœss du Pléistocène supérieur (2 à 3 cm) ; beaucoup plus grosses dans les lœss du Pléistocène moyen où leur taille peut atteindre et dépasser 10 cm ;

– dans sa partie supérieure, le corps de lœss passe à une couche plus argileuse et plus colorée, parfois brun-rouge, horizon d'accumulation argileuse du sol brun développé lors de la période interglaciaire postérieure au dépôt du lœss, les horizons supérieurs, « lessivés » du sol, très meubles étant rarement conservés. Les Allemands désignent cet horizon enrichi en argile « lœss-lehm ». Les Français avaient simplifié cette expression en « lehm », mot signifiant argile en allemand. L'emploi de lehm pour désigner les lœss enrichis en argile étant déconseillé, nous reprendrons le terme lœss-lehm car il n'existe pas d'autre mot pour les désigner (de nombreux pédologues appellent la succession d'un lœss et de sa zone d'altération « lehm lœss »). Les lœss-lehm contiennent parfois des

concrétions calcaires qui proviennent du lessivage du lœss surincombant, donc postérieures à leur formation ;

– en Alsace, seuls sont bien conservés les lœss des trois ou quatre dernières périodes froides du Pléistocène moyen (Œw-x) et ceux du Pléistocène supérieur (Œy, Weichsélien), J. Buraczynski (1982), J. Buraczynski et J. Butrym (1984 et 1987) ; D.-D. Rousseau et J.-J. Puissegur (1990). Étudiées par ces même auteurs, O. Schaaf-Raeth (1979), J. Heim *et al.*, (1982) et plus anciennement par P. Wernert (1957), les coupes des lœss d'Achenheim (prononcer le « ch » en « r » guttural) et d'Hangenbieten (feuille de Strasbourg) servent de référence en Alsace. L. Zoller *et al.*, (1988) datent des lœss antérieurs, de la fin du Pléistocène ancien, en Pays de Bade (massif du Kayserstuhl). Sur la feuille de Haguenau, nous désignerons la coupe de l'ancienne lœssière de Niederbetschdorf sous le nom de Betschdorf, commune qui regroupe les anciens bans de Niederbetschdorf et d'Oberbetschdorf (Geissert, 1968 ; Buraczynski, 1982 ; Buissez, 1988 ; Ludwig, 1988). Dans cette partie de l'Alsace, les lœss du Pléistocène moyen constituent la masse principale des dépôts éoliens quaternaires, comme le montrent les logs de sondages que nous avons effectués sur des plateaux (fig. 23). Souvent altérés et enrichis en argile, la gélifluxion et la cryoreptation des grandes périodes de dégel les a souvent remaniés sur les versants. Généralement, ces anciens lœss ont plus ou moins perdu leur caractère d'origine et apparaissent comme des argiles limoneuses beiges à ocre, compactes et plastiques, avec des passées riches en concrétions ferromanganiques.

Disposition des lœss

Principalement accumulées dans les aires sous le vent (zones de faible turbulence), les dépôts lœssiques ont une géométrie et une épaisseur très variables. Localisés sur les interfluves et les versants, Ils empâtent généralement les irrégularités de la topographie pré-existante. À l'Ouest de la carte, les dépôts lœssiques sont généralement plus épais sur les versants regardant le Nord et l'Est. À l'Est de Soultz-sous-forêts, les vents du Nord les ont davantage redistribués et accumulés sur les versants exposés au Sud où les différentes couches ont une forme lenticulaire.

Granulométrie des lœss

Dans les lœss non altérés, la fraction limoneuse (silteuse) prédomine (fig. 26A et C, fig. 27). Evaluée au sédigraphe, la fraction argileuse apparaît importante. Dans les lœss francs, la fraction arènite (sables) est généralement inférieure à 5 %. Sur les plateaux du pays de Hanau, elle est souvent augmentée par le remaniement du sable d'anciens chenaux fluviatiles, par colluvionnement ou par le vent. Au Sud de la vallée de la Moder (secteur d'Uhlwiller à Ohlungen), nous avons observé des passées millimétriques de sables roses bien calibrés et finement interstratifiées dans le lœss, comme l'avait remarqué E. Schumacher (1890b) dans la vallée de la Zorn. Les vents forts vannaient les sables des

alluvions de la Moder et les déposaient sur le rebord des plateaux, en alternance avec des vents plus modérés ne pouvant transporter que des poussières.

Composition minéralogique des lœss

La fraction silteuse comprend, pour l'essentiel, de petits grains de quartz anguleux. Dans les silts grossiers, des grains, de teinte rouille à noirâtre, d'oxydes de fer les accompagnent (moins de 5 %). Les grains de feldspath, sont peu nombreux. La fraction carbonatée, initialement sous forme de grains de calcaire et de grains de dolomie, moins abondants, est redistribuée lors des altérations dans les réseaux de canalicules laissés par la nécrose des radicelles (« *pseudomycelium* ») dans les lœss peu altérés ; concentrés sous forme de concrétions (« poupées »), si l'altération tend vers un lessivage complet des carbonates. Dans la fraction argileuse, les minéraux interstratifiés prédominent, en particulier les interstratifiés chlorite/smectite (70 % environ dans les lœss Œw-x), accompagnés de quantités notables de kaolinite (15 à 20 %) et d'illite (10 à 12 %).

Faune des lœss

Les lœss contiennent fréquemment des mollusques de climat froid (inventaire des principales publications concernant la malacofaune des lœss d'Alsace *in* Geissert, 2000). Les espèces récoltées sur la feuille sont mentionnées dans les coupes présentées (voir rubriques Œw-x et Œy). Ils ont livré des restes de vertébrés à Achenheim, à l'Ouest de Strasbourg (Wernert, 1957 et Heim *et al.*, 1982), Sur la feuille Haguenau, seule une défense d'*Elephas* sp. a été trouvée dans les loess inférieurs de Betschdorf.

Épaisseur des lœss

La puissance des lœss est très variable, en raison de la fréquence de la géométrie lenticulaire des couches de lœss, de la paléotographie de leur substrat et de leur faible dureté, facilitant leur érosion. Ils présentent donc d'importantes variations d'épaisseur à l'échelle de quelques dizaines ou centaines de mètres, mais aussi selon les secteurs. Ainsi, au S-SW, dans les collines de Brumath, en particulier sur l'axe Wittersheim – Bertsheim – Ohlungen, l'épaisseur du complexe lœssique atteint, selon les forages pétroliers, fréquemment 30 m et localement 40 m, avec un maximum de 50m au Sud de Bertsheim. Ces valeurs comptent parmi les plus importantes connues en Alsace. Plus vers l'Ouest, sur les plateaux et versants à regard NE, la couverture de lœss reste assez continue, avec des épaisseurs atteignant la dizaine de mètres (9,5 m dans le sondage 5-67 ; 12,5 m dans le forage 5-102, sur versant).

Entre la Moder et la Sauer, coté pays de Hanau, la couverture lœssique apparaît plus discontinue ; les valeurs maximales observées sont de l'ordre de 4 à 5 m. À l'Est de la Sauer, jusqu'à la ligne Schwabwiller – Soultz –

Retschwiller – Memmelshoffen, elle s'étend seulement sur des petits lambeaux de plateaux et leurs versants exposés au secteur NE. Son épaisseur atteint fréquemment 5 à 6 m et localement 10 m. À l'Est de cette dernière ligne la couverture redevient plus continue et son épaisseur atteint et dépasse plus fréquemment 10 m. A Betschdorf, elle est plus puissante (15 m) sur un versant exposé au Sud, comme dans le « pays des lœss » de l'Outre Forêt qui s'étend vers l'Est et le Nord-Est.

Œw-x. **Lœss du Pléistocène moyen : limons argileux brun ocre, plus ou moins altérés et largement à complètement décalcifiés**. Déposés durant les 2 ou 3 périodes froides qui ont précédé la dernière glaciation, ces lœss constituent la masse principale de la couverture limoneuse de la feuille. Assez altérés, généralement enrichis en argile et largement décalcifiés, ils conservent essentiellement (fig. 24 et 27) les carbonates sous forme de concrétions dont la taille dépasse souvent 5 cm. Leur teinte (Munsell color chart 10YR6/4 à 6/6) est nettement plus ocre que celle des lœss du Pléistocène supérieur.

La lœssière de Betschdorf (fig. 28), près de la limite orientale de la feuille, donne une coupe à peu près complète du complexe lœssique (coupe F. Geissert, 1968, sur l'ancien front Est) dont la masse principale appartient au lœss du Pléistocène moyen (couches 3 à 8) ; épaisseurs en mètres, de haut en bas :

1 - 0,60 - sol arable et lœss-lehm ;

2 - 2,20 - lœss du Weichsélien à *Pupilla muscorum*, *Trichia hispida*, *Succinea oblonga*, petites concrétions calcaires ;

3 - 0,70 - lœss - lehm (partie altérée du lœss sous-jacent) ;

4 - 0,50 - lœss compact, de couleur grise, à concrétions calcaires de taille moyenne à faune malacologique relativement riche (23 espèces) : *Vallonia tenuilabris*, *Helicopsis striata*, *Chondrula tridens*, *Pupilla sterri*... ;

5 - 0,50 - lœss - lehm ;

6 - 7,00 - lœss à très grandes concrétions calcaires, sableux à la base, à faune malacologique analogue à celle des lœss sus-jacents ;

7 - 0 à 0,50 - lentilles et poches d'oxydes de fer (type concrétionnement ferromanganique) ;

8 - 3,50 - lœss aquatique à grandes concrétions, à faune essentiellement aquatique : *Gyraulus rossmaessleri*, *Bithynia tentaculata* et *B. leachi*, *Limnaea stagnilis* ; le lœss comprend dans sa partie médiane un lit de tourbe ligniteuse à graines de *Menyanthes trifoliata*, fruits de *Carex*, bois et une défense d'*Elephas* sp. Les débris d'endocarpes de *Celtis* sp., trouvés dans la partie supérieure de ce lœss, pourraient être remaniés, d'une formation interglaciaire du Pléistocène moyen où cette espèce est fréquente dans la région.

Sondage au sol de la lœssière :

9 - 6,00 - argile grise, d'âge pléistocène moyen assez ancien (« Mindel ») ; la faune de ces argiles est donnée dans le paragraphe « Argiles de Niederbetschdorf » (Lvb) ;

10 - 0,10 (reconnu sur) - argile compacte brune (Oligocène altéré possible).

Sur les fronts de taille de l'exploitation actuelle, situés plus au NW, les lœss sont beaucoup plus pauvres en carbonate de calcium et largement affectés par une pédogenèse hydromorphe. Quelques niveaux de la coupe de référence, comme les lœss gris, s'y retrouvent et montrent bien qu'il s'agit de la même série dont l'aspect se rapproche des lœss Œw-x du pays de Hanau. Comme la plupart des coupes de référence des lœss, celle de Betchdorf se situe sur un versant bien drainé (éperon très étroit) qui a permis une bonne conservation des lœss anciens.

Dans la partie actuellement exploitée, plus proche du plateau, la masse principale du complexe lœssique est presque entièrement décalcifiée et généralement affectée par une altération hydromorphe, avec des phénomènes d'oxydo-réduction, marqués par une teinte brun ocre plus ou moins panachée de gris beige clair et de fréquentes taches noires d'oxydes de fer et de manganèse. On y reconnaît la couche 7, parfois silteuse, gris verdâtre clair avec quelques paillettes de muscovite (remaniement problable des silts de la Série grise) et des concrétions calcaires assez grandes (jusqu'à 15 cm et plus) ou en grains, rassemblés dans la fraction sableuse, en lentilles dans la partie supérieure du niveau. Une couche grise à gris violacé, épais de 30 cm environ pourrait correspondre à la couche 4 de la coupe de F. Geissert ; en dessous et au-dessus, les lœss sont assez décolorés avec des taches ocre et de nombeuses taches noires d'oxydes de fer et de manganèse et des concrétions calcaires.

Sondage de Schœnenbourg 168-8-62 (feuille de Lembach, à proximité de la limite nord de la carte ; cote +192 ; de haut en bas ; teintes à sec selon la Munsell color chart, épaisseur en mètres :

– 0,75 - limon panaché brun-rouge et beige, hydromorphe (7,5YR4/6 et 10YR7/4), sol lessivé dégradé à pseudo-gley ;

– 2,00 - limons lœssiques jaune-beige (10YR7/6) à petites concrétions calcaires (1 cm) et rares débris de coquilles (malacofaune typique des lœss) ;

– 1,25 - limons non calcaires, légèrement plus ocre avec concrétions ferromanganiques plus abondantes dans la partie inférieure de la couche ;

– 1,50 - passée de lœss jaune très argileux à *Columella columella* [répétition nécessaire] et *Neostyriaca corynodes* (*cf.* lœss « Mindel » d'Ingolsheim, feuille Seltz-Wissembourg), limon ocre à très nombreuses concrétions ferromanganiques ;

– 4,00 - limon argileux panaché ocre et gris avec concrétions ferromanganiques, concrétions calcaires et fragments lithiques ;

– 0,50 - (traversé sur) argile limoneuse panachée ocre et vert clair ; avec concrétion calcaire et fragments lithiques calcaires de 1cm de longueur (altérites des argiles oligocènes solifluées).

Épaisseur totale : 10 m.

Sous 2 m de lœss peu altérés (Weichsélien ancien ou Pléistocène moyen récent) on a 6 à 7 m de limons ocre, de plus en plus argileux vers le bas, qui représentent des lœss anciens, soliflués et très altérés.

Entre Soultz et Schœnenbourg, une coupe levée par F. Geissert se rapporte en totalité au Pléistocène moyen ; x = 1 006,55, y = 153,25, z = +178 environ ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 1 - 1,00 lœss décalcifié ;

– 2 - 0,60 lœss décalcifié avec quelques grains d'oxydes de fer ;

– 3 - 1,40 lœss décalcifié à nombreux grains d'oxydes de fer ;

– 4 - 1,00 lœss gris, en partie sableux, avec concrétions calcaires ;

– 5 - 1,20 marne lœssoïde grise à Mollusques d'eau douce : *Bithynia leachi*, *Valvata piscinalis*, *Planorbis* (*Armiger*) *crista*, *Gyraulus rossmaessleri* ;

– 6 - 0,20 marne ligniteuse ;

– 7 - 1,50 marne lœssoïde grise (*dito* 5) ;

– 8 - 0,30 à 0,50 lignite feuilleté à *Menyantes trifoliata* (limite approximative Pléistocène ancien à moyen).

Au Sud de Preuschdorf, sur le replat situé juste au Nord de la D28 (pied du chiffre 28 sur la carte à 1/50 000 ; Nord du point coté 203, sur le 1/25 000), un vaste terrassement a entaillé la couverture de lœss sur une profondeur de 5 m environ ; épaisseurs en mètres ; teinte au code Munsell, à sec :

– A - 1,00 - lœss décalcifié brun ocre (10YR6/4) à canalicules laissés par la nécrose de radicelles remplis d'argile d'illuviation brune (10YR4/4), très peu sableux (3 %) ;

– B - 0,05 - limons brun ocre plus foncé (10YR5/6), avec jusqu'à 35 % de sable et 2 % de graviers peu émoussés < 5 mm (silexites prédominantes, siltites ferrugineuses, rares quartz) ;

– B-C 0,20 - transition entre B et C limons brun ocre (10YR5/4), peu sableux (5 %), avec quelques manchons calcaires de radicelles, canalicules minuscules et en réseau moins dense que dans A ; quelques canalicules plus larges et fissures remplis d'argile d'illuviation brune ;

– C - 0,70 - lœss calcaires beiges (un peu plus foncé que 10YR7/3), faiblement tachetés d'ocre clair ; un peu sableux (10 %) ; très riches en concrétions

calcaires ; à nombreux débris de mollusques ; localement, la teinte claire pénètre le lœss sous-jacent ;

– D - 2,00 - lœss décalcifié brun ocre (10YR6/4), un peu sableux (10 %) ; taches noires ferromanganiques généralement inférieures à 2 mm ; petites concrétions calcaires éparses passage progressif à la couche E ; dans cette zone de transition, les concrétions sont peu abondantes, mais plus grosses (longeur 5 cm) ;

– E - 0,50 - lœss beige (un peu plus foncé que 10YR7/3), non calcaire, peu sableux (6 %) à nombeuses taches noires ferromanganiques < 5 mm, distantes de 2 à 20 mm ; la teinte claire pénètre l'horizon inférieur jusqu'à la profondeur de 25 cm ;

– F - 0,50 (visible sur) lœss décalcifié brun rouge (10YR5/8, tendance 7,5YR5/8), un peu sableux, à taches noires < 1 cm.

Par leur teinte rose clair et les divers types de grains qui les composent, les fractions sableuses sont toutes originaires des grès du Buntsandstein.

La couche A, très épaisse pour un lœss-lehm holocène, pourrait être celui de l'Eémien ; elle recouvre le niveau de remaniement B, dont les sables et graviers proviennent, probablement par ruissellement, de la formation de piémont du Hochwald qui recouvre plus ou moins le glacis en faible pente qui s'étend au Nord de Dieffenbach : les graviers de silexite pourraient être remaniés du Conglomérat oligocène. La couche C est un loess ou ce qu'il en reste après érosion et altération. Sa teinte assez claire est l'indice d'un léger lessivage. La masse plus épaisse D présente le faciès des lœss du Pléistocène moyen décalcifiés. La couleur du niveau E est proche de celle du lœss C, mais l'absence de calcaire et l'abondance des taches et concrétions ferromanganiques permettent de l'interpréter comme un horizon lessivé au dessus du lœss-lehm brun rouge F qui rappelle ceux du Pléistocène moyen médian ou plus anciens. Signalons l'absence de feuilletage périglaciaire.

Entre les vallées de la Sauer et de la Moder, les lœss sont généralement peu épais, souvent remaniés et mêlés à d'anciennes colluvions sableuses déposées sur le piémont de l'escarpement vosgien avant l'enfoncement du réseau hydrographique.

Dans les bois et forêts du pays de Hanau, les lœss Œw-x ne sont pas très épais ; le plus souvent inférieurs à 2 m. Plus ou moins lessivés en surface, en profondeur ils deviennent plus argileux, compacts et se chargent de plus en plus en taches noires ferromanganiques. Celles-ci peuvent aussi former des lentilles ou agrégats où elles sont particulièrement abondantes, plus fréquents à la base du complexe lœssique où elles s'accompagnent souvent de concrétions ferromanganiques noires, avant de passer progressivement au complexe infralœssique. En conditions très humides, même en sommet de plateau,

l'horizon lessivé peut être par moments engorgé et présenter des marques d'hydromorphie en prenant une teinte légèrement verdâtre, facile à confondre avec l'horizon lessivé d'une altérite de marne ou d'argile. Principaux sites et sondages sur les lœss Œw-x assez altérés du pays de Hanau ; profondeur reconnue :

– bois de Langensoultzbach, sondage 2-191 ; 1,4 m ;

– Grosserwald de Gundershoffen, sur versant ; 1 à 1,5 m (NE de la route D86) ;

– Neuwald de Reichshoffen, 1,2 m ;

– forêt de Frohret, au NE de Zinswiller, sondages 1-133, 1-134, 1-135 ; 1,2 à 1,6 m ;

– bois d'Engwiller, sondage 1-147 ; 1,2 m ;

– bois d'Uhrwiller sondage 1-104 (fig. 23).

Sur versant, les quelques sondages effectués montrent des coupes assez analogues à celles des plateaux. Quand les couvertures de ces derniers comprennent des alluvions anciennes, les couvertures lœssiques de versant comprennent souvent des passées assez sableuses avec parfois quelques graviers, indices de remaniements par colluvionnement.

Au Sud-Ouest de la carte, le complexe lœssique se développe de nouveau. À l'Est de Bertsheim nous prendrons en référence le sondage 6-130 où les lœss du Pléistocène moyen atteignent une puissance de 16,5 m de haut en bas :

– 0,50 - lœss - lehm ;

– 4,00 - lœss typique brun clair (10YR6/4), Weichsélien ;

– 1,00 - lœss peu calcaire ocre (10YR6/6), plus grossier (lœss - lehm éemien probable) ;

– 5,50 - lœss clair humide (10YR7/4), légèrement panaché d'ocre ; avec concrétions ferromanganiques en dessous de 10 m ;

– 10,00 - lœss non calcaire ocre-beige (10YR6/6) avec quelques concrétions ferromanganiques ;

– 1,00 (pénétrée sur) - argile silteuse vert clair, remaniée, contenant des concrétions calcaires (formation oligocène altérée et solifluée).

Épaisseur totale 22 m.

Œw-xs. **Lœss sableux du Pléistocène moyen : limons brun ocre, assez argileux et sableux, plus ou moins altérés et complètement décalcifiés**. Si les lœss de la région comprennent fréquemment une faible fraction sableuse, généralement inférieure à 5 %, il est courant, en pays de Hanau et à la base du piémont vosgien de l'Outre Forêt, que les lœss du Pléistocène moyen en contiennent 10 % et plus, avec localement des teneurs

dépassant 50 %. Ceux que nous avons donc individualisés sous la notation Œw-xs contiennent fréquemment 20 % de sable. À l'exception de leurs parties les plus hautes, les collines et plateaux sous vosgiens ont été largement recouverts d'alluvions du Pléistocène ancien à moyen, aujourd'hui conservées localement, sous un faciès résiduel (*cf.* rubrique RFu). Ces sables sont largement remaniés et souvent mêlés aux lœss, par différents phénomènes : ruissellement, solifluxion, brassage ou digestion des lœss par les animaux fouisseurs, remaniements par le vent. En l'absence de bonnes coupes, la répartition du sable dans les matériaux lœssiques et leur mode de mise en place est mal connue. Les limons sableux nettement remaniés par solifluxion sont notés SCŒ-F et traités dans la rubrique « Formations de versants ».

Au SE de Merkwiller, dans le sondage 4-78 (PSAEM 4558), 1 m de sables sont intercalés entre les lœss du Pléistocène moyen, de 10 m de puissance, et ceux du Pléistocène supérieur. Leur mise en place pourrait être éolienne.

À l'Est d'Uberach, le plateau de Stocklach, formant la partie la plus occidentale de la Forêt de Haguenau, possède une couverture limono-sableuse d'une épaisseur de 1 à 2,5 m (sondage 6-1047). La teneur en sable est variable et peut dépasser localement 50 % avec une teinte tirant sur le brun rouge.

ŒC. **Lœss calcaires du Pléistocène moyen ou supérieur**. Cette notation a été utilisée, pour des lœss calcaires de versant d'âge indéterminé entre ces deux époques, car des lœss calcaires du Pléistocène moyen sont localement conservés (Betschdorf). E. Enriquez et D. Geissert (1978) les ont observés dans des sondages à la tarière manuelle.

ŒY. **Lœss du Pléistocène supérieur (Weichsélien) : limons beiges peu argileux souvent calcaires, mais plus ou moins décalcifiés en surface**. Les lœss du Weichsélien (Würm) se distinguent aisément sur le terrain par leur teinte plus claire, beige, gris beige clair, parfois même un peu verdâtre (teinte habituelle à sec au code Munsell 10YR7/4 à 10YR7/6 ; 10YR6/4 à 6/6 à l'état humide) ; lœss-lehm : 10YR5/4 ; 10YR4/6 à l'état humide). La texture lœssique typique à fins pores et canalicules laissés par la nécrose des radicelles, souvent remplis de calcaire (« *pseudomycelium* ») est bien représentée. Les coquilles de mollusques y sont fréquentes.

Au Sud de la Moder, les lœss Weichsélien sont principalement conservés dans le secteur d'Ohlungen – Bertsheim. Ils contiennent souvent la faune habituelle des lœss, mais ils peuvent être localement décalcifiés sur plusieurs décimètres d'épaisseur. Dans le sondage 6-130, à l'Est de Bertsheim (voir le paragraphe Œw-x) les 4,5m supérieurs peuvent leur être rattachés.

500 m au Nord-Est de Hohwiller, des lœss Wurmiens à *Columella columella* (répétition nécessaire), *Clausilia parvula* et *Pupilla muscorum* (s.f.)

surmontent des lœss gris à *Vitrea cristallina*, *Succinea oblonga* et *Columella* (période froide et humide).

Des lœss Weichséliens à faune classique ont été également observés au **Sud de Merkwiller**, mais dans cette partie nord-est de la feuille, ils sont fréquemment décalcifiés et peu épais.

Sables éoliens en épandages ou en édifices dunaires plus ou moins érodés

La fraction sableuse affleurante des sables pliocènes et des alluvions anciennes qui forment le substrat des parties méridionales et orientales de l'actuel massif forestier de Haguenau a plus ou moins été remaniée en surface par le vent au Pléistocène final (Weichsélien III, Weichsélien IV ou Tardiglaciaire) et au début de l'Holocène. Seules les accumulations éoliennes importantes, épaisses de 1 m et plus, ont été figurées sur la carte. Celles-ci se remarquent par leur topographie ondulée, le plus souvent sans formes caractéristiques, des plages de sable mouvant et une végétation pauvre : Pinède, Chênaie-Charmaie artificielle rabougrie. Les plus anciens épandages pourraient être apparentés aux lœss sableux Œw-xs pour lesquels nous avons envisagé une mise en place par voie éolienne. Nous les avons donc notés Dw-x.

Dw-x. **Épandages sableux d'âge pléistocène moyen probable**. Le placage de sable au Nord de Morsbronn, au NE de la ferme du Lausberg et celui du Sandwald au Nord-Est de **Schalkendorf** pourraient avoir une origine éolienne. Leur épaisseur est inconnue.

À l'Est de **Dauendorf**, un placage de sable rosâtre repose sur un replat, à une altitude voisine de 220 m. S'il est en place, il devrait être noté Fv, mais dans l'hypothèse d'une mise en place éolienne, nous l'avons noté Dw-x.

Le versant situé à l'Est d'**Uhlwiller** est tapissé de sable rouge, de sables limoneux et de limons sableux. Dans les sondages 6-331 et 6-336, les sables rouges, en tête des ouvrages, ont 1m d'épaisseur, quelque soit leur position topographique ; leur mise en place pourrait donc être soit éolienne soit colluviale.

Dy-z. **Épandages sableux et édifices dunaires d'âge pléistocène supérieur à holocène**. **À Ohlungen**, nous avons observé des interstratifications de lamines de sables éoliens dans les lœss (nouveau quartier au Sud de la D241, avant le carrefour de la route d'Uhlwiller).

L'abondance de galets dans une bonne partie des sables « éoliens » figurés sur la première édition de la feuille Haguenau nous a conduit à réduire leur extension. Nous avons cependant observé une bel **édifice dunaire**, peu érodé, au lieu-dit Maegstub, à l'Est de Mertzwiller. L'analyse granulométrique d'un

échantillon prélevé en tarière dans la partie supérieure de l'édifice montre un sable très bien trié (Qdφ Krumbein 0,3 ; médiane 0,25 mm ; mode 0,315), données parfaitement compatibles avec une mise en place éolienne. Rappelons que les alluvions anciennes de la Moder sont généralement bimodales et assez hétérométriques. La présence, à proximité de cet édifice, d'anciens tumuli, permet de poser l'hypothèse d'une utilisation de sable éolien, plus meuble et peu envahi de racines, pour leur édification.

À l'Est de Haguenau, l'édifice dunaire déjà figuré sur la première édition de la feuille Haguenau est assez érodé. Ce complexe éolien (lieu-dit « Burgbann ») a été étudié par V. Antoni (1994) qui a distingué des sols bruns lessivés enterrés, des sols peu évolués sur les sables éoliens, et des sols alluviaux en dehors de la couverture éolienne. Cet auteur envisage un âge historique (déforestation) pour cet épisode éolien. Dans notre hypothèse de la formation de la terrasse de Marxenhouse à l'Eémien ou au début de Weichsélien, le sol brun lessivé pourrait dater d'un épisode précoce de cette période et les remaniements éoliens auraient pu débuter au Weichsélien III, froid et sec, avec un sol nu ou couvert d'une maigre végétation steppique.

Le modeste relief arqué (sommet coté à 141 m ; élévation de + 2 m) recoupant la route forestière joignant le carrefour Hubbel à Betschdorf, peu au Nord de l'Eberbach pourrait avoir une origine dunaire. Plus au Nord-Ouest, dans la parcelle 163, située dans la zone de déflation supposée, en amont de la « dune », nous avons recueilli des galets nettement éolisés dont une silexite qui exclut l'hypothèse d'un remaniement de galets éolisés au Trias inférieur. Des silexites éolisées s'observent aussi dans les alluvions Fvsx de la butte cotée à 180 m, entre Schweighouse-sur-Moder et Eschbach (route forestière d'Eschbach), mais en faible abondance et avec une forme moins achevée que la silexite de la parcelle 163 dont le remaniement d'une formation alluviale plus ancienne du Pléistocène est possible. Rappelons que, malgré leur dureté, les silexites, comme les grès fins et les quartzites prennent bien le façonnement éolien (ventifacts).

Dz. **Épandage sableux d'âge holocène probable**. L'agent technique forestier J.-M. Hauser et le botaniste R. Bœuf ont reconnu des sables éoliens dans le bois d'Oberhoffen (Forlenwald), au Nord d'Oberhoffen-sur-Moder. L'aspect ondulé de leur surface topographique, leur végétation, une maigre pineraie acidiphile, en partie envahie par le cerisier américain *Prunus serotina*, un sol peu évolué et des analyses confortent ces chercheurs dans leur interprétation et un âge holocène.

Formations de versant

85 unités cartographiques sont distinguées dans la carte spécifique du régolithe, dont 36 sont représentées dans la présente carte.

Formations du piémont et des versants des Vosges gréseuses

Pt2-3. **Formation de piémont du Hochwald, sables peu limoneux et argileux, avec fragments et blocs de grès, remaniés du Grès vosgien et des Couches intermédiaires**. Sur l'éperon méridional du Hochwald, à Gœrsdorf et Mitschdorf, les blocs de grès viennent principalement des formations du Buntsandstein supérieur. Localement, la présence de galets de quartz et de quartzites indique une provenance de la partie inférieure des Couches intermédiaires ou du Grès vosgien.

Pt2/c/a. **Formation du piémont vosgien, sables à fragments et blocs de grès, galets de quartz et de quartzite, remaniés du Grès vosgien, sur altérites argileuses**. L'escarpement de la faille vosgienne est souvent recouvert par des placages de formations sableuses à blocs de grès du Buntsandstein. D'aspect semblable aux formations de versant SCE et faisant appel aux mêmes mécanismes génétiques, elles en diffèrent par leur épaisseur, souvent plus importante et pouvant atteindre et dépasser localement 10 m, et aussi par leur substrat, souvent argileux.

Formations de versant en dehors du massif vosgien (figuration très partielle)

Recouvrant toutes les pentes, les formations de versant sont difficiles à représenter, car elles présentent souvent de rapides variations d'épaisseur et de composition, sur des distances de l'ordre de la dizaine de mètres. Leur figuration, sur le fond IGN à 1/50 000, ne peut être que schématique. En coupe verticale, elles peuvent être homogènes, mais aussi constituées d'une succession de couches, souvent lenticulaires, chacune pouvant correspondre à un court épisode climatique ; des corps de lœss de forme lenticulaire peuvent s'y intercaler, en particulier sur les versants exposés aux secteurs nord à est du pays de Hanau et la partie la plus occidentale de l'Outre Forêt, à l'Ouest et au Nord-Ouest de Soultz-sous-Forêts.

La composition des formations de versants dépend largement de la lithologie des niveaux qui les ont alimenté, soit une variation possible selon la position du secteur considéré sur les parties hautes, moyennes ou basses du versant. Leurs Formations mères seront donc largement prises en compte dans la définition et la notation des différentes unités cartographiques, subordonnées au mécanisme de mise en place, essentiellement la gélifluxion notée « S » (solifluxion sur le pergélisol au moment du dégel, pendant les périodes froides du Pléistocène) et le colluvionnement au sens étroit (dépôts de ruissellement sur la partie inférieure des versants), noté « C ».

Les altérites sont plus ou moins solifluées sur les versant, mais une trop large maille d'observation et la grand dépendance de ces formations des infimes

détails de la topographie ne permet pas de tracer leurs limites. Pour les **lœss**, la distinction est encore plus difficile, des corps de lœss déposés sur des versants pouvant être interstratifiés avec des couches solifluées ou colluvionnées. Nous avons donc peu représenté les formations de versant formées d'altérites et de lœss remaniés. Sur les faibles pentes et bas de versants, les phases de colluvionnement et solifluxion, ont pu alterner. Ainsi, dans le sondage 6-1052, 2 km au SW de **Mertzwiller** des Marnes de Mietesheim altérées recouvrent des sables alluviaux CFv. Elles sont donc sans nul doute solifluées.

Les formations de surface peuvent masquer des vallons comblés. Ainsi, le sondage 6-137, au NW d'Ohlungen, a pénétré un remplissage sur 13 m, sans atteindre sa base ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 2,2 - sables à grain moyen, rosâtres à ocre, avec quelques fins niveaux d'accumulation d'oxydes de fer et d'argile dans leur moitié inférieure baignée par une nappe d'eau superficielle ;

– 2,8 - limons gris hydromorphes, à consistance boueuse, passant à des lœss francs, calcaires, brun clair ;

– 6,0 - lœss gris, un peu sableux, à petits mollusques (*Succinea oblonga*) ;

– 1,5 - sables silteux à mollusques, avec quelques graviers de quartz (longueur 1 cm) ;

– 0,5 - silt argileux gris, assez compact, avec mollusques.

Les sables sont vraisemblablement remaniés des alluvions Fv.

S𝒜l. **Formation de solifluxion remaniant des marnes du Lias altérées**. Comme ce type de formation est électivement représenté sur la carte du régolithe, nous ne l'avons figurée, sur la carte du substrat, uniquement sur la bordure occidentale de la carte pour assurer l'harmonisation avec la carte Bouxwiller (voir la description dans l'annexe 5).

SCŒ-Fu1. **Lœss et alluvions du Pléistocène inférieur ancien probable soliflués et colluvionnés**. Au NW de Frœschwiller, des limons, plus ou moins sableux, recouvrent l'épaulement SW de l'axe haut venant de Nehwiller. Leur bordure nord laisse apparaître quelques galets de quartz, jalonnant peut-être la base de la couverture de formations superficielles. Au SW de la localité et sur les confins des bans de Reichshoffen et de Gundershoffen, à l'Ouest du pointement de basalte, nous avons attribué cette notation à une couverture de limons sableux dont la phase arénite ne peut venir que du remaniement des alluvions Fu1.

𝒜-CFu1. **Alluvions du Pléistocène inférieur probable colluvionnés avec accumulation argileuse bariolée**. Au Nord du Grosserwald de Gundershoffen, vers la pointe septentrionale du ban communal, les versants nord et est de la butte cotée 256 m sont tapissés de sables avec ou sans galets.

Ces colluvions présentent souvent, à une profondeur de 0,5 à 1 m, une accumulation argileuse bariolée. Les sondages effectués à la tarière manuelle de 1,20 m, n'ont pas atteint le substrat.

SCFu2-Œ. **Alluvions du Pléistocène inférieur mêlées de lœss, colluvionnées et solifluées**. Au Sud et au SW de Forstheim, les versants sont recouverts de sables limoneux, remaniement de lœss, par colluvionnement ou solifluxion. Le sondage 2-178 a recoupé une accumulation argileuse bariolée qui explique l'existence de zones très humides sur ce versant ; teinte à sec au code Munsell ; épaisseurs en mètres :

– 1,00 - limons argileux et sableux ;

– 0,10 - passée riche en concrétions ferromanganiques (5 %) ; 30 % de sables ;

– 0,40 - argile sableuse bariolée, brun ocre (10YR5/8 à 6/6) et gris blanc verdâtre (7,5GY7/1) ; 30 % de sable ;

– 0,50 - sable argileux brun ocre (10YR5/8) et gris blanc verdâtre (7,5Y8/1) ; 65 % de sable.

Les fractions arénites sont constituées de sable rosâtre hétérométrique, identique à ceux des alluvions anciennes d'origine vosgienne.

La couverture sablo-limoneuse du versant situé au NE de Laubach, provient du colluvionnement des alluvions Fu2 de la butte cotée 218 (« Der Wald ») mêlées, probablement par solifluxion, à des lœss du Pléistocène moyen.

CFv. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien colluvionnées -** CFv/l4-j2**. Sur des formations du Lias moyen au Dogger inférieur indifférenciées -** CFv/p**. Sur sables et argiles du Pliocène**. Nous avons déjà évoqué un témoin d'alluvions Fv (voir cette rubrique) colluvionnées et ferruginisées au Sud d'Engwiller (affleurement 5-150). Plus à l'Est, dans le secteur de la forêt de Haguenau compris entre Mertzwiller, Laubach, Eschbach et la Zinsel du Nord, les alluvions Fv ont été largement étalées sur les versants. Ce remaniement se retrouve au Sud de la Zinsel, sur la partie nord des bans d'Ohlungen et d'Uhlwiller, principalement en zone forestière. Plus ou moins altérées par pédogenèse, elles peuvent présenter une accumulation argileuse bariolée, comme au Nord de Mertzwiller, dans le bois du Zang (sondage 2-179). L'épaisseur de cette couverture apparaît faible mais variable ; un chiffre donne localement sa valeur partielle ou totale. Nous indiquons, le plus souvent le substrat par sa notation :

SCŒ-Fv. **Lœss et alluvions du Pléistocène inférieur récent au Pléistocène moyen ancien soliflués et colluvionnés**. Une formation limono-sableuse tapisse un versant au **Sud-Ouest de Mietesheim** (Kleinfeld, sur le 1/25 000 IGN). Le **sondage 1-106**, sur le haut du versant, en topographie subhorizontale, montre une succession de lœss altérés, plus ou moins riches en

sables remaniés des alluvions anciennes Fv ; de haut en bas, épaisseurs en mètres ; couleurs à sec au code Munsell :

– 0,50 - limons lœssiques argileux et sableux brun ocre (10YR4/6) ;

– 0,50 - limons lœssiques argileux et sableux brun ocre (10YR5/6) ; **20 % de sable**, rares graviers de quartz, un menu fragment d'huître, rares petites concrétions ferromanganiques ;

– 1,50 - limon lœssique argileux, un peu sableux, ocre ;

– 2,00 - limon très argileux et sableux, plastique, brun jaune ocreux (entre 10YR6/6 et 2,5Y6/6), taches noires et concrétions ferromanganiques peu abondantes ;

– 0,50 - limon lœssique argileux peu sableux, ocre rouille (7,5YR6/6), taches noires et concrétions ferromanganiques petites (< 2 mm) et peu nombreuses ;

– 0,60 - limon lœssique argileux et sableux (**25 % de sable**), ocre rouille (7,5YR6/6), concrétions ferro-manganiques petites (< 2 mm) et peu nombreuses ;

– 0,20 - argile limoneuse très sableuse (**40 % de sable**), concrétions ferromanganiques concentrées dans certaines passées.

Substrat :

– 0,20 - marne vert très clair, un peu panachée d'ocre à concrétions calcaires dures et tendres ;

– 0,50 - marne vert très clair, (5GY7/1 à 8/1) ; Formation de Mietesheim probable, Bartonien.

Cette coupe est assez voisine de celle des lœss altérés à intercalations de limons sableux du sondage 1-104, sur une butte sommitale du bois d'Uhrwiller (fig. 23).

700 m plus au Nord-Est, la succession du **sondage 1-107**, situé sur un versant, à une altitude de 15 m inférieure, est nettement différente ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

– 0,50 - limons lœssiques sableux brun beige (10YR5/4) ;

– 1,80 - limons lœssiques argileux et sableux (**10 % de sable**) brun-ocre clair (10YR5/8) ;

– 0,40 - limons lœssiques argileux et assez sableux (**20 % de sable**) ocre (10YR5/6 à 6/6), quelques pisolites ferromanganiques ;

– 0,30 - sable argileux et limoneux, plastique (**70 % de sable**) ; brun rouille (7,5YR5/6).

Substrat

– 1,00 - argile gris-vert olive clair (2,5Y5/3) ;

– 0,50 - argile gris-vert très clair (2,5Y7/3), concrétions calcaires dures, fragments de calcaire oolitique ;

– 0,50 - calcaire meuble à oolites subjointives dans une matrice argilo-carbonatée brun clair à beige : Grande Oolithe, Bajocien supérieur, modérément altérée et faiblement remaniée.

La pente est assez forte (12 % environ) et l'apport sableux, ici colluvionné, est nettement plus important. Comme dans le sondage 1-106, on peut noter l'absence d'accumulation argileuse à la base des limons.

Au Nord de **Mietesheim**, les limons lœssiques sont assez sableux ; 20 % dans les sondages 1-126 et 1-127 où leur épaisseur dépasse 2 m.

Au Nord de **Griesbach**, un bas de versant présente une couverture limono-sableuse d'origine colluviale dont les matériaux proviennent vraisemblablement de dépôts du Pléistocène ancien récent ou moyen ancien.

Au NW d'**Ohlungen**, des limons sableux recouvrent le versant nord du Jaegersbaechel. Leur épaisseur atteint 4 m dans le sondage 6-862 où 2 m de « limon vert calcaire » (probablement des altérites de marnes oligocènes solifluées) recouvrent 2 m de lœss lités sableux. Dans le forage 6-277, la succession est différente (épaisseur en mètres) :

– 1,00 - lœss sableux ferrifère, avec Bohnerz ;

– 1,00 - « marne » gris-jaune ;

– 2,00 - lœss avec gastéropodes.

Substrat : marnes oligocènes altérées.

𝒜-CFv. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent ou du Pléistocène moyen ancien, colluvionnées avec accumulation argileuse bariolée**. Au Nord de Gumbrechtshoffen, sur le haut du versant descendant du Kirchenkupp vers la Zinsel, le complexe infralœssique 𝒜-RFv est largement soliflué. Deux chantiers en haut de la rue de la forêt montraient un matériau argilo-sableux à sablo-argileux blanchâtre, non stratifié, sur une épaisseur dépassant 1,50 m. Le sable provient pour l'essentiel des alluvions Fv, avec une fraction moyenne à grossière prédominante, originaire des grès du Buntsandstein et du sable fin probablement remanié des altérites des grès rhétiens.

À l'Ouest de Pfaffenhoffen, dans le secteur du bois de Zutzendorf, ces colluvions présentent une accumulation argileuse bariolée typique.

CFw. **Alluvions du Pléistocène moyen médian colluvionnées -** CFw/g1*M*. **Sur les marnes de la Série grise (Oligocène) -** CFw/p. **Sur**

sables et argiles du Pliocène. En contrebas des buttes coiffées d'un manteau d'alluvions du Pléistocène moyen médian, souvent résiduelles, les versants sont largement tapissés de colluvions sableuses. L'épaisseur de cette couverture apparaît faible mais variable ; un chiffre donne localement sa valeur partielle ou totale. Les colluvions CFw occupent des surfaces assez étendues au SE d'Uhrwiller sur les bas de versant NE et SE de l'Auerberg ; à Mietesheim, sur les bords de la terrasse de Walterspiel ; sur le versant sud de la Moder d'Uhlwiller à Schweighouse et, en vis-à-vis, sur le versant nord de la Zinsel. De la Hardt de Batzendorf à Haguenau, elles s'étendent sur les sables et argiles du Pliocène. À l'Est de Walbourg, leur extension est moins importante. Nous indiquons, le plus souvent le substrat par sa notation.

CFw-Œ. **Alluvions du Pléistocène moyen médian colluvionnées et mêlées de limons lœssiques**. Sur l'étroit plateau qui se suit de Schwabwiller à Betschdorf, des sables alluviaux résiduels, et colluvionnés attribués au Pliocène moyen médian par leur position altimétrique, sont très mêlés de lœss.

CHw. **Colluvions sableuses à sablo-graveleuses, remaniement de l'épandage Hw**. En contrebas des buttes basses du district forestier de Strohhuebel, au Nord de Haguenau, les sables et graviers Hw ont été remaniés par colluvionnement. L'épaisseur du dépôt CHw ne doit guère dépasser le mètre.

*A*CFw-x. **Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent, colluvionnées avec accumulation argileuse bariolée**. **À l'Ouest de Walbourg**, les alluvions Fw-x du hameau de Hinterfeld sont colluvionnées sur le talus NE de la terrasse alluviale et plus largement en direction de l'Est. Dans les sondages 3-2914 et 3-2917, ces colluvions deviennent rapidement argileuses en profondeur ; dans le second ouvrage, les argiles sableuses contiennent 5 % de concrétions ferromanganiques, les plus grosses atteignant 0,8 mm. À l'Est de Hinterfeld, les colluvions sableuses sont très mêlées de limons, prédominants dans les sondages 3-2915 et 3-2916. Elles deviennent plus argileuses en profondeur, dès 50 cm dans le sondage 3-2916.

C-Fy/t5*A*. **Dépôts de fonds de vallons attribués au Pléistocène supérieur recouvrant les Marnes irisées inférieures**. Le fond du large vallon situé **au NE de Reichshoffen** apparaît légèrement creusé par 3 thalwegs ; au Nord du petit thalweg septentrional, les colluvions sont limono sableuses.

Cy. **Colluvions d'anciens fonds de vallons d'âge Pléistocène supérieur probable**. Nous employons la notation Cy sur la feuille Haguenau pour des aires à sables plus ou moins limoneux et argileux, et limons sableux, en fonds de vallon, qui apparaissent légèrement entaillées par les lits majeurs des ruisseaux actuels. À l'Ouest de Hœsloch, le couloir emprunté par la voie ferrée

et reconnu par les sondages 3-43 et 3-44 est tapissé par un dépôt sableux que nous estimons un peu antérieur à l'Holocène soit weichsélien.

CF. **Alluvions anciennes de différentes époques colluvionnées**. **Au NE de Dauendorf**, des colluvions sableuses s'étendent largement sur le Herrenwald. Elles ont probablement une origine alluviale, mais les corps sédimentaires d'origine, vraisemblablement érodés, n'existent plus ou sont masqués par les lœss ou les colluvions, sans exclure la possibilité d'apports éoliens depuis la terrasse Fy1. Leur épaisseur peut atteindre et dépasser 1 m.

À Griesbach, **au Sud de Gundershoffen**, de part et d'autre des dépôts de fonds de vallon, les interfluves, à peine en relief, et les bas de versants sont recouvert de sables. Ces colluvions proviennent du remaniement d'alluvions anciennes qui ne sont guère conservées dans ce vallon. L'âge de ces alluvions, pouvant s'échelonner du Pléistocène inférieur récent au Saalien, est difficile à préciser. La mise en place des colluvions CF pourrait dater du Pléistocène supérieur. Elles pourraient être aussi notées Cy. À l'Est de Wœrth, les colluvions CF masquent la faille rhénane.

CF/t7G. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées sur des silts et grès du Rhétien**. Aux confins SE de la commune d'Oberbronn, les altérites des grès et siltites du Rhétien, plus ou moins colluvionnées et solifluées, sont recouvertes ou mêlées d'alluvions anciennes de la Zinsel, d'âge Pléistocène moyen probable. Dans le sondage 1-86, 1 m d'argile limoneuse et sableuse recouvre 1 m de sables argileux et limoneux, de plus en plus riches vers la base en sable fin et en fragments de siltites, avec de plus rares et menus débris de grès, provenant de l'altération et de la désagrégation des grès et siltites du Rhétien.

CF/𝒞𝒜lj. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées sur des marnes du Lias et du Dogger altérées -** CF/𝒞𝒜l**. Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées sur des marnes du Lias altérées**. **À Gundershoffen**, en rive gauche du Schwarzbach, la partie inférieure des versants est largement recouverte de colluvions sableuses. Les seuls témoins d'alluvions sub- en place se rattachent au Pléistocène moyen médian. Cette zone se prêtant mal à l'observation, par sa forte urbanisation, on ne peut exclure l'existence de restes d'alluvions plus récentes. Les substrats sont précisés sous la barre de fraction. Près de l'église catholique, deux sondages donnent une idée de la composition de ces colluvions, constituées ici de sable ocre contenant quelques graviers et galets. Dans l'un d'eux, ce sable, moins épais, passe en profondeur, à un sable brun ou une argile sableuse renfermant quelques débris végétaux. Épaisses de 2 à 3 m, ces colluvions reposent sur une « argile grise », substrat jurassique probable.

CF-Œ. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés**. Des sables limoneux CF-Œ sont représentés à Uberach, Harthouse, à l'Ouest de Surbourg et au Sud de Dieffenbach.

À l'Ouest de Forstheim, le sondage 2-178 a traversé, sous 1 m de limons sableux et argileux, une argile sableuse bariolée, épaisse de 0,40 m (30 % de sable). En-dessous, le matériau devient franchement sableux (65 % de sable rose hétérométrique, semblable à celui des alluvions d'origine vosgiennes). Pénétré sur 0,50 m, ce sable argileux provient probablement du remaniement des alluvions Fu2, reconnues plus haut sur le versant par le sondage 2-140.

À Uberach, le sondage 5-56 donne une coupe assez détaillée de ces colluvions, épaisseurs en mètres, de haut en bas :

– 0,8 - sables limoneux brun ocre et galets (de quartz) ;

– 0,5 - limons sableux brun ocre, un peu sableux ;

– 2,8 - limons ocre, légèrement sableux ;

– 0,1 - limons sableux gris clair.

En rive droite du Rothbach, du Sud de Niefern à l'éperon dominant la Hardtmuehle, la partie moyenne du versant est recouverte de sable limoneux (50 à 65 % de sable) et localement de limons sableux. **Au Sud d'Uhrwiller**, dans la tranchée de la D24, à la retombée septentrionale de l'interfluve, ces sables ont au moins 2 m d'épaisseur. Un peu en contre-bas, avant d'atteindre le point coté 200, ils passent, vers le bas à des limons lœssiques sableux. Plus ou moins grossiers, les sables s'acompagnent de quelques petits graviers.

Dans le secteur de Gumbrechtshoffen, le bas du versant en rive gauche de la Zinsel est tapissé de sables, localement limoneux ou argileux. Ils proviennent du remaniement, par colluvionnement, des sables alluviaux Fv et peut être aussi, dans la partie la plus basse, d'alluvions Fw, érodées, sans exclure la présence de quelques lambeaux résiduels de ces dernières sous la couverture colluviale.

Sur la carte du Régolithe la phase sableuse a été privilégiée avec la notation CFv-w/*A*l.

SCŒ-F. **Lœss et alluvions anciennes de différentes époques, soliflués et colluvionnés**. **Au Nord de Gumbrechtshoffen**, jusqu'à Gundershoffen, quartier Eulenberg, le colluvionnement et la cryoreptation ont accumulé, sur la partie basse du versant, des sables plus ou moins argileux, remaniés des alluvions Fu et Fv mêlées de limons lœssiques. Leur épaisseur peut atteindre et dépasser 2 m. Ils peuvent masquer les alluvions Fy1 qui n'apparaissent plus au Nord de la Zinsel, en amont de Gumbrechtshoffen.

CŒ. **Limons lœssiques colluvionnés**. Largement répandues sur les bas des versants, les colluvions CŒ ne sont figurées que localement. Dans les sites où elles se différencient nettement des lœss, ces colluvions limoneuses, plus ou moins argileuses, ont un débit souvent granuleux. Localisées en bas de versant, elles sont fréquemment affectées par l'hydromorphie et prennent alors une teinte plus sombre, brunâtre (Elsasshausen). Citons le versant ouest du Neuwald, au NE de Reichshoffen, les bas de versants de la butte de Gunstett et au S-SW de Kutzenhausen où elles tapissent un fond de vallon en direction de Hœsloch, et présentent un faciès hydromorphe contenant des concrétions ferromanganiques (Bohnerz ; sondage 4-1366).

Cs/Fzt/Fz*R*. **Colluvions sableuses recouvrant des tourbes et alluvions tourbeuses surmontant des alluvions rhénanes du Pléistocène supérieur**. En s'éloignant de la cuesta Oberhoffen - Schirrhein, les sondages pétroliers montrent que le complexe Cs/Fzt repose sur les sables et graviers rhénans, Fy*R*, dont la partie supérieure est attribuée au Weichsélien (Geissert, Ménillet, Boudot, 1976).

Cs/Fzt. **Colluvions sableuses recouvrant des tourbes et alluvions tourbeuses de la basse plaine rhénane**. Au SE de la carte, au pied de l'escarpement qui se suit d'Oberhoffen à Schirrhein, les alluvions rhénanes tourbeuses holocènes (« Ried ») sont recouvertes de limons sableux à sables limoneux.

Plus ou moins marécageuses et tourbeuses, ces colluvions se remarquent par leur sol souvent noir et acide où se développement des peuplements d'Aulnaie. Les sondages 8-72 et 8-73, les seuls que nous connaissons dans cette zone, attribuent à ces colluvions une épaisseur inférieure ou égale à 2 m. Dans le second, leur substrat est formé par des sables rouges, alluvions Fy1 abaissées par la faille de Bischwiller-Mothern.

C. **Colluvions indifférenciées : sables limoneux, limons plus ou moins sableux ou argileux**. Les dépôts fins de bas versant constitués par un mélange de matériaux variable ou mal connu sont regroupés sous la notation C. Sous l'escarpement de la faille vosgienne, des colluvions sablo-limoneuses relayent localement, vers la plaine, les formations de piémont à blocs de grès. Au NE de Zinswiller, près de la limite NE de la forêt de Frohret, des colluvions limono-sableuses deviennent hydromorphes. Un sondage à la tarière a pénétré, sous 0,7 m de colluvions limono-sableuses, une accumulation argileuse bariolée sur 0,3 m. Nous avons individualisé les colluvions C dans la vallée du Rothbach entre Niefern et La Walk et au Nord de Dauendorf.

Au lycée de Wœrth, l'épaisseur des colluvions C augmente, en s'éloignant du versant avec un maximum de 3,8 m. Leur composition, comprenant 2 à 4 couches, varie beaucoup : argile, limon argileux, limon sableux, argile

sableuse. La présence d'argile brun rouge en surface, au-dessus de limons sableux, dans trois sondages voisins est un indice de la présence de matériaux soliflués depuis le versant, constitué, dans sa partie inférieure des Marnes irisées supérieures du Trias.

À Mitschdorf, dans la vallée du Seltzbach, à Oberdorf, Gunstett et Hegeney, cette notation s'applique à des limons argileux, déposés probablement par le ruissellement érodant le « Conglomérat côtier » du Rupélien. Plus à l'Est, en aval de Soultz, la part revenant au remaniement des lœss est importante. À Schwabwiller et Betschdorf, les colluvions de bas versant sont limono-sableuses à sablo-limoneuses.

Formations anthropiques

XFe. **Fouilles et déblais de recherche ou d'exploitation des anciennes mines de fer**. Dans une large auréole bordant la forêt de Haguenau, du Sud-Ouest (secteur d'Ohlungen) au Nord (Betschdorf) le sous-sol, en particuler des bois communaux ou privés, fut l'objet de nombreuses recherches de minerais de fer, plus intenses au XVIIIe et dans la première partie du XIXe. Mis à part quelques exploitations par puits, ces recherches et exploitations étaient le plus souvent menées en creusant des fosses dont un grand nombre n'ont jamais été complètement remblayées. La carte du substrat ne figure, par le signe zodiacal du fer, que les anciens sites d'exploitation bien localisés ; la carte du régolithe réprésente les tas de déblais les plus étendus. Signalons ceux du Sud d'Huttendorf, du SE de Morschwiller, du SW d'Uhrwiller, de l'Ouest de Gumbrechtshoffen et du Sud de Mietesheim. Leur composition va de sables plus ou moins argileux à des limons argileux.

Xhui. **Zones d'anciennes fosses à hydrocarbures**. Au Nord-Est de Merkwiller (carte du substrat et carte du régolithe) ; et au Nord de la localité (carte du régolithe) des produits pétroliers étaient décantés dans plusieurs fosses. Les aléas du temps et surtout les bombardements de la dernière guerre ont affecté l'étanchéité de ces fosses qui ont fait l'objet d'études dans le cadre des campagnes de dépollutions d'après mine.

XCr. **Crassiers des anciennes mines de pétroles**. Dressant leurs cônes très apparents au dessus de la surface du sol, 4 crassiers jalonnent une ligne, presque droite, entre l'Est de Gunstett et le NE de Merkwiller-Péchelbronn. Ils correspondent aux déblais de la dernière période d'exploitation du pétrole par galeries dans la concession de Péchelbronn, entre 1916 et 1955, soit de 450 km de galeries dépilées ; du SW au NE :

Gunstett, Puit III (Siège Daniel Mieg) ;

Merkwiller-Péchelbronn, Puit II (Siège Le Bel) ;

Puit I (Siège Clémenceau) ;
Puit VI (Siège De Chambrier).

Riches en argiles plus ou moins bitumineuses, ces cônes de déblais peuvent être à l'origine de glissements de terrains.

X. **Remblais**. De nombreuses constructions humaines sont bâties sur des remblais dont les plus étendus se situent sous les agglomérations importantes et les zones industrielles. À l'exception du remblai sur lequel est construite l'usine ALSTOM, au Sud de Reichshoffen, figurée sur la carte du substrat, les remblais étendus sont figurés sur la carte du régolithe (SE du ban de Niederbronn, Ouest de Mertzwiller …). Sous la ville de Haguenau, les remblais sont irrégulièrement répartis. La composition des remblais est très variable : sable, blocaille et moellons de grès ou de calcaires, fragments de revêtements bitumineux ou de béton *etc*…

ÉVOLUTION TECTONIQUE

L'Alsace faisant partie d'une structure géologique commune avec l'Allemagne (Fossé rhénan), la précision du sens des directions structurales par rapport au Nord-Est indispensable : les géologues allemands utilisent le sens inverse des français. Ainsi, notre N20(E) devient à l'Est du Rhin le N160W ; nous avons donc écrit N20E et non N20.

La tectonique de la feuille Haguenau s'inscrit essentiellement dans le cadre de l'évolution structurale du Fossé rhénan. Reconnu par plusieurs milliers de sondages profonds (R. Schnaebelé, 1948), celui-ci compte parmi les modèles de fossés d'effondrement de type rift « étroit » (Illies et Greiner, 1978 ; M.-E. Schumacher, 2002 ; S. Hinken *et al.*, 2007) qui résultent d'importants phénomènes de distension à des échelles supra-régionales à continentales, au niveau de la croûte et probablement du manteau supérieur, selon le profil sismique profond ECORS (Brun *et al.*, 1991 et 1992). Le dernier colloque sur le Fossé rhénan s'est tenu à Strasbourg en 2004 (« Continental extension », *Int. J. Earth Sci*, 2005 et 2007).

STRUCTURATION DU SOCLE PALÉOZOÏQUE

Avant la formation du Fossé rhénan, l'orogénèse varisque a fortement structuré les ensembles sédimentaires et éruptifs du Paléozoïque, générant une fracturation dont les directions se retrouvent dans les couvertures secondaire et tertiaire, qu'il s'agisse de rejeux de failles du socle varisque ou induites par les structures de ce socle. En particulier, le « linéament rhénan » (Illies, 1962, Boigt et Schöneich, 1970) ou « zone cisaillante du Rhin supérieur » (Edel *et al.*, 2007),

à l'origine du Fossé rhénan, de direction N20E à N30°E a, pour la plupart des auteurs dont J.-H. Illies et G. Greiner, 1978 ; M.-E. Schumacher 2002 ; J.-B. Edel *et al.*, 2007, une origine tardi-hercynienne, avec un jeu décrochant senestre dès cette époque. Les directions des failles tardihercyniennes resteront les principales directions de fracturation jusqu'au Cénozoïque : N20 à N30°E, N60 à N70°E, N160°E, N110 à N120°E. Les bassins permiens sont directement générés par les derniers jeux de la tectonique varisque. La microfracturation du granite de Soultz a été étudiée sur les carottes des sondages géothermiques de cette localité (voir le paragraphe géothermie). Au niveau de la carte Haguenau, la connaissance des dépôts permiens n'est pas suffisante pour préciser un peu la tectonique de cette période. qui se termine par des mouvements épirogéniques. En particulier la formation de la gouttière où se dépose le Grès d'Annweiller qui correspond approximativement à l'actuelle ondulation synclinale de Sarreguemines.

MOUVEMENTS ÉPIROGÉNIQUES DU MÉSOZOÏQUE

Au Mésozoïque, la tectonique se limite à des mouvements épirogéniques et à des rejeux de failles, généralement modestes. Un épisode de tectogénèse notable intervient au Norien (phase éocimmérienne majeure) où le bassin de Paris prend naissance, avec une nette phase d'érosion en Alsace et Lorraine (Durand et Bourquin, 2001). Dans le champ de fractures de Saverne, Clauer *et al.*, 2008, datent une phase de migrations de fluides, avec précipitation d'illite dans les grès du Buntsandstein, à - 210 Ma et l'associent à un rejeu de failles de direction rhénane dans le futur Fossé rhénan. Elle pourrait correspondre à la phase éocimmérienne majeure. Ils observent encore de tels dépôts d'illite jusqu'à la fin du Jurassique moyen, indice d'activité des failles profondes durant toute la période. À la fin du Jurassique supérieur, la phase néocimmérienne récente entraîne l'émersion de toute la région, attribuée à un phénomène de doming pré-rifting (voir les numéros spéciaux sur le Fossé rhénan : Illies et Mueller 1970 ; Illies et Fuchs, 1974).

Au Crétacé, outre quelques néogenèses d'illite ou de séricite (voir Geyer *et al.*, 2011, p. 297 pour la Forêt Noire), de modestes venues volcaniques témoignent d'une activité tectonique. Les datations des venues volcaniques, quasi ponctuelles, s'échelonnent depuis l'Aptien, dans le Sud de la Forêt Noire (Baranyi *et al.*, 1976 ; voir aussi Geyer *et al.*, 2011, tableau p. 328). Dans les grès triasiques du sondage géothermique de Soultz, N. Clauer *et al.* (2008), datent des cristallisations minérales à - 95 et - 70 Ma. Les premières ont sensiblement le même âge que la plus ancienne venue volcanique rhénane en Alsace (ankaratrite des 3 épis, près de Colmar). Des ondulations anticlinales et synclinales affectent les assises du Mésozoïque au fond du Fossé rhénan (Schirardin, 1953 ; Sittler, 1965, synthèse géothermique du Fossé rhénan, 1979 ; Blanc-Valleron, 1991), selon la direction hercynienne N70°E. La carte

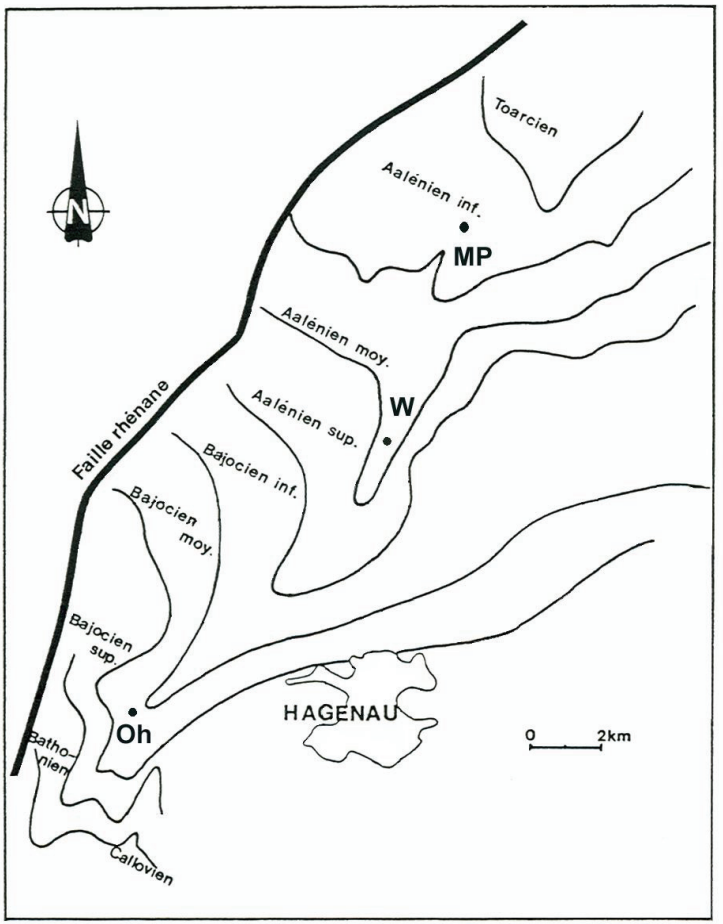


Fig. 29 - Ondulation anticlinale Olhungen – Walbourg d'âge anté-éocène des terrains mésozoïques à la base du remplissage cénozoïque du Fossé Rhénan (d'après J. Dylikowski, 1985). MP - Merkwiller – Péchelbronn, Oh - Olhungen, W - Walbourg. Noter le degré d'érosion croissant vers le Nord, atteignant des niveaux de plus en plus anciens

Haguenau se situe sur le flanc méridional d'une ride anticlinale, avec un degré d'érosion croissant vers le Nord. Dans le détail une ondulation oblique à ces structures apparaît (fig. 29, Dylikowski, 1985). Sans marqueur précis, un âge proche de la limite Crétacé-Tertiaire est souvent attribué à ces ondulations. Elles ne se prolongent pas en dehors du Fossé rhénan, que ce soit dans les Vosges ou dans la Forêt Noire. Elles pourraient donc être limitées au Fossé, avec un âge postérieur aux premiers jeux des failles vosgienne et schwarzwaldienne. Une déformation des Vosges et de la Forêt Noire, lors de leur érection en horst est aussi probable.

NAISSANCE DU FOSSÉ RHÉNAN

Nous avons vu que les premières manifestations de la tectonique rhénane datent du Crétacé. La formation du premier fossé entre la faille vosgienne et la faille Schwarzwaldienne date de l'Éocéne moyen. Mouvement de distension E-W, attribué à la poussée provoquée par l'orogénèse pyrénéenne qui comprenait les chaînons E-W du Sud de la Provence et a débuté à la fin du Paléocène (Vergès et Garcia-Senez, 2001). Aucun élément d'observation ne permet de préciser cette phase de fracturation et son rôle dans la genèse des failles qui affectent les formations secondaires du champ de fractures de Saverne. Les fossés de Mietesheim et de Mertzwiller, à remplissage de formations d'âge lutétien à bartonien montrent que certaines failles du champ de fractures de Saverne ont joué après le Bartonien, c'est-à-dire lors de la formation et du développement du Fossé rhénan principal.

STRUCTURE D'ENSEMBLE DU FOSSÉ RHÉNAN

Longue bande de terrains effondrés au Cénozoïque, orientée SSW-NNE, le Fossé rhénan comprend en coupe transversale W-E, à la latitude de l'Alsace, 9 éléments caractéristiques (voir le schéma structural, en marge de la carte) :

– le horst vosgien ;

– la faille vosgienne ;

– les champs de fractures des collines sous-vosgiennes ;

– la faille rhénane occidentale ;

– le Fossé rhénan principal (largeur 30 à 35 km) ;

– la faille rhénane orientale ;

– les champs de fractures des pré-collines de la Forêt Noire (Vorbergzone) ;

– la faille schwarzwaldienne ;

– le horst de la Forêt-Noire ou Schwarzwald.

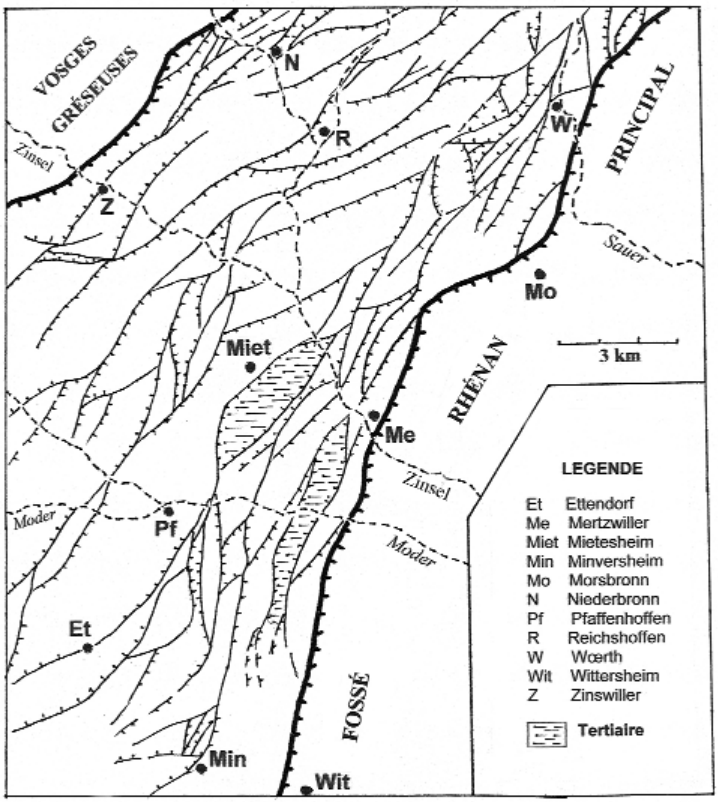


Fig. 30 - Failles des collines sous vosgiennes sur la carte à 1/50 000 Haguenau (partie NE du champ de fractures de Saverne), par F. Ménillet

Le territoire de la feuille Haguenau est à cheval sur les cinq premiers éléments, donc étendu sur la moitié occidentale du Fossé.

STRUCTURE DE CHAQUE ÉLÉMENT À L'ÉCHELLE DE LA FEUILLE

À l'Ouest de Haguenau, le **horst vosgien** apparaît comme le rebord du plateau façonné sur les grès du Buntsandstein, à l'Est de la Lorraine, mais plus faillé et plus disséqué que les plateaux calcaires de cette région. À l'intérieur du horst, les failles, au rejet modeste, sont difficiles à démontrer, en l'absence de niveaux repères dans la série du Buntsandstein moyen. Dans la vallée de la Zinsel du Nord, la faille N20-N30E qui remonte à l'affleurement le Grès d'Annwiller a un rejet supérieur à 20 m dans la traversée de la rivière, puis il s'amenuise vraisemblablement vers le Nord. La faille atteint-elle le col de Hodereck ? E. Haug, sur la carte géologique à 1/25 000 Niederbronn (Van Werveke, 1998a), figure une autre faille NW-SE, reprise sur la 1ère édition du 1/50 000 Haguenau (Daum *et al.*, 1967) ; nous n'avons pu la confirmer.

Marquée dans la topographie par un escarpement de 200 m de dénivelé environ, la **faille vosgienne** est un étroit faisceau d'accidents, large au plus de quelques centaines de mètres, séparant le horst vosgien de vastes paliers d'effondrement en bordure des Vosges : les champs de fractures des collines sous-vosgiennes. Au niveau de la forêt de Falkenstein, la faille vosgienne a une orientation SW-NE (N45°E), car elle limite la partie septentrionale du champ de fracture de Saverne ; son rejet est relativement faible : 200 m au Nord-Ouest de Niederbronn, 400 m à Zinswiller. Dans le faisceau de la faille vosgienne, on observe souvent des compartiments à fort pendage. La faille vosgienne est synthétique ; son pendage moyen est de 70° environ.

La feuille Haguenau comprend la partie nord-est du **champ de fractures de Saverne** (fig. 30), dont la forme en pointe de croissant coupée est liée non seulement au changement de direction de la faille vosgienne, mais aussi à celle de la faille rhénane, qui le limite à l'Est. Le horst du Hochwald qui surgit au Nord de Gœrsdorf, contre la faille rhénane, lui donne une structure de fossé plus au Nord (fossé de Lembach). Le champ de fractures de Saverne a 90 km de long avec une largeur maximale de 20 km. Des failles de direction N10°E à N45°E le découpent en lanières allongés dans un sens S-N à SW-NE (fig. 30). La plupart des lanières présentent un pendage orienté vers l'Est ou le Sud-Est. Larges de 300 à 1 000 m et longues de 2 à 10 km, elles se terminent souvent en pointe et se relaient comme dans une mosaïque de fuseaux. Les failles qui limitent ces compartiments, antithétiques, sont généralement inclinées vers l'Ouest ou le Nord-Ouest. Les conditions d'affleurement n'ont permis de relever qu'un très petit nombre de pendages et la géométrie précise des différents panneaux est mal connue. Comme le montre la coupe de la gare de Mertzwiller (Van Werveke, 1898b), des failles à faible rejet, indécelables en cartographie,

peuvent les affecter et les phénomènes de compression du Néogène les ont vraisemblablement déformés, sans oublier des glissements de banc à banc et de possibles décollements au niveau des couches les plus argileuses (*cf.* Nivière, 1998). F. Bergerat (1985 et 1987) et T. Villemin (1986) ont analysé les directions de fracturation du champ de fractures de Saverne.

Au Sud de la Zinsel du Nord, la partie affleurante des lanières expose les différents niveaux du Lias et du Dogger. L'existence de marnes et calcaires du Lutétien à l'Est de Bitschhoffen et à Dauendorf, au-dessus des calcaires oolitiques du Bajocien, est connue de longue date ; en outre, nous avons découvert deux petits fossés dont le remplissage se termine par des marnes attribuées par la palynologie au Bartonien (voir rubrique Formation de Mietesheim). Nous les avons retrouvées dans le Fossé rhénan principal, au Sud de Mertzwiller, où aucun sondage pétrolier ne les a rencontrées. Elles marquent donc la fin de la sédimentation dans le champ de fractures de Saverne et le Fossé rhénan primitif, avant le jeu principal de la faille rhénane occidentale qui aurait donc débuté au Priabonien.

Au Nord de la Zinsel, le secteur à lanières, conservant des formations jurassiques, se réduit en largeur et se termine sur une faille N80°E à Frœschwiller. De part et d'autre se développent des lanières à affleurements de formations triasiques ; les plus septentrionales se continuent dans le fossé de Lembach qui s'individualise par la remontée des grès du Buntsandstein, formant le horst du Hochwald.

La **faille rhénane occidentale** est l'accident majeur qui limite à l'Ouest le Fossé rhénan principal. Entre le horst du Kochersberg (feuille à 1/50 000 Saverne) et celui du Hochwald (feuille de Lembach), elle apparaît mal dans la topographie, car elle met en contact les formations marneuses du Lias et du Dogger avec celles de l'Oligocène. C'est un indice d'absence de jeu néotectonique. Les sondages thermaux profonds de Morsbronn (3-22 et 3-23) ont mis en évidence que la faille rhénane est en réalité un faisceau de failles complexe. Son rejet est d'environ 450 m à Berstheim, 800m au niveau de Wœrth, plus de 1 000 m au niveau du Hochwald. La faille rhénane a une direction N10° E entre Wittersheim et Mertzwiller puis un tracé en ligne brisée entre Mertzwiller et Wissembourg, avec une direction variant entre N 10° et N 30°E. Elle est toujours synthétique et son pendage moyen est compris entre 75° et 80°. Les sondages 3-22, 3-23 et 3-46 à Morsbronn, ainsi que le 3-26 à Dieffenbach-lès-Wœrth, l'ont recoupée. Des observations de terrain et des sondages à la tarière nous ont permis de préciser son tracé au Nord de Dauendorf, à Mertzwiller, Forstheim et au Nord de Morsbronn.

Le **Fossé rhénan principal**. La région de Haguenau-Péchelbronn correspond à une partie relativement peu effondrée du Fossé rhénan principal, en particulier le secteur de Péchelbronn – Soultz-sous-Forêts, parfois dénommée « périclinal

de Péchelbronn » ou à tort « bassin de Péchelbronn », la carte des anomalies gravimétriques (Maïkovsky, 1952) lui donnant la même signature que les bassins de Strasbourg et de Sélestat (voir la carte de profondeur de la base du Tertiaire *in* Synthèse géothermique du Fossé rhénan, 1979 et Banc-Valleron, 1991). C'est en fait un haut replat, légèrement en contrebas du seuil de Haguenau. Signalons l'hypothèse de Chorowicz *et al.* (1989 et 1993) où les bassins seraient de type pull-apart, des failles décrochantes de type transfert N60 à N70°E étant localisées sur les seuils. Par rapport au horst vosgien, le Grès vosgien est effondré de 1 200 m à Berstheim, 1 300 m à Péchelbronn et de plus de 2 000 m à Schirrhein. Il est plus abaissé dans le Fossé de la Zorn ou Bassin de Strasbourg et surtout dans la Fosse de Heidelberg, en Palatinat, où l'on a plus de 3 000 m de formations tertiaires, principalement néogènes.

Les sondages et les profils sismiques effectués pour la recherche du pétrole ont montré que la structure du Fossé rhénan principal est complexe dans le détail (Schnaebelé, 1948 ; Casel, 1954 ; Dylikovski, 1985 et fig. 31). Sur la feuille Haguenau plusieurs secteurs peuvent y être distingués :

– à l'Ouest d'une ligne Harthouse – Reimerswiller, Les coupes transversales (Schnaebelé, 1948 ; Sittler, 1967, la 1ère édition de la feuille Haguenau, Daum *et al.*, 1967) montrent qu'une succession de failles antithétiques, à regard ouest, plus ou moins parallèles aux failles rhénanes, en alternance irrégulière, individualisent, comme sur le champ de fractures de Saverne, une série de lanières, généralement inclinées vers l'Est et le Sud-Est (pendage 5 à 10°). Les champs pétrolifères de Péchelbronn et du Sommerbaechel (coupe en bas de la carte) lui appartiennent. Dans le premier, la succession des failles antithétiques, à pendage ouest compris entre 40 et 70°, maintient les Couches de Péchelbronn supérieures à l'affleurement malgré un net pendage vers l'Est ou le Sud-Est (5 à 10°), jusqu'à la structure haute de SouItz-sous-Forêts, limitée à l'Ouest par la faille de Kutzenhausen. Par la répartition des failles antithétiques puis synthétiques qui la bordent ou l'affectent, cette structure apparaît comme un horst (coupe A, en marge de la première édition de la carte Haguenau, Daum *et al.*, 1967). Vers le SW, le palier de Péchelbronn devient très étroit et se réduit à 2 éléments séparés par la faille de Bertsheim : un compartiment occidental élevé où affleurent les Couches de Péchelbronn supérieures, les Marnes à foraminifères et les Marnes feuilletées à amphisiles et un compartiment oriental où affleurent les Couches à melettes (voir la coupe sismique en bas de la carte). J. Dylikowski (1998), par l'interprètation de coupes sismiques, donne des détails représentatifs sur les failles du secteur de Péchelbronn et montre leur jeu synsédimentaire, en particulier à l'Oligocène inférieur (« Sannoisien ») ;

– dans un triangle Hartouse – Reimerswiller – Kaltenhouse, la structure apparaît moins ordonnée et la plupart des failles ont un rejet moins important. Cette zone, moins riche en sondages est aussi moins connue. La coupe sismique figurée en bas de la carte révèle un petit fossé d'effondrement près du sondage 8-38 ;

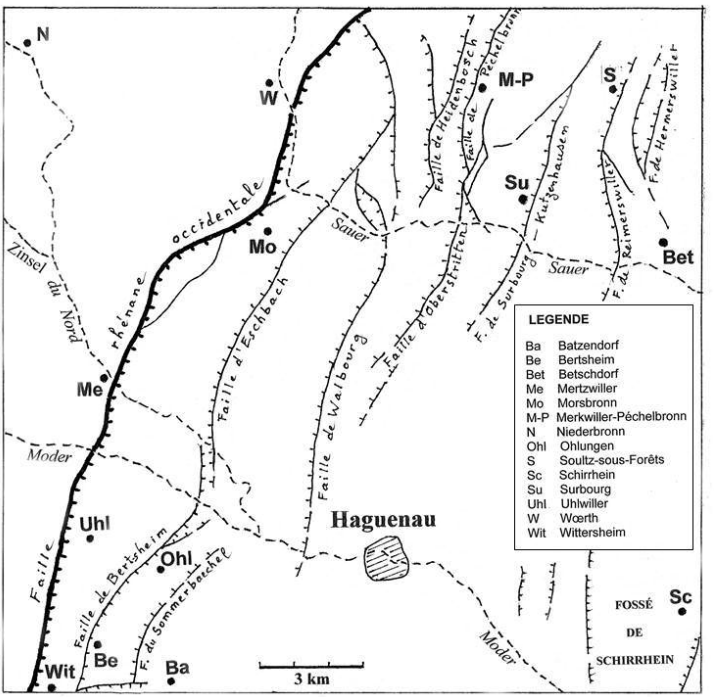


Fig. 31 - Failles importantes du Fossé Rhénan principal sur la carte géologique de Haguenau à 1/50 000 d'après R. Schnaebele (1948), réseau complété et légèrement modifié par F. Ménillet. Ba - Batzendorf, Be - Bertsheim, Bet - Betschdorf, Me - Mertzwiller, Mo - Morsbronn, M-P - Merkwiller-Péchelbronn, N - Niederbronn, Ohl - Ohlungen, S - Soultz-sous-Forêts, Sc - Schirrhein, Su - Surbourg, Uhl - Uhlwiller, W - Woerth, Wit - Wittersheim

– à l'extrémité sud-est de la carte, le champ pétrolifère de Schirrhein apparaît comme un fossé complexe. La coupe sismique montre bien que certains panneaux, en particulier dans la zone axiale du fossé, sont légèrement bombés en voûte anticlinale, effet probable de la compression néogène.

ÉVOLUTION DU FOSSÉ RHÉNAN DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR À L'ACTUEL (fig. 32)

La variation des contraintes de compression subies par le Fossé rhénan au cours du Tertiaire étudiées par J.-H. Illies (1977, 1979), précisées par T. Villemin et F. Bergerat (1987) pour les directions de fracturations crées, sont toujours admises par la communauté scientifique (Dèzes *et al.*, 2004 ; dernier colloque consacré au Fossé rhénan publié dans *Int. J. Earth. Sci.*, vol. 94, 2005 et 96, 2007). La figure 32 les précise. Fait logique pour un fossé d'effondrement, de nombreuses failles ont joué en failles listriques (failles d'effondrement, légèrement courbes), mais beaucoup ont joué aussi en décrochement, (Illies, 1979), même les failles vosgiennes et rhénane, surtout à partir du Miocène ; décrochement simple ou en couple de transtension (Rotstein *et al.* (2005), pouvant développer des failles de Riedel, des fentes de tension et de petits bassins d'effondrement en forme d'amande (*Blumenstrucktur*). Dans le détail, les jeux peuvent être complexes.

FAILLES AFFECTANT DES TERRAINS PLIOCÈNES

D'origine tectonique et vraisemblablement généré par les contraintes de compression qui ont édifié la chaîne du Jura (- 10 à - 6 Ma environ), le bassin mio-pliocène Alsace moyenne – Mayence pourrait être recoupé, dans le secteur de Haguenau, par 3 accidents hypothétiques :

– une faille sub-méridienne à Schweighouse-sur-Moder ;

– un accident Est Haguenau – Betschdorf, proche de la limite occidentale du Pliocène en forêt de Haguenau qui en dérive probablement par érosion régressive ;

– la faille Bitchwiller – Mothern, au pied de l'escarpement occidental de la basse plaine rhénane, pléistocène (voir ci-dessous).

Une autre faille SW-NE pourrait séparer les affleurements pliocènes de Kaltenhouse du secteur où sont conservés les dépôts rhénans Fv-w*R*. La coupe du sondage 8-20 posant un problème d'interprétation, son existence et sa position restent incertaines.

Dans le secteur de Schirrhein, les sondages pétroliers montrent que l'épaisseur des dépôts mio-pliocène est très variable. La répartition des

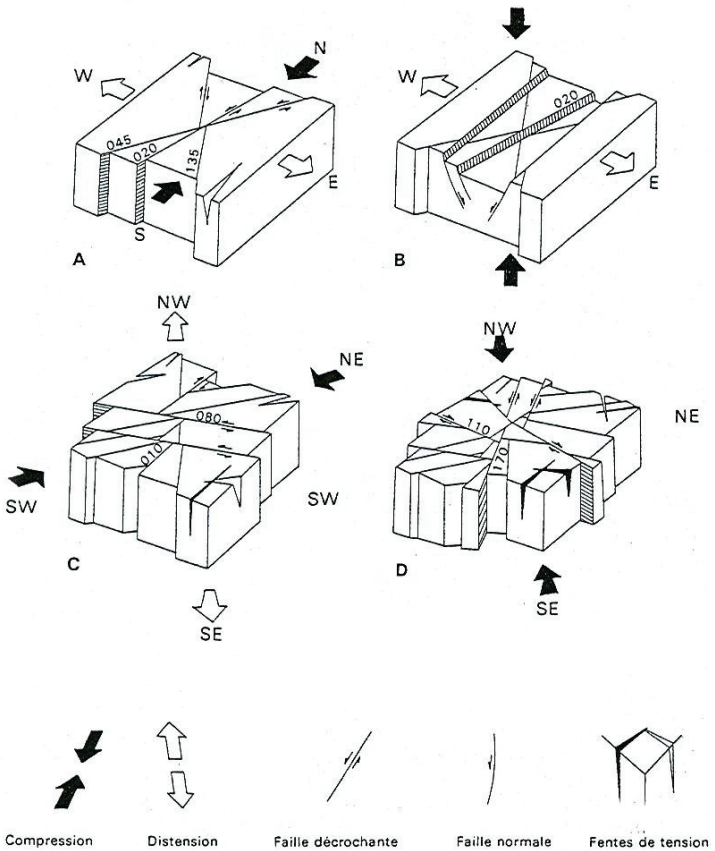


Fig. 32 - Blocs diagrammes synthétiques représentant les principaux épisodes de l'évolution tectonique du Fossé rhénan au cours du Cénozoïque (d'après T. Villemin et F. Bergerat, 1987, adapté, avec l'accord de la Société géologique de France). A - Compression N-S avec décrochements (Éocène supérieur probable), B - Distension E-W avec effondrement (Éocène terminal et Oligocène), C - Compression NE-SW (Miocène), D - Compression NW-SE (Plio-Quaternaire). Les chiffres dans les blocs diagrammes indiquent la direction des plans de faille dans l'hémisphère Est

épaisseurs ne révêle aucune faille et nous avons envisagé l'existence d'un paléorelief, à la base de la série mio-pliocène, probablement du au rejeu en compression du fossé de Schirrhein au Miocène inférieur. Ce paléorelief dont l'axe suivrait la direction rhénane (N20°E), serait recoupé en cluses par des chenaux fluviatiles du Mio-Pliocène.

NÉOTECTONIQUE ET FAILLES AFFECTANT DES TERRAINS PLÉISTOCÈNES

Les contraintes néotectoniques reconnues par J.-H. Illies (1979, fig. 33) sont toujours admises par la communauté scientifique.

Il n'existe aucun indice indiquant un rejeu de la faille vosgienne au Pléistocène. Dans les collines sous-vosgiennes, la seule observation pouvant induire l'hypothèse d'une déformation est la pente plus forte du Paléo-Eberbach (Fu2-Fv) dans le secteur de Laubach, mais l'existence d'une faille ou flexure pléistocène dans ce secteur est loin d'être démontrée.

L'absence du moindre relief au niveau de la faille rhénane de Wittersheim à Woerth laisse supposer une absence d'activité récente dans ce secteur.

Dans le Fossé rhénan principal :

– **le secteur de Haguenau – Péchelbronn – Betschdorf apparaît stable au Quaternaire**. De part et d'autre de la faille de Bertsheim, les alluvions du Pléistocène moyen ne sont pas décalées. Nous n'avons pu démontrer l'origine tectonique proposée par H. Vogt (1980 et 1992) du talus E-W, de 30 à 40 m de dénivellation qui limite au Nord la vallée de la Sauer. Les coupes des sondages pétroliers ne sont pas assez précises et une érosion différentielle apparaît probable entre la partie nord où les Couches de Péchelbronn, à l'Ouest, et les grès de Schwabviller, à l'Est, sont plus résistants que les niveaux argilo-silteux des Couches à melettes de la forêt de Haguenau, au Sud ;

– H. Vogt (1980 et 1992) suggère l'existence d'une faille affectant les lœss entre Hohwiller et Betschdorf. Les coupes que nous avons observées dans les terrassements effectués en 2010 sur la D28 au SE de Hohwiller ne la confirment pas ;

– **la faille Bitschwiller – Mothern** fait partie d'un linéament tectonique connu depuis Achenheim, à l'Ouest de Strasbourg (Wernert, 1936, 1958 et Lemeille *et al.*, 1999), jusqu'à Lauterbourg (Geissert *et al.*, 1976). Sa position au pied et à faible distance de la cuesta qui limite à l'Ouest la basse plaine rhénane, entre les sondages 8-72 et 8-73, permet de supposer que cet élément morphologique dérive de l'escarpement de la faille en question, par une érosion régressive facilitée par la nature sableuse.des terrains affectés. Cette faille est postérieure à un Pléistocène moyen assez ancien ; nous avons retrouvé les silts carbonatés du

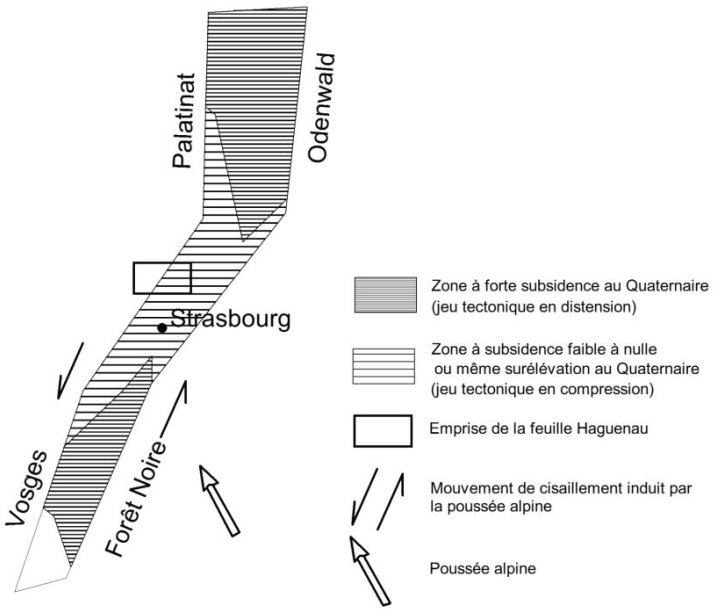


Fig. 33 - Principales contraintes néotectoniques s'exerçant sur le Fossé rhénan principal (d'après J.-H. Illies, 1979)

« Mindel » dans le sondage 8-73 en contrebas de leur position dans le sondage 8-45 (10 m environ) et des sables pliocènes de l'ouvrage 8-72. son jeu le plus récent date de la mise en position de terrasse, à Oberhoffen et Schirrhein, des alluvions Fy_1, soit, approximativement au milieu du Pléistocène supérieur (terrain le plus jeune affecté à Achenheim : 37 000 ans (Lemeille *et al.*, 1999).

S. Baize *et al.* (2003) dressent l'inventaire des indices de failles affectant le Quaternaire en France métropolitaine et dans les régions limitrophes, intégrant, en particulier, les recherches de l'IPSN.

L'Alsace septentrionale subit une **séismicité faible à modérée**, de magnitude généralement inférieure à 3, selon les réseaux de sismographes. Elle présente deux origines :

– l'une méridionale, dans le secteur du front jurassien, responsable du puissant séisme de Bâle en 1356 ; (Mayer-Rosa & Cadiot 1979 ; Lambert *et al.*, 2005) ; intensité MSK supérieure à IX dans le secteur de Bâle ; VI, dans l'aire de la feuille Haguenau ;

– une suivant sensiblement l'axe du Rhin, avec 2 à 3 séismes d'intensité VI à VII par siècle ; citons les derniers séismes importants ayant affecté l'Alsace septentrionale (Vogt, 1980 ; Lambert *et al.*, 1996 et 1997) :

- 8 10 1952, ressenti avec une intensité VI à Betschdorf et Soultz-sous-Forêts, épicentre centré sur un axe Surbourg – Ouest de Soultz – Riedseltz (voir J.-H. Illies, 1979 ; fig. 34) ;
- 8 02 1933 épicentre à Rattstatt (Allemagne), intensité V à VI à Strasbourg.

Les contraintes de compression actuelles, déduites des mécanismes au foyer des séismes (Illies, 1979 ; Illies *et al.*, 1981 ; Illies et Bauman, 1982 ; synthèse et références plus récentes *in* Edel, 2004) et des mesures dans les trous de sondages montrent que la compression SE-NW (fig. 33) reste toujours active.

Une évaluation des mouvements actuels est aussi recherchée par des études géomorphologiques, initialement par comparaison historique de mesures de nivellement (Fourniguet, 1987), synthèse de données géomorphologiques et géophysiques (Deffontaines, 1990) et actuellement par GPS, notamment par le projet européen « Upper Rhine Graben Evolution Neo Tectonics » (EUCOR-URGENT) ; *cf.* M. Tesauro *et al.* (2005).

De mesures en sismique reflexion de haute résolution multitraces, G. Bertrand *et al.*, 2006 déduisent des vitesses verticales de déplacement sur des failles situées dans l'axe du Fossé rhénan supérieur de l'ordre de quelques millièmes à quelques centièmes de mètres par an, environ 10 fois inférieures à celles observées sur des failles du pays de Bade par les méthodes utilisant le GPS.

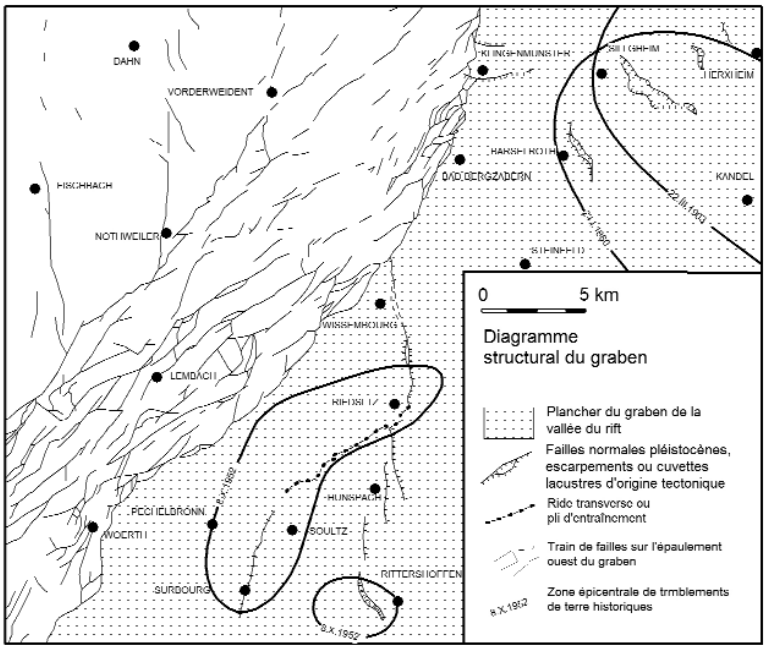


Fig. 34 - Séisme de Surbourg – Soultz – Riedseltz du 8 octobre 1952 dans son contexte structural (d'après J.-H. Illies, 1979). À gauche, extrémité du champ de fractures de Saverne, son prolongement dans le fossé de Lembach et la zone faillée de la Hardt palatine. À droite, le Fossé rhénan principal où figurent seulement les failles qui ont joué lors des derniers séismes importants du secteur

SYNTHÈSE GÉODYNAMIQUE RÉGIONALE ET CONDITIONS DE FORMATION DES ENTITÉS GÉOLOGIQUES

Les témoins les plus anciens, accessibles à l'observation, ont un âge Permien supérieur (Buntsandstein inférieur), mais quelques forages profonds atteignent le socle hercynien ; voir la rubrique « Terrains masqués ». Pour alléger le texte, nous limiterons les références bibliographiques et nous renvoyons le lecteur à la description des terrains pour avoir une plus grande exhaustivité des sources.

SOCLE HERCYNIEN

Sous la série sédimentaire débutant au Permien supérieur, à une profondeur variant de quelques centaines de mètres, on atteint le socle hercynien qui appartient ici à la zone saxo-thuringienne de l'orogène varisque (= hercynien), F. Kossmatt, 1927. Cette zone est caractérisée par la présence de sédiments (schistes et wackes) ayant subi un degré de métamorphisme variable, souvent faible dans les Vosges du Nord, et de roches éruptives assez basiques (granodiorites à gabbros). Dans ce contexte, le granite de Soultz constitue la seule intrusion monzonitique connue entre les ensembles calco-alcalins du Champ du Feu et Shoshonitiques (Natzwiller, Sénones) des Vosges « cristallines » septentrionales, au SW, et le complexe calco-alcalin de l'Odenwald, à l'Est. À partir de données géophysiques J.-B. Edel (2004 ; fig. 2) établit une carte hypothétique puis Edel et Schulmann (2009) proposent un schéma plus précis de la chaîne hercynienne dans le secteur rhénan. Les sédiments ont été intensément plissés et déformés lors de l'orogenèse varisque, en particulier à la fin du Viséen. La direction prédominante des axes des plis et des chevauchements oscille entre N60 et N70°E. Ensuite se produit une longue période d'érosion, puis d'importants mouvements de distension permettent l'ouverture de bassins d'effondrement dès le Westphalien, dans certains secteurs et ici au Permien (fig. 3). Les dépôts détritiques y prédominent : argiles silteuses, grès argileux et niveaux de conglomérats, provenant de l'érosion des terres avoisinantes.

PERMIEN ET DÉBUT DU BUNTSANDSTEIN

Au Permien, le secteur cartographié se situe dans un large bassin s'étendant de la Lorraine au centre de l'Allemagne (Thuringerwald) (fig. 3). Il est recoupé en diagonale par un axe où les formations permiennes ont une épaisseur plus faible, se réduisant à la partie sommitale du « Rotliegend » (Guadalupian) surmonté par le Grès d'Annweiler, interprété comme un équivalent latéral du Zechstein (Lopingien).

Les bassins permiens comblés, dès le Wuchiapingien (Thuringien inférieur) en Alsace et l'érosion ayant complètement arasé les derniers reliefs, les premiers dépôts du cycle détritique du Buntsandstein, généralement discordants sur les dépôts antérieurs (discordance palatine de Dachroth, 1985), comblent les dernières dépressions. Parmi ceux-ci, les apports détritiques du Grès d'Annweiler, sables fins, silts et argiles, se fixent dans une gouttière axée selon une ligne Sarre-Union – Bitche – Annweiler, entre les zones hautes de Sarrebruck – Nord Palatinat, au Nord et un seuil vosgien, au Sud (Dachroth, 1985). À l'Aube du Trias, la zone d'épandage s'élargit vers le Sud et forme, au Buntsandstein moyen, une vaste plaine alluviale « Lorraine – Allemagne du Sud-Ouest », faiblement subsidente et d'axe SW-NE s'ouvrant depuis la Lorraine vers le bassin marin à évaporitique d'Allemagne du Nord. Il n'existe plus aucun seuil au niveau des Vosges (Durand, 1978).

TRIAS

Dans la plaine distale du Buntsandstein moyen, transformée en golfe marin lors des plus fortes pulsations transgressives, puis en lagune sursalée lors des phases régressives, le milieu de dépôt des formations triasiques de la Lorraine orientale est marqué par des migrations de faciès d'Est en Ouest (onlap) ou d'Ouest en Est (régressions), expliquant leur diachronie fréquente à une échelle régionale (Durand et Jurain, 1969 ; Gall, 1971). Des dépôts fluviatiles du Buntsandstein moyen jusqu'aux mers du Jurassique, la tendance générale est transgressive, selon trois pulsations principales correspondant d'abord au Buntsandstein supérieur – Muschelkalk inférieur, puis au Muschelkalk supérieur et enfin au Rhétien. Ces pulsations sont séparées par deux nettes régressions la première à la base du Muschelkalk moyen ; la seconde au début du Keuper (Lettenkohle), suivie du grand épisode évaporitique des Marnes irisées inférieures.

Buntsandstein moyen et supérieur : plaine d'épandage fluviatile

Dans la paléo-plaine lorraine-Alsace du Trias inférieur, des fleuves originaires de l'ouest et du Sud déposent des galets et des sables qui formeront les conglomérats et les grès du Buntsandstein moyen. Les réseaux fluviatiles ont une morphologie en tresses à larges chenaux. Le dynamisme éolien se reconnaît par des faciès sableux très calibrés, des stratifications obliques de type dunaire (Durand, 1987, 1994 et 2010) et localement par des galets éolisés (Durand, 1972 et Durand et Bourquin, 2013). Le Poudingue de Sainte Odile, dont les galets montrent une usure exceptionnelle pour un dépôt fluviatile, pourrait être lié à une très longue période de stabilité tectonique qui aurait permis au stock limité de matériaux, disponibles au niveau des zones nourricières de subir une ségrégation granulométrique entre phase sableuse (mobilisable à chaque crue) et phase grossière, déplacée plus occasionnellement (Durand, 1978, 1994). Les

chenaux y sont assez étroits et se recoupent les uns les autres. Un remaniement de galets d'une formation marine du socle armoricain ne peut être exclu à priori. Les galets de quartz filonien blancs, de quartzite gris à rose, certains renfermant des *Spirifer* d'âge dévonien ; et de plus rares galets de lydiennes dans lesquelles Noël (1905) a découvert des graptolithes du Silurien, attestant leur origine armoricaine.

Au Buntsandstein supérieur, les apports et la dynamique changent ; les grès argileux, les argiles silteuses aux teintes rouge lie-de-vin, correspondant à des dépôts de marécages, avec implantation de végétation (vides tubulaires subverticaux à bordures verdâtres à blanchâtres, liées au milieu réducteur autour de racines non conservées). La compétence des rivières s'affaiblit, leur cours devient sinueux et les niveaux de galets sont plus épisodiques puis disparaissent. Par leur couleur, leur faciès immature, et leur granulométrie, ces matériaux rappellent les dépôts permiens, les éléments de granite et de roches volcaniques en moins. L'épisode du Grès à *Voltzia* marque le passage de la région en zone littorale, avec incursions marines. La quasi-absence de fossiles et de restes organiques dans les grès du Buntsandstein, à l'exception de leur partie terminale (Grès à *Voltzia*), est vraisemblablement due à la conjonction de trois phénomènes : la difficile conservation des restes organiques dans les milieux fluviatiles, érosifs et oxydants, un climat aride (Lopez-Gomez *et al.*, 2005 ; simulations climatiques de Péron *et al.*, 2005 ; Bourquin *et al.*, 2007) et la pauvreté du milieu en espèces, conséquence de la grande crise biologique de la fin du Permien (Raup *et al.*, 1982 ; Bottjer et Gall, 2005).

En contraste, la grande richesse relative de la faune et de la flore dans la dernière formation (Grès à *Voltzia*) apparaît liée au milieu littoral, plus propice à la conservation des organismes, mais pourrait provenir aussi de conditions « d'environnement refuge » (Gall et Grauvogel-Stamm, 2005), au fond de ce golfe, vaste et peu profond, de la mer germanique. S'y juxtaposent, selon ces auteurs, des formes héritées de l'ère primaire (crustacés, amphibiens, insectes, végétaux) et des genres annonçant les faunes modernes (crustacés, araignées, scorpions, insectes). Des espèces pionnières, telles que le conifère herbacé *Aetophyllum*, repeuplent des espaces décimés lors de la crise. En l'absence d'un marqueur chronologique précis, la morphologie de la côte est mal connue. Vraisemblablement ramifié en bras multiples, le grand fleuve du Buntsandstein débouchait probablement sur la mer par de nombreux émissaires. J.-C. Gall (1971) évoque, pour le Grès à *Voltzia*, un environnement deltaïque. En suivant cette hypothèse, seul peut être envisagé un delta de type « tidal » avec le passage latéral du Grès à *Voltzia* aux faciès tidaux du Muschelkalk inférieur (Gall, 1971, Durand, 1978, 1994 et 2010), dans un milieu faiblement subsident et les modestes épaisseurs excluant un cône deltaïque épais (*Gilbert delta*), sans exclure de possibles remaniements de l'apport sableux par des courants côtiers. M. Durand (2013) évoque de larges estuaires dont les bras morts sont de plus en plus envahis par la mer.

En stratigraphie séquentielle, S. Bourquin *et al.* (2006 et 2009) proposent une interprétation du Buntsandstein, fondée sur les variations du niveau de base du système fluviatile. Dans cette optique, le Buntsandstein inférieur et moyen : « mégacycle scythien », regroupe 4 séquences : B1 (Conglomérat inférieur), B2 (Grès vosgien inférieur), B3, (Couches de Karlstal inférieures) et B4 (Couches de Karlstal supérieures). La séquence B4 se termine par une baisse du niveau de base, permettant la progradation vers le NE du Poudingue de Sainte Odile qui serait donc diachrone. Le cycle scythien se termine par la Zone limite violette (ZLV), niveau discontinu, comprenant des dépôts argileux palustres, avec développement local de calcrètes et de silcrètes (Durand et Meyer, 1982). Dans l'emprise de la carte Haguenau, la ZLV et le Poudingue de Sainte Odile ont été érodés, complètement pour la ZLV ; très largement pour le second.

Avec le Buntsandstein supérieur débute le mégacycle Anisien-Carnien. Il comprend les séquences B5 (Couches intermédiaires), B6 (Grès à meules) et le début de la séquence B7 (grès argileux), correspondant à l'arrivée de la mer dans la région.

Trias moyen (Muschelkalk) vasière marine, lagune sursalée, puis plate-forme marine

La lente progression de la mer vers l'Ouest remplace le milieu côtier du Grès à *Voltzia* par la plate-forme tidale du Muschelkalk inférieur. Les dépôts détritiques s'affinent au cours de cette phase où les sables, plus fins, en corps « pro-estuariens » alternent et voisinent avec des silts plus ou moins argileux et carbonatés, dans une vaste vasière marine, peu profonde. Représentée ici par des dolomies diagénétiques, la phase carbonatée devient prédominante au sommet du Muschelkalk inférieur : Dolomie à *Myophoria orbicularis*, à faciès variés, fins, stromatolitiques, glauconieux et localement oolitiques. Une légère phase régressive probable transforme le golfe Hesse – Franche Comté et l'ensemble de la mer germanique (Ziegler, 1990 ; Geyer *et al.*, 2011) en une lagune sursalée, dans un milieu probablement aride.

Au début du Muschelkalk moyen, la lagune est subdivisée par un seuil, traversant le territoire de la carte Haguenau, révélé par une lacune des Couches rouges de Lorraine, dépôt détritique argilo-silteux. Ce seuil est recouvert par les « Couches grises inférieures », dépôt argilo-silteux et carbonaté en milieu réducteur, à bancs de sel gemme où même, sur sa partie haute, par les minces lits brun rouge du repère Louis Guillaume qui sépare les Couches grises inférieures et supérieures. Si les niveaux sulfatés restent fréquents lors du dépôt des Couches grises supérieures, des passées dolomitiques deviennent globalement de plus en plus nombreuses et épaisses en montant la série pour devenir prédominantes lors du dépôts des Couches blanches où la région se situe en position de lagon côtier. Cette évolution marque la reprise du mouvement transgressif qui amène les faciès marins francs du Muschelkalk supérieur. Tout

d'abord, les barres littorales à encrines (Calcaire à entroques) puis les faciès marins plus profonds et plus distaux des Couches à cératites, à faunes sténohalines, acritarches et tasmanacées. Marquant le plus haut niveau de la transgression du Muschelkalk, cette formation présente un fond sédimentaire de vases argileuses et faiblement calcaires entrecoupé de bancs calcaires, chacun d'eux représentant le dépôt des courants de retour lors d'une forte tempête (Duringer, 1984).

Remarquant, dans la carrière d'Héming (feuille de Sarrebourg), que l'organisation séquentielle du Muschelkalk supérieur n'est pas parfaitement régulière F. Guillocheau *et al.* (2002), en particulier dans l'épaisseur et les faciès des bancs, les regroupent, de façon très hypothétique, en séquences qui correspondraient aux cycles astronomiques de 20 000 ans (précession des équinoxes) et de 100 000 ans (cycle d'excentricité de l'orbite terrestre) et en séquences plus longues encore (3 séquences de 4e ordre dans les Couches à cératites). Avec le dépôt du Calcaire à térébratules, en situation de plate-forme marine d'énergie faible à moyenne (boues calcaires entrecoupées de lentilles bioclastiques) s'amorce une tendance régressive qui se développe au cours de la Lettenkohle.

Lettenkohle : régression marine (vasière puis marais côtier suivi d'une pulsation transgressive (ébauche de plate-forme), P. Duringer (1987) ; P. Duringer et J. Doubinger (1985)

Durant le dépôt de la Lettenkohle inférieure, le milieu redevient littoral, avec une alternance de dépôts calcaires à faune marine appauvrie et de faciès dolomitiques à lingules remaniées et bone-beds. La microflore s'enrichit en pollens bissaccates anémophiles. En Baden-Württemberg, G.-H. Bachmann *et al.* (1999) placent la limite Muschelkalk – Keuper au sommet de la Lettenkohle inférieure, correspondant à leur discordance D1. Les argiles silteuses à passées de grès de la Lettenkohle moyenne se déposent dans une vasière de milieu intertidal, à courtes influences marines, moins marquées en montant la série. Les restes de plantes, d'abord remaniées, ont ensuite leurs racines conservées *in situ* (milieu supratidal). Des sablons, ultérieurement cimentés en grès, jalonnent des apports estuariens. En fin de période, le marais côtier est envahi par la mer qui y dépose des carbonates, favorisant l'installation de myophories (Dolomie limite).

La lagune sursalée du Trias supérieur

Après la courte pulsation transgressive de la Dolomie limite, le golfe hesso-lorrain et l'ensemble du bassin germanique deviennent une vaste lagune où se multiplient les zones et les épisodes de sédimentation évaporitique (voir pour la partie française Bourquin *et al.*, 1995). Dominé par une sédimentation lagunaire de marnes dolomitiques bariolées de teintes grises vertes et rouges, avec des

nodules, lentilles et masses d'évaporites, le Keuper moyen de la région comprend plusieurs épisodes. Lors du premier (marnes à pseudomorphoses de sel), le sel gemme n'a généralement pas été conservé ; les sulfates sont représentés par des nodules et bancs lenticulaires de gypse et d'anhydrite. Le second correspond aux dépôts salifères de Lorraine centrale et de Champagne (dernières études sur le bassin salifère : Marchal, 1983 ; Geisler-Cussey, 1986 ; Bourquin *et al.*, 1995).

Ensuite, avec le dépôt des Marnes à esthéries, **la salinité diminue beaucoup**, puis la lagune est traversée par de larges chenaux fluviatiles, originaires du Nord et du Nord-Est (bras d'un grand fleuve « norvégien » diffluant sur les parties centrale et orientale du bassin germanique (Ziegler, 1990 ; *cf.* Geyer *et al.*, 2011) où se déposent des sables ultérieurement cimentés en grès (« Grès à roseaux », Palain, 1966). L'installation du régime fluviatile des Grès à roseaux (= Grès de Stuttgart) est interprété comme une discordance majeure dans le bassin germanique (Discordance D2 ; Bachmann *et al.*, 1999). Absente sur une grande partie de la carte, la Dolomie de Beaumont, en milieu toujours confiné (Baroz, 1967), présente beaucoup plus de caractères lacustres que marins (apports extrêmes de fortes trempêtes ; Durand, 2010).

Puis le **régime lagunaire évaporitique** reprend avec le dépôt des Marnes de Chanville riches en sulfates. Le degré de salinité est nettement abaissé lors du dépôt des argiles bariolées dolomitiques, sans évaporites; épisode où se produit un événement tectonique (Bourquin et Guillocheau, 1996 ; Durand et Bourquin, 2001) : **la phase éocimmérienne majeure** (discordance D4 du bassin germanique, Bachmann *et al.*, 1999), entraînant des érosions et en conséquences des réductions d'épaisseur (Durand et Bourquin, 2001) des argiles bariolées dolomitiques et des formations sous-jacentes, localement entièrement érodées, notamment en Lorraine où Durand (2013) observe une érosion atteignant le Grès à roseaux dans d'anciens paléochenaux. L'ombilic de subsidence du golfe hesso-lorrain a migré vers l'Ouest et se situe maintenant en Brie ; le bassin de Paris a pris naissance et la future Alsace se place sur un large seuil qui le sépare du bassin germanique.

Transgression marine du Rhétien

La sédimentation lagunaire du Keuper moyen est rapidement remplacée dans le bassin par des dépôts sableux à rare faune marine littorale (grès rhétiens) et silto-argileux noirs (Discordance D6, Bachmann *et al.*, 1999). Le milieu devient marin et réducteur, puis, selon l'interprétation classique, des apports détritiques fins, rouges, d'origine continentale, envahissent le bassin (Argiles de Levallois), avant la transgression liasique, débutant le régime marin franc qui va perdurer pendant tout le Jurassique. Cependant une coupe du chantier TGV, observée en 2011 au Nord de Dettwiller (feuille à 1/50 000 Saverne), montrait un contact irrégulier entre les siltites grises du Rhétien et les Argiles de Levallois, pouvant

recouper plusieurs strates. Les Argiles de Levallois pourraient donc être un faciès d'altération des siltites du Rhétien, par oxydation, sans décarbonatation. Des galets de quartz, à la base du Calcaire à gryphées dans le sondage 7-85 peuvent être l'indice d'une lacune avec possible émersion au sommet du Rhétien (discordance D7 de Bachmann *et al.*, 1999).

JURASSIQUE : DOMAINE MARIN ÉPICONTINENTAL ; ALTERNANCE DE SÉDIMENTATION ARGILEUSE ET CALCAIRE

Selon P.-R. Vail *et al.*, 1977, le Jurassique correspond à un cycle eustatique de 2e ordre, avec une longue période transgressive, de la base du Lias à l'Oxfordien, suivie d'une régression de moindre ampleur, mais importante pour la région, la faisant émerger à la fin du Jurassique. Tout au long de la période, les différenciations locales seront liées, outre de faibles variations eustatiques (Hag *et al.*, 1987), à des mouvements locaux déterminant des hauts fonds et des cuvettes de subsidence plus marquée. Si une légère gouttière subsidente se forme dans l'axe de la partie méridionale du Fossé rhénan supérieur, au Toarcien inférieur, puis au Bajocien supérieur, ce type de différenciation se révèle souvent selon des directions obliques à l'axe du futur Fossé rhénan dont la structure n'est donc pas encore nettement préfigurée (Contini, 1967). Du Lias à l'Oxfordien, le climat de l'Europe occidentale est chaud et humide, assez uniforme, comme le confirme pour la région l'étude palynologique de J.-P. Schmidt (1987).

Au Lias, des phénomènes de subsidence et des pulsations transgressives favorisent le dépôt de vases (argiles silteuses et marnes grises ; faciès *black shales*), parfois riches en intercalations calcaires, certaines terminées par un niveau durci et bioturbé. Les spectres palynologiques sont largement dominés par les pollens et les spores diversifiées, notamment au Pliensbachien (Schmidt, 1987 ; Rauscher et Schmidt, 1990), montrant l'importance des apports d'origine continentale. La faible épaisseur de l'Hettangien, en particulier de la zone à Planorbis (2 m) conduit à l'hypothèse d'une condensation. La faune du Calcaire à gryphées indique un milieu marin peu profond. Les Psilocératidés arrivent de la méditerranée par la Bourgogne ou l'Ouest de la Bavière. La sédimentation apparaît cyclique (marne – calcaire fin). La transgression se poursuit au cours du Sinémurien. Au sommet de l'étage, le Calcaire à Raricostatum indique probablement un arrêt de sédimentation. Au Carixien, de nouvelles espèces arrivent de la Mésogée, par la Bourgogne. Une tendance régressive apparaît à la fin du Domérien, marquée par un apport de détritiques en Lorraine (Grès médioliasiques), plus réduite en Alsace où il constitue une faible fraction sableuse dans le calcaire bioclastique à *Pleuroceras spinatum*.

Au Toarcien inférieur, l'épisode des Schistes cartons, bitumineux, souligne le plus haut niveau marin du Lias, mais dans un environnement calme et peu profond (vastes algueraies) ; évènement anoxique planétaire. D'origine

méditerranéenne, les Hildocératidés se développent. La partie médiane du Toarcien (zones à *Variabilis*, *Thouarcense* et *Dispansum*) est marquée par des condensations et même de possibles émersions locales, en particulier en Alsace moyenne (Schirardin, 1938 et 1960a ; Schmidt, 1987 Rauscher et Schmidt, 1990), vraisemblablement liées à l'action de faibles mouvements locaux et de modestes variations eustatiques. Le dépôt de marnes monotones reprend au Toarcien supérieur où, localement, des nids d'oolites ferrugineuses et des galets dans la zone à *Pseudoradiosa* marquent une tendance régressive.

La sédimentation marneuse se poursuit au cours de l'**Aalénien**. Plus haut, un niveau durci et bioturbé, à la limite probable Couches à Opalinum/Couches à Murchisonae, correspond à un net abaissement eustatique. Ensuite l'apport de la phase silteuse augmente progressivement, avec même quelques passées sableuses provenant d'un haut-fond à l'emplacement probable des hautes Vosges ou de la zone émergée Ardennes-Massif schisteux rhénan. Présent sous forme de pyrite, le fer sera oxydé et fixé, notamment dans les passées silteuses et sableuses lors des phases d'altération postérieures au dépôt ou récentes. La tendance régressive, moins précoce et moins marquée qu'en Lorraine (Formation ferrugineuse et son minerai de fer, la « Minette ») se marque dans l'Aalénien supérieur par l'arrivée de détritiques, silts et localement passées sableuses et des figures de courant. Le Lias se termine par les faciès spatialement différenciés de la Zone à *Ludwigiella concava*, probablement déposés sous faible profondeur d'eau. Si des épisodes d'émersion sont possibles, au moins localement, leur durée a été brève et sur les rares coupes observées, ils n'ont pas été mis en évidence.

Au début du Dogger, la région de Haguenau se situe toujours sur la bordure occidentale du bassin souabe, à proximité de la plate-forme lorraine à sédimentation essentiellement calcaire (Contini, 1967). Le Calcaire bioclastique d'Ettendorf (zone à *Propinquans* et à *Humphresianum*) représente une première et brève installation de plate-forme carbonatée. L'envasement reprend et au Bajocien supérieur, la plate-forme carbonatée lorraine s'étend jusqu'au pays de Hanau, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Haguenau où se dépose la Grande Oolithe. Au cours du Bathonien la sédimentation redevient marneuse dans ce secteur. La suite de la série jurassique a été érodée. Au Jurassique moyen et supérieur, les dinokystes abondent et se diversifient dans la microflore (Schmidt, 1987 ; Rauscher et Schmidt, 1990).

ÉROSION CONTINENTALE DE LA FIN DU JURASSIQUE AU PALÉOCÈNE

Au Jurassique supérieur, dès le début de l'Oxfordien dans le Nord de l'Alsace ; au Kimmeridgien, au Sud, selon J.-P. Schmidt (1987) la région est émergée pour longtemps, jusqu'à nos jours pour les Vosges et la Forêt Noire ;

jusqu'à l'Éocène dans le Fossé rhénan où les dépôts post-Jurassique les plus anciens sont datés du Lutétien inférieur (Schuler, 1990).

Au fond du Fossé rhénan, les formations du Jurassique sont ondulées selon des rides à grand rayon de courbure orientées généralement du SW au NE (Schirardin, 1953). Soit pour l'Alsace du Nord, le bassin de Strasbourg, le seuil de Haguenau et le palier de Péchelbronn. Cette déformation est généralement attribuée à la fin du Crétacé, marquée par l'ouverture de l'Atlantique nord et de la fosse océanique Golfe de Gascogne – Pyrénées. Du fait de l'importante érosion sur les domaines des Vosges et de la Forêt Noire et des mouvements post-Éocène qui ont affecté ces horsts, nous ne savons pas si les ondulations du Jurassique du Fossé rhénan se prolongeaient sur la bordure de cette structure. La couverture de grès triasiques n'en porte guère de traces et il est possible qu'elles soient limitées au Fossé rhénan ; leur origine pourrait être liée à l'épisode de compression paléocène dans le domaine alpin et son avant-pays (Ziegler, 1990 ; Nikishin *et al.*, 1999 ; Stampfli *et al.,* 2001) donc au début du jeu des failles vosgienne et Schwarwaldienne. La longue période d'émersion fini-Jurassique – Paléocène, se marque essentiellement par une érosion. Aucun sondage ne montre de traces d'altération importantes, avant les dépôts tertiaires comme sur la bordure ardennaise (Wyns et Fizaine, 2010) et aucun argument ne peut étayer l'hypothèse d'un dépôt crétacé dans l'emprise du Fossé rhénan. La présence de microfaune et de microflore crétacées dans des formations tertiaires du Fossé peuvent s'expliquer par des remaniements liés à des courants.

Dès le Crétacé inférieur, apparaissent les premières venues basaltiques d'origine profonde qui annoncent le début des phénomènes de distension qui seront à l'origine du Fossé rhénan. Le seul pointement volcanique connu dans l'emprise de la feuille Haguenau est la cheminée basaltique de Gundershoffen, datée à - 44 Ma (Lippolt *et al.*, 1974).

SÉDIMENTATION TERTIAIRE, PROPRE AU FOSSÉ RHÉNAN (SUPÉRIEUR) EN ALSACE DU NORD

À l'Éocène moyen (Lutétien inférieur), débute la sédimentation propre au Fossé rhénan, dans un milieu initialement peu profond et étendu des Vosges à la Forêt Noire. Discontinus, les premiers dépôts apparaissent dans des dépressions marécageuses à lacustres. Ils recouvrent en légère discordance les formations du Jurassique et localement des formations d'altération riches en oxydes de fer (altération des pyrites des marnes jurassiques). Le climat humide au Paléocène, s'assèche à l'Éocène moyen, ainsi qu'en témoignent les phénomènes de restructuration des calcaires lacustres du Lutétien moyen et leurs intercalations riches en attapulgite.

Conservées dans deux petits fossés du champ de fractures de Saverne, des marnes molles très sombres (Formation de Mietesheim), riches en pollens d'espèces forestières tropicales (Châteauneuf et Ménillet, 2014) marquent un épisode très humide au Bartonien, précèdant le climat souvent sec du Priabonien (Sittler, 1965 ; Schuler, 1990) où commence la sédimentation à évaporites de la fin de l'Eocène au début de l'Oligocène, dans le Fossé rhénan.

À l'Éocène supérieur, s'individualise le Fossé rhénan principal, entre les failles rhénanes et débute l'importante subsidence tectonique, moteur de l'épaisse sédimentation de la série de Péchelbronn, puis de la Série grise. Dès sa base, au Priabonien, la série de Péchelbronn présente des évaporites (anhydrite) qui se retrouveront dans la plupart de ses niveaux, marque d'une tendance à la sursalure, mais à la différence des zones plus méridionales (bassin de Strasbourg, bassin potassique), les dépôts de halite seront généralement très épisodiques (fantômes de cristaux dans quelques niveaux). Une seule formation, au Priabonien (Zone dolomitique), comprend des lentilles de halite d'épaisseur notable, au SE de Haguenau et dans le secteur de Schirrhein où la subsidence est un peu plus forte. Elle reste modérée sur le reste de la feuille, avec un minimum de 225 m d'épaisseur pour la Série de Péchelbronn sur le seuil de Haguenau (Ohlungen, Keffendorf) dont la puissance ne dépasse guère 600 m dans le secteur de Péchelbronn.

Sur les bordures du Fossé rhénan, l'érosion désagrège peu à peu la couverture sédimentaire des Vosges et de la Forêt Noire en voie de surrection. Les matériaux détritiques s'accumulent sur les bords du fossé en cônes de déjection pour les plus grossiers ou en passées sableuses, intercalées dans les marnes à évaporites, de façon épisodique à tous les niveaux. Etudiant ces venues détritiques depuis les bords du fossé, P. Duringer (1988) propose une interprétation séquentielle la série de Péchelbronn (fig. 16). Apport continental, essentiellement argileux, la Couche rouge ne contient guère de conglomérats. Son extension vers l'Est se limite à une ligne Haguenau – Betschdorf. Présents de façon discrète dans les Couches de Péchelbronn inférieures, les conglomérats sont plus abondants dans les Couches de Péchelbronn supérieures, en particulier de Morsbronn à Lampertsloch. Le petit nombre de sondages, dans ce secteur, ne permet pas de connaître la géométrie de ce corps détritique grossier, mais il apparaît probable qu'il soit constitué par une série de cônes alluviaux. La nature des galets indique les formations affleurantes en amont des bassins versants de ces rivières au régime plus ou moins torrentiel. Elles s'échelonnent du Muschelkalk moyen au Domérien (Domaine vosgien et champ de fractures de Saverne). Les blocs les plus gros et les plus abondants venant des Calcaires du Muschelkalk supérieur. Quelques galets de grès et de quartz provenant des assises du Buntsandstein indiquent que le domaine vosgien était localement incisé par les rivières jusqu'au Trias inférieur. Pour les galets de formations plus récentes, il est difficile de faire la part entre le matériel, provenant des Vosges, à priori le plus ancien, et celui provenant du champ de fractures de Saverne.

L'apport d'eau marine depuis la Mer alpine au Priabonien (présence de Foraminifères et d'oursins dans le Priabonien moyen du Sud de l'Alsace) et à l'Oligocène inférieur est discuté et, au plus, épisodique (Duringer, 1988 ; Rauscher *et al.*, 1988 ; Schuler, 1990 ; Blanc-Valleron, 1991 ; Fontes *et al.* 1991 ; Sissingh, 2001).

Lors de la **transgression du Rupélien**, le Fossé rhénan et la dépression de Hesse permettent une communication entre la mer périalpine et la mer du Nord. À un régime marin franc (Marnes à Foraminifères) succède un régime euxinique (Schistes à Poissons), puis saumâtre (Couches à Mélettes), avec dessalure progressive (Marnes à Cyrènes). L'homogénéité des dépôts indique une origine peu diversifiée, en partie lointaine, avec un remaniement de foraminifères du Crétacé, inconnu dans l'environnement du Fossé rhénan supérieur. L'arrêt de la sédimentation évaporitique est lié à l'influence marine nordique, à un rafraîchissement climatique et à l'absence au Rupélien d'un cloisonnement du fossé en lagunes. Le second membre de la Série grise, les marnes feuilletées à amphisiles correspond au maximum de la transgression marine du Rupélien.

Ensuite, des passées sableuses, apports détritiques depuis les marges du fossé, s'intercalent dans le fond de sédimentation marneuse. Elles sont localement abondantes dans la partie inférieure des Couches à melettes (Schwabwiller), mais surtout dans la partie supérieure de la Série. La mer se retirant par le Nord, la partie la plus méridionale du Fossé rhénan se soulevant, l'Oligocène se termine par des dépôts d'eau douce, argileux ou marneux : les Couches de Niederrœdern. Le drainage s'effectue vers le Nord du fossé (Simon, 1987 ; Geyer *et al.,* 2011), le pôle de subsidence ayant migré vers le Palatinat. À l'Aquitanien, la partie méridionale du fossé émerge tandis qu'apparaît une importante subsidence dans sa partie septentrionale, particulièrement marquée à la latitude de Heidelberg, avec des dépôts saumâtres (Couches à Cérithes, Couches à Hydrobies).

DÉPÔTS FLUVIO-PALUSTRES DU MIO-PLIOCÈNE

La subsidence tectonique reprend localement au Miocène (dépôts mio-pliocènes du secteur de Haguenau), en liaison probable avec le plissement du Jura. Au Miocène moyen et supérieur, le drainage du Fossé rhénan s'effectuerait toujours, depuis le Kayserstuhl, vers le Nord (Simon, 1987 ; Groschopf et Villinger, 1988). La sédimentation débute par des dépôts argileux, silteux à finement sableux dont la microflore montre le passage progressif d'un milieu fluviatile ouvert à une forêt marécageuse de climat chaud (Sittler et Geissert, 1993). À la fin de la période, le climat devient légèrement plus sec, mais encore chaud ; la flore est riche et diversifiée (Geissert *et al.,* 1990) puis se développent des marécages à Cyprès chauve, analogues aux swamps de Floride, conservés sous forme de lignites (Geissert *et al.*, 1979).

Au Pliocène un proto-Rhin, prenant vraisemblablement sa source dans le secteur de Colmar, se serait déjà écoulé vers la mer du Nord (Haguedorn et Bœnigk, 2008 et fig. 17). Le remplissage du bassin mio-pliocène de Haguenau, de nature fluviolacustre, est essentiellement détritique : argiles silteuses, silts argileux, des sables provenant de la désagrégation des grès vosgiens et quelques chenaux riches en galets. Les conditions climatiques, sont favorables à une intense altération et à la genèse de kaolinite. La flore indique une température encore assez chaude et un climat sub-tropical à méditerranéen. Au milieu du Pliocène, le Rhin alpin (Aar-Doubs) s'écoule vers la Saône. La plupart des rivières d'origine vosgienne s'écoulant vers le Sud-Est au Pléistocène ancien, Simler et Millot (1967) proposent l'hypothése d'un réseau fluviatile alsacien largement tributaire de l'Aar-Doubs, au Pliocène. À la fin du Reuvérien, le climat s'assèche, favorisant le développement de steppes. L'arrivée de matériel originaire des Alpes ou de la Molasse péri-alpine indique que l'Aar ne s'écoule plus vers le bassin du Rhône, mais vers la Mer du Nord. F. Preusser (2008) reconstitue l'évolution du drainage du domaine rhénan de la fin de l'oligocène à celle du Pléistocène fondée sur une analyse critique de la bibliographie.

GÉODYNAMIQUE RÉCENTE (QUATERNAIRE) : ALLUVIONS, LŒSS ET GÉLIFLUXION

Les formations superficielles, l'évolution du réseau hydrographique et la géomorphologie sont les principaux témoins de l'histoire récente.

Le premier para-étage continental du Quaternaire Nord européen, le Praetiglien, n'a pas été caractérisé en Alsace. Au Pléistocène inférieur, la zone couverte par la carte Haguenau semble former un glacis incliné vers le SE, depuis le pays de Hanau jusqu'à la basse plaine rhénane. Un léger basculement épirogénique de cette surface est possible mais non démontré. Les rivières issues des Vosges y étalent leurs alluvions sableuses et graveleuses avant de creuser les vallées actuelles. Des restes d'alluvions riches en éléments de silexite, résiduels jalonnent le premier chenal que l'on puisse reconstituer : un paléo-Eberbach. Ils se situent en position d'interfluve, en inversion de relief et datent d'un Pléistocène ancien élevé ou du début du Pléistocène moyen. En forêt de Haguenau, ils se localisent sur les parties les plus hautes et sont largement remaniés sur les faibles pentes qui entourent ces modestes reliefs. Le massif forestier de Haguenau n'occupe pas un vaste cône alluvial, mais une surface polycyclique d'érosion et de transit d'alluvions remaniées. Seules ses marges septentrionales et méridionales sont frangées de corps alluviaux d'épaisseur notable du Pléistocène moyen et supérieur.

Dans le système Moder-Zinsel du Nord, les alluvions du **Pléistocène moyen ancien** forment de hautes terrasses seulement dans leur traversée du domaine sous vosgien. La Paléo-Moder, en aval de Pfaffenhoffen, diverge encore vers le

SE (secteur de Bertsheim ; le val de Moder, en aval du Neubourg, ne s'individualisant qu'a la fin du Pléistocène moyen (Fx), vraisemblablement en liaison avec un jeu de la faille Bischwiller - Mothern. C'est à cette période que le cours amont de la Sauer, N-S, continue de couler selon cette direction, en abandonnant provisoirement son cours vers Walbourg. Capturé par un affluent du système Moder-Zinsel-du Nord, formant un chenal traversant presque entièrement la forêt de Haguenau.

Au milieu du Pléistocène moyen, la plaine rhénane, située à l'époque au niveau de la surface orientale de la forêt de Haguenau, le Rhin débordait légèrement sur cet élément morphologique, mis en relief par l'effondrement de la basse plaine rhénane à une époque plus récente du Pléistocène moyen (Saalien à Weichsélien).

Du Pléistocène moyen à l'époque actuelle, la nature des dépôts est liée aux fluctuations climatiques : alluvions très grossières et lœss pendant les périodes froides, alluvions sableuses à limono-argileuses et altération des lœss dans les périodes interglaciaires. Les phénomènes périglaciaires, liés principalement aux alternances gel dégel au cours des périodes froides du Quaternaire ont intensément marqué, déformé et remanié les dépôts et altérites qui affleuraient à la surface des plateaux et des versants. Cryoturbation, gélifluxion, cryoreptation et, dans les périodes plus clémentes le ruissellement diffus, ont largement contribué à générer un manteau de formations superficielles diversifié. Ces dernières ont fourni leurs principaux matériaux parentaux aux sols de cultures et constituent la plupart des sols de fondation. Sans oublier les dépôts de poussières minérales, les lœss, apportés sur les plateaux et certains versants par des vents froids et secs et roches mères d'excellents sols de culture. Leur extension a été très réduite par l'érosion. Au début du Pléistocène moyen, les rivières étaient encore peu encaissées et s'étendaient largement sur les plateaux. Ensuite, les vallées s'encaissent et deviennent plus étroites et prennent leur cours actuel au Pléistocène supérieur.

En Basse Alsace, à une importante phase de creusement au **Weichsélien**, peut-être liée à un enfoncement très tardif de la partie centrale du Fossé rhénan, a succédé une période de remblaiement qui a commencé à la fin du Weichsélien et s'est poursuivie pendant tout l'Holocène.

E. Dillmann (1971) retrouve dans les tourbes de la vallée de la Moder (FzT), les différentes phases climatiques de l'Holocène de F. Firbas (1934).

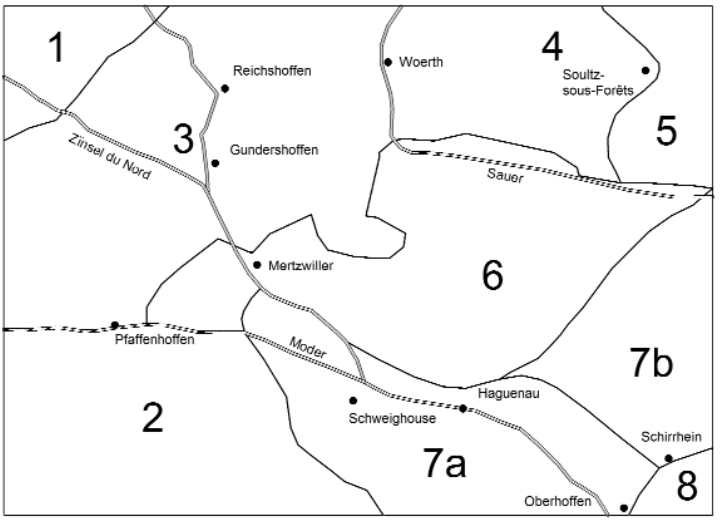


Fig. 35 - Répartition des 8 grands ensembles de formations superficielles sur la carte géologique de Haguenau à 1/50 000

GÉOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT

OCCUPATION DU SOL

Sols et végétation : répartition des sols et composition du tapis végétal

Section reprise de J.-P. Boudot et F. Geissert, *in* F. Ménillet, N. Théobald *et al.* (1976), complétée et actualisée par J.-P. Party (2011).

Travaux utilisés : M. Delaye-Panchout, 1992 et 1997 ; H. Duchaufour et J.-P. Party, 1986 ; D. Geissert, 1981 ; J.-P. Party *et al.*, 1983, 2005, 2008a et b ; J. Timbal, 1984 ; terminologie des sols selon le référentiel pédologique de D. Baize et M.-C. Girard (2008).

La présentation des sols issus des formations géologiques de la feuille de Haguenau et de leur occupation végétale, forestière, prairiale et agricole se répartit selon 8 grands ensembles (fig. 35) :

1 - les basses Vosges du Nord, constiuées de grès ;

2 - les collines limoneuses du plateau de Brumath jusqu'à la Moder ;

3 - les collines argilo-marneuses et limoneuses du Pays de Hanau, de la Moder à la Sauer ;

selon 2 ensembles séparés par la Zinsel ;

4 - les collines argilo-limoneuses du secteur de Merkwiller-Péchelbronn, à altérites argileuses de formations tertiaires et placages de lœss ;

5 - l'extrémité sud'ouest du « pays des lœss » de l'Outre-Forêt ;

6 - La partie nord-ouest de la forêt de Haguenau à substrat argileux, recouvert d'une mince pellicule d'alluvions sableuses résiduelles ;

7 - les zones à sables épais du Val de Moder et de la partie orientale de la forêt de Haguenau :

7a - alluvions des rivières vosgiennes d'épaisseur variable sur sables pliocènes,

7b - alluvions vosgiennes résiduelles sur sables pliocènes riches en lentilles argileuses ;

8 - les alluvions rhénanes, à mince couverture limono-sableuse et tourbeuse.

Les Basses Vosges du Nord, représentées au coin nord-ouest de la feuille, sont entièrement boisées et occupées par le massif forestier du Falkenstein, sans aucun espace agricole. S'y trouve uniquement le Grès vosgien que surmontent des formations superficielles d'altération très sableuses. Les sols qui s'y développent sont majoritairement des sols bruns acides à bruns ocreux (ALOCRISOLS). C'est notamment le cas des versants exposés au Nord,

occupés par une hêtraie à Fétuque des bois (*Festuca sylvatica*), mélangée de chêne sessile introduit par la sylviculture. Sur les versants exposés au Sud, un peu plus chauds et plus secs, des sols podzoliques jeunes et des sols ocre podzoliques (PODZOSOLS juvéniles, meubles ou ocriques) sont associés à des sols bruns ocreux. La chênaie-charmaie à hêtre, à Myrtille (*Vaccinium myrtillus*), Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*) et Luzule blanche (*Luzula albida*) qui occupait originellement ces espaces, a été largement enrésinnée avec le pin sylvestre et l'épicéa. En bas de versants et fonds de vallons secs, cette chênaie charmaie est plutôt associés à des sols bruns moins acidifiés et plus ou moins colluvionnés (BRUNISOLS dystriques, colluviques) avec un tapis herbacé pouvant présenter le Millet diffus (*Milium effusum*), l'Oxalis petite oseille (*Oxalis acetosella*), le lamier jaune (*Lamium galeobdolon*) et l'aspérule odorante (*Asperula odorata*).

Les collines limoneuses du coin sud-ouest de la feuille correspondent à la terminaison **du « plateau » de Brumath**. Cet espace est couvert des apports limoneux éoliens les plus récents et très majoritairement occupé par des espaces cultivés. À l'Est d'Huttendorf, Minversheim et Dauendorf, les sols y sont principalement représentés par des sols bruns calciques et calcaires (CALCISOLS et CALCOSOLS limoneux) qui s'enrichissent progressivement en sables à l'approche des anciens épandages de la Moder ; à l'Ouest de cette ligne, sur les versants longs en pente douce exposées au Nord-Est, les sols ont tendance à s'enrichir en argile en profondeur et les sols bruns lessivés à lessivés (NEOLUVISOLS et LUVISOLS) apparaissent localement. C'est le domaine des grandes cultures : maïs-grain, céréales à paille et des cultures spécialisées, notamment houblon, betteraves sucrières, tabac. Des signes d'érosion anthropiques (limons « blanchis » en surface) peuvent apparaître à mi-hauteur des pentes, enrichissant progressivement les fonds de vallons. Sur les versants courts à pente forte exposés au Sud-Ouest, les matériaux géologiques sous-jacents marneux ou calcaires affleurent et conduisent soit à des sols bruns calciques à calcaires lourds (CALCISOLS et CALCOSOLS argileux) soit des sols bruns argileux humides (PELOSOLS rédoxiques), voire très argileux (caractère vertique localement). Les potentialités y étant plus faibles, l'occupation des sols y est diversifiée et représentée par des espaces boisés associés à des prairies, des vergers et des parcelles cultivées en maïs-ensilage et céréales à pailles.

Les collines argilo-marneuses et limoneuses du Pays de Hanau prolongent le « plateau » de Brumath, de la Moder à la Sauer. Un premier ensemble, qui se situe entre Moder et Zinsel correspond à une partie du Pays de Hanau au sens strict ; ils comportent d'assez nombreux placages limoneux. Un second ensemble entre Zinsel et Sauer, fait transition avec les collines limoneuses de l'Outre Forêt. Ces collines du Nord de l'Alsace appartiennent, sur un plan géologique, au champ de fractures de Saverne. Elles sont couvertes de cultures, de prairies et de vergers, à soubassement d'argiles, de marnes et de calcaires, plus

ou moins recouverts de placages lœssiques et de colluvions sableuses. Les principaux types de sols ont été très modifiés par les pratiques culturales. Ce sont :

– sur les placages limoneux, des sols bruns lessivés à lessivés (NEOLUVISOLS et LUVISOLS rédoxiques), très rarement des sols bruns calcaires ou calciques sur lœss (CALCISOLS et CALCOSOLS lœssiques) ;

– sur les affleurements marneux décarbonatés, des sols bruns argileux plus ou moins humides (PELOSOLS rédoxiques), gris jaunâtre sur les marnes du Lias, gris-lie-de-vin sur les marnes du Keuper à argile très gonflante, chimiquement peu altérée (PELOSOLS à caractère vertique) - plus rarement sur des calcaires, des sols bruns calcaires (CALCISOLS et CALCOSOLS) ;

– dans les vallons, des sols colluviaux limoneux plus ou moins humides (COLLUVIOSOLS rédoxiques) ;

– sur les alluvions anciennes des rivières d'origine vosgienne citées, des sols bruns alluviaux acides (FLUVIOSOLS) et sableux et des sols bruns lessivés (NEOLUVISOLS fluviques) ;

– enfin sur les alluvions récentes de ces rivières, des sols alluviaux de texture variée (sableuse, limoneuse ou argileuse selon l'amont des collines environnantes) avec des sols alluviaux fréquemment humides (FLUVIOSOLS rédoxiques, réductiques, voire REDOXISOLS, REDUCTISOLS et HISTOSOLS).

Dans la plupart des situations, on retrouve une occupation agricole des sols mixte (espaces boisés - prairies - vergers - cultures), avec cependant des parcelles de plus en plus cultivées au détriment des espaces notamment prairiaux. Ainsi, la vallée de la Sauer, entièrement prairiale dans les années 70-80, est aujourd'hui en quasi-totalité cultivée en maïs. La réduction de l'élevage bovin ainsi que la modification des pratiques de conduite des troupeaux en sont à l'origine.

Dans les rares cas de sols bruns calcaires à faible potentialité agricole, peuvent subsister des pelouses sèches où prédomine le Brachypode penné (*Brachypodium pinnatum*) avec le Brome dressé (*Bromus erectus*), l'Epiaire des bois (*Stachys germanica*), l'Anémone pulsatille (*Anemone pulsatilla*), la Gentiane ciliée (*Gentianella ciliata*). Les bois correspondent principalement à des chênaies-charmaies mésophiles à chêne rouvre (*Quercus petraea*) et Charme (*Carpinus betulus*).

Les collines limoneuses d'Outre-Forêt, situées au-delà de la vallée de la Sauer, sont constituées de 2 ensembles :

– en rive gauche de la Sauer et au piémont des Vosges, en amont d'un axe Woerth-Merkwiller-Pechelbronn et Soultz-sous-Forêts, des conglomérats, des marnes, marnes gréseuses, ainsi que des grès sont à l'affleurement ;

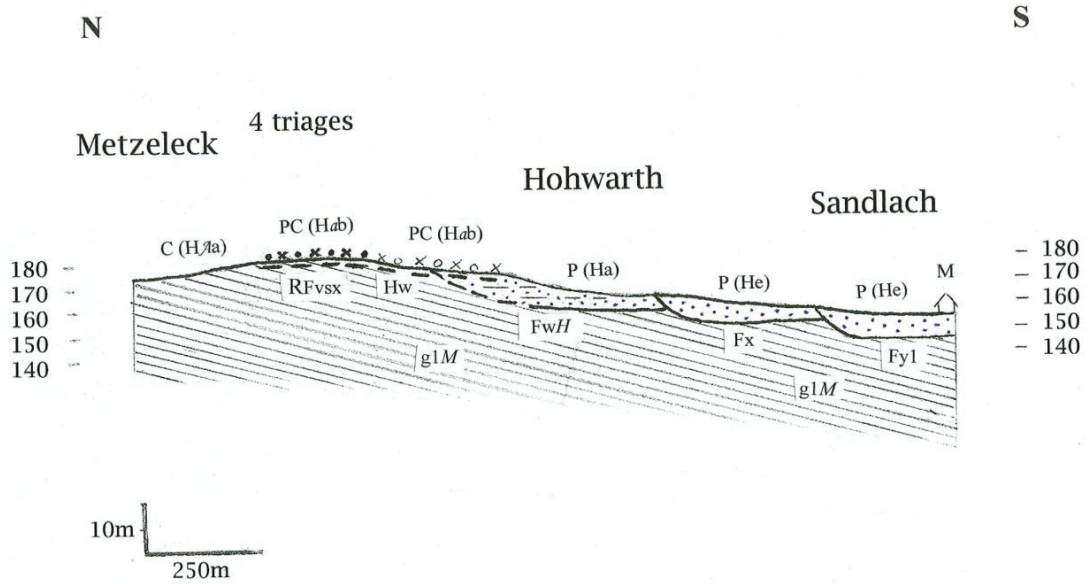


Fig. 36 - Coupe schématique subméridienne de la forêt de Haguenau entre Eschbach et Schweighouse-sur-Moder, par F. Ménillet

C (HAa) - Chêne prédominant, hydromorphie sur altérite argileuse des Couches à mélettes, PC (Hab) - Pin et Chêne, hydromorphie sur accumulation argileuse bariolée, P (Ha) - Pin, hydromorphie sur intercalation argileuse ou accumulation argileuse bariolée, P (He) - Pin, hydromorphie en zone basse sur aquifère superficiel (nappe phréatique), RFvsx - Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien à silexites, Hw - Epandage remaniant les alluvions RFvsx, FwH - Sables blancs de la Hohwarth, alluvions du Pliocène ou du Pléistocène moyen, Fx - Alluvions du Pléistocène moyen récent, Fy1 - Alluvions du Pléistocène supérieur ancien, g1M - Couches à melettes (Oligocène), M - Maison forestière de Sandlach, x - Silexites, – Accumulation argileuse bariolée, 180 - Altitude en mètres

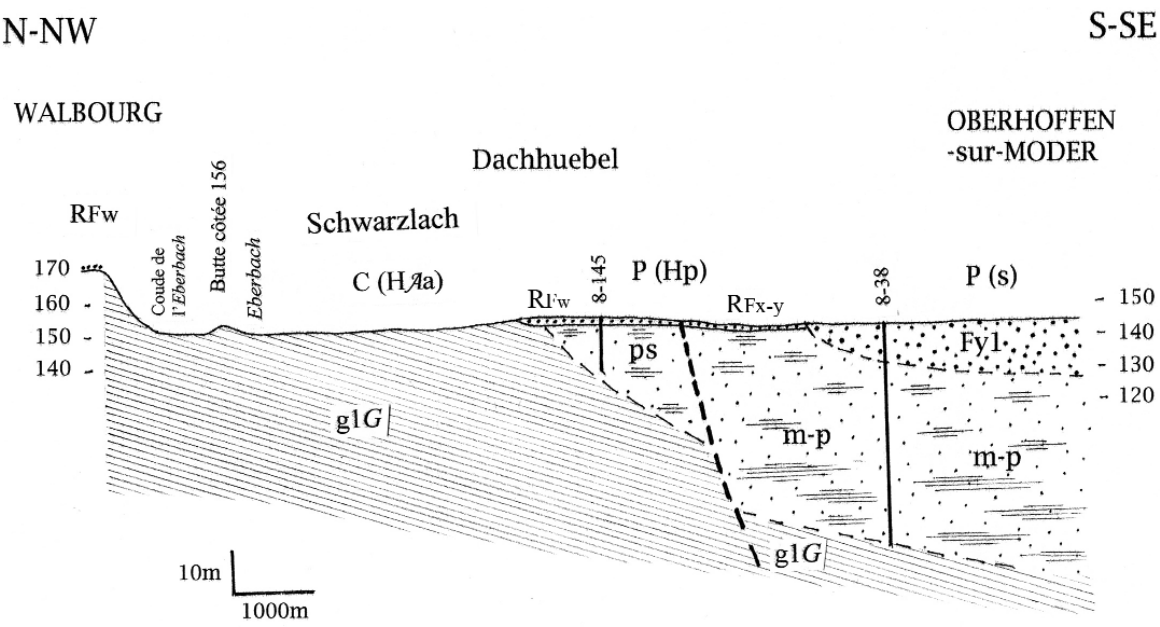


Fig. 37 - Coupe NNW - SSE de la forêt indivise de Haguenau entre Walbourg et Oberhoffen-sur-Moder, par F. Ménillet. C (HAa) - Chêne prédominant, hydromorphie sur altérite argileuse des marnes de la Série grise, P (Hp) - Pin, hydromorphie sur les lentilles argileuses du Pliocène, P (S) - Pin, sur substrat sableux sec, Fy_1 - Alluvions du Pléistocène supérieur ancien, RF_{x-y} - Alluvions résiduelles, plus ou moins remaniées, du Pléistocène moyen récent à supérieur ancien, RF_w - Alluvions résiduelles du Pléistocène moyen médian, ps - Pliocène ; sable avec lentilles argileuses, m-p Mio-Pliocène ; sable avec lentilles argileuses, g_1G - Marnes de la série grise (Oligocène), Sondage pétrolier - 01988X0038, Sondage de reconnaissance - 01988X0145, 170 - Altitude en mètres, -- Faille probable

– en aval de cet axe, on trouve à nouveau des placages éoliens de type lœss et lehm-lœss jusqu'à Surbourg et Betschdorf aux abords du Massif forestier de Haguenau.

Les collines de l'amont sont, comme dans le Pays de Hanau, couvertes de cultures, de prairies et de vergers. Les principaux types de sols qui s'y trouvent sont :

– sur les affleurements marneux décarbonatés, des sols bruns calciques à calcaires (CALCISOLS et CALCOSOLS sablo-argileux à argilo-sableux), des sols bruns argileux plus ou moins humides, gris jaunâtre sur les marnes du Lias, brun rougeâtre sur les formations conglomératiques (PELOSOLS plus ou moins rédoxiques) plus occasionnellement sur des calcaires plus ou moins marneux, des sols bruns calcaires (CALCISOLS et CALCOSOLS) ;

– au pied des Vosges, sur grès, des sols bruns acides sableux (BRUNISOLS dystriques et ALOCRISOLS) ;

– enfin, dans les vallons, des sols colluviaux plutôt sableux au pied des Vosges, devenant en aval plus limoneux et plus ou moins humides (COLLUVIOSOLS rédoxiques).

Les collines de l'aval sont constituées de versants longs exposées au Sud-Est couverts de limons éoliens (lœss et lehm-lœss), lieu de grandes cultures (maïs et céréales à pailles) et de versants courts principalement exposés au Nord-Ouest constitués d'affleurements marneux principalement couverts de prairies et vergers. On y retrouve :

– les sols sur affleurements marneux évoqués précédemment ;

– sur les placages limoneux, principalement des sols bruns calcaires ou calciques sur lœss (CALCISOLS et CALCOSOLS lœssiques) ainsi que des sols bruns lessivés à lessivés (NEOLUVISOLS et LUVISOLS rédoxiques).

Comme dans le Pays de Hanau, les bois correspondent principalement à des chênaies-charmaies à chênes sessile ou pédonculé, hêtre et charme (*Quercus petraea* et *Q. robur*, *Fagus sylvatica* et *Carpinus betulus*), dont les unités stationnelles et leurs potentialités forestières se différencient selon le matériau (calcaire, argile, limon et sable d'origine gréseuse ou alluviale), sa profondeur et son bilan hydrique ainsi que son état calcique ou acide.

Massif forestier de Haguenau. Une nature sableuse est généralement évoquée pour les sols de la forêt de Haguenau. Plus précisément, la littérature mentionne habituellement un « cône alluvial » déposé par les rivières du Quaternaire originaires des Vosges, avec un substrat de sables pliocènes. En parcourant la forêt, la présence quasi constante de fossés, souvent remplis d'eau, étonne et l'alsacien remarquera la fréquence du toponyme lach, bourbier, zone souvent inondée, marécageuse. Nos levers et les sondages permettent de comprendre cette contradiction apparente (voir les fig. 36 et 37) :

– le bassin sableux pliocène ne s'étend que sur la partie orientale de la forêt, à l'Est d'une ligne Haguenau Betschdorf ; il comprend de nombreuses intercalations silto-argileuses qui maintiennent souvent un aquifère superficiel sub-affleurant ;

– dans la partie occidentale de la forêt les marnes oligocènes sont souvent sub-affleurantes et enrichies en argile en surface, par pédogénèse ; la couverture de sables alluviaux quaternaires est peu épaisse, souvent inférieure au mètre et même discontinue dans de nombreux sites. Durant cette période, à l'exception de quelques chenaux, l'étendue de l'actuelle forêt fonctionne essentiellement comme une surface de transit. Le substrat, fréquemment argileux, la pédogénèse et peut être le dépôt de limons d'inondation, intégrés aux sables et graviers par illuviation, ont conduit à la formation fréquente d'accumulations argileuses bariolées, rendant les sols hydromorphes même sur des points hauts, comme au carrefour des routes forestières d'Eschbach et de Seeweg (butte du carrefour des Quatre Triages), par exemple (fig. 36).

La forêt de Haguenau comporte sur ses bordures nord et sud (fig. 36 et 37) des alluvions de rivières vosgiennes, principalement sableuses. On y trouve des sols sableux plus ou moins profonds et très filtrants de type BRUNISOL-ARENOSOL. Certains sites, non ou peu atteints par l'excès d'eau, présentent des pelouses à Canche des sables (*Corynephorus canescens*) et Fétuque rouge (*Festuca duriuscula*) qui sont accompagnées d'espèces psammophiles (de milieux sableux et secs) telles l'Immortelle des sables (*Helichrysum arenarium*), l'Armérie allongée (*Armeria elongata*), l'Agrostide des sables (*Agrostis ericetorum*) ainsi que de nombreuses autres plantes caractéristiques, annuelles ou bisanuelles comme la Téesdalie à tige nue (*Teesdalia nudicaulis*) ou la Spergule de Morison (*Spergula vernalis*).

Le massif forestier de Haguenau en tant que tel, soit la forêt indivise de Haguenau et les forêts communales avoisinantes, occupe une vaste aire d'épandage d'alluvions anciennes résiduelles sableuses, généralement peu épaisses, (quelques dizaines de centimètres) à plus de 10 mètres d'épaisseur dans des chenaux résiduels. Ces alluvions recouvrent d'une part des marnes oligocènes (Couches à mélettes principalement) dans la partie septentrionale de la forêt de Mertzwiller à Betschdorf et d'autre part, des sables et argiles pliocènes à l'Est et au Nord-Est de Haguenau, principalement. Ces recouvrements siliceux et pauvres ont déterminé leur vocation forestière. La profondeur du niveau argileux, assorti de la présence d'une nappe, est liée à trois grands ensembles de sols et de végétation :

– les sols sans hydromorphie à Chênaie-Hêtraie à Charme ;

– les sols à hydromorphie temporaire avec des Charmaies à Chêne et Hêtre, où peut apparaître l'Aulne ;

– les sols à hydromorphie permanente à Aulnaie à grands Carex.

Les sols ***sans hydromorphie*** sont surtout représentés dans les parties à buttes sablonneuses au centre et au Sud de la forêt. Les sols sont de type bruns acides à tendance podzolique (ALOCRISOLS et PODZOSOLS ocriques) et présentent un humus acide à très acide (moder principalement, mor plus localement). Ces sols correspondent à des chênaies rouvres, des charmaies et des pineraies à pins sylvestres. Les espèces caractéristiques de ces milieux secs et plus ou moins acides sont la Phalangère à fleurs de lys (*Anthericum liliago*), la callune (*Calluna vulgaris*), le genêt à balais (*Sarothamnus scoparius*) pour les stations les moins acides (acidoclines), la myrtille (Vaccinium myrtillus) et la canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*) pour les stations les plus acides (acidophiles) souvent plantées de pin sylvestre, ainsi que la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) souvent associée à des chênaies claires.

Les sols à ***hydromorphie temporaire*** sont localisés dans la partie ouest de la forêt de Haguenau où les marnes oligocènes se trouvent à faible profondeur. Sur les pentes faibles permettant un léger drainage, on trouve des sols sablo-argileux podzoliques hydromorphes à pseudogley (PODZOSOL ocrique et PODZOSOL meuble rédoxique à humus de type hydromoder à dysmull pour les mieux drainés) à faible recouvrement sableux sur des argiles.

La forêt correspondante est une hêtraie, avec plus ou moins de chênes et de charme, à Canche cespiteuse (*Deschampsia cespitosa*) et Laîche des bois (*Carex sylvatica*), mais aussi Brachypode des bois (*Brachypodium sylvaticum*), Prénanthe pourpre (*Prenanthes purpurea*), Houx (*Ilex aquifolium*) et Sureau à grappes (*Sambucus racemosa*) dans les faciès de dégradation. Dans tous ces milieux à tendance acide, F. Geissert (1959) y a noté la présence de fougères strictement calcifuges : le Blechne en épi (*Blechnum spicant*), la Fougère des montagnes (*Oreopteris limbosperma*), le Dryoptéris de Borrer (*Dryopteris affinis*), le Polypode du chêne (*Gymnocarpium dryopteris*).

L'Alisier torminal (*Sorbus torminalis*), présent au Nord de la forêt vers Merkwiller correspond souvent à la présence de marnes (plus rarement de limons éoliens), calcaires et drainées en profondeur. Les sols bruns hydromorphes (BRUNISOL à NEOLUVISOL rédoxique) à humus de type mull qui s'y développent y sont un peu plus favorables. La molinie (*Molinia coerulea*), qui demande à la fois un milieu acide et très humide, ne s'y installe généralement pas. Dès que les marnes sont décalcifiées, elles se déstructurent et deviennent imperméables et l'Alisier torminal a tendance à disparaître.

Sur les surfaces planes sans drainage à recouvrement sableux à sablo-argileux plus épais (1 mètre et plus), les sols sont encore plus hydromorphes : le sol est bariolé de traînées rouille et grisâtres (accumulation argileuse bariolée). Ce sont des podzols ferrugineux très hydromorphes à battement de nappe (PODZOSOL-REDOXISOL meuble ou placique à humus de type hydromoder, voire hydromor). La molinie y envahit alors souvent les coupes.

Les sols à ***hydromorphie permanente*** occupent trois types de milieux :

– les cuvettes sableuses à sablo-argileuses non drainées à nappe quasi-permanente proche de la surface avec des sols de type gley acide ou podzolique (PODZOSOL réductique à REDUCTISOL typique, stagnique ou podzolique) à anmoor, avec une aulnaie à bouleaux et grands Carex ;

– les sols alluviaux plus ou moins lessivés et hydromorphes (FLUVIOSOL plus ou moins luvique et rédoxique à FLUVIOSOL-REDOXISOL) limoneux à limono-argileux à humus de type mull des bords de ruisseaux, avec une chênaie-frênaie avec chêne pédonculé et plus rarement ormes ;

– les tourbières acides (HISTOSOLS) de la forêt de Haguenau avec les Rossolis à feuilles rondes et intermédiaire (*Drosera rotundifolia*, *D. Intermedia*), le Jonc raide (*Juncus squarrosus*) et le Lycopode des tourbières (*Lycopodiella inundata*).

La plupart des surfaces de la forêt de Haguenau ont cependant été fortement modifiées par la sylviculture passée, le charme ayant été défavorisé au profit du hêtre et des chênes d'une part, le pin sylvestre, probablement pas indigène, ayant été largement planté d'autre part ainsi que d'autres résineux plus récemment (épicéa, douglas et autres pins exotiques).

De ce fait, l'identification des types de stations forestières nécessite la prise en compte détaillée de l'origine des formations superficielles, des caractéristiques hydriques et trophiques des sols et des humus ainsi que de la composition de la flore herbacée.

Les alluvions rhénanes de la basse plaine au coin sud-est de la feuille enfin, présentent des sols principalement tourbescents, parfois tourbeux (REDUCTISOL histique à REDUCTISOL-HISTOSOL saprique). Ils se situent en contrebas de la terrasse sableuse d'Oberhoffen-Schirrhein, qui lorsqu'ils n'ont pas été cultivés présentent des espèces hygrophiles de grande taille caractéristiques telles que la Benoîte aquatique (*Geum rivale*), la Potentille des marais (*Comarum palustre*) ou le Trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*). De nombreuses surfaces encore prairiales jusqu'à une époque récente, sont maintenant cultivés, notamment en maïs.

Érosion des sols

Avec une prédominance de sols limono-argileux à sableux, le territoire couvert par la feuille Haguenau apparaît assez sensible à l'érosion, d'autant plus que le substrat est souvent argileux et que bien des formations superficielles présentent un niveau d'accumulation argileuse à faible profondeur. Depuis les défrichements du Néolithique, les terres cultivées, non armées par un réseau de racines permanent sont particulièrement exposées, surtout les grandes parcelles

dont les sillons de labours suivent la plus grande pente d'un versant. Quelques études en témoignent : J.-L. Monnon, 1978 ; J. Vogt, 1983, 1997. Chaque violente pluie d'orage dévaste quelques communes. Les accumulations de limons à l'amont des haies et les remplissages de fonds de vallées contenant des matériaux anthropiques (*Auelehm*) montrent que l'épaisseur des colluvions historiques atteint et dépasse souvent le mètre d'épaisseur.

ÉLÉMENTS DE GÉOTECHNIQUE

Ces notes ont pour objet d'attirer l'attention des utilisateurs des cartes géologiques Haguenau sur quelques particularités des différents terrains représentés. Non exhaustives et non fondées sur des études spécialisées, elles ne doivent être utilisées qu'à titre indicatif. Etant donné la dispersion plus ou moins grande des affleurements et des sondages qui ont permis de l'établir, la carte, à l'échelle de 1/50 000 (1 mm représente 50 m) ne peut fournir toutes les données géologiques de façon ponctuelle. À l'échelle du chantier, elle donne un canevas, avec la géométrie des différentes formations géologiques représentées, qui doit être précisé par des sondages avant tous travaux importants. La carte géologique permet, en particulier, de mieux implanter et d'interpréter les sondages de reconnaissance. Si la carte des formations superficielles est plus précise pour les terrains de surface, elle reste un document interprété, à partir de points d'observations et de sondages.

Fondations et stabilité

Grès du Buntsandstein. Plus ou moins durs, les grès de la partie vosgienne du NW de la feuille sont généralement fissurés. En surface, ils sont fragmentés en cailloux et blocs, emballés dans du sable, les blocs peuvent occasionner des problèmes de poinçonnement. Ils peuvent présenter quelques intercalations fines, silteuses, pouvant donner des zones de modestes sources. Sur les versants, les formations superficielles ont une épaisseur variable, mais fréquemment comprise entre 2 et 3 m. Elles sont souvent hydromorphes en bas de versant ; la matrice sableuse des blocs est habituellement meuble et les blocs peuvent être déstabilisés lors des terrassements qui dans les grès peu altérés nécessitent généralement des engins puissants, voire l'usage d'explosifs dans les bancs compacts et épais (1 à 3 m). Des problèmes de stabilité, à plus ou moins long terme, peuvent se poser dans les parois verticales ou sub-verticales. En effet les hétérogénéités lithologiques et mécaniques (niveaux de grès friable, lentilles de silts, plans de fracturation) confèrent à ces parois une certaine fragilité vis-à-vis des facteurs climatiques : sensibilité à l'action du gel et au ruissellement d'où désagrégation rapide des niveaux friables et dégagement de bancs en porte à faux. L'instabilité peut se traduire par des chutes de blocs ou par des éboulements qui sont à craindre plus particulièrement lorsque les plans de

fracturation sont inclinés vers le vide. La majorité des parois de l'autoroute A4 dans la traversée des Vosges, près de Saverne, ont du être armées et cimentées.

Dans le faisceau de la faille vosgienne, les compartiments présentent fréquemment un fort pendage. Malgré sa forte pente, les affleurements rocheux sont peu nombreux sur l'escarpement de la zone de faille et généralement utilisés par d'anciennes carrières. Ailleurs, la formation de piémont a généralement une épaisseur forte, mais très variable, pouvant dépasser 10 m. Sur le grès, la formation de piémont est sableuse et riche en cailloux et blocs. Entre les failles du faisceau, il existe souvent des panneaux de grès du Buntsandstein supérieur, à fréquentes intercalations argileuses, voire de grès et siltites du Muschelkalk inférieur.

Collines et plateaux sous-vosgiens. Un substrat constitué de formations variées du Trias et du Jurassique, mais avec une prédominance des marnes et des argiles, et un cloisonnement en étroits panneaux limités par des failles forme le bâti de ce secteur. Placées, le plus souvent, d'après des affleurements ponctuels, en tenant compte de la géomorphologie, les failles n'ont pas toujours pu être dessinées avec une grande précision.

Au Nord d'une ligne Zinswiller – Reichshoffen – Wœrth, des formations du Trias prédominent. Les **grès** du Buntsandstein supérieur et du Muschelkalk inférieur présentent des lentilles d'argile, dont l'épaisseur, souvent de quelques décimètres, peut atteindre quelques mètres et générer des zones sourceuses et instables. Les **calcaires** du Muschelkalk supérieur et de la Lettenkohle inférieure sont souvent fissurés et disloqués en surface en cailloux et blocs, mais ils sont emballés dans des argiles limoneuses. En outre, ils peuvent présenter des cavités souterraines qui ont pris naissance dans le Calcaire à entroques, avec des réseaux pouvant monter dans les formations surimcombantes : Couches à cératites, Dolomie inférieure et parfois même jusqu'aux Marnes irisées inférieures. Les bancs calcaires sont épais dans le calcaire à entroques, plus minces (quelques décimètres) dans les Couches à cératites où ils se présentent en sandwich avec des marnes. Sur ces dernières, les altérites peuvent être entièrement argileuses et assez épaisses (jusqu'à 2 m et plus).

Compactes et souvent dures en profondeur et plus ou moins calcaires ou dolomitiques, les **argiles et marnes** du Muschelkalk moyen et du Keuper deviennent meubles dans la zone d'altération, décompressées et se classent, en terme de géotechnique, parmi les argiles plastiques. Dans la fraction argileuse, les illites prédominent, les argiles gonflantes (interstratifiés réguliers et irréguliers montmorillonite/chlorite) comptant pour 15 à 30 %, dans les faciès argileux du Muschelkalk et du Keuper, avec un maximum dans les parties moyennes et supérieures du Muschelkalk moyen (Lucas, 1962). Elles sont sujettes au phénomène de retrait gonflement. Compactes en profondeur, plus ou moins calcaires et silteuses, les argiles et marnes du Jurassique deviennent

meubles dans la zone d'altération, décompressée, et se classent en terme de géotechnique parmi les argiles plastiques. Cette zone est souvent baignée d'eau, aquifère superficiel ; eau éliminée seulement en période sèche sur les terrains sub-horizontaux ou en faible pente ; plus épisodique sur forte pente, mais avec des risques de glissements de terrain si l'eau n'est pas évacuée par un drainage approprié. Le phénomène de retrait gonflement, très domageable pour les fondations à moins de 90 cm de profondeur, se manifeste sur les sols riches en argiles gonflantes : smectites, interstratifiés illite/smectites et illite/chlorite (voir la nature des argiles dans la description des terrains affleurants). Les altérites des marnes jurassiques sont des argiles limoneuses, plus ou moins hydromorphes. Leur épaisseur varie de quelques décimètres à plusieurs mètres. Dans les petits fossés de Mietesheim et de Mertzwiller, les marnes tertiaires (Formation de Mietesheim) sont particulièrement molles ; en terme de géotechnique, elles peuvent se classer parmi les argiles très plastiques. Les argiles et marnes du Muschelkalk moyen, des marnes irisées moyennes et inférieures ainsi que les Argiles de Chanville peuvent contenir des intercalations d'anhydrite qui peuvent être la cause de gonflements (transformation d'anhydrite en gypse et de soulèvements du sol si elles sont pénétrées ou traversées par des puits géothermiques de réinjection d'eau.

Dans les collines sous-vosgiennes, les lœss sont assez argileux (voir le paragraphe sur les lœss, ci-dessous).

Fossé rhénan principal : secteur de Merkwiller-Péchelbronn et Soultz-sous-Forêts. Les marnes de la Série de Péchelbronn ont une constitution très variable. Elles ne sont pas toujours compactes en profondeur, peuvent renfermer des intercalations sableuses et surtout des niveaux ou nodules de gypses et d'anhydrite. La réinjection d'eau de doublets géothermiques devra impérativement éviter les niveaux d'anhydrite, avec des risques quasi certains d'occasionner des gonflements et soulèvements du sol. La fraction argileuse des Couches de Péchelbronn inférieures et moyennes se compose principalement d'illite, accompagnée de quantités variables de chlorite, de kaolinite et, dans les Couches de Péchelbronn supérieures, d'interstratifiés illite/smectites. Dans la Série grise, les marnes ont une compacité variable. Les intercalations sableuses sont nombreuses dans la partie inférieure des Couches à melettes où les bancs de grès sont localement fréquents (Schwabwiller, Surbourg). La Série grise est dépourvue de gypse et d'anhydrite, si ce n'est les minuscules cristaux de gypse formés dans la zone d'altération, lors de l'oxydation de la pyrite. La phase argileuse, principalement illitique à la base de la série, s'accompagne de smectite dès la partie supérieure des Marnes à Foraminifères. La proportion de smectites augmente vers le haut, jusqu'à égaler et dominer l'illite et devenir prédominante dans les Marnes à cyrènes (Sittler, 1965 et 1982). Les faciès les plus argileux de la série grise peuvent donc être affectés par le phénomène de retrait-gonflement. L'exploitation en mine du pétrole s'est principalement effectuée sur les bans communaux de Merkwiller – Péchelbronn et le S-E de Lampertsloch (voir

Schnaebelé, 1948 et fig. 38) ; les profondeurs des galeries s'échelonnent de 10 à 400 m.

La forêt de Haguenau, au Nord d'une ligne Uberach – Haguenau – Betschdorf, présente un substrat argileux peu profond (marnes jurassiques dans les parties les plus occidentales ; oligocènes ailleurs), recouvert d'une pellicule sableuse, le plus souvent épaisse de quelques décimètres ; pour la sylviculture, les problèmes d'hydromorphie ont imposé la pratique du drainage. Au Sud de cette ligne, le substrat est sableux, mais avec des lentilles ou des accumulations argileuses, fréquemment à faible profondeur. À l'exception de quelques parties hautes, l'hydromorphie reste bien présente, en particulier dans les zones basses.

Lœss. Prédominants, les lœss anciens Œw-x sont nettement argileux avec des caractéristiques plutôt médiocres, surtout sur les substrats argileux où ils sont souvent hydromorphes, dès la surface, s'ils sont peu épais. Les lœss récents Œy sont généralement assez homogènes. Dans la classification géotechnique, selon les critères de plasticité, ils correspondent à des argiles peu plastiques. Du point de vue des caractéristiques mécaniques, le comportement du lœss est celui d'un matériau à prédominance de frottement présentant en plus une cohésion importante quand il est sec. Il faut souligner sa grande sensibilité à l'eau et au remaniement qui entraîne une perte de cohésion du matériau. En raison de leur cohésion, les lœss homogènes et secs peuvent tenir en paroi verticale ; toutefois pour les déblais profonds où l'homogénéité n'est plus assurée, il est prudent et plus esthétique d'adopter des talus dont la pente d'équilibre sera déterminée par l'étude mécanique et hydraulique du sous-sol. Les talus de lœss se ravinent rapidement d'où la nécessité d'une protection végétale efficace.

Les colluvions lœssiques de fond de vallon sont souvent compressibles. Quand les lœss reposent sur un substratum argileux peu profond, ils peuvent former des sols hydromorphes de faibles caractéristiques mécaniques.

Formations de versant. La base des lœss altérés et plus ou moins remaniés sur le versant ainsi que les altérites argileuses, sous-jacentes, généralement gorgées d'eau, sont particulièrement instables. Il est donc préférable de draîner le terrain avant d'effectuer des terrassements. La présence de sables résiduels à ce niveau augmente encore le risque de glissement de terrain. Les limons soliflués peuvent masquer d'anciens vallons remplis de sables ou de limons, souvent aquifères et instables si des terrassements les entaillent. Les loupes de glissement observées lors des levers sont figurées sur la carte des formations superficielles, mais elles n'ont pas été recherchées de façon systématique.

Tourbes. Les fond des vallées principales peuvent renfermer des formations tourbeuses ; celles-ci sont généralement peu épaisses et d'extension limitée et apparaissent lenticulaires et peu épaisses. Les formations tourbeuses les plus étendues se situent dans la vallées de la Moder, entre Schweighouse et

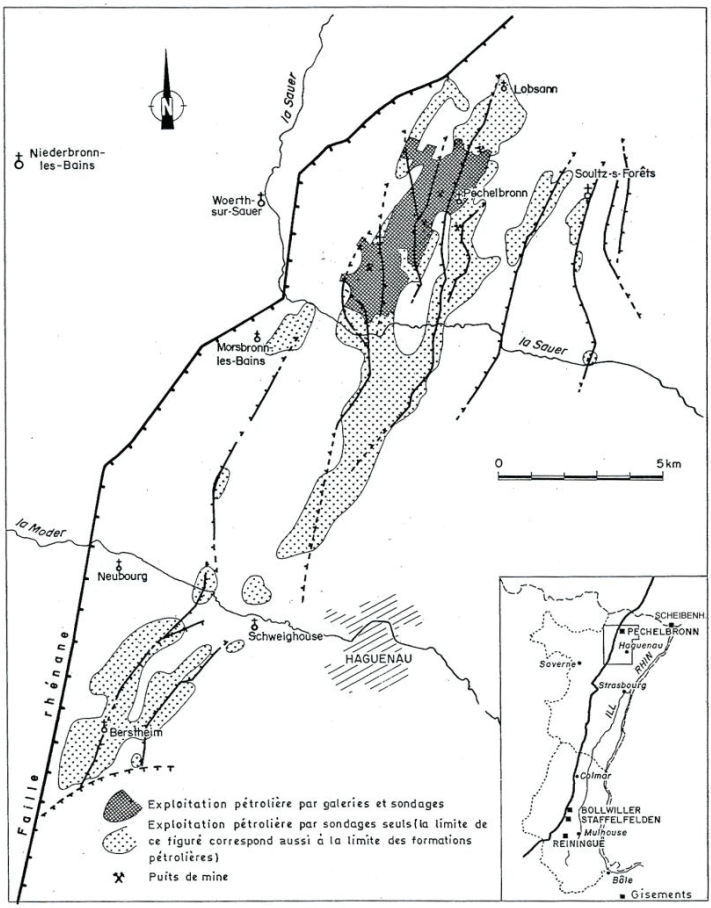


Fig. 38 - Le champ pétrolifère de Péchelbronn, ses modes d'exploitation et sa situation dans le fossé rhénan méridional. En cartouche, les autres petits gisements du Fossé rhénan (Sittler, 1974)

Haguenau, à Oberhoffen, et à l'Est de cette localité, dans la basse plaine rhénane. Le fond de la vallée de la Zinsel du Nord à Gumbrechtshoffen et Mertzwiller renferme aussi quelques formations de tourbes.

Terrassements

La plupart des terrassements peuvent être effectués à la pelle mécanique, mais, pour les formations du substrat, il sera généralement préférable de prendre une pelle d'assez forte puissance, les marnes étant assez compactes et les calcaires et grès pouvant se présenter en blocs durs de grande taille. Ceux-ci pourront être fragmentés avec un pic brise roche assez puissant.

Réemploi des matériaux

Les matériaux de déblais locaux les plus appréciés sont les calcaires, les grès et les alluvions anciennes, souvent sableuses. Les autres matériaux sont généralement assez argileux et ne conviennent guère pour des remblais.

RISQUES NATURELS

Risques liés aux eaux superficielles : mouvements de terrains et phénomènes de retrait-gonflement

Toute construction, édifiée pour durer un certain nombre de décennies, peut subir un déchaînement des forces de la nature tel qu'un violent orage, déversant 10 cm de hauteur d'eau en 1 h ou un niveau élevé d'une nappe phréatique superficielle. Il importe donc de se protéger au maximium de ces eaux pouvant causer de graves dommages aux constructions. Peu pratiqué en France dans l'art de bâtir, le drainage (obligatoire en Allemagne) pourrait éviter bien des problèmes, les mouvements de terrains se produisant presque toujours en présence d'eau.

Sur les plateaux et les replats, sur substrat argileux ou en présence d'un niveau d'accumulation argileuse, le sol peut être le siège d'un aquifère temporaire en période humide. Un drainage peut être nécessaire même en position haute.

Les formations superficielles des versants régularisés par la gélifluxion quaternaire, et plus ou moins stabilisés par leur couverture végétale peuvent être remises en mouvement lors des dégels suivant une forte et longue période de gel, une intense période de pluies ou par des excavations faites lors de terrassements importants. Sur les formations argileuses, plus ou moins profondément décompressées et leur couverture superficielle limono-argileuse à argilo-

limoneuse peuvent être sujettes à des glissements de terrains, en conditions hydromorphes. Dans ces formations les terrassements devront être conduits avec prudence et rapidement mis en sécurité, avec le soucis de maîtriser et de canaliser les venues d'eau. La carte des formations superficielles figure quelques loupes de glissement, mais celles-ci n'ont pas fait l'objet de recherches systématiques.

En bas de versant, le sol est fréquemment baigné par un aquifère superficiel dont la surface fluctue avec les variations du climat. Les matériaux, généralement fins en surface n'ont, le plus souvent, aucune tenue en présence d'eau. Avec un niveau d'accumulation argileuse à faible profondeur, l'eau peut se trouver en pression.

Le phénomène de **retrait/gonflement des sols** selon les variations de la pluviosité, provoquant souvent des fissurations aux constructions se produisent surtout en présence d'argiles gonflant à l'humidité et se rétractant à la sécheresse, principalement les smectites et les minéraux argileux interstratifiés illite/smectite ou chlorite/smectites. La description des terrains indique la nature des argiles lorsqu'elle est connue (site dédié du BRGM et du Ministère de l'environnement et du développement durable : http.//www.argiles.fr.

Soulèvement du sol lié à l'hydratation de l'anhydrite

Le rejet d'eau ne devra pas s'effectuer dans des niveaux d'anhydrite (notamment en géothermie) pour éviter que celle-ci gonfle en s'hydratant, puis soulève le sol. Les principales formations contenant de l'anhydrite se trouvent dans le Trias (t3*G*, t5*A*, t5*GD*, t5-6*C*) et le Tertiaire (g1*PS*).

Risque d'effondrement

Des cavités karstiques, prenant naissance au niveau du Calcaire à entroques et pouvant se développer jusque dans la partie inférieure du Keuper, existent dans les zones d'affleurement de ces formations, du Nord d'Oberbronn aux hauteurs du quartier Montrouge de Niederbronn et sur les plateaux dominant le Falkensteinbach au SE de la commune.

Souvent à ciel ouvert, les anciennes exploitations de fer ont été localement effectuées par puits et galeries, notamment à Bitschhoffen (Billingersberg), Mietesheim (Tiefe Grube, Hohrain, quelques indices sur la partie sud du village), Gundershoffen (J. Vogt, 1986), Surbourg, Dauendorf (le Neubourg) et certaines minières d'Uhrwiller. Les galeries, généralement courtes, partaient et rayonnaient autour des puits.

À Merkwiller-Péchelbronn et au SE de Lampertsloch, l'exploitation du pétrole a ouvert de très nombeuses galeries (voir Schnaebelé, 1948 et fig. 38). Dans la dernière période d'exploitation du pétrole par galeries, de 1916 à 1955, 450 km furent dépilées, souvent sur plusieurs étages. Les galeries creusées sous l'ancienne saline de Soultz-sous-Forêts (Streicher, 1976) ont probablement une extension limitée.

Base de données sur les cavités souterraines

En collaboration avec le LCPC, l'Inéris et les RTM, le BRGM met à disposition sur le site http.//wwwbdcavite.net/ la base de données nationale sur les cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine (ouvrages souterrains d'origine anthropique, à l'exclusion des mines et des cavités naturelles).

Risque sismique

L'Alsace septentrionale est faiblement à modérément sismique. Les documents d'archives (Vogt, 1980 ; Lambert *et al.*, 1996 et 1997) et la carte sismotectonique de France (Vogt et Weber, 1980) montrent que le territoire couvert par la feuille Haguenau a subi depuis le XIIIe siècle des tremblements de terre atteignant au maximum l'intensité VI à VII (dommages légers à sérieux selon la qualité de la construction) par :

– le séisme majeur de Bâle de 1356 (intensité X ou XI dans la zone épicentrale ; VI, dans la région d'Haguenau) ;

– le séisme rhénan du 8 10 1952 (intensité VI-VII à Betschdorf).

Une intensité VIII (dommages sérieux à de nombreuses constructions et destruction des plus fragiles) à l'épicentre apparaît possible dans l'axe du Rhin, une protection minimum pour une intensité VII peut donc être conseillée pour le domaine couvert par la carte Haguenau. Dans le domaine rhénan, au niveau de l'Alsace, la sismicité historique (Vogt, 1980 ; Lambert *et al.*, 1996, 1997) a identifié 2 à 3 tremblements de terre d'intensité VI à VII par siècle.

Site Internet sur la séismicité du territoire français

Géré par le BRGM, en Association avec l'EDF et l'IRSN, le site http.//www.sisfrance.net/ répertorie l'ensemble des séismes enregistrés sur le territoire français.

Pollution atmosphérique par le radon et les gaz combustibles

Le radon est un gaz rare dégagé par l'évolution radioactive naturelle de l'uranium contenu dans le granite. Une longue exposition au radon présente un risque cancerigène. La faille vosgienne, la faille rhénane et de nombreuses autres failles du Fossé rhénan s'ouvrent, en profondeur, jusqu'au socle paléozoïque, ici de nature souvent granitique. Une pollution dommageable au radon apparaît donc possible au droit des failles figurées et à proximité et implique la nécessité de mesures.

Certains niveaux des Couches de Péchelbronn renferment des gaz combustibles où prédomine le méthane (68 à 91 %, Schnaebelé, 1948). Responsables de dégagements, d'explosions (1759, entre 1840 et 1849) dans les anciennes galeries et les têtes de forages. Lors de l'exploitation, la grande majorité ne persistait guère plus de quelques jours, à l'exception de 3 ou 4 émanations utilisées durant des années à alimenter le laboratoire et un foyer de chaudière de l'usine de raffinage de Péchelbronn.

PRÉHISTOIRE ET ARCHÉOLOGIE

Toute découverte archéologique, même dans sa propre propriété, doit être déclarée à la Direction des affaires culturelles (D.R.A.C.), Palais du Rhin à Strasbourg ; l'Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) et le pôle d'archéologie interdépartemental rhénan (PAIR) ayant en charge les opérations de diagnostics et de fouilles. Site : www.alsace.culture.gouv.fr.

Principaux musées alsaciens où se trouvent des objets archéologiques découverts sur la feuille Haguenau : Niederbronn, Maison de l'Archéologie ; Haguenau, musée historique ; Strasbourg, musée archéologique du palais Rohan ; Wissembourg, musée Westercamp. Depuis sa rénovation, le musée national de Préhistoire de Saint-Germain-en-Laye, à l'Ouest de Paris, n'expose plus au public les pièces originaires d'Alsace.

Les silexites du Muschelkalk moyen constituent la principale matière première locale pour l'industrie lithique du secteur (site de Climbach, Feuille à 1/50 000 Lembach, R. Schellmanns, 1976 et 2008 ; J. Sainty et R. Schellmanns, 1984 ; R. Schellmanns *et al.*, 2008). Bien que cette roche soit localement subaffleurante (NE de Niederbronn, galets d'alluvions anciennes du Paléo-Eberbach), aucun atelier de taille n'a encore été découvert sur la feuille de Haguenau.

Paléolithique. Un très beau biface (Acheuléen supérieur) a été recueilli fortuitement à Gœrsdorf (Forrer, 1924, Schellmanns, 1976). Quelques pièces

très roulées ont été trouvées à la suite de dragages dans le cours même de la Moder, au niveau de Kaltenhouse (Moustérien ?).

Mésolithique. Des gisements type tardenoisien (silex microlithiques, armatures géométriques) sont implantés sur le rebord même de la terrasse sableuse de la Moder, à Haguenau ou sur le bord du talus dominant la plaine d'alluvions rhénanes près Oberhoffen-sur-Moder (E. Dillmann, 1966, 1967 et 1971 ; et rubrique FzT).

Néolithique. Les indices néolithiques sont nombreux dans tout le secteur entourant la forêt de Haguenau : haches polies, haches-marteaux principalement, mais la céramique manquant généralement, il est difficile de préciser l'appartenance culturelle. À noter la découverte d'un soc de charrue en pierre à Minversheim et un campement néolithique, à l'Ouest de Haguenau, en rive droite de la Moder, face au Clausenhof (passage possible à gué sur la Moder).

Les tumuli de la forêt de Haguenau. Répartis sur le massif forestier dans presque toute son étendue, les tumuli de l'âge du Bronze ancien (- 1 700 av. J.-C.) à ceux du 2e âge du fer (- 100 av. J.-C.), très nombreux (plus de 500) constituent un des ensembles les plus importants d'Europe pour ce type de nécropole. Bien fouillés au XIXe et XXe siècle, le matériel a été soigneusement recueilli et le musée historique de Haguenau en présente les pièces les plus significatives.

Âge du Bronze. Au Bronze moyen (1 500 - 1 250 avant J.-C.) la forêt de Haguenau est un centre dynamique de peuplement comme le prouvent les nombreuses nécropoles fouillées au siècle dernier par X. Nessel. Au Bronze final, la forêt de Haguenau est occupée de nouveau par les premiers envahisseurs de la grande invasion des Champs d'Urnes : Schirrhein, Winterhouse, Schweighouse, etc.

Âge du Fer. Au début du 1er Âge du Fer (Hallstatt) il existe un foyer important à l'Est de la forêt de Haguenau (Kœnigsbruck, Kurzgeland, feuille à 1/50 000 Seltz). Au Hallstatt moyen, la forêt de Haguenau connaît une plus forte densité de population, surtout le long des cours de la Moder et de la Zinsel (voir Normand, 1984). Les tumuli de l'âge du fer sont nombreux en forêt de Haguenau.

Au Hallstatt final, et surtout à partir de La Tène l, la forêt de Haguenau se dépeuple au profit des régions situées entre Brumath et Strasbourg, au Sud et vers Schwabwiller, au Nord.

À Niederbronn-les-bains, le Reisberg présente des pierres à cupules dont l'origine nous paraît naturelle, selon deux hypothèses possibles : vide laissé par la dissolution de gros nodules carbonatés ou lente dissolution du grès sous

l'action des solutions très acides concentrées à la base d'une petite colonie de sphaignes, installée dans une dépression de la surface du banc de grès (hypothèse F. Ménillet, inédite, par comparaison avec le même phénomène sur les bancs de grès de Fontainebleau, en région parisienne).

Époque gallo-romaine. La forêt de Haguenau et ses abords appartiennent au domaine triboque avec les stations de Surbourg, Schweighouse, Gunstett, Hegeney, Walbourg. Au Nord et à l'Ouest, commence le district médiomatique, région de grands domaines et de *vici* avec un important centre religieux à Niederbronn (temple de la Wasenbourg). Dans cette zone existent également un sanctuaire gallo-romain à Gundershoffen, des *vici* de caractère artisanal : Reichshoffen, Zinswiller, Gœrsdorf, etc. ; des villas (Niederbronn et Gumbrechtshoffen), des stèles votives à Nehwiller-près-Wœrth et d'autres localités.

Évitant les zones forestières, les voies romaines identifiées sont peu nombreuses. La route Strasbourg – Altenstadt (près de Wissembourg) passait par Schweighouse-sur-Moder : celle de Saverne à Altenstadt, par Reichshoffen et Niederbronn.

Époque mérovingienne. La région semble peu peuplée entre le VIe et le VIIIe siècle. Quelques cimetières à mentionner : Ohlungen, Morschwiller, Wittersheim, Soultz-sous-Forêts.

Moyen âge post-époque mérovingienne. Outre d'importants défrichements, les aménagements hydrauliques constituent un impact important de cette période sur le paysage. Le développement des monastères a favorisé la création d'étangs ; nombre d'entre-deux ont été remblayés ; les toponymes Weyer et Weiher peuvent en garder le souvenir. À l'état de ruines, les forteresses médiévales sont peu nombreuses. Celle du grand Arnsberg est représentative des châteaux forts construits sur un rocher de grès, en forme de lame, typiques de la partie la plus septentrionale des Vosges. Du château impérial de Haguenau et des autres châteaux forts de plaine ne subsistent que quelques restes infimes et des fondations. Notons l'existence d'une ancienne résidence ducale à Schweighouse-sur-Moder.

Époque moderne. Bien que très affectée par les guerres du XVIIe au XXe siècle, le secteur ne conserve que de modestes traces des anciens travaux militaires. La « Ligne de la Moder », réalisée en 1703, longeait la rivière sur sa rive droite, à une distance de quelques centaines de mètres. Construite en terre avec des bastions et redans, elle dominait un fossé. La carte de Cassini montre qu'elle était largement effacée de la topographie au milieu du XVIIIe siècle. Les travaux défensifs des dernières guerres ont peu affecté les sols de la feuille Haguenau et se limitent à des voies ferrées démontées et remplacées par des chemins. La bataille dite de « Reichshoffen » n'a pas eu

lieu sur le ban de cette commune, mais dans un triangle Frœschwiller – Wœrth – Morsbronn, la célèbre charge des cavaliers s'étant déroulée au Nord de ce dernier village. Les mouvements de terre ont surtout concerné l'enterrement des morts et des chevaux. La ligne Maginot passe environ 1 km au delà de l'angle NE de la carte et l'ouvrage « Schœnenbourg » ne se situe pas sur cette commune, mais sur celle de Hunspach.

De nombreux secteurs, en particulier dans les zones forestières, ont été très perturbés par les travaux de déblaiement et de remblaiement effectués pour la recherche et l'exploitation ancienne et artisanale du fer (voir la rubrique « gîtes minéraux »). Celles que nous avons observées sur une assez grande extension sont notées sur la carte des formations superficielles par un figuré particulier.

Les anciens puits de pétrole se signalent par leurs terrils, figurés sur les 2 cartes, souvent sujets à des glissements de terrain.

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

HYDROGÉOLOGIE

Les ressources en eau exploitées pour l'alimentation des collectivités et des industries dans le cadre de la feuille Haguenau se trouvent limitées, pour l'essentiel, aux aquifères du Trias gréseux des Vosges septentrionales dans le Nord-Ouest de la feuille et des alluvions anciennes du Rhin, à proximité de l'angle SE de la carte. Celui du Pliocène sableux n'est plus guère utilisé pour l'alimentation en eau potable des communes de la feuille Haguenau.

Presque toutes les communes de la zone des collines sous-vosgiennes anciennement alimentées à partir de puits domestiques se sont groupées en plusieurs syndicats dont la plus grande partie couvre ses besoins à partir de captages situés à l'extérieur du territoire de la feuille Haguenau. Ainsi :

– les communes du secteur sud-ouest font partie du syndicat de Hochfelden qui exploite les forages de Mommenheim dans les alluvions de la Zorn sur la feuille Brumath ;

– six communes du secteur ouest sont alimentées par l'aquifère du Grès vosgien (feuille Bouxwiller) ;

– le syndicat de Reichshoffen au Nord-Ouest et la ville de Niederbronn ainsi que les communes du syndicat de Soultz tirent leurs ressources des collines gréseuses du territoire de la feuille Lembach.

À la suite de recherches infructueuses dans les alluvions du fond des vallées principales du pays de Hanau, soit la zone située entre les affleurements du Trias

gréseux et ceux du Pliocène sableux est considérée comme dépourvue de ressources susceptibles de fournir un débit de quelques mètres cubes à l'heure.

Nappe du Trias gréseux. Les collines gréseuses du coin nord-ouest du domaine couvert par la feuille ne sont sollicitées que par quelques petits captages fournissant à deux communes une eau très douce légèrement acide, à anhydride carbonique agressif.

La nappe du Trias gréseux de l'extrême pointe sud-ouest du massif du Hochwald (feuille Lembach) est exploitée pour l'alimentation du syndicat de Wœrth qui groupe une quinzaine de communes :

– le premier forage réalisé à Mitschdorf (3-6) près des sources du Seltzbach dans un panneau effondré du massif du Hochwald sollicite des grès du Buntsandstein, plus ou moins conglomératiques, jusqu'à 55 m de profondeur. Avec un débit artésien de 18 mètres-cubes à l'heure il était mis en service à un débit de 60 mètres-cubes à l'heure pour un rabattement de 12,5 m en 1961 ;

– un deuxième ouvrage (3-7) a été foré à proximité immédiate jusqu'à 200 m de profondeur pour couvrir la consommation croissante du syndicat. Il pénètre le Grès vosgien sur plus de 150 m. Aux essais le nouvel ouvrage a produit 58 mètres-cubes à l'heure en écoulement artésien, 100 mètres-cubes à l'heure avec un rabattement de 20 m pendant que le premier forage était exploité à 55 mètres-cubes à l'heure.

L'eau pompée est très faiblement minéralisée : résidu sec 50 mg/l, son pH est de 6,25, sa dureté 2,4° ; sa teneur en anhydride carbonique agressif est élevée : 30 mg/l.

Le panneau effondré de Mitschdorf constitue l'exutoire principal du horst gréseux du Hochwald dont l'axe est incliné vers le Sud, les terrains argileux bordant le horst à l'Ouest (Keuper et Muschelkalk inférieur et moyen) et à l'Est (Oligocène) limitant les écoulements dans ces directions (F. Ménillet *in* Ménillet et Coulombeau *et al.*, 1989).

Nappe du Pliocène. Les dépôts pliocènes de la région de Haguenau ont fait l'objet d'études hydrogéologiques et de prospections géophysiques en vue de déterminer les emplacements les plus favorables pour exploiter les formations aquifères par des forages (Baulny, 1965 ; Chapuis, 1965 ; Graillat, 1969 ; Morel, 1972).

Une puissance de sédiments aquifères allant d'une quinzaine de mètres depuis l'Ouest jusqu'à plus de 60 m à l'Est a pu être mise en évidence au Sud de la ligne Schweighouse – Haguenau – Schirrhein. L'écoulement de la nappe se fait approximativement en direction de l'Est au Sud de la Moder qui la draine vers le Sud-Est sur la rive gauche, en aval de Haguenau.

En bordure ouest de l'aquifère, la commune de Schweighouse etait alimentée par deux forages au substratum oligocène respectivement à 23 et 38 m de profondeur (7-23 et 7-24). Leur débit d'exploitation (40 et 80 m^3/h) a entraîné un abaissement progressif de la nappe insuffisamment ré-alimentée par la pluviométrie et les apports latéraux. La commune est maintenant reliée au syndicat de la Basse Moder qui exploitait deux forages de 25 et 20 m de profondeur, au Sud-Est de la ville de Schweighouse, à des débits de l'ordre de 100 m^3/h (7-25 et 7-29). Dans la partie est de l'aquifère pliocène, ce même syndicat utilisait le forage de Kaltenhouse (8-20) profond de 58 m à un débit de 80 m^3/h et a réalisé deux ouvrages à 60 m de profondeur à Marienthal (7-55) et à l'aérodrome (7-56) en vue de renforcer son réseau. Ces deux forages pouvaient fournir un débit d'une centaine de mètres cubes à l'heure pour un rabattement d'une quinzaine de mètres.

Aujourd'hui, le syndicat de la Basse Moder puise son eau dans les graviers rhénans, sur la feuille de Drusenheim.

Au camp militaire d'Oberhoffen, le sondage 8-17, foré à 68 m de profondeur, peut être exploité à 70 m^3/heure pour un rabattement d'une douzaine de mètres. Les essais réalisés sur les ouvrages les plus récents ont permis de déterminer une transmissivité de l'aquifère de l'ordre de 2 à 4.10^3 m^2/s. On estime actuellement qu'il n'est plus possible d'implanter de nouveaux ouvrages et que la nappe risque dès maintenant de se trouver surexploitée.

Les caractéristiques chimiques des eaux de la nappe se résument ainsi :
– minéralisation très faible, résidu sec inférieur à 70 mg/l ;
– dureté entre 3 et 8° ;
– pH entre 5,5 et 6,5 ;
– CO_2 agressif entre 15 et 30 mg/l.

Les teneurs en fer peuvent atteindre 1 mg/l surtout dans le secteur sud-est où apparaît également de l'hydrogène sulfuré. Dans le secteur nord-ouest des traces d'hydrocarbure, en provenance de l'Oligocène sous-jacent, ont été décelées à la base de la formation pliocène.

Aquifères alluviaux de fonds de vallées. Sableux à limono-argileux, les aquifères des fonds de vallées sont peu utilisés. Ils ne peuvent généralement fournir que des débits modestes et leur sensibilité à la pollution par les activités humaines est importante. Avec une épaisseur de sable atteignant et dépassant une épaisseur de 10 m, entre Pfaffenhoffen et Schweighouse, l'aquifère de la vallée de la Moder est le plus volumineux d'entr'eux. En amont de Reichshoffen, les eaux des alluvions du Schwarzbach sont pompées (sondages 2-4 à 2-6).

L'extrême angle SE de la carte se situe dans le domaine du puissant **aquifère rhénan**, exploité plus au Sud (feuille à 1/50 000 Brumath-Drusenheim) entre-autre par le syndicat de la Basse Moder.

Eaux minérales, thermo-minérales et eaux de sources embouteillées

La source de Lichteneck ou source Celtique captée dans le Buntsandstein inférieur près de Niederbronn est connue pour sa très faible minéralisation (résidu sec : 48 mg/l, dureté : 2,2, pH : 6,5). Sa température est de 10°, son débit 180 l/minute. L'eau captée a une composition voisine de celle des forages artésiens de Mitschdorf qui alimentent le syndicat de Wœrth. Elle est utilisée pour ses effets diurétiques, également pour remplacer l'eau distillée dans les accumulateurs. Embouteillée, l'eau de la source Celtique est très vendue dans la région.

La Source Romaine de Niederbronn d'origine profonde, dans les formations triasiques du champ de fractures, jaillit d'un panneau de grès du Buntsandstein entouré de formations du Muschelkalk à un débit de 225 l/minute avec une température de 18° 1. Les eaux sont chlorurées sodiques ; elles contiennent 4 560 mg/l de sel au total (chlorures : 2 532 mg/l, sulfates : 69 mg/l, en outre : brome : 2,3 mg/l, arsenic : 0,2 mg/l, fer : 1,5 mg/l et lithium : 1,6 mg/l). La Source Romaine est exploitée par la station thermale de Niederbronn.

Deux autres sources d'origine analogue, d'une température de 15°, sont connues dans la vallée du Schwartzbach au Nord de Reichshoffen où de très anciens forages de recherche pétrolière avaient traversé une partie du Buntsandstein et provoqué un écoulement d'eau salée imprégnant cette formation.

Des eaux minérales chaudes ont été mises en évidence par les recherches pétrolières, en profondeur, au début du XXe siècle et se trouvent actuellement exploitées à Morsbronn-les-Bains et à Merkwiller-Péchelbronn. Les établissements thermaux qu'elles alimentent sont regroupés avec les thermes de Niederbronn dans la Société d'économie mixte « Les Cybéliades ».

À Morsbronn le gîte découvert par un forage de recherche en 1904 a été mis en production par trois forages :

– le forage Général Michel (3-23 = thermal 2 = PSAEM 4804) capte les eaux de la Lettenkohle, des calcaires à entroques du Muschelkalk et du toit du Buntsandstein entre 283 et 575 m de profondeur. Il fournit, à un débit artésien de 6 m^3/h (35 m^3/h en pompage), une eau contenant 3 966 mg/l de sels solubles, essentiellement NaCI, à une température de 43° C ;

– le forage des Cuirassiers (3-20 = thermal 3a) a produit 90 m^3/h d'eau à 38° avec 4 845 mg/l de sels solubles en provenance des calcaires et dolomies du Muschelkalk supérieur entre 357 et 400 m de profondeur ;

– le forage III B, Saint-Arbogast (3-21 = thermal 3b) qui sollicite les grès du Buntsandstein supérieur entre 457 et 680 m produit 41 m^3/h d'eau à 42° contenant 3 380 mg/l de sels solubles. Les eaux de Morsbronn sont légèrement sulfurées (1 mg/l) et contiennent des traces d'iode et de brome ;

– plus au Nord, le forage des Cybéliades (3-46), récent, s'alimente dans les calcaires du Muschelkalk, à proximité de la faille rhénane.

À Merkwiller – Péchelbronn, un sondage de 1910 (3-25), après avoir mis en évidence une nappe salée dans les dépôts tertiaire, a atteint une eau chaude salée artésienne dans les formations du Muschelkalk à partir de 938 m de profondeur. Foré jusqu'à 1 157 m dans le Buntsandstein supérieur et tubé avec huit colonnes télescopées, cet ouvrage a été mis en exploitation sous la dénomination de Source des Hélions. Son débit artésien était de 12 m^3/h à l'origine avec une température de 65° puis s'est établi à 7 m^3/h à partir de 1960. Les analyses de 1924 indiquent une eau chlorurée sodique, résidu sec : 16 000 mg/l, chlorures : 5 220, sulfates : 1 250, contenant en outre des gaz dont 65 % d'azote, 26 % de CO_2, 6,7 % de gaz combustibles, 1,04 % d'hélium et 0,7 % d'argon, de xénon et de krypton. À la suite de détériorations de son équipement, les eaux profondes se sont mélangées à celles des formations tertiaires pour fournir une minéralisation totale de 22 g/l.

Un second forage (1266 bis, 3-6) a été réalisé en 1971 à proximité de l'ancien, voué à l'abandon. Il capte, après tubage et cimentation jusqu'à 906 m, les aquifères de la Lettenkohle, du Muschelkalk et du Buntsandstein supérieur jusqu'à 1 146 m de profondeur. Son écoulement artésien est de 20 m^3/h (6 kg de pression en tête), à la température de 70°. L'analyse indique la même composition que celle de la source des Hélions en 1924 en ce qui concerne les sulfates et les chlorures ; autres éléments, en mg/l :

Brome	Iode	Arsenic	Fer	Fluor
460	1,2	2	7	1,9

(voir aussi Sittler et Westphal, 1974)

Récemment, la Société les Cybéliades a réalisé un troisième sondage (3-45, Hélion III), 750 m plus au Nord, captant les eaux des calcaires du Muschelkalk et celle des 174 m supérieurs des grès du Buntsandstein. Elles sont toujours fortement chlorurées sodiques, calciques et sulfatées, avec des teneurs importantes en magnésium, fer, manganèse et aluminium.

De nombreux sondages pétroliers dans le bassin de Péchelbronn ont relevé la possibilité de capter des eaux chaudes dans les formations du Trias moyen et inférieur.

Sur la commune de Merkwiller-Péchelbronn, l'ancienne source salée de Péchelbronn (anciennement sur la commune de Lampertsloch), maintenant disparue, a donné son nom au principal bassin pétrolier du Nord de l'Alsace. Les anciens recueillaient à son émergence une huile minérale utilisée pour le traitement de maladies de la peau et le graissage des essieux (voir la rubrique « pétrole »).

À **Soultz-sous-Forêts** d'anciennes salines exploitaient activement, jusqu'au début du XIXème siècle, des eaux salées issues des terrains tertiaires dans lesquels différents niveaux aquifères fortement salés ont été mis en évidence par la suite, lors de recherches de pétrole. L'eau était extraite par des puits et galeries ; en plus d'une forte teneur en chlorure de sodium, elle contenait de l'iode et du brome ainsi que des traces d'hydrocarbures. L'établissement ferma en 1842 (Streicher, 1976).

Outre les sondages thermaux de Morsbronn et de Péchelbronn, J. Roethinger (1976) donne quelques indications sur de modestes sources minéralisées et peu connues à Wœrth, Frœschwiller et Gœrsdorf.

Les deux rivières Seltzbach et Sauer du secteur nord-est de la feuille doivent sans doute leur dénomination à la présence d'émergences d'eaux salées ou séléniteuses dans leur bassin versant.

Pollutions naturelles d'aquifères par des hydrocarbures

Outre les pollutions d'origine superficielle et souvent anthropique dans les aquifères non protégés par une couche argileuse, des suintement d'huile, originaires des lentilles de sables et grès pétrolifères des Couches de Péchelbronn, peuvent diffluer des hydrocarbures dans les aquifères voisins, en particulier sur la bordure et le fond du bassin mio-pliocène.

Pollutions possibles par des hydrocarbures, à partir d'anciens ouvrages liés à l'exploitation du pétrole

Fort heureusement éloignés des sources actuelles d'AEP, les anciens centres d'explotation du pétrole n'ont pu éviter des fuites d'huiles dans les sols, d'autant plus que les bombardements de la dernière guerre ne les ont pas épargnés, en particulier la raffinerie de Merkwiller-Péchelbronn (Weller, 1988), sans oublier l'incendie provoquée, en 1940, de la raffinerie d'Ohlungen (Ohlungen-Keffendorf, 1997). Rappelons l'existence d'anciens bassins à huile ; d'anciennes têtes de puits non étanches, de vieux pipelines et aussi les anciennes galeries souterraines d'exploitation, toutes abandonnées.

Pollutions minérales liées à des failles

Le faisceau de la faille vosgienne, celui de la faille rhénane et les failles profondes du champ de fractures de Saverne sont localement minéralisées, notamment avec de la barytine et quelques sulfures contenant un peu d'arsenic. Cet élément et le baryum doivent donc être impérativement analysés avant l'utilisation en A.E.P de sources ou de puits dont l'eau transite par ces failles.

Banques de données sur les eaux souterraines

Sur un site Internet public : http://www.ades.eaufrance.fr, l'ADES (Banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) rassemble les données concernant les eaux souterraines. C'est un outil dédié à la connaissance et la gestion des eaux souterraines afin de mieux les exploiter et les protéger, conformément à la directive cadre européenne sur l'eau.

La BRAR (Banque Régionale de l'Aquifère rhénan) est dédiée essentiellement à l'aquifère des alluvions anciennes du Rhin ; site : http.//brar.brgm.fr.

Eaux des Formations Superficielles

Dans le champ de fractures de Saverne comme dans les parties du Fossé rhénan principal à substrat oligocène, des couches argileuses gisent souvent à faible profondeur et les formations superficielles : altérites, lœss, formations de versant et même les sables alluviaux résiduels des parties nord et ouest de la forêt de Haguenau ont souvent une hydromorphie temporaire et même permanente dans certains fonds de vallons. Ces formations superficielles présentent assez fréquemment des accumulations argileuses d'origine pédologique, également cause d'hydromorphie. Quand elles se développent à mi-profondeur des sables, l'eau sur substrat argileux peut être piégée sous le niveau d'accumulation argileuse et se trouver localement sous pression (observation de J.-P. Party). Plus guère utilisés, ces modestes aquifères et cette humidité superficielle conservent cependant une certaine importance, notamment en agronomie où elle entraîne souvent la nécéssité du drainage et en génie civil où elle n'est pas toujours suffisamment prise en compte dans les fondations des constructions où la pratique du drainage est rarement utilisée. L'élimination de cette eau superficielle éviterait bien des problèmes de stabilité sur pente et même de retrait-gonflement sur argiles gonflantes.

L'eau du fond des vallons entaillés dans les marnes du Jurassique peuvent contenir un peu de sulfates, provenant de l'altération de pyrites, fait localement évoqué par la toponymie comme la *Silzklamm* (« le ravin salé ») d'Uhrwiller. Les pyrites renfermant souvent des traces d'arsenic ; il est préférable d'analyser cet élément et les sulfates, avant d'utiliser ces eaux, par exemple pour la pisciculture.

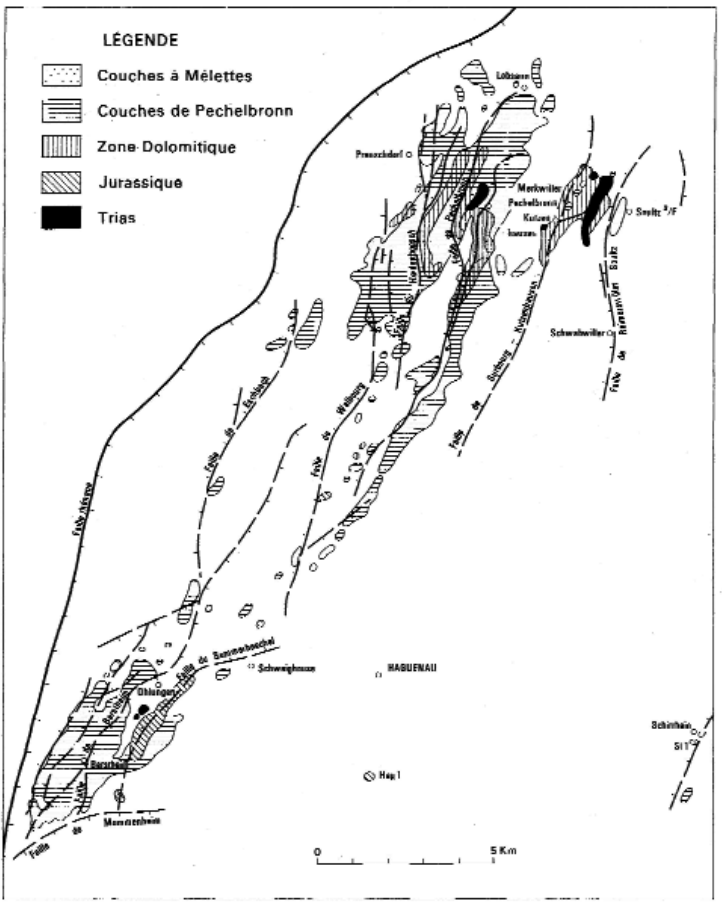


Fig. 39 - Répartition stratigraphique des niveaux productifs dans le champ pétrolifère de Péchelbronn (Bas Rhin, France), J. Blumenroeder (1962)

Les eaux qui drainent les marnes du Muschelkalk moyen ou les Marnes irisées du Keuper peuvent aussi contenir des sulfates.

Eaux superficielles de l'agglomération de Haguenau

L'ancien ingénieur ENSAIS-M51 André Wagner a longuement étudié, à partir de ses observations archéologiques et d'une analyse critique des textes et cartes publiés, l'histoire des voies d'eau et des aménagements hydrauliques de la ville de Haguenau, Le fruit de son travail, 125 textes, sont déposés aux archives municipales de la ville sous l'intitulé « Production Wagner ».

PÉTROLE

Champs de Péchelbronn et du Sommerbaechel (ou d'Ohlungen)

L'huile asphaltique de Péchelbronn (Source de la poix), jadis sur la commune de Lampertsloch (Blumenroeder, 1962 ; Sittler 1974, Schelmanns, 1984) était déjà recueillie à la fin du Moyen-Âge. La source fournissait 4 litres d'huile par jour. L'exploitation par galeries débuta au XVIIIe siècle ; les sables asphaltiques, lavés à l'eau bouillante, fournissaient la graisse d'asphalte. En développant en profondeur les galeries, furent découverts des suintements d'huile : la graisse vierge. L'exploitation de ces venues d'huile par galeries dura jusqu'en 1962, les galeries les plus profondes se situant 400 m sous la surface du sol. L'extraction par pompage commença en 1885 dans le champ d'Ohlungen, découvert en 1882, et se développa rapidement. Ainsi, en 1913, près de 50 000 litres étaient extraites par cette méthode dans la concession. A partir de 1916, fut mise au point une nouvelle technique d'exploitation par galeries, assez remarquable (Sittler, 1974). Du XVIIIe siècle à 1961, le champ de Péchelbronn a produit, au total, plus de 3 millions de tonnes d'hydrocarbures. Il a eu un très grand rôle dans l'élaboration des techniques de recherche et d'exploitation du pétrole.

Comme la plupart des gîtes pétrolifères, les gisements de Péchelbronn sont liés à des conditions sédimentologiques et structurales particulières (Schnaebelé, 1948 ; Blumenroeder, 1962 ; Sittler 1974 et 1985 Dylikovski 1985). Les couches les plus productives ont été les Couches de Péchelbronn (fig. 38 et 39). Dans cette formation, les hydrocarbures ont occupé les interstices des lentilles sableuses. Ils se sont plus particulièrement concentrés, étant donné leur faible densité, dans la partie occidentale de ces lentilles, plus élevée en raison du pendage Est des couches des différents panneaux tectoniques. Les failles antithétiques, limitant ces panneaux à l'Ouest, ont joué un rôle dans le piégeage des hydrocarbures, en mettant des horizons à très faible perméabilité en regard des lentilles sableuses pétrolifères, arrêtant ainsi leur migration vers l'Ouest. Les Couches de Péchelbronn inférieures ont été les plus régulièrement productives. Quelques lentilles, riches en hydrocarbures, ont également pu être exploitées dans la partie supérieure de la zone dolomitique (grès conglomératiques), la

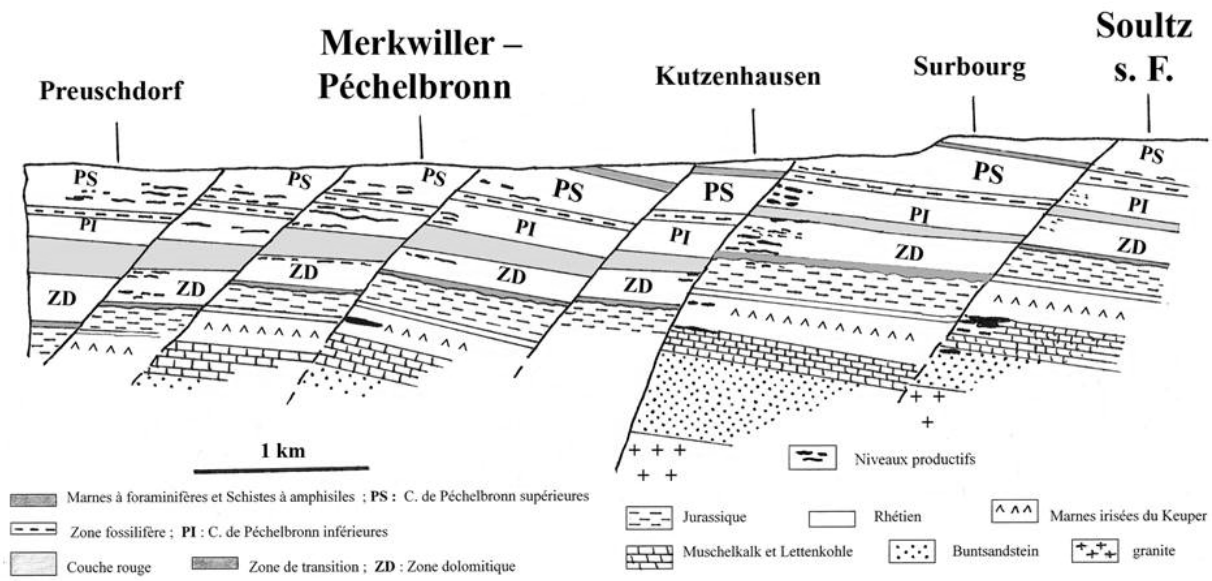


Fig. 40 - Coupe du champ pétrolifère de Péchelbronn normale à la structure en lanière du Fossé rhénan principal (d'après J. Blumenroeder, 1962). Les anciennes mines d'asphaltes de Lobsann se situent sur la feuille à 1/50 000 de Lembach

Grande Oolithe (j2*O*), les grès à Roseaux du Keuper moyen (t5*G*), les calcaires du Muschelkalk supérieur (t3-4*EC*) et les grès à *Voltzia* (t3*V*) du Buntsandstein supérieur (fig. 40). Au total les roches-réservoirs du Secondaire n'ont guère fourni que 100 000 t d'hydrocarbures, soit 3 % environ de la production du champ de Péchelbronn. La roche-mère du pétrole des Couches de Péchelbronn paraît être les marnes rubanées gris-noir à brunes, pyriteuses et plus ou moins bitumineuses intercalées dans cette formation. L'origine des hydrocarbures piégés dans les calcaires et grès du Secondaire est beaucoup plus discutée (Sittler, 1974). Outre les mémoires de P. de Chambrier (1919) et de R. Schnaebelé (1948), le numéro 52 (1974) de la revue « Saisons d'Alsace » et un numéro spécial de la revue « l'Outre-Forêt » (I-1988, vol. 61) sont consacrés à divers aspects de l'histoire de Péchelbronn. L'ouvrage Ohlungen-Keffendorf (1997) évoque celle du Champ du Sommerbaechel. Rappelons l'existence d'un musée du pétrole à Merkwiller-Péchelbronn.

Champ de Schirrhein

Découvert en 1954, il n'a guère produit que 12 000 tonnes d'hydrocarbures. Le dernier puits a été rebouché en 1968. L'huile était piégée dans les grès de la base des Couches de Péchelbronn supérieures, à pendage est, contre une faille à regard vosgien dans la moitié est du petit fossé de Schirrhein (coupe B, en marge de la carte).

GÎTES MINÉRAUX

Anciens gîtes de fer

Dans le cadre de la feuille Haguenau, toutes les ressources possibles de minerais de fer ont autrefois fait l'objet d'exploitations artisanales pour alimenter les forges, implantées à Reichshoffen, Zinswiller, Mertzwiller et plus au Nord (feuille Lembach) au Jaegerthal. Toutes les sources écrites dont P.-F. De Dietrich, 1789 ; A. Daubrée, 1852 ; J.-M. Le Minor, 1978 et J. Vogt, 1986, 2000, distinguent le minerai en plaques (*Blättelerze*) et le minerai en grain (*Bohnerz*). Constitués d'éléments d'oxydes de fer inclus dans des argiles, des limons argileux ou des sables alluviaux, ces minerais, en gisements limités, devinrent insuffisants lors de la grande période d'industrialisation du XIXe siècle. Du minerai importé, par voie fluviale, du pays de Nassau en Prusse rhénane (région de Wiesbaden) les remplacèrent dès que le Rhin fut canalisé vers 1850. L'industrie sidérurgique initiée par ces gisements locaux subsista puis se diversifia, en particulier sous la conduite des célèbres maîtres de forges de la famille De Dietrich. Elle perdure aujourd'hui et constitue la première source d'emploi du pays de Hanau. Rappelons que F.-P. De Dietrich (1748-1793) fut un des pionniers de la science gîtologique en France avec ses monographies sur les gîtes d'Alsace, de Lorraine et des Pyrénées. Remontant probablement à

l'époque celtique, l'exploitation du fer en Alsace du Nord s'étendit sur 45 bans communaux de la feuille Haguenau. Les premiers documents écrits datent du XVIe siècle, avec une expansion maximale fin XVIIIe début XIXe et un tonnage maximum annuel d'extraction proche de 8 000 t (Le Minor, 1978).

L'extraction se faisait principalement à ciel ouvert dans des fosses appelées « minières » et aussi par puits et éventuellement des galeries quand le gisement était profond. J.-M. Le Minor (1978) reproduit les analyses effectuées au XIXe siècle par le laboratoire de l'École royale des Mines, sur les principaux minerais provenant de la feuille Haguenau :

Fe_2O_3 23 à 60 % (médiane 45) ; argile (et silts) 26 à 67 % (médiane 44).

Nous évoquons ci-dessous les différents types de gisements. Dans certaines localités comme à Mietesheim (Ménillet, 2010), plusieurs d'entre-eux furent exploités.

Fer des formations triasiques et du Hochwald

Les formations triasiques apparaissent dans l'ensemble pauvres en fer et n'ont, ainsi que leurs altérites, guère donné d'accumulations ferrugineuses. Seules les siltites du Rhétien contiennent des quantités notables de pyrite.

Connues sous l'expression emphatique « ceinture de fer du Hochwald » (Daubrée, 1845 ; Fluck, 1983), de modestes accumulations ferrugineuses se localisent au pied du Hochwald. J. Schirardin (1925) signale l'existence à Gœrsdorf de deux minces filons à hématite et sidérite, l'un contenant de la pyrite, mais note que les niveaux d'accumulation des oxydes de fer, vraisemblablement par altération dans les formations de piémont argileuses et les conglomérats tertiaires (« conglomérats côtiers » ; *cf.* « minerai rempli de cornes d'ammon, entroques… » de Dietrich, 1789) ne furent vraiment l'objet d'expoitations notables. Sur le ban communal de Gœrsdorf, selon A. Daubrée (1845, 1852), des oxydes de fer se trouvaient dans des fissures de calcaires du Muschelkalk, avec un peu de barytine. P. Fluck (1983) signale la présence d'un peu de mispickel et de barytine dans ces minerais. Les failles de la bordure orientale des Vosges, renfermant souvent de la barytine et un peu d'arsenic, le fer pourrait donc être d'origine filonienne et initialement localisé dans la zone de failles limitant le horst du Hochwald, remobilisé par altération, puis fixé par illuviation dans différentes roches ; calcaires du Muschelkalk, conglomérats tertiaires. Pour A. Daubrée (1845 et 1852) des rognons d'oxydes de fer sont remaniés dans ces conglomérats et il place leur genèse dans une phase précoce de l'histoire du Fossé rhénan. F.-P. De Dietrich, (1789) localise une « mine d'ocre » à Gœrsdorf, « près des mines de Vitriol du Hückrodt » exploitant des « pyrites martiales et arsenicales très massives » (au pied du Liebfrauenberg, selon Daubrée, 1845) et décrit la fabrication, à cette époque, d'ocre, d'alun et de vitriol (acide sulfurique), à partir de la pyrite.

Fer des altérites des marnes jurassiques ; minerai en plaques (Blättelerz), provenant de l'altération de pyrites

Les marnes du Lias renferment presque toujours de la pyrite. Soumise à l'altération météorique à proximité de la surface, celle-ci s'oxyde et le fer se fixe à la périphérie des nodules calcaires (sidérite ou oxydes de fer), notamment dans les marnes du Pliensbachien supérieur ou sous forme de grains ou nodules de gœthite. Le soufre libéré se lie au calcium dans des cristaux de gypse. L'altération libère les oxydes et carbonates de fer dans une gangue argileuse. Les croûtes ferrugineuses des nodules calcaires se desquament, et fragmentées donnent de petites plaquettes, à section souvent courbe. Leur longueur peut atteindre et dépasser 5 cm. Dans la partie superficielle de l'altérite, le fer se trouve essentiellement sous forme de gœthite. En creusant les mineurs rencontraient du gypse, parfois de l'alun, puis un peu de pyrite et de carbonates dans les plaquettes ferrugineuses. L'alun et la pyrite furent aussi exploitées ; la seconde pour fabriquer l'acide sulfurique (vitriol).

Le Blättelerz s'extrayait principalement, dans les altérites des Marnes à ovoïdes du Domérien à Uhrwiller (Schlagdenhoffen, 1991), Zinswiller, Gumbrechtshoffen et Mühlhausen. À Gundershoffen, au fond d'un puit, entre 24 et 25,8 m de profondeur était exploitée une passée à pyrite oxydée, vraisemblablement dans le Toarcien (De Dietrich, 1789). Entre ce bourg et Griesbach, le minerai se situait dans les marnes du Bajocien inférieur.

La série du Lias en Alsace présente deux périodes montrant une tendance à l'émersion : le Toarcien moyen et la fin de l'Aalénien. À la différence de la Lorraine où l'émersion est franche et de longue durée, allant, dans certains secteurs, du Toarcien à la fin de l'Aalénien, permettant la formation d'importants minerais de fer, elle apparaît ici très modeste avec des concentrations de fer uniquement locales, en Alsace moyenne et en Pays de Bade où elle a donné lieu à une petite extraction (Ringsheim ; Théobald, 1948). L'exploitation des grès et siltites ferrugineux de l'Aalénien supérieur est ici très anecdotique et il s'agit d'une concentration liée à une altération supergène récente et non de la fin de l'Aalénien.

Les mineurs appréciaient les plaquettes de blättelerz remaniées dans les alluvions anciennes, surtout quand les courants les avaient concentrés et leur évitaient le long et délicat lavage des altérites limono-argileuses et le problème de l'évacuation des boues. Ainsi furent elles exploitées à Uhrwiller, dans certaines parties du Vierzelfield, dans des alluvion RFv et près du point de rencontre des bans communaux de Zinswiller, Gumbrechtshoffen et Uhrwiller où nous présentons 2 coupes, celle donnée par Daubrée (1852) pour la minière de Neuweyer à Zinswiller et celle de notre sondage 1-99 :

Zinswiller, Neuweyer	Sondage 01981X0099
1,5 - Limon jaune à pisolithes ferrugineux 1,5 - Sable rouge du grès des Vosges 2,0 - Limon jaune id. supra à veines de sable du grès des Vosges 3,00 - Minerai en plaquettes disséminées dans du sable argileux	1.0 - Remblai limono-sableux 3,4 - Limon très sableux (30 % de sable à concrétions et plaquettes ferrugineuses 0,10 - id. avec 30 à 40 % de concrétions et plaquettes ferrugineuses, petits galets et graviers de quartz (12,5 %) ; rares concrétions calcaires

Substrat, marnes du Lias

Fer des altérites des formations tertiaires : minerai en pisolites (bohnerz) provenant de l'altération de pyrites

Classiquement et sur la première édition de la carte géologique Haguenau, le fer des formations tertiaires de la région est qualifié de « sidérolithique », terme crée par E. Fleury (1909) pour désigner, dans le NW de la Suisse, les argiles à pisolites de fer dans les poches d'altération du Jurassique et à la base des formations tertiaires. Le Paléocène, au climat chaud et humide, est évoqué comme période de genèse de ces minerais. Ici, le fer gisant dans les formations tertiaires ou leurs altérites est plus récent et se situe dans plusieurs niveaux stratigraphiques, nettement postérieurs au Paléocène.

À Dauendorf hameau du Neubourg et **Bitschhoffen** lieu-dit Billigenberg (coupes sous la rubrique « Formation de Bouxwiller »), du minerai de fer pisolitique s'extrayait dans des argiles plus ou moins ligniteuses, sous le Calcaire de Bouxwiller. M. Schuler et M.-F. Ollivier-Pierre (1981) datent, par la palynologie, ces argiles du Lutétien inférieur. Aucun indice ne nous permet de déterminer si la concentration du fer est liée à une altération antérieure au dépôt du Calcaire de Bouxwiller ou à une altération postérieure, sous couverture.

À Mietesheim, dans la « mine profonde » (Daubrée, 1852 ; coupe sous la rubrique « Formation de Mietesheim »), le minerai, épais de 1,3 m se trouvait au dessus du Calcaire de Bouxwiller, à la base, selon notre interprétation, des Marnes de Mietesheim. Minerai en grains, provenant de l'oxydation de la pyrite, mentionnée dans la coupe de Daubrée, accompagnée d'un peu de gypse. La Formation de Mietesheim a subi une légère altération qui a détruit sa pyrite mais conservé sa consistance de vase, son calcaire et en grande partie sa matière organique. Elles contiennent d'assez nombreux cristaux de gypse secondaire montrant que la pyrite était assez abondante. Le fer de ce minéral s'est concentré à la base de la formation, sous forme de pisolites d'oxydes de fer et même sur la partie supérieure du Calcaire de Bouxwiller, comme le montrent des blocs de calcaire à pisolites de fer gisant dans les déblais des anciens puits d'extraction. La Formation de Mietesheim n'ayant pas été surmontée d'une couverture sédimentaire épaisse, l'âge précis de cette légère altération, post-Bartonien est inconnu.

Fer du complexe infralœssique, originaire des pyrites des marnes jurassiques ou tertiaires

Dans le secteur de Wittersheim – Ohlungen – Bertsheim, sous les lœss, une vingtaine de sondages (sur 460) mentionnent la présence d'une couche d'ocre rouge, épaisse de 1 à 10 m (moyenne 4). Nous avons vu (voir rubrique « complexe infralœssique ») que cette couche, discontinue se localise dans la zone d'altération de la partie toute inférieure de la série grise (Marnes à foraminifères, Marnes feuilletées à amphisiles, base des Couches à melettes), renfermant de la pyrite, particulièrement abondante dans les Marnes feuilletées à amphisiles.

À Huttendorf, dans le sondage 6-1036, sous le lœss, des limons très argileux ocre puis, en dessous des argiles panachées rouge, ocre et gris contiennent des pisolites d'oxyde de fer. Nous avons observé ces mêmes argiles rouges (voir rubrique « complexe infra-lœssique ») dans la tranchée de l'autoroute A4 à Hochfelden, liées à une diffusion d'oxyde de fer à partir des ovoïdes ferrugineux des marnes du Domérien. Ce sondage se situe environ 250 m au Nord d'une ancienne minière. Le fer issu des pyrites des marnes jurassiques, d'abord fixé sur les nodules carbonatés qu'elle renferme a été remobilisé par les altérations néogènes à Quaternaire ancien, sous forme de pisolites.

Au Nord-Est de la carte, d'anciennes minières sont indiquées, sur les Couches à melettes, à Surbourg et Schwabwiller et sur le conglomérat oligocène, à Gœrsdorf, Mitschdorf et Kutzenhausen (mention de fossiles remaniés des formations jurassiques).

Concrétions ferromanganiques des lœss et des colluvions de fonds de vallons

Les lœss contiennent 5 à 6 % de fer. Lors des pédogenèses qui les affectent, il se concentre avec du manganèse pour donner des taches noires mates ou des concrétions dures de 2 à 10 mm de diamètre que les pédologues appellent « concrétions ferromanganiques ». Elles sont liées au lessivage du fer, réduit en fer ferreux soluble pendant les périodes très humides où le lœss est gorgé d'eau. Pendant les périodes de sécheresse, le fer précipite sous forme d'hydroxydes à l'endroit où le lessivage l'a transporté. Les concrétions ferromanganiques sont particulièrement abondantes dans la partie inférieure, assez altérée, des lœss du Pléistocène moyen. Nous les avons rencontrées dans de très nombreux sondages. Les accumulations les plus denses constituent 20 à 25 % du poids de limon argileux. Elles sont éparses ou réparties en un ou plusieurs niveaux, comme dans les sondages 1-104 (Uhrwiller) et 1-106 (Mietesheim). Elles peuvent aussi s'accumuler dans les parties supérieures du complexe infralœssique. Les grosses concrétions contiennent souvent une fraction silteuse abondante.

Les concrétions ferromanganiques s'observent également dans les remplissages limono-argileux et hydromorphes des fonds de vallons, à une profondeur de quelques décimètres. Citons les sondages 2-173 et 2-174, dans le Grosserwald de Gundershoffen et le 4-1366 au confins SE du ban de Merkwiller où elles constituent 20 % du poids du sédiment. Leur mode de formation est identique à celles des concrétions Fe-Mn des lœss.

Lorsque les lœss sont érodés, les concrétions ferromanganiques, mobilisées par le ruissellement, peuvent se concentrer dans les fonds de vallons. C'est ce que nous avons observé au fond d'un vallon affluent du Landergraben, à la limite des bans communaux d'Huttendorf et d'Uhlwiller, près du lieu-dit Mittelbuehl (pourcentage pondéral des concrétions : 20 %, dans une argile limoneuse ocre rouge).

Accumulation d'oxydes de fer à la base des sables alluviaux résiduels

La migration du fer dans les sols sableux podzoliques est bien connue, avec parfois la formation à quelques décimètres de profondeur d'un horizon ferrugineux dur, de teinte ocre à rouille, parfois noir l'« alios ». De véritables alios sont peu fréquents sur la feuille Haguenau. J.-L. Dupouey en a observé un de 40 cm d'épaisseur en forêt de Haguenau. L'exploitation ancienne de fer dans la forêt de Haguenau est parfois mentionnée, mais sans précision de sites. Les plus plausibles se situeraient dans le prolongement des anciennes minières de Mietesheim dans la partie la plus occidentale du massif forestier. Une ancienne « mine royale » est mentionnée par P.-F. De Dietrich, (1789) dans le bois du Zang où nous avons trouvé, dans les fossés de la grand allée E-W une cimentation partielle de la couverture sableuse par des oxydes de fer. Même observation au Sud du massif forestier de Stocklach, à l'Est d'Uberach, notamment 200 à 300 m W-NW du sondage 6-1052. Plus au Nord, à Mietesheim, le sondage 1-105 a traversé, sous 3,9 m de sable un peu argileux et limoneux, un limon sableux (17,5 % de sable) contenant 7,5 % de concrétions ferromanganiques. Sans oublier les accumulations argileuses bariolées dans les sables résiduels où les concrétions ferromanganiques sont généralement beaucoup moins abondantes que dans les lœss altérés, ce qui est logique, car les sables alluviaux, même quand ils sont résiduels et argileux, ont une teneur en fer nettement plus basse.

Minéralisations d'origine filonienne

Des indices de minéralisation ont été signalés au cours de forages profonds :

– à Péchelbronn (sondage thermal 1266, 3-25), entre 924,3 m et 1 064,5 m, dans les sédiments carbonatés du Muschelkalk et des grès : blende, baryte et mispickel ;

– à Soultz, dans un sondage de 1 020 m (PREPA, n° 12/4590), dans le Grès vosgien : galène et baryte ;

– à Soultz, dans un autre sondage (PREPA, n° 2/4541), à 937 m de profondeur, dans la dolomie silicifiée du Muschelkalk moyen - pyrite, fluorite et blende ;

– à Schirrhein, dans le sondage PREPA n° 1/4770 (8-30), la blende a été observée dans les calcaires et dolomies du Muschelkalk supérieur.

Autres substances minérales

Sables et graviers

Les alluvions rhénanes, très appréciées en Alsace et dans les régions voisines, sont peu représentées dans le cadre de la feuille ; uniquement dans son angle sud-est.

Les réserves en sables sont assez importantes. Deux types de matériaux ont été exploités :

– les sables alluviaux de la Moder et de ses affluents et les sables pliocènes ;

– **les sables alluviaux**, de teinte rouge et d'origine vosgienne, ont un grain fin à moyen (fig. 19), grossier dans les passées contenant des galets ; ils contiennent 5 à 15 % de galets de quartz et sont utilisés en maçonnerie et en viabilité. Ils occupent de très larges surfaces, mais leur épaisseur est très variable. Ils ne sont plus guère exploités ;

– **les sables pliocènes**, de grain variable (fig. 19), sont très riches en silice et contiennent des lentilles d'argile ; ils sont utilisés en verrerie, fonderie et maçonnerie. Ils sont exploités à Batzendorf et Kaltenhouse. Les réserves de sables pliocènes sont importantes dans la partie orientale de la forêt de Haguenau, forêt indivise entre les Domaines et la Commune.

Argiles, terres à brique

Les matières premières sont variées : argiles du Lias, argiles oligocènes, argiles pliocènes et lœss argileux. Il ne reste plus q'une seule exploitation (lœss de Betschdorf, voir Œw-x) sur la feuille Haguenau. Les toponymes Ziegel (tuile) et Ziegelei (tuilerie) indiquent souvent l'emplacement approximatif des anciennes exploitations sur les cartes et les plans cadastraux.

Les argiles du Lias sont généralement riches en illite. Les marnes à ovoïdes (marnes à *Amaltheus margaritatus*) sont extraites à proximité du territoire de la feuille au Nord-Ouest de Bossendorf, à Lixhausen (feuille Bouxwiller) et utilisées en briqueterie. Elles contiennent des nodules calcaires ou ferrugineux. Les marnes de l'Aalénien inférieur ont une composition voisine, ne contiennent pas d'ovoïdes carbonatés et ferrugineux, mais referment des passées silteuses dans leur partie supérieure.

Les marnes et argiles des Couches de Péchelbronn ont une teneur variable en calcaire (5 à 25 % de CaO) et en quartz détritique fin. Elles peuvent contenir du gypse. Elles ont été exploitées, probablement en faciès altéré, sans gypse et carbonates, à Mertzwiller pour la fabrication de tuiles.

Les Couches à mélettes comprennent une fraction argileuse constituée principalement de smectites et d'illites. Elles sont généralement calcaires (15 % de CaO environ) et contiennent du quartz détritique fin. Des argiles pouvant appartenir à cette formation ont été extraites sur la bordure nord de la forêt de Haguenau, au Sud d'Oberbetschdorf (céramique industrielle), avec les argiles pliocènes surincombantes et dans la vallée de la Moder, à la limite orientale du ban de Schweighouse-sur-Moder.

Les lentilles d'argile pliocène sont riches en kaolinite. Cette argile fut longuement exploitée au Sud d'Oberbetschdorf, près de la maison forestière de Heuscheuer pour la fabrication artisanale des poteries de Betschdorf (grès de tradition rhénane, à motifs alsaciens au bleu de cobalt) et en céramique industrielle.

Les lœss-lehm et les lœss sont utilisés comme terre à brique à Betschdorf (15 à 20 m d'épaisseur). La composition des lœss gras (Œw-x) convient bien pour la fabrication des briques. Ces loess forment des gisements étendus dans les parties sud-ouest et nord-est de la feuille.

Pierres de construction, dalles et pierres de bordure

Les **grès** du Buntsandstein ont été largement utilisés dans la région, comme moellon, surtout dans les Vosges et à proximité, mais plus largement en dalles et pierres de bordure. Les niveaux les plus exploités sont le Grès vosgien, rose (moellon) et le Grès à meules du Grès à Voltzia, rose ou gris, (dalles, pierres de bordures et sculptures). Il n'existe plus aucune exploitation sur la feuille. Les plus proches sont la carrière de Rothbach (feuille de Bouxwiller), dans le Grès vosgien et celle, plus modeste, de Langensoultzbach (feuille de Lembach), dans le Grès à Voltzia. La tendance actuelle est de rechercher les variétés les moins altérables en milieu urbain (Jeannette, 1981 et 1982 ; Fritz et Jeannette, 1981). L'exploitation du grès rhétien, jaune clair, est abandonnée depuis longtemps, ses gisements d'extension et d'épaisseur modeste (quelques mètres) et une dureté variable ne conduisant guère à une extraction industrielle. Rappelons l'usage ancien des faciès durs du Grès à Voltzia comme pierre à meules et celui des faciès fins et bien cimentés du Grès rhétien en pierre à affiler.

Calcaire, moellons, pierres dures. Peu répandus en Alsace moyenne et septentrionale, les formations calcaires n'affleurent que dans les champs de fractures en gisements d'extension limitée par des failles. La Grande oolithe (jic) a été exploitée aux environs de Pfaffenhoffen, le Calcaire à entroques (t3*E*) et les

Couches à cératites, anciennement, à Niederbronn et Reichshoffen, comme pierre à chaux, moellons et matériau d'empierrement. Dans le SW de la feuille, le Calcaire d'Ettendorf a souvent servi à empierrer les chemins.

Pierre à plâtre. Les formations du Keuper et les Couches de Péchelbronn peuvent contenir du gypse ou de l'anhydrite. Le gypse du Keuper a été anciennement exploité à Griesbach.

Tourbe

La tourbe fut jadis exploitée dans la vallée de la Moder (à Dauendorf, Schweighouse-sur-Moder, Haguenau, Kaltenhouse et dans celle de la Zinsel du Nord à Gundershoffen, Griesbach et Mertzwiller (Daubrée, 1852 ; Migneret, 1858).

RESSOURCES GÉOTHERMIQUES PROFONDES : LE SITE DE SOULTZ-SOUS-FORÊT

Introduction

La région de Soultz-sous-Forêts – Kutzenhausen est le siège de travaux de recherches et d'exploration en géothermie profonde dans un massif de granite caché sous une épaisse couverture sédimentaire. Démarrées par un programme scientifique franco-allemand en 1987 (Gérard *et al.*, 1984), les expérimentations sur le sous-sol ont permis de produire les premiers kWh géothermiques en juin 2008 grâce à la mise en place d'une turbine d'une capacité de 1,5 Mega Watt électrique. Une centrale pilote a donc été construite par un consortium industriel franco-allemand impliquant des équipes scientifiques allemandes, françaises et suisses. En parallèle aux études sur le sous-sol, ce site de géothermie profonde fait l'objet d'innovations technologiques notamment en matière de pompes de production. De très nombreuses études lui sont dédiées et un colloque « Soultz Geothermal Conference » s'est tenu dans la localité les 5 et 6 octobre 2011. A. Genter *et al.* (2010) présentent une synthèse des travaux sur le sous-sol de l'anomalie thermique de Soultz (Géologie, géochimie des fluides, températures, microsismicité et hydraulique du site).

La technologie qui fait aujourd'hui l'objet de développements très prometteurs à Soultz-sous-Forêts est appelée EGS (Enhanced Geothermal Systems). Le concept EGS consiste à forer au moins deux puits dans des roches présentant d'importantes fractures naturelles, à extraire le fluide chaud depuis un puits de production et à le réinjecter une fois refroidi dans le réservoir fracturé par l'intermédiaire d'un puits de ré-injection. Généralement, les deux puits ont été stimulés au préalable hydrauliquement par injection d'eau sous pression, permettant d'améliorer les connexions au réservoir géothermal fracturé environnant en renforçant sa perméabilité.

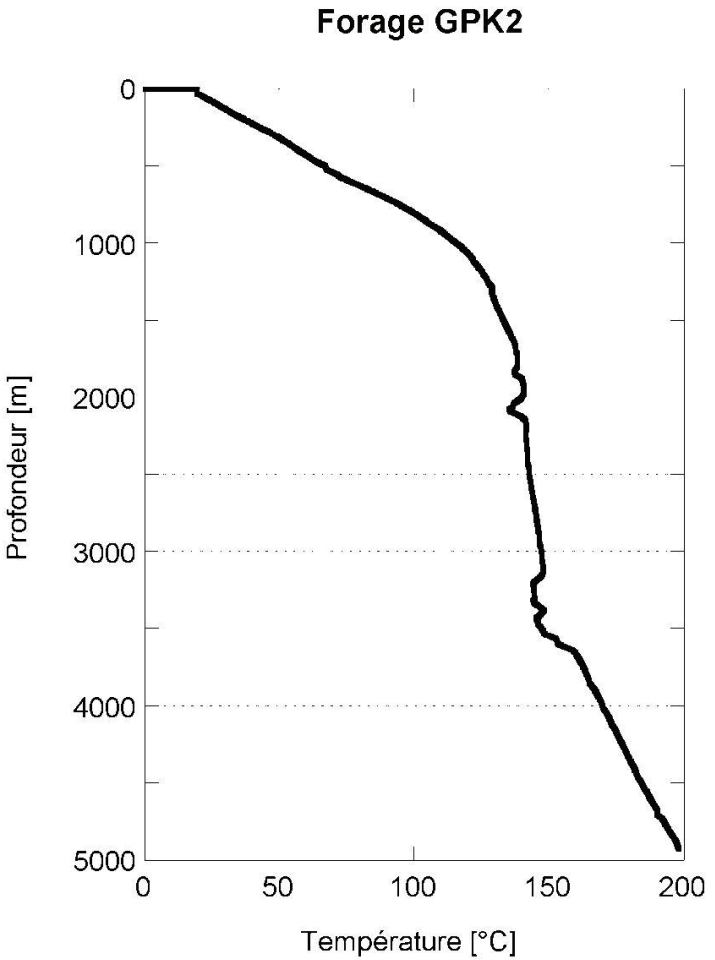


Fig. 41 - Profil de température dans le forage GPK2 (4-1371) entre la surface et 5 000 m de profondeur, données GGA Hanovre, Allemagne

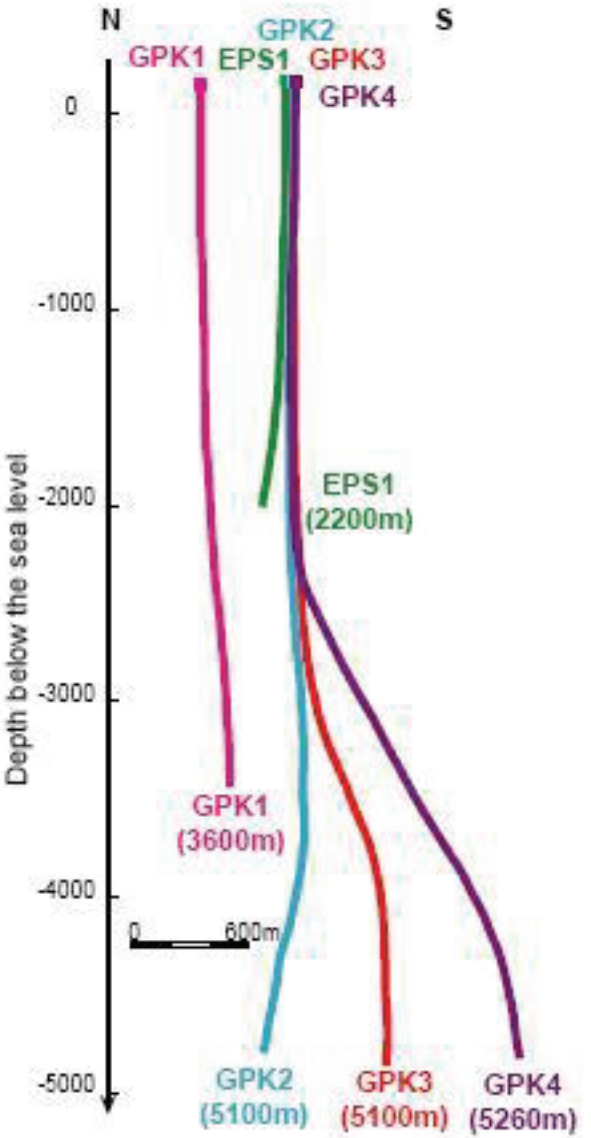


Fig. 42 - Coupe verticale N-S passant par les forages de Soultz. N° BSS abrégés des sondages : GPK1 = 4-100 ; GPK2 = 4-1371 ; GPK3 = 4-1372 ; GPK4 = 4-1373 ; EPS1 = 4-1374. Les sondages GPK2 à EPS1 se situent sur le site du sondage 4-69

Le projet est piloté depuis 1996 par un Groupement d'Intérêts Economiques Européen (GEIE) qualifié de « Exploitation Minière de la Chaleur ».

Reconnaissance par forage

À partir des nombreuses données géologiques connues grâce à l'exploitation pétrolière de Péchelbronn, le premier forage d'exploration a été implanté au toit d'une anomalie thermique. Elle se caractérise par un gradient géothermique très élevé et supérieur à 10 °C pour 100 m dans les 500 premiers mètres qui avait déjà été mis en évidence par les travaux pétroliers (Haas et Hoffmann, 1929). Ce premier forage GPK1 a confirmé les fortes températures dans les sédiments jusqu'à 1 000 m de profondeur. En revanche, seulement 140 °C ont été trouvés à 2 000 m de profondeur au lieu des 200 °C attendus à partir d'une simple extrapolation des températures connues dans le premier kilomètre (Pribnow et Schellschmidt, 2000). Ensuite, lorsqu'on atteint les couches du Buntsandstein (1 000 à 1 400 m) puis dans le granite paléozoïque (1 400-5 000 m), le gradient thermique chute drastiquement en liaison avec la présence de circulations de fluides percolant dans les failles du graben. L'exemple du profil thermique dans le forage GPK2 permet de visualiser les fortes variations d'augmentation de la température en fonction de la profondeur jusqu'à 5 000 m (fig. 41). La section parfaitement linéaire du profil thermique située entre la surface et 1 000 m de profondeur, traduit un régime de conduction thermique. Plus profondément (1 000-3 700 m), la chute de gradient thermique et les perturbations locales associées (2 100, 3 500 m) matérialisent des phénomènes de transferts thermiques par convection dans les failles.

Cinq forages profonds ont été réalisés sur le site géothermique. Ils ont recoupé 1 400 m de sédiments avant d'atteindre le monzogranite de Soultz. Le premier forage a atteint, après approfondissement, une profondeur de 3 600 m, le second, entièrement carotté, a atteint 2 220 m et les trois derniers, qui forment aujourd'hui la plateforme géothermique, ont atteint 5 000 m (fig. 42). Distants de seulement 6 m en surface, le triplet de forages profonds est d'abord vertical puis fortement dévié à partir de 2 500 m. Au fond, la distance horizontale inter-puits est de 700 m entre le puits central de réinjection et les puits latéraux de production. En vue horizontale, les trajectoires des puits sont alignées selon la direction N170°E qui correspond la direction majeure de la fracturation observée dans le granite (Dezayes *et al.*, 2004).

À chaque fois qu'un forage a été réalisé, plusieurs zones fracturées faiblement perméables ont été recoupées dans le granite. Elles se caractérisent par la présence de fluides sursalés (environ 100 g/l) qui circulent à faible débit. Les minéraux primaires du granite sont fortement transformés chimiquement par des altérations hydrothermales qui se matérialisent par des dissolutions et des précipitations minérales (argiles, carbonates, quartz secondaire, sulfures). Une intense fracturation de la roche se superpose aux altérations hydrothermales ce

qui se traduit par la présence de zones fracturées et altérées sièges de circulations hydrothermales. Ce sont ces zones fracturées perméables qui par convection thermique assurent la remontée des calories vers les couches sédimentaires superficielles (0-1 000 m) et expliquent les forts gradients géothermiques (fig. 41). Après la période de forage, et compte tenu des faibles valeurs de perméabilité, des stimulations hydrauliques correspondant à des injections d'eau sous pression ont été réalisées dans les forages. Ces techniques qui permettent d'améliorer la connexion entre les puits et le réseau de fractures s'accompagnent de micro-sismicité induite. Ces séismes sont mesurés par des capteurs sismiques déployés dans un réseau de forage d'observation et un réseau de surface. La plus forte densité de manifestations micro-sismiques est observée à proximité des fonds de puits, ce qui signifie que les stimulations hydrauliques sont principalement efficaces dans cette zone. Des milliers de microséismes ont été générés avec des magnitudes très faibles. Cependant, en juillet 2003, un séisme d'une magnitude de 2.9 a été ressenti par les populations locales. Dès lors, des stratégies de stimulations plus douces de type chimique ont été tentées pour minimiser les nuisances associées aux stimulations.

Depuis 2007, une centrale géothermique de type binaire a été construite (fig. 43). Elle permet de produire en puissance électrique nette 1.5 Mega Watt (Genter *et al.*, 2009). Les premiers kWh géothermiques ont été produits en juin 2008. La centrale reste une plateforme de démonstration et des technologies différentes de systèmes de pompages sont testées dans les puits de production.

Conclusion

Après plus de vingt années de recherches intensives, le projet Soultz a livré sa première production électrique. Le succès de la centrale électrique pilote pourrait ouvrir la voie à un nouveau type de centrales électriques géothermiques utilisant la chaleur emmagasinée dans des roches cristallines fracturées profondes. Les leçons tirées de Soultz peuvent être utilisées pour d'autres sites, mais sont déjà appliquées à des projets géothermiques commerciaux dans le graben du Rhin, dans le Palatinat.

Autres données sur la géothermie

Le lecteur trouvera des indications sur la géothermie (valorisation et information) sur le site :

http://www.géothermie-perspectives.fr (site ADEME et BRGM).

Fig. 43 - La centrale géothermique de Soultz. Photographie des échangeurs de chaleur (à gauche) et du générateur de courant (à droite)

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

ITINÉRAIRES GÉOLOGIQUES

À l'exception de sa partie vosgienne, le territoire couvert par la coupure Haguenau ne présente guère d'affleurements perennes et se prête mal à des excursions à caractère pédagogique.

Des itinéraires géologiques détaillés sont décrits dans les ouvrages suivants :

– Pour le Pliocène et le Quaternaire :

GEISSERT F., SITTLER CI., SITTLER J., WERNERT P. (1969) - Le Quaternaire d'Alsace. VIe Congrès INQUA, Paris, 1969. Livret-guide de l'excursion A1 : Alsace – Vosges – Bourgogne, p. 1-27.

– Pour le Secondaire, le Tertiaire et le Quaternaire :

ELLER J.-P. von *et al.*, (1976 et éditions plus récentes). Vosges – Alsace. Guide géologique régional, Masson éd., Paris (épuisé) ;

Itinéraire I - Les grès du Buntsandstein et le socle hercynien dans le Nord des Vosges. Région de Bitche – Niederbronn – Wissembourg (Gall J.-C.).

Itinéraire III – Compartiments de terrains secondaires et tertiaires du champ de fractures de Saverne.

a) Région entre Saverne, Niederbronn et la vallée de la Zorn (Gall J.-C. et Sittler CI.).

Itinéraire IV - Tertiaire et Quaternaire de la plaine d'Alsace et des collines sous-vosgiennes (Geissert F., Sittler Cl. et Vogt H.).

Épuisé, ce guide n'a pas été réédité.

Beaucoup d'affleurements cités par ces publications ne sont plus visibles.

Si l'ancien district pétrolier de Péchelbronn ne montre plus que des témoins d'intérêt essentiellement historique (terrils, anciennes pompes à balancier exposées, bâtiments plus ou moins transformés), le village de Merkwiller-Péchelbronn possède un musée du pétrole.

À Bouxwiller (Bas-Rhin), 7 km au-delà de la limite ouest de la carte, un itinéraire géologique serpente sur la colline du Bastberg, connue pour son ancienne carrière de calcaire de l'Éocène moyen (Rupélien) qui a fourni à Georges Cuvier une faune de vertébrés fossiles dont la comparaison avec deux autres gisements lui ont permis d'établir ses théories. Cet itinéraire montre aussi

les conglomérats de bordure du Fossé rhénan (« Conglomérat côtier »), quelques faciès du Jurassique et des sculptures, chacune construite avec des moellons provenant d'une roche d'Alsace différente.

DOCUMENTATION ET COLLECTIONS CONSULTABLES

La banque des données du sous-sol du BRGM (BSS) détient les données des sondages et autres ouvrages souterrains exécutés dans le périmètre de la feuille Haguenau, sous le n° 0198, et archive régulièrement les nouveaux travaux (déclarations obligatoires pour les sondages de plus de 10m de profondeur). Les documents peuvent être consultés soit au BRGM Alsace, soit sur le site internet du BRGM : http.//wwwBrgm.fr ou, de façon plus ciblée, sur http.//www.infoterre.fr, site BRGM regroupant toutes les informations liées au sous sol français, notamment les données de la BSS et des extraits des cartes géologiques.

Il n'existe malheureusement pas dans le Bas-Rhin, en 2014, de musée ou d'établissemnent exposant courament au public des roches, minéraux et fossiles présentés sur des bases scientifiques. Une collection pédagogique de roches et fossiles et un musée de minéralogie sont accessibles seulement sur demande à l'Institut de Géologie et de Minéralogie de Strasbourg, 1 rue Blessig. Le musée d'Histoire naturelle et d'Ethnographie de Colmar présente plusieurs salles consacrées à la géologie ; il est régulièrement ouvert au public. Au pied des Vosges méridionales, la Maison de la Géologie à Sentheim (Haut-Rhin) possède une salle dédiée aux roches et aux minéraux, accessible seulement sur rendez-vous.

Les échantillons des sondages effectués par la société PSAEM – PREPA en Alsace sont en grand partie conservés mais ne sont pas actuellement accessibles, faute d'un local, d'étagères appropriées, et d'une personne habilitée et disponible pour accompagner une visite. La majorité d'entre-eux ont été effectués sur le territoire couvert par la carte Haguenau.

BIBLIOGRAPHIE

ADLOFF M.-C. (1968) - Contribution à l'étude palynologique du Grès à *Voltzia* (Buntsandstein supérieur). Thèse 3e cycle univ. Strasbourg, 66 p., 10 pl.

ADLOFF M.-C, DOUBINGER J. (1969) - Étude palynologique dans le Grès à *Voltzia* (Trias inférieur). *Bull. serv. Carte géol. Als. Lorr.*, t. 22, n° 1-2, p. 131-148, 2 pl., Strasbourg.

ADLOFF M.-C, DOUBINGER J. (1978) - Associations palynologiques du Trias et du Lias inférieur de l'Ouest de l'Europe (Luxembourg, France, Portugal). Coll. intern. Pal. Léon, 5-10 sept. 1977, *Palinologia*.

ADLOFF M.-C, DOUBINGER J., GEISLER D. (1982) - Étude palynologique et sédimentologique dans le Muschelkalk moyen de Lorraine. *Sciences de la Terre*, t. XXV, n° 2, p. 91-104.

AIGNER T. (1979) - Schill tempestite im oberen Muschelkalk (Trias, SW Deutschland) *N. JB. Geol. Paläont. Abh.* Stuttgart, 153, 3, p. 326- 343.

AIGNER T. (1985) - Storm Depositional Systems: Dynamic stratigraphy *in* Modern and Ancient Shallow-Marine Sequences, p. 51-154, Berlin.

AIGNER T., BACHMANN G.-H. (1993) - Sequence stratigraphy of the German Muschelkalk. *In*: Haghorn H. & Seilacher A. (ed) Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991. *Sonderb. Ges. Naturk. Württ.* 2, p. 15-18, Korb (Goldschneck).

ALEXANDROV P., ROYER J.-J. DELOULE E. (2001) - 331 ± 9 Ma emplacement age of The Soultz monzogranite (Rhine Graben basement) by U/Pb ion-probe zircon dating of samples from 5 km depth. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, *Sciences de la Terre et des planètes*, 332 (2001), p. 747-754.

ANDREAE A. (1884) - Ein Beitrag zur Kenntnis des elsässer Tertiärs. *Abh. geol. Spezial karte Els.-Lothr.*, 2, p. 1-331.

ANDREIEFF P. (coord., 1997) - Notes d'orientation pour l'établissement de la carte géologique de France à 1/50 000. Comité de la Carte géologique de France, 3e éd., *Document du BRGM* n° 260, 255 p., BRGM Orléans.

ANTONI V. (1994) - Matériaux pour une étude des remaniements dunaires et des paléosols associés de la forêt de Haguenau. Mém. Maîtrise Géographie, ULP, Strasbourg, 155 p.

ARP G., BELIERT F., HOFFMANN V.-E., LÖFFLER T. (2005) - Palaeoenvironmental significance of lacustrine stromatolites of the Arnstadt Formation (Steinmergelkeuper, Upper Triassic, N-Germany. *Facies*, 51, p. 419-441.

BACHMANN G.-H., BEUTLER G., HAGHORN H., HAUSCHKE N. (1999) - Stratigraphie der Germanischen Trias. *In* Hauschke N., et Wilde V. (coord.): Trias - Ein ganz andere Welt. Verlag Dr. F. Pfeil, München, p. 81-104.

BAIZE D. (1983) - Les planosols de la Champagne humide. I.N.R.A., 286 p., Orléans.

BAIZE S., CUSHING M., LEMEILLE F., GRANIER T., GRELLET B., CARBON D., COMBES P., HIBSCH C. (2002) - Inventaire des indices de rupture affectant le Quaternaire en relation avec les grandes structures connues en France métropolitaine et dans les régions limitrophes. *Mém. Soc. géol. France*, 175, 142 p., 1 pl. h.t.

BAIZE D., GIRARD M.-C. (coord.) 2008 - Référentiel pédologique, AFES, Quac éd., 405 p.

BARBIER P. (1938) - Étude micropaléontologique du terrain stampien du district d'Ohlungen (Bassin de Péchelbronn). *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 5, p. 7-25.

BAROZ F. (1967) - Contribution à l'étude de la Dolomie de Beaumont (Keuper moyen de Lorraine). D.E.S. fac. sciences Nancy.

BASSAHAK J. (1985) - Pétrologie, géochimie et pétrologie structurale de la granodiorite de Jaegerthal-Windstein (Bas-Rhin), DEA Univ. Nancy 1, 30 p, 4 p. bibliog. 3 p. ann.

BASSAHAK J., GAGNY C. (1987) - La granodiorite de Windstein (Bas-Rhin, France), un témoin de la cohorte des granites « rouges » vosgiens. 112e congrès des soc. sav., Lyon, Sciences, fasc. 1, p. 33-43.

BAULNY H. de (1965) - La Moder, étude hydrologique. Thèse 3e cycle, Paris, 130 p., 6 cartes.

BAYER U, ALTHEIMER E., DEUTSCHLE W. (1985) - Environmental evolution in shallow epicontinental seas: sedimentary cycles and bed formation. *In* Bayer U. et Seilacher A. (1985) - Sedimentary and Evolutionary cycles, p. 347-381.

BECKER D. (2003) - Paléoécologie et paléoclimats de la Molasse du Jura (Oligo-Miocène) : apport des Rhinocerotoidea (Mammalia) et des minéraux argileux. Thèse univ. Fribourg, Suisse, *Geofocus* 9, 327 p.

BENECKE E.-W. (1914) - Uber die dolomitische Region in Elsass-Lothringen und die Grenze von Muschelkalk und Lettenkohle. *Mitt. d. Geol. Landesant. von Els.-Lothr.*, IX, I, p. 1-22, Strasbourg.

BERGER J.-B., REICHENBACHER B., BECKER D., GRIMM M., GRIMM K., PICOT L., STORNI A. (2005a) - Paleogeography of the Upper Rhine Graben (URG) and the suiss Molasse basin (SMB) from Eocene to Pliocene. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 4, p. 697-710.

BERGER J.-B., REICHENBACHER B., BECKER D., GRIMM M., GRIMM K., PICOT L., STORNI A. (2005b) - Eocene-Pliocene time scale and stratigraphy of the upper Rhine Graben (URG) and the Suiss Molasse Basin (SMB). *International Journal of Earth Sciences*, 94, 4, p. 711-731.

BERGERAT F. (1985) - Déformations cassantes et champs de contraintes tertiaires dans la plate-forme européenne. *Mém. Sci. Terre*, Univ. P. et M. Curie, 85-07, 315 p., 15 pl. (Thèse Sci. Paris, 1985).

BERGERAT F. (1987) - Stress field in the European platform at the time of Africa Euroasia collision. *Tectonics*, 6, p. 99-132.

BERTRAND G., ELSASS P., WIRSING G., LUZ A. (2006) - Quaternary faulting in the Upper Rhine Graben revealed by high resolution multi-channel reflection seismic. *C. R. Géosciences*, 338, p. 574-580.

BEUTLER V.-G., SCHÜLER F. (1978) - Über altkimmersche Bewegungen in Norden den DDR und ihre regionale Bedeutung (Fortschrittsbericht) Z. geol. Wiss., 6, p. 403-420.

BLANALT J.-G., VOGT H., MAIRE G., MAITRE C., CLOOTS A.-R., FAULER W., OSTROVSKI V., WILSDORF P. (1972) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Brumath-Drusenheim (234) - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Mminières. Notice explicative par Blanalt J.-G. Maire G., Cloots A.-R., Geissert F., Hummel P., Stieber A., Thevenin A., Schwoerer P. (1972).

BLANALT J.-G. MAIRE G., CLOOTS -A.R., GEISSERT F., HUMMEL P., STIEBER A., THEVENIN A., SCHWOERER P. (1972) - Notice Carte géologique à 1/50 000 Brumath-Drusenheim - Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 48 p., 1 coupe et 1 tabl. h.t. ; carte géologique par Blanalt J.-G., Vogt H., Maire G., Maitre C., Cloots A.-R., Fauler W., Ostrovski V., Wilsdorf P. (1972).

BLANC-VALLERON M.-M. (1991) - Les formations paléogènes évaporitiques du bassin potassique de Mulhouse et des bassins plus septentrionaux d'Asace. *Document du BRGM* n° 204, 349 p., XXV pl., X annexes. Orléans (thèse Strasbourg 1990).

BLUMENROEDER J. (1962) - Le pétrole en Alsace. *Abh. Geol. land. Baden-Wurtemberg*, 4, p. 41-62, Freiburg-im.B.

BŒNIGK W. (1987) - Petrographische Untersuchungen jungtertiären und quartären Sedimenten am linken Oberrhein. *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver.*, N.F. 69, p. 357-394, Stuttgart.

BŒNIGK W. (1990) - Schwermineraluntersuchungen in Geissert F. *et al.*, *Documenta naturae*, 57, p. 8-10, München.

BOIGT H., SCHÖNHEICH H. (1970) - Die Tiefenlage der Permbasis im nördlich Teil des Oberrheingraben. *In* - Illies J.-H. et Mueller S. (ed) Graben problems, p. 45-55, Stuttgart, Schweizerbarth ed.

BOTTJER D.-J., GALL J.-C. (2005) - La reconquête triasique, l'abc de la biosphère moderne. The Triasic recovery, the dawn of the modern biota. *C. R. Paleovol* 4, (2005) p. 386-393.

BOUDOT J.-P. (1979) - Carte pédologique d'Alsace à 1/100 000 - ULP - Strasbourg, Région Alsace. *In* Atlas des ressources naturelles et Aménagement de la région Alsace, feuille Haguenau.

BOURQUIN S., PERON S., DURAND M. (2006) - Lower Triasic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic Basin (west of Black Forest): Fluvial system evolution through time and space. *Sedimentary Geology*, 2006, p. 187-211, Elsevier.

BOURQUIN S., DURAND M. (2007) - International Field Workshop on « The Triasic of Eastern France ». October 2-7, 2006. *Mémoires Géosciences*, Rennes, H.S. n° 5, 80 p., 49f ig.

BOURQUIN S., DURAND M. (2008) - The Triassic of NE France: continental environments and major unconformities. AGPT-ASF fieldtrip, September 26-28, Excursion guidebook. *Publication de l'Association des sédimentologistes français*, n° 62, 63 p., 57 fig.

BOURQUIN S., DURAND M., DIEZ J.-B., BROUTIN J., FLUTEAU F. (2007) - The Permian-Triasic boundary and lower triassic sedimentation, in western European basins: an overview. *Journal of Iberian geology*, 33, (2), 2007, p. 221-236.

BOURQUIN S., GUILLOCHEAU F. (1996) - Keuper stratigraphic cycles in the Paris basin and comparison with cycles in other peritethysian basin (German basin and Bresse-Jura basin) *Sediment. Géol.*, 105, p. 159-182.

BOURQUIN S., GUILLOCHEAU F., PERON S. (2009) - Braided rivers within an arid alluvial plain (example from the lower triassic, western germany basin): recognition criteria and expression of stratigraphic cycles. *Sedimentology*, 56, p. 2235-2264.

BOURQUIN S., MATHIS B., CLERMONTE J., DIDELOT B., DURAND M., GHANEM-ALKHADDOUR G., LE ROUX J. (1990) - Diagraphies et analyse facio-séquentielle : approche méthodologique et exemple d'applications dans le Bassin parisien et le Fossé rhénan. *Bull. Soc. géol. France*, (8), VI, n° 4, p. 693-704.

BOURQUIN S.,POLI E., DURAND M., COUREL L. (1995) - Stratigraphie des évaporites du Trias français. Exemple de séquences de dépôts de séries carniennes et leur cadre morphostructural. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 266, n° 5, p. 493-505.

BOURQUIN S., POLI E., DURAND M. (2006) - Lower triassic sequence stratigraphy of the western part of the germanic basin (west of Black Forest) fluvial system evolution through time ans space. *Sedimentary geology*, 186, p. 187-211.

BOY J.-A., MARTENS Th. (1991) - Zur Problematik Chronostratigraphischer Korrelation im Mitteleuropaïschen Rothliegend (Oberstes Karbon - Perm). *Neusl. Stratigr.*, 25, p. 163-192, Berlin.

BRIQUET A. (1930) - Le Quaternaire d'Alsace. *Bull. Soc. Géol. Fr.* XXX, p. 977-1014.

BRUN J.-P., WENTZEL F., ECORS-DEKORP team (1992) - Deep crustal structure of the southern Rhine Graben from Ecors-Dekorp seismic reflexion data: a summary. *Tectonophysics* 208, p. 139-147, Amsterdam.

BRUN J.-P., WENZEL F., ECORS-DEKORP team (1991) - Crustal scale structure of the southern Rhine Graben from Ecors-Dekorp seismic reflexion data. *Geology*, 19, p. 758-762, Boulder Co.

BUISSEZ F. (1988) - Approche paléo-environnementale et lithostratigraphique d'un profil lœssique d'Alsace (France). Betschdorf. Mém DEA geogr. Univ. Louis Pasteur, 56 p., Strasbourg.

BURACZYNSKI J. (1982) - Étude lithostratigraphique des lœss d'Alsace (France) *Ann. Univ. Mariae Curie-Slodowska*, sect. B, 37, p. 1-41.

BURACZYNSKI J., BUTRYM J. (1984) - La datation des lœss du profil d'Achenheim (Alsace) avec la méthode de thermoluminescence. B*ull AFEQ*, 4, p. 201-209.

BURACZYNSKI J., BUTRYM J.(1987) - Thermoluminescence Stratigraphy of the lœss in the southern Rhinegraben. *Catena*, suppl. 9, p. 81-94.

CASEL E. (1934) - Recherches et exploitations pétrolières à Péchelbronn. Ses méthodes et ses contributions à la géologie du Fossé rhénan du Nord. Thèse I.P.G. Strasbourg, 294 p.

CAVELIER C. (1979) - La limite Éocène-Oligocène en Europe occidentale. *Sci. Géol, mém*. 54, p. 116-118, 162-163, 181-182, Strasbourg.

CHAMBRIER P. de (1919) - Historique de Péchelbronn, 330 p. Attinger éd., Paris.

CHAPUY P. (1965) - Étude des caractéristiques hydrogéologiques des formations pliocènes de l'Alsace du Nord. Thèse Strasbourg, 60 p., 30 fig., 5 cartes.

CHATEAUNEUF J.-J. (1980) - Palynologie et paléoclimatologie de l'Éocène supérieur et de l'Oligocène du bassin de Paris. *Mém. BRGM*, n° 116, p. 292-299, Orléans.

CHATEAUNEUF J.-J., MÉNILLET F. (2014) - Découverte d'une microflore bartonienne dans le Fossé rhénan supérieur : la Formation de Mietesheim (Bas-Rhin, Alsace, France). *Géologie de la France*, n° 1, 2014, p. 3-20, 3 fig.

CHOROWICZ J., DEFFONTAINE B., VILLEMIN T. (1989) - Interprétation des structures transverses NE-SW du Fossé rhénan en terme de failles de transport. Apport des données multisources. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, II, 309, p. 1067-1073.

CHOROWICZ J., DEFFONTAINE B. (1993) - Transfer faults and pull-apart model in Rhine Graben from analysis of multisource data. *J. Geophys. Rech.* A 98, p. 14339-14351, Washington.

CLAUER N., LIEWIG N., LEDESERT B., ZWINGMANN H. (2008) - Thermal history of Triassic sandstones from the Vosges mountains - Rhine Graben rifting area, NE France, based on K-Ar illite dating. *Clay minerals*, 43, p. 363-379.

COCHERIE A., GUERROT C., MARK FANNING C., GENTER A., (2004) - Datation U-Pb des deux faciès du granite de Soultz (Fossé rhénan, France). *C. R. Geosciences* 336 (2004), p. 775-784.

CONTINI D. (1967) - Paléogéographie de la moitié sud du Fossé rhénan au Dogger. The Rhinegraben progress report. *Abh. Geol. landesamt Baden-Württemberg*, 6, p. 44-47, 1 pl., fig. Freiburg im Breisgau (Publ. Serv. Carte géol. Als. Lorr., Strasbourg).

CORTE A.-E. (1962) - Vertical migration of particles in front of moving freezing planes. *Journal of Geological research*, 67, p. 1085-1090.

COUREL L., DURAND M., MAGET P., MAIAUX C., MÉNILLET F., PAREYN C., DUBOIS P., MARCHAL C., YAPAUDGIAN L. (1980) - Trias *in* Mégnien C. (coord), (1980) - Synthèse géologique du bassin de Paris, vol. 1, Stratigraphie et paléogéographie, *Mém. BRGM* 101, p. 37-74.

CUVIER G. (1822) - Recherche sur les ossements fossiles. D'Ocagne éd., Paris, 4e éd., 3, (1834), 435 p.

DACHROTH W. (1985) - Fluvial Sedimentary Styles and Associated Depositional environments in the Buntsandstein West of River Rhine in Saar Area and Pfalz (F.R. Germany) and Vosges (France). In Mader D. (Ed.), Aspects of fluvial sedimentation in the Lower Triassic Buntsandstein of Europe. *Lectures Notes in Earth Sciences*, 4, p. 197-248, Springer ed.

DACHROTH W. (1988) - Genese des linksrheinischen Buntsandstein und Beiziehungen zwischen Ablagerungensbedigungen und Stratigraphie. *Jber. Mitt. oberrhein geol. Ver.*, N.F. 70, p. 267-333, 17 fig., 10 tabl., Stuttgart.

DAUBRÉE A. (1845) - Note sur une zone d'amas ferrugineux placés le long de failles à la jonction du grès des Vosges et du Muschelkalk, dans le Bas-Rhin. *Bull Soc. géol. France*, t. 3, p. 169-174.

DAUBRÉE A. (1852) - Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin. Simon éd., Strasbourg, 501 p.

DAUM J.-R., BOTH J., DUBOIS G., WERVEKE L. VAN (1970) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Haguenau (198) 1ère édition - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Ménillet F., Theobald N., Geissert F., Cavelier C., Boudot J.-P., Dillman F., Thevenin A., Schwoerer P. (1976), 48 p.

DEECKE (1884) - Die Foraminiferenfauna der Zone des *Stephanoceras Humphriesianum* im Unter Elsass. *Abhandlungen zur Geol Spezialkarte von Els.-Lothr.*, IV, 1, p. 16-23.

DEFFONTAINES B. (1990) - Développement d'une méthodologie d'analyse morphostructurale et morphotectonique. Analyse des surfaces enveloppes du réseau hydrographique et des modèles numériques de terrain. Application au Nord-Est de la France. Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie, Paris, 194 p., 6 fig. et 11 pl. h.t.

DELAHAYE-PANCHOUT M. (1992) - Catalogue des stations forestières des collines sous-vosgiennes Est. ONF Alsace et CRPF, 226 p.

DELAHAYE-PANCHOUT M. (1997) - Catalogue des types de stations forestières des Vosges du Nord. ONF- CRPF Alsace, 226 p.

DEPERET C., GIGNOUX M. (1923) - Découverte de *Meniscodon europeum Rutimeyer sp.* (ongulé dichobunidé) dans le gisement éocène de Bouxwiller (Bas-Rhin). *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 1-2, p. 77-88.

DEZAYES CH., CHÈVREMONT PH., TOURLIÈRE B., HOMEIER G., GENTER A. (2005) - Geological study of the GPK4 HFR borehole and correlation with the GPK3 borehole (Soultz-sous-Forêts, France). Open file report BRGM/RP-53697-FR, 94 p.

DÈZES P., SCHMID S.-M., ZIEGLER P.-A. (2004) - Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. *Tectonophysics*, 389, p. 1-39, Elsevier ed.

DIETRICH F.-P. (baron de), (1789) - Description des gîtes et minerais de la Haute-et Basse-Alsace. Paris, Didot éd. Ré-édition 1986, 417 p., 1 p. *errata*, 3 tab. h.t. Champion-Slatkine éd. Genève - mines de fer en Basse Alsace p. 275-301.

DILLMANN E. (1966) - Gisements tardenoisiens de surface de la forêt de Haguenau. *Bull. Soc. préhist. Fr.*, C.R.S.M., janvier 1966, p. XXVII-XXX.

DILLMANN E. (1967) - Découverte d'un atelier tardenoisien dans la Forêt de Haguenau. *Bull. Soc. préhist. Fr.*, C.R.S.M., avril 1967, p. CIX-CXIM.

DILLMANN E. (1971) - Peuplement mésolithique et écologie de la vallée de la Moder, en aval de Haguenau (Basse-Alsace). Thèse 3e cycle, Strasbourg, 227 p.

DILLMANN E. (1975) - La tortue européenne des marais (*Emys orbicularis* L.) en Alsace. *Bull. Ass. Philomat. Als. Lorr.*, 15, p. 37-44, Strasbourg.

DŒBL F., MULLER C., SCHULER M., SITTLER C, WEILER H. (1976) - Les Marnes à foraminifères et les Schistes à poissons de Bremmelbach (Bas-Rhin). Études sédimentologiques et micropaléontologiques. Reconstitution du milieu au début du Rupélien dans le Fossé rhénan. *Sci. Géol. Bull.*, 29, 4, p. 285-320, Strasbourg.

DUBOIS G. (1949) - Carte géologique à 1/80 000 Saverne.

DUBOIS G., GUILLAUME (1929) - Forage à Hochfelden (Bas-Rhin). *Bull Ass. Philomat. Als. Lorr.*, p. 282-286.

DUCHAUFOUR H., PARTY J.-P. (1986) - Étude pédologique préalable au drainage - secteur de référence du Pays de Hanau (cantons de Bouxwiller et de Niederbronn) - carte à 1/10 000. Rapport, 240 p + annexes, ONIC/Ministère de l'Agriculture.

DUPOUEY J.-L. (1983) - Étude phytosociologique et écologique du massif forestier de Haguenau. Thèse Doct. ing. INA, 140 p., XV p. ann.

DURAND M. (1972) - Répartition des galets éolisés dans le Buntsandstein moyen lorrain. *C. R. somm. Soc. Géol. France*, fasc. 5, p. 214-215.

DURAND M. (1978) - Paléocourants et reconstitutions paléogéographiques. L'exemple du Buntsandstein des Vosges méridionales (Trias inférieur et moyen continental) *Sciences de la Terre*, vol. XXII, p. 301-390.

DURAND M. (1980) - TRIAS (de Lorraine) - *In* Mégnien F. coord. (1980) Lexique des noms de Formation. Synthèse géologique du bassin de Paris, *Mém BRGM*, n° 103, p. 13-54.

DURAND M. (1987) - Premiers exemples de sédimentation éolienne dans le Buntsandstein moyen du Nord-Est de la France. 1er congrès français de Sédimentologie. Paris, rés., p. 162-163.

DURAND M. (2010) - Le Trias de Lorraine et Alsace septentrionales. *Bull. inf. Géologues Bass. Paris*, vol. 47, n° 1, p. 13-21.

DURAND M. (2013) - Géologie aux confins des trois-provinces (Lorraine, Champagne, Franche-Comté) de l'éperon bourguignon triasique au seuil morvano-vosgien actuel. Journées d'étude de printemps - 8 au 11 mai 2013. *Bull. inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 50, n° 4, p. 3-24.

DURAND M., BOURQUIN S. (2001) - La discontinuité éocimmérienne majeure sur les affleurements du Keuper du Nord-Est de la France (Modalités d'expression - conséquences sédimentologiques) 8e congrès français de Sédimentologie, Orléans, 12-14 novembre 2001, *Publ. ASF*, n° 36, Paris, p. 111-112.

DURAND M., BOURQUIN S. (2013) - Criteria for the identification of ventifacts in the geological record. A review and new insight. *C. R. Geoscience*, 345, p. 111-1125.

DURAND M., CHRÉTIEN J.C., PONSIGNON J.-M. (1994) - Des cônes de déjection permiens au grand fleuve triasique. Évolution de la sédimentation continentale dans les Vosges du Nord autour de 250 Ma. Livret guide d'excursion, 32 p, Congrès national APBG. Pierron éd., Sarreguemines.

DURAND M., JURAIN G. (1969) - Éléments paléontologiques nouveaux du Trias des Vosges méridionales. *C. R. Acad. Sc. Paris*, sér. D, vol. 269, p. 1047-1049.

DURAND M., MEYER R. (1982) - Silicifications (silcrètes) et évaporites dans la Zone-limite-violette du Trias inférieur lorrain. Comparaison avec le Buntsandstein de Provence et le Permien des Vosges . *Sci. Géol. Bull.*, 35, 1-2, p. 17-39, Strasbourg.

DURINGER P. (1982) - Sédimentologie et paléoécologie du Muschelkalk supérieur et de la Lettenkohle (Trias germanique) de l'Est de la France. Diachronie des faciès et reconstitution des paléoenvironnements. Thèse 3e cycle univ. Strasbourg, 96 p., 11 pl. h.t.

DURINGER P. (1984) - Tempêtes et tsunamis : les dépôts de vagues de haute énergie intermittente dans le Muschelkalk supérieur (Trias germanique de l'Est de la France). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), t. XXVI, n° 6, p. 1177-1185.

DURINGER P. (1987) - Une mégaséquence d'émersion : la Lettenkohle (Trias, Est de la France). Mise en évidence de marées par l'imbrication bipolaire de plaques de dessication. *Geologische Rundschau*, 76/2, p. 579-597, Stuttgart.

DURINGER P. (1988) - Les conglomérats de bordure du rift cénozoïque rhénan. Dynamique sédimentaire et contrôle climatique. Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 278 p., XIV pl.

DURINGER P. (1999) - Du lagon protégé aux tempestites distales un modèle transgressif d'école. L'exemple pédagogique du Muschelkalk supérieur de l'Est de la France (Trias moyen, Alsace - Lorraine). 7e congrès Français de Sédimentologie, Nancy. Livre des excursions, *Publi. ASF* Paris, n° 34, p. 53-84.

DURINGER P., DOUBINGER J. (1985) - La palynologie : un outil de caractérisation des faciès marins et continentaux à la limite Muschelkalk supérieur - Lettenkohle. *Sci. Géol. Bull*, 38, 1, p. 19-34, Strasbourg.

DURINGER P., GALL J.-C. (1989) - Transgression et régression marine sur la marge occidentale du bassin germanique durant le Trias moyen ; une symétrie *Publ. Sédiment. français* 4 (1987) p. 57-69, Paris.

DURINGER P., HAGDORN H. (1987) - La zonation par cératites du Muschelkalk supérieur lorrain (Trias, Est de la France). Diachronisme des faciès et migration vers l'Ouest du dispositif sédimentaire. *Bull. Soc. Géol. France*, (8), t. III, n° 3, p. 601-609.

DUVERNOY G.-L. (1835) - Sur un crâne de *Lophiodon* et sur un fragment de mâchoire d'une très petite espèce de Pachyderme, présumée du genre *Sus. In* : Plusieurs notes sur quelques ossements fossiles d'Alsace et du Jura. *Mém. Soc. Mus. Hist. nat.* Strasbourg, 2, 3, p. 9-10 et *C. R. Acad. Sc. Paris* (1836), 3 B, p. 410-411.

DYLIKOWSKI J. (1985) - Étude en stratigraphie sismique du remplissage de la région de Péchelbronn (Fossé rhénan). Application au développement pétrolier en domaine de fossé d'effondrement. Thèse 3e cycle, univ. Paris-Sud, 212 p., 14 p. bibl., pl. h.t. 1 à 21.

EDEL J.-B. (2004) - Structure et évolution du Fossé rhénan, du Carbonifère à nos jours - apports de la géophysique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar*, vol. 65, p. 21-50.

EDEL J.-B., SCHULMANN K., ROTSTEIN Y. (2007) - The variscan tectonic inheritance of the Upper Rhine Graben: evidence of reactivations in the Lias, Late Eocène-Oligocène up to recent. *J. Earth Sci. (Geol Runsch)*, 96, p. 305-325, Berlin.

EDEL J.-B., SCHULMANN K. (2009) - Geophysical constraints and model of the "Saxothuringien and Rhenohercynian subductions - magmatic arc system" in NE France and SW Germany. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t 180, n° 6, p. 545-548.

ELLER J.-P. von (1976) - Vosges-Alsace. Guide géologique régional, 2e éd., coord. par M. Wolf, 1984, 182 p., Masson éd., Paris (épuisé).

ENRIQUEZ E., GEISSERT D. (1978) - Détermination des zones de potentialités agricoles par l'étude et la cartographie des géomicrochores (collines sous-vosgiennes de l'Outre forêt : Preutchdorf-Lobsann). Rapport DEA, Univ. Strasbourg, 63 p., 9 cartes.

FINATON Ch. (1936) - Découverte d'horizons pétrolifères jurassiques et triasiques à Péchelbronn. *Revue pétrolifère*, p. 1573-1577.

FIRBAS F. (1934) - Zur spät-und nacheiszeitlichen Vegetationgeschichte der Rheinpfalz. *Beih. Botan., Centralblatt*, Bd. LV, Abt. B, Heft 1, p. 120-156, pl. XVI.

FISCHER F. (1962) - Geomorphologische Beobachtungen zwischen mittlerem Oberrhein und der mittlerem Mosel. *Ann. Univ. Saraviensis*, X, p. 14-48.

FITZPATRICK E.-A. (1956) - An indurated soil horizon formed by permafrost. *J. Soil Sciences*, vol. 7, n° 2, p. 248-255.

FLEURY E. (1909) - Le siderolithique suisse. Contribution à l'étude de l'altération superficielle des sédiments. *Mém. Soc. Fribourgeoise de Sci*. Nat. 6, 260 p., Fribourg.

FLUCK P. (1983) - Ceinture de fer du Hochwald. *In* « Fer », Encyclopédie de l'Alsace, vol. 5, p. 2949-2953, publitotal ed. Strasbourg.

FONTES J.-C., FILLY A., GAUDANT J., DURINGER P. (1991) - Origine continentale des évaporites de Haute Alsace : arguments paléoécologiques, sédimentologiques et isotopiques. *Bull. Soc. Géol. France*, 162 (4), p. 725-737, Paris.

FORCHE F. (1935) - Stratigraphie und Paläogeographie des Buntsandsteins im Umkreis der Vogesen. *Mitt. Geol. Staatsinstitut Hamburg*, Heft XV, p.1 5-55.

FORRER R. (1924) - Burbach et deux nouvelles stations du Paléolithique inférieur en Basse Alsace. Bonnefontaine et Gœrsdorf. *Cahiers alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire*, XVe année, p. 57-60.

FOUCAULT A., RAOULT J.-L. (1980) - Dictionnaire de Géologie, 335 p., Masson (Dunod) éd.

FOURNIGUET J. (1987) - Géodynamique actuelle dans le Nord et le Nord-Est de la France. *Mém. BRGM* n° 127, 173 p., 9 pl. h.t., Orléans.

FRANZEN J.-L. (1968) - Revision der gattung *Palaeotherium* Cuvier 1804 (*Palaeotheriidae*, *Perissodactyla*, *Mammalia*). Inaug. Dissert. Dokt Nat. math. Fak. Albert-Ludwigs, Univ. Freiburg i. B., Band 1 (text.), 181 p., Band 2 (Tafeln u tabellen), 35 pi., 15 tbl.

FRITZ B., JEANNETTE D. (1981) - Pétrographie et contrôle géochimique expérimental des transformations superficielles de grès de monuments. *Sci. Géol. Bull.*, 34, 4, p. 193-208, Strasbourg.

GALL J.-C. (1971) - Faunes et paysages du Grès à *Voltzia* du Nord des Vosges. Essai paléoécologique sur le Buntsandstein supérieur. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.* 34, 318 p., Strasbourg.

GALL J.-C. (1972) - Permanence du régime de chenaux et de flaques dans les Vosges du Nord pendant toute la durée du Buntsandstein. *Sci. Géol. Bull.*, 25, 4, p. 307-321, Strasbourg.

GALL J.-C. (1985) - Fluvial depositional environment evolving into deltaic setting with marine influence in the Buntsandstein of the northern Vosges. *In* Mader D. (ed.), Aspect of fluvial sedimentation in the Lower Triasic Buntsandstein of Europe. *Lectures notes in Earth Sciences*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 449-477.

GALL J.-C, DURAND M, MULLER E. (1977) - Le Trias de part et d'autre du Rhin. Corrélations entre les marges et le centre du bassin germanique. *Bull. BRGM*, 2e sér., sect. 4, n° 3, p. 193-204.

GALL J.-C, GRAUVOGEL L. (1967) - À propos d'une végétation fossile conservée *in situ* dans le Buntsandstein supérieur des Vosges. *C. R. somm. Soc. géol. France*, 11, fasc. 7, p. 301-303.

GALL J.-C, GRAUVOGEL-STAMM L. (2005) - The early Middle Triasic "Grès à *Voltzia*" Formation of eastern France: a model of environmental refugium. *Paleovol* 4 (2005) p. 569-584.

GAMERMANN N. (1979) - Contribution à l'étude de la diagenèse des grès : couleur rouge, argiles authigènes et induration. Formations d'Estrada Nova, de Rosario do sul et de Botucatu (Brésil) et Buntsandstein des Vosges (France). *Mém. Sci. Géol.* 59, 121 p., Strasbourg.

GEISLER D. (1978) - Une coupe détaillée du Muschelkalk moyen à Sarrebourg (Moselle). *103e Congrès nat. Soc. Sav. Sciences*, fasc. 4, p. 335-341.

GEISLER-CUSSEY D. (1986) - Approches sédimentologiques et géochimiques des mécanismes générateurs de formations évaporitiques actuelles et fossiles Marais salans de Camargue et du Levant espagnol, Messinien méditerranéen et Trias lorrain. *Sciences de la Terre*, Mém. 48, 226 p., 21 pl., Nancy.

GEISLER D, ADLOFF D., DOUBINGER J. (1978) - Découverte d'une microflore d'âge Carnien inférieur dans la série salifère lorraine. *Sciences de la Terre*, tome XXII, 4, p. 381-399, 1 pl. h.t., Nancy.

GEISSERT D. (1981) - Aspects de la cartographie d'unités de terrain à l'évaluation agronomique actuelle et potentielle des terres. Thèse 3e cycle, ULP Strasbourg, 108 p.

GEISSERT F. (1962) - Nouvelle contribution à l'étude de la flore pliocène des environs de Haguenau. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 15, 2, p. 37-49, Strasbourg.

GEISSERT F. (1968) - Mollusken und Celtis-Reste aus einem lössprofil in Niederbetschdorf, Elsass. *Mitt. bad. landesver. Naturk. u. Naturschutz*, N.F., 9, 4, p. 671-678, Mainz.

GEISSERT F. (1970) - Mollusken aus den pleistozänen Mosbacher Sanden bei Wiesbaden (Hessen) *Mainzer. Naturw. Archiv.*, 9, p. 147-203.

GEISSERT F. (1972a) - Neue Untersuchungen im Pliozän der Haguenauer Umgebung (Nordliches Elsass). *Mainzer. Naturw. Archiv.*, 11, p. 191-221.

GEISSERT F. (1972b) - Mollusken aus besonders gelagerten lössen im nördlichen Elsass. *Mitt. bad. Landesver. Naturk. u. Naturschutz*, N.F., 10, 4, Mainz. p. 693-691.

GEISSERT F. (1980) - Flores des lignites quaternaires confrontées à une flore classique actuelle. *Ass. des Amis du Jardin botanique de Saverne*, *Bull. annuel*, 1980, p. 21-24.

GEISSERT F. (1987) - Soufflenheim, berceau de la paléontologie du Pliocène alsacien. *Documenta naturae*, 38, p. 1-11, München.

GEISSERT F. (1992) - Aspects paléontologiques du Néogène et du Pléistocène dans le Nord de l'Alsace et les régions limitrophes. *Bull. Soc. Indust. Mulhouse*, n° 824, p. 159-172.

GEISSERT F. (2000) - Remarques sur les mollusques pliocènes et quaternaires d'Alsace. Eléments pour l'étude des faunes malacologiques de la vallée rhénane. *Bull. Ass. philom. Als. Lorr.*, 36, p. 21-44, Strasbourg.

GEISSERT F., GREGOR H.-J., MAI D.-H. (1990) - Die Saugbaggerflora. *Documenta naturae*, 57, 208 p., München.

GEISSERT F., MARNOT-HOUDAYER J., MÉNILLET F., VOGT H. (1978) - Les sables gris du Quaternaire ancien en Basse Alsace. *Recherches géographiques à Strasbourg*, n° 7, p. 153-160.

GEISSERT F., MÉNILLET F., FARJANEL G. (1976) - Les alluvions plio-quaternaires dans le département du Bas-Rhin. *Sci. Géol.* 29, 2, p. 121-170, Strasbourg.

GEISSERT F., MÉNILLET F., VOGT H. (1976) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Seltz-Wissembourg (199-169) - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Geissert F., Ménillet F., Boudot J.-P., Chateauneuf J.-J., Dœbl F., Farjanel G., Jacob C., Dr Maus, Thevenin A., Schwoerer P., 59 p., 4 tabl. h.t.

GEISSERT F., MÉNILLET F., BOUDOT J.-P., CHATEAUNEUF J.-J., DŒBL F., FARJANEL G., JACOB C., DR MAUS, THEVENIN A., SCHWOERER P. (1976) - Notice explicative, Carte géol. France, feuille Seltz-Wissembourg (199-169), 59 p., 4 tabl. h.t. - Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, carte géologique par Geissert F., Ménillet F. et Vogt H. (1976).

GEISSERT F., MÉNILLET F., FARJANEL G. (1979) - Neue Fossilfunde im Pliozän der Haguenauer Terrasse. *Mitt. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz*, N. F; 12, 1-2, p. 17-24, pl. 4, Freiburg im Breisgau.

GEISSERT F., MERKEL J.-J., ZIMMERMANN S. (1992) - Observations floristiques, zoologiques et géologiques inédites dans le Bas-Rhin. *Bull. Ass. Philomat. Als. Lorr.*, t. 28, p. 7-15, Strasbourg.

GEISSERT F. (1976) - Itinéraire 4 a *in* Eller J.-P. von *et al.* - Guide géologique régional : Vosges-Alsace, Masson, éd.

GENTER A (1989) - Géothermie roches chaudes sèches. le granite de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin,France). Thèse univ. orléans 201 p., 4 pl., 4 annexes, listes.

GENTER A., EVANS K., CUENOT N., SANJUAN B. (2010) - Contribution of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *C. R. Geoscience* 342 (2010), p. 502-516.

GENTER A., FRITSCH D., CUENOT N., BAUMGAERTNER J., GRAFF J.-J. (2009) - Overview of the current activities of the European EGS Soultz project: from exploration to electricity production, 34th Stanford Reservoir Engineering Geothermal Workshop 2009, February 09-11 2009, San-Francisco, California, USA, p. 163-169.

GÉRARD A., MENJOZ , SCHWOERTER P. (1984) - L'anomalie thermique de Soultz-sous-Forêts, Géothermie Actualités, n° 3, p. 35-42.

GEYER M., NITSCH E., SIMON T. (2011) - Geologie von Baden-Württemberg. 5e éd. entièrement revue et actualisée (1ère éd. Geyer O.-F. et Gwinner, 1964), 627p., Schweizerbart éd., Stuttgart.

GIGNOUX M. (1928) - Sur la découverte d'un Rhinocéridé [*Aceratherium* cf. *filholi* Osborn) dans les couches pétrolifères de Péchelbronn (Bas-Rhin). *Bull. Soc. géol. Als.-Lorr.*, 1, 3, p. 145-152.

GILLET S. (1927) - Sur le Bajocien supérieur et sur le Bathonien de Basse Alsace. *Bull. Soc. géol. Fr.*, XXVII, p. 443-452, 1 pl. h.t.

GILLET S. (1937) - Les Ammonites du Bajocien d'Alsace et de Lorraine. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, n° 5. 130 p., 5 pl., Strasbourg.

GILLET S. (1944) - La faune oligocène de Péchelbronn. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), IV, p. 233-246.

GILLET S. (1950) - La faune des invertébrés des Couches de Péchelbronn. *Rev. Inst. Pet. Comb. Liqu.*, p. 77-86, 5 pl.

GILLET S. (1953) - Les Marnes à Cyrènes de l'Oligocène d'Alsace. *Rev. IFP*, VIII, 8, p. 395-422.

GILLET S. (1954a) - Étude sur l'Oligocène supérieur d'Alsace. *Bull. Soc. géol. Fr.* (6), 4, p. 25-29.

GILLET S. (1954b) - Flore de l'Oligocène, d'après les sondages. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 7, p. 69-80, Strasbourg.

GRADSTEIN F.-M., OGG J., SMITH A.-J., BLEEKER W., LOURENS J. (2004) - A new geological time scale with special reference to the Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27, p. 83-100.

GRAILLAT A. (1969) - Étude hydrogéologique par prospection électrique de la nappe des alluvions pliocènes de la région de Haguenau. Mémoire de diplôme d'ingénieur géophysicien, 79 p., ann. 1 à 5b, Strasbourg.

GRAMBAST L. (1972) - Principes de l'utilisation stratigraphique des Charophytes. Application au Paléogène d'Europe occidentale. *In* Colloque sur les méthodes et tendances de la Stratigraphie. Orsay, sept. 1970, *Mém. BRGM* n° 77, t. I, p. 319-328.

GRAUVOGEL-STAMM L. (1978) - La flore du Grès à Voltzia (Buntsandstein supérieur) des Vosges du Nord (France). Morphologie, anatomie, interprétation phylogénétique et paléogéographique. *Sci. Géol. Mém.* 50, 225 p., 54 pl. h.t., Strasbourg.

GRIMM K.-I. (1998) - Correlation of the Rupelian coastal and basin facies in the Mainz basin (Oligocene, Germany). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Stuttgart, p. 146-156.

GRIMM K.-I., GRIMM M.-C., SCHINDLER T. (2000) - Lithostratigraphy Gliederung im Rupelium/Chattium des Mainzer Beckens, Deutschland. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Stuttgart, 218, 3, p. 343-397.

GROSCHOPF R., VILLINGER E. (1998) - mit Beit v. Brüstle W., Linck G., Wagenplast P., et Zwölfer F. Erläuterungen [zu:] Geologische Schulkarte von Baden-Württemberg 1:1 000 000, 142 p. Freiburg i. B.

GUILLOCHEAU F., ROBIN S., ALLEMAND P., BOURQUIN S., BRAULT N., DROMART G., FRIEDENBERG R., GARCIA J.-P., GAULIER J.-M., GAUMET F., GROSDOY B., HANOT F., LE STRAAT P., METTRAUX M., NALPAS T., PRIJAC C., ROGOLLET C., SERRANO O., GRANJEAN G. (1999) - Évolution géodynamique du bassin de Paris : apport d'une base de données stratigraphique 3D. *Bull. Inf. géol. Bass. Paris*, vol. 36, n° 4, p. 3-35.

GUILLOCHEAU F., PERON S., BOURQUIN S., DAGALLIER G. (2002) - L'inondation marine du Trias moyen (Calcaire à cératites) dans l'Est du bassin de Paris. *Bulletin Inf. Géol. Bass. Paris,* vol. 39, n° 3, p. 5-12.

GUILLOCHEAU F., PÉRON S., BOURQUIN S., ROBIN C., DAGALLIER G. (2002) - Les sédiments fluviatiles (faciès Buntsandstein) du Trias inférieur et moyen de l'Est du bassin de Paris. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 39, n° 3, p. 13-22.

HAAS J.-O., HOFFMANN C.-R. (1929) - Temperature gradient in Pechelbronn oil bearing region, lower Alsace: its determination and relation to oil reserves, American *Association Petroleum Geologist Bulletin*, XIII, n° 10, p. 1257-1273.

HAGEDORN E.-M., BŒNIGK W. (2008) - The Pliocène and Quaternary sedimentary and fluvial history in the Upper Rhine Graben based on heavy mineral analyses. *Netherland Journal of geosciences* (Geologie en Mijnbouw), 87-1, p. 21-32.

HAGUENAUER B. (1963) - Étude séquentielle du Muschelkalk supérieur lorrain. *Mém. BRGM*, 15, p. 148-153.

HANZO M. (1980) - Schistes cartons *in* Mégnien F. coord. (1980). Synthèse géologique du bassin de Paris, vol. III, Lexique des noms de formation, p. 93.

HAQ B.-U., HARDENBOL J., VAIL P.-R. (1987) - The Chronology of fluctuating sea level since the Triasic. *Science*, 235, p. 1156-1167, Washington.

HAUG E. (1885) - Note préliminaire sur les dépôts jurassiques du Nord de l'Alsace. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), XIV, p. 47-63.

HAUG E. (1888) - Mitteilungen über die Juraablagerungen im nördlichen Unter-Elsass. *Mitt. Comm. f. Geol. Land. Els.-Loth.* I, p. 24-42, Strasbourg.

HEIM J., LAUTRIDOU J.-P., MAUCORPS J.-H., PUISSEGUR J.-J., SOMMÉ J., THEVENIN A. (1982) - Achenheim : une séquence type des lœss du Pléistocène moyen et supérieur. *Bull. Assoc. Fr. Et. Quaternaire*, 2-3, p. 147-159.

HICKEL R. (1932) - Sur deux gisements de plantes tertiaires dans le Bas-Rhin. *C. R. Acad. Sci.*, p. 1009-1010, Paris.

HINSKEN S., USTASZEWSKI K., WETZEL A. (2007) - Graben width controlling syn-rift sedimentation: the Paleogene southern Upper Rhine Graben as an example. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 96, p. 979-1002.

HŒNE E. (1923) - Geologische Untersuchungserbgebnisse im erdölgebiet des Unter-Elsass. *Mitt. Badisch. Geol. Land.-Anst.*, IX, 8, p. 429-458, 2 pl.

HOF H. (1993) - Contribution à la carte géologique de France : découverte d'un lambeau de Toarcien à Gumbrechtshoffen (Bas-Rhin). *Bull. Soc. Hist. Colmar*, vol. 62, Années 1993-1994, p. 87-95, 2 pl. h.t.

HORNUNG J. (1999) - Eine ichnofauna dem klastischen Zechstein (oberes Perm) vom Wolfsberg bei Neustadt a. d. Weinstrasse und Anmerkungen zur Paläogeographie/Paläoökologie des kontinentalen Zechstein in der Pfälzer Synform (Pfalz) *Mitt. Pollichia*, 86, p. 7-33, 13 fig., 1 tbl., Bad Dürkheim.

HÙRZELER J. (1947) - *Alsaticopithecus leemani nov. gen. nov. spec*, ein neuer Primate aus dem unterer Lutétien von Buchsweiler im Unterelsass. *Eclog. geol. Helv.*, 40, p. 343-356.

ILLIES J.-H. (1977) - Ancient and recent rifting in the Rhinegraben. *Geol. en Mijnbouw*, 56 (4), p. 329-350, Amsterdam.

ILLIES J.-H. (1979) - Mechanisms of graben formation. *Tectonophysics*, vol. 73, n° 1-3, p. 249-266.

ILLIES J.-H., BAUMANN H., HOFFERS B. (1981) - Stress pattern and strain release in the alpine foreland. *Tectonophysics*, 71, p. 157-172.

ILLIES J.-H., BAUMANN H. (1982) - Crustal dynamics and morphodynamic of Western European Rift Systems. *Z. Geomorph.*, 42, p. 135-165.

ILLIES J.-H., FUCHS K. eds (1974) - Approach to taphrogenesis. Schweizerbart ed., Stuttgart, 460 p.

ILLIES J.-H., GREINER G. (1978) - Rhinegraben and the alpine System. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 89, n° 5, p. 770-782.

ILLIES J.-H., GREINER G. (1979) - Holocene movements and state of stress in the Rheingraben rift system. *Tectonophysics*, 52, p. 349-359, Amsterdam.

ILLIES J.-H., MUELLER S. eds (1970) - Graben problems Schweizerbart ed. Stuttgart.

JAEGER J.-J. (1971) - La faune de Mammifères du Lutétien de Bouxwiller (Bas-Rhin) et sa constitution à l'échelle des zones biochronologiques de l'Éocène européen. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 24, 2-3, p. 93-105.

JANENSCH W. (1902) - Die Jurensisschisten von Elsass. *Abhandlungen Geol. Spezialkarte von Els.-Lothr.*, Neue Folge., H.V, 151 p., XII pl. h.t., Strasbourg.

JEANNETTE D. (1981) - Modification des grès en œuvre dans les monuments alsaciens. *Sci. Géol Bull.*, 34, 4, p. 37-46, Strasbourg.

JEANNETTE D. (1982) - Altération des grès. Encyclopédie de l'Alsace. Vol. I, p. 163-168, Publitotal éd., Strasbourg.

JUNG J. (1923) - Une application du microscope au diagnostic des horizons marins dans les marnes Pétrolifères. *Bull. Inst. Fr. Pétrole*, p. 1-4.

KAPPELMEYER O., GERARD A., SCHLOEMER W., FERRANDES R., RUMMEL F., BENDERITTER Y. (1991) - European HDR Project at Soultz-sous-Forêts: General presentation. Geotherm. Sci.& Tech., vol. 2, (4), p. 263-289.

KEMNA H.-A. (2008) - A revised stratigraphy for the Pliocène and Lower Pleistocene Deposits of the Lower Rhine Embayment. *Netherland Journal of geosciences (Geologie en Mijnbouw)*, 87-1, p. 91-105.

KESSLER P. (1909) - Die Tertiären Kustenkonglomerate in der mittelrheinischen Tiefebene mit besonderer Berücksichtigung der elsässischen Vorkommen. *Mitt. geol. Landesamt. Els. Lothr.*, 12, p. 167-292, Strasbourg.

KHATIB-NGUYEN THI N.-T. (1977) - Contribution à l'étude des conodontes du Muschelkalk supérieur lorrain. Thèse 3e cycle univ. Nancy I, 81 p.

KIRCHHEIMER F. (1949) - Zur Kenntniss des Pliocänflora von Soufflenheim im Elsass. *Ber. Oberhess. Ges. Natur u. Heilkunde*, Abt. 243, p. 206-230, Giessen.

KNIPPING M. (2008) - Early and Middle Pleistocene assemblages of deep core drillings in the northern Upper Rhine Graben, Germany. *Netherland Journal of geosciences (Geologie en Mijnbouw)*, 87-1, p. 51-65.

KŒHN-ZANINETTI L., BRONNIMANN P., GALL J.-C. (1969) - Description de quelques foraminifères du Grès à *Voltzia* (Buntsandstein supérieur) des Vosges (France). *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, t. 22, 1-2, p. 121-131, 3 pl., Strasbourg.

KOSSMATT F. (1927) - Gliederung des variszischen Gebirgsbaues. *Abh. Sächs. Geol. Landesamtes*, 1, 39 p.

KOZUR H. (1974) - Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias, Teil I und II. *Freiberger Forschungsh.* C 280, Teil I, 56 p., Teil II, 71 p.

KOZUR H., BACHMANN G. (2008) - Update correlation of the German Triasic with the Thetyan scale and assigned numeric ages. *Ber. Geol. Bundesamst.*, Wien, 76, p. 53-58.

KOZUR H., MOSTLER (1972) - Die Bedeutung der Conodonten für stratigraphische und paläeogeographische Untersuchungen in der Trias. *Mitt. Geol. Bergbaustud.*, 21, p. 777-811.

KRAUSE H.-U. (1974) - Geomorphologische Untersuchungen im nordlischen Elsass unter Berücksichtigung des "Haguenauer Forst". Karlsruhe geogr. H. 6, p. 72-107.

LAKOWITZ C. (1895) - Beitrage zur Kenntniss des Tertiärflora des Oberelsass. Die Oligocän flora der Umgegend von Mulhäusen i/E. *Abh. Geol Spezialkarte Land. Els. Lothr.*,V, III, p. 179-359, Strasbourg.

LAMBERT J. (coord.), BERNARD P., CZITROM G., DUBIÉ J.-Y., GODEFROY P., LAMBERT J., LEVRET-ALBARET A. (1997) - Les tremblements de terre en France. Hier, aujourd'hui, demain …, 196 p., BRGM éd., Orléans.

LAMBERT J., LEVRET-ALBARET A., CUSTING M., DUROUCHOUX C. (1996) - Mille ans de séismes en France. Catalogue d'épicentre, paramètres et références, 50 p., Ouest édition, Presses académiques, Nantes.

LAMBERT J., WINTER T.-J.-B., DEWEZ P., SABOURAULT P. (2005) - New hypotheses on the maximum damage area of the 1356 Basel earthquake (Swizerland). Q. Sci. Rev., 24, p. 381-399.

LE MEE G., TRICART J. (1955) - Alluvions et tourbe préwürmienne à Gries (Bas-Rhin). *Bull. Soc. Géol. France*, (6), V, p. 257-265.

LEMEILLE F., CUSHING M.-E, COTTON F., GRELLET B., MÉNILLET F., AUDRU J.-C., RENARDY F., Fréhoc C. (1999) - Traces d'activité pléistocène de failles dans le Nord du fossé du Rhin supérieur (plaine d'Alsace, France) *C. R. Acad. Sci. (Earth & Planetary Sciences)*/ Elsevier, Paris, 328, p. 839-846.

LE MINOR J.-M. (1978) - Gisements de fer dans l'Alsace du Nord. *Bull. Pierres et Terres* n° 15 et 16, p. 105-112, Strasbourg, repris, pour l'essentiel, dans l' Encyclopédie de l'Alsace, 1983 « mines et minières de l'Alsace du nord », vol. 5, p. 2953-2954.

LEPPLA A. (1888) - Uber der Buntsandstein im Haardtgebirge (Nordvogesen). *Geognost. Jh.*, Band 1, p. 39-54, 3 fig. Kassel.

LEPSIUS R. (1875) - Beitäge zur Kenntniss der Juraformation im Unter-Elsass. Leipzig, 64 p., 1 pl. h.t.

LERCH D. (1976) - le terme « Outre-Forêt » a 30 ans. *L'Outre-Forêt*, 13, p. 5-6.

LERICHE M. (1927) - Les poissons de la Molasse suisse. *Mém. Soc. pal. Suisse*, p. 46-47.

LINCK G. (1888) - Die Basalte des Elsass. *Mitt. Geol. Land. Els. Lothr.*, 1, p. 49-52.

LIPPOLT H.-J., TODT W., HORN P. (1974) - Apparent Potassium-Argon Ages of lower Tertiary Rhine Graben volcanics. *In* Illies J.-H. and Fuchs K. Approachs to taphrogenesis, p. 213-221, (voir cette référence).

LOPEZ-GOMEZ J., ARCHE A., MARZO M., DURAND M. (2005) - Stratigraphical and palaeogeographical significance of the continental sedimentary transition across the permo-triasic transition in Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 223, p. 3-23.

LUCAS J. (1962) - La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias Mém. *Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 201 p. (Trias de Lorraine, p. 61-74).

LUDWIG B. (1988) - Étude et carte géomorphologique du secteur lœssique de Betschdorf (Bas-Rhin) et son contact avec le cône alluvial de la forêt de Haguenau. Mém. Maîtrise Univ. Louis Pasteur Strasbourg, 112 p.

MADER D. (1985) - Depositional mechanisms and facies models of intertonguing aeolien environment and fluviatil milieu in the Middle Buntsandstein of Mid-European Triassic Basin. *In* Mader D. (Editor), Aspect of fluvial sedimentation in the Lower Triassic Buntsandstein of Europe. *Lectures Notes in Earth Sciences*, 4, p. 127-163, Springer éd.

MAÏKOVSKY V. (1952) - Le pétrole dans le Haut-Rhin : le sondage de Staffelfelden IV-DP 25. *Bull. Soc. Indust. Mulhouse*, 1, p. 25-34.

MARCHAL C. (1983) - Le gîte salifère keuperien de Lorraine-Champagne et les formations associées. Études géométriques. Implications génétiques. *Sciences de la Terre*, Mém. 44, 1 vol. texte, 139 p., 1 vol. XV pl. h.t., Nancy.

MARCHAL-PAPIER F. (1998) - Les insectes du Buntsandstein des Vosges (NE de la France). Biodiversité et contribution aux modalités de la crise biologique du Permo-Trias, thèse université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 176 p., 30 pl. h.t.

MARTINI E. (1973) - Nannoplankton-Massenvorkommen in den Mittlerer Pechelbronner Schichten (Unter- Oligozän). *Oberrhein geol. Abh.* Karlsruhe, 22, ½, p. 1-12.

MÉGNIEN C. (coord), (1980) - Synthèse géologique du bassin de Paris, vol. 1, 466 p., vol. 2, Atlas, *Mém. BRGM*, n° 102, vol. 3, Lexique des noms de formations, *Mém. BRGM*, n° 103, 467 p.

MÉNILLET F. (1988) - Meulières, argiles à meulières et meuliérisation. Historique, évolution des termes et hypothèses génétiques. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 25, 4, p. 71-79.

MÉNILLET F. (2010) - Cadre géologique des anciennes mines de fer de Mietesheim. *In* Watthle A. et Sohn -J.G. (2010), Mietesheim, aux racines de l'histoire, Annexe III, p. 198-208, 3 fig., 1 tabl. et 3 ph. h.t., Pointillés éd., Hoenheim.

MÉNILLET F., BENECKE E.-W., SCHUMACHER E., VAN WERVEKE L., LEPPLA A., THÜRACH H., ILLIES H., RINCK G., SCHWOERER P. (1989) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Lembach (168) - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Ménillet F. et coll. (1989), 91 p.

MÉNILLET F., COULOMBEAU C., GEISSERT F., KONRAD H.-J., SCHWOERER P. (1989) - Notice explicative, Carte géol. (1/50 000), feuille Lembach (168), 91 p., Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Carte géologique par Ménillet F., Benecke E.-W., Schumacher E., Van Werveke L., Leppla A., Thürach H., Illies H., Rinck G., Schwoerer P. (1989).

MÉNILLET F., BÜCKING H., SCHUMACHER E., WEIGAND B., FOUQUOIRE J., JUND J., HUMBERT J., VOGT H., LETTERMANN M., RINCK G. (1979) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Saverne (233) - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Ménillet F., Vogt H., Adloff C., Andreieff P., Boeglin J.-L., Boudot J.-P., Chateauneuf J.-J., Farjanel G., Geissert F., Grondin -J.L., Hoff M., Jacob C., Lefavrais-Raymond A., Lougnon J., Schwoerer P. (1979), 61 p.

MÉNILLET F., BÜCKING H., SCHUMACHER E., WERVEKE L. VAN HAUG E., VOGT H., GROSS J.-J., REICHELT R., SCHIRARDIN J., PETRY F., THEVENIN A. (1979) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Bouxwiller (197) - Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Ménillet F., Vogt H., Adloff C., Andreieff P., Boudot J.-P., Chateauneuf J.-J., Gall J.-C., Geissert F., Lefavrais-Raymond A., Petry F., Thevenin A., Schwoerer P. (1979), 59 p.

MÉNILLET F., THÉOBALD N., GEISSERT F., CAVELIER C., BOUDOT J.-P., DILLMANN F., SCHWOERER P., THÉVENIN A.-G. (1976) - Notice explicative Carte géol. France, feuille Haguenau (198), 1ère éd., Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 48 p. Carte géologique par Daum J.-R., Both J., Dubois G., Werveke L. van (1970).

MÉNILLET F., VOGT H., ADLOFF C., ANDREIEFF P., BOEGLIN J.-L., BOUDOT J.-P., CHATEAUNEUF J.J-., FARJANEL G., GEISSERT F., GRONDIN J.-L., HOFF M., JACOB C., LEFAVRAIS-RAYMOND A., LOUGNON J., SCHWOERER P. (1979) - Notice explicative, Carte géol. France, feuille Saverne (233) - Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 61 p. (Les contributions de chaque auteur sont indiquées en fin de notice). Carte géologique par Ménillet F., Vogt H., Adloff C., Andreieff P., Boeglin J.-L., Boudot J.-P., Chateauneuf J.-J., Farjanel G., Geissert F., Grondin J.-L., Hoff M., Jacob C., Lefavrais-Raymond A., Lougnon J., Schwoerer P. (1979).

MÉNILLET F., VOGT H., ADLOFF C., ANDREIEFF P., BOUDOT J.-P., CHATEAUNEUF J.-J., GALL J.-C., GEISSERT F., LEFAVRAIS-RAYMOND A., PETRY F., THÉVENIN A., SCHWOERER P. (1979) - Notice explicative, Carte géol. France, feuille Bouxwiller (1979) - Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 59 p. Carte géologique par Ménillet F., Bücking H., Schumacher E., Werveke L. Van, Haug E., Vogt H., Gross J.-J., Reichelt R., Schirardin J., Petry F., Thevenin A. (1979).

MIEG M. (1885) - Note sur un gisement des Couches à *Posidonomya Bronni* à Minversheim (Basse Alsace). *Bull. Soc. géol. France* (3), XIII, p. 217-223.

MIGNERET (1858) - Notions générales sur la topographie, la géologie et la minéralogie du département du Bas-Rhin, p. 562-693.

MONNON J.-L. (1978) - Observations préliminaires sur l'érosion des sols en Outre-Forêt (Alsace), collines des bans de Schœnenbourg, Hoffen, Hunspach, Hermerswiller. *Rech. Géogr.* Strasbourg, 9, p. 47-52.

MOREL G. (1972) - Étude hydrodynamique par modèles analogiques des alluvions pliocènes de la région de Haguenau. Thèse 3e cycle, univ. Strasbourg, 116 p., + ann.

MOSER C., GALL J.-C., TARDY Y. (1972) - Géochimie des illites du Grès à *Voltzia* du Buntsandstein supérieur des Vosges du Nord (France). *Chemical geology*, vol. 10, p. 157-177.

MULLER C. (1971) - Nannoplankton-Gemeinschaften aus dem W. deutchen Mittel-Oligocän. *Notizbl. hess. L. Amt. Bodenforch*, 99, p. 43-53.

NIKISHIN A.-M., ZIEGLER P.-A., STEPHENSON R.-A., USTINOVA M.-A. (1999) - Santonian to Palaeocene tectonics of the East-European craton and adjacents areas. *Bull. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg., Sci. Terre*, 69-supp. A, p. 147-159.

NIVIÈRE B. (1998) - Géomorphologie quantitative et néotectonique du Fossé rhénan : modèles de soulèvement des flancs du rift et de dégradation de terrasses quaternaires. Thèse Univ. Strasbourg, 325 p. (extraits en partie de périodiques).

NOËL E. (1905) - Note sur la faune des galets du Grès vosgien. *Bull. Soc. Sciences Nancy*, t. 6, fasc. 3, p. 46-73., 2 pl.

NORDSIECK N. (1974) - Fossile Clausilien II. Clausilien aus dem O-Pliozän des Elsass. *Arch. Moll.*, 104, p. 29-39, Frankfurt a. M.

NORDSIECK N. (1976) - Fossile Clausilien III. Clausilien aus dem O-Pliozän des Elsass. *Arch. Moll.*, 107, p. 73-82, Frankfurt a. M.

NORMAND B. (1984) - Découvertes archéologiques en forêt de Haguenau. Encyclopédie de l'Alsace, vol. 6, p. 3683-3690, Strasbourg.

OHLUNGEN-KEFFENDORF (1997) - Haut lieu du courage et de la solidarité, 399 p. éd COPRUR, (anciennes recherches et exploitation du pétrole, p. 253-274).

PALAIN C. (1966) - Contribution à l'étude sédimentologique du « Grès à Roseaux » (Trias supérieur) en Lorraine. *Sci. de la Terre*, 11, p. 245-291, Nancy.

PARTY J.-P., CHOTTE J.-L., BOULANGER L. (1983) - Levers pédologiques de la carte des terres agricoles (CDTA) de Haguenau à 1/50 000. 1 carte + notice, 63 p. (34 profils, 912 sondages) - SATED, Sodeteg/Ministère de l'agriculture.

PARTY J.-P., MULLER N., SAUTER J. (2005) - Guide des sols d'Outre Forêt. SOL-CONSEIL/ARAA-Région Alsace. Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2543 p.

PARTY J.-P., MULLER N., SAUTER J. (2008) - Guide des sols du Pays de Hanau et de Saverne, SOL-Conseil/Araa-Région Alsace. Agence de l'eau Rhin-Meuse, 275 p.

PARTY J.-P., MULLER N. (2008) - Carte des sols d'Alsace à 1/250 000. Notice explicative sommaire, SOL-Conseil/Araa-Région Alsace. Conseil Régional, Agence de l'eau Rhin-Meuse, Ministère de l'Agriculture, 71 p.

PÉRON S., BOURQUIN S., FLUTEAU F., GUILLOCHEAU F. (2005) - Paleoenvironment reconstructions and climatic simulations of the Early Triasic: impact of the water and sediment supply on the preservation of fluvial system. *Geodynamica Acta*, 18/6, p. 431-436.

PERRIAUX J. (1961) - Contribution à la géologie des Vosges gréseuses. *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 18, 236 p.

PETIT C., CAMPY M., CHALINE J., BONVALOT J. (1996) - Major palaeohydrographic changes in Alpine foreland during the Pliocène-Pléistocène. *BOREAS*, 25, p. 131-143.

PICOT L. (2002) - Le Paléogène des synclinaux du Jura et de la bordure sud-rhénane ; paléontologie (Ostracodes), paléoécologie, biostratigraphie et paléogéographie. *Geofocus*, 5, 240 p.

PIRKENSEER C., SPEZZAFERRI S., BERGER J.-P., ROUSSE S., FISHER H. (2005) - Paleogene microfauna and stratigraphy of the Allschwill-2 and DP 202 bore holes from the Southern Upper Rhine Graben and faunal reworking problems. *Geophysical Research Abstract*, vol. 7, 07806, EGU, 2005.

PIRKENSEER C., BERGER J.-P. (2006) - Marine and brackish Oligocene Ostracoda from the Southern Upper Rhine Graben (Central Europe): Paleoecological, Paleogeographical and taxonomic implications. *Geophysical Research Abstract*, vol. 8, 08336, EGU, 2006.

PREUSSER F. (2008) - Characterisation and evolution of the River Rhine system. *Netherlands Journal of Geosciences*, 87-1, p. 7-19.

PRIBNOW D., SCHELLSCHMIDT R. (2000) - Thermal tracking of Upper crustal fluid flow in the Rhine Graben, *Geophysical Research Letters*, 27 13, p. 1957-1960.

RAUSCHER R., SCHMIDT J.-P. (1990) - Recherches palynologiques dans le Jurassique d'Alsace (France). *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 62, p. 107-156.

RAUSCHER R., SCHULER M., SITTLER C. (1988) - Les dynokystes dans le Paléogène d'Alsace : le problème de l'origine du sel. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série II, p. 175-178.

RAUP D.-M., SEPKOSKI J.-J. (1982) - Mass extinctions in the fossil record. *Sciences*, 215 p. 1501-1503.

REICHENBACHER B. (2000) - Das brackisch-lakustrine Oligozän und Unter-Miozän im Mainzer Becken und Hanauer Becken: Fishfaunen, Paläoökologie, Biostratigraphie, Paläogeographie. *Courrier Forschungsinsi. Senckenberg*, 222, 143 p.

REIS O.-M., VON AMMON L. (1903) - Erlaüterungen zu Blatt Zweibrucken der geognostischen Karte 1/100 000 des Könnigsreiches Bayern.

REY J. (ed.) (1997) - Stratigraphie, terminologie française. Comité français de stratigraphie. *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, Mém.* 19, 164 p., Pau.

RICOUR J. (1962) - Contribution à une révision du Trias français. *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*, 411 p., 122 fig.

RIVELINE J. (1984) - Les Charophytes du Cénozoïque (Danien à Burdigalien) d'Europe occidentale. Implications stratigraphiques. Thèse Doctorat ès Sciences, Université P. et M. Curie. Vol. I, 417 p., vol II (annexes), 413 p.

ROETHINGER . (1976) - Sources minérales d'Outre-Forêt. Saisons d'Alsace, n° 59, p. 127-135, ISTRA éd., Strasbourg.

ROTHÉ J.-P., SAUER K. (1967) - The Rhine Progress Report 1967. *Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 6, p. 1-46, Freiburg i. Br.

ROTSTEIN Y., BEHRMANN J.-H., LUTZ M., WIRSING G., LUZ A. (2005) - Tectonic implications of transpression and transtension: the Upper Rhine Graben. *Tectonics*, 24, 12 p. Washington, DC - [doi: 10.1029/2005TC001797].

ROURE F., COLETTA B. (1996) - Cenozoïc inversion structures in the foreland of Pyrenes and Alps. In Ziegler P.A., Horvàth F. (eds.). Structurs and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Peri-Thetys Mém. 2, *Mém. Mus. Nal. Hist. Nat. Paris*, vol. 170, p. 173-209.

ROUSSÉ S. (2006) - Architecture et dynamique des séries marines continentales de l'Oligocène moyen et supérieur du Sud du Fossé rhénan : Évolution des milieux de dépôt en contexte de rift et en marge de l'avant pays alpin. Thèse université Louis Pasteur, Strasbourg, 474 p.

ROUSSEAU D.-D., PUISSEGUR J.-J. (1990) - A 350 000-years climatic record from the lœss sequence of Achenheim, Alsace, France. *Boreas*, vol. 19, p. 203-216.

SAINTY J., SCHELLMANNS R. (1984) - Le gisement mésolithique de Lembach - Climbach (Bas-Rhin). Étude de l'outillage lithique. *Cahiers alsaciens d'Archéologie*, d'Art et d'Histoire, t. XXVI, p. 5-16, Strasbourg.

SCHAAF-RAETH O. (1979) - Sédimentologie des lœss et alluvions quaternaires de Hangenbieten et d'Achenheim (Alsace, France). Thèse univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 124 p., 7 pl.

SCHELLMANNS R. (1976) - L'Outre-Forêt, un passé archéologique peu connu. *Saisons d'Alsace*, n° 59, p. 19-33.

SCHELLMANS R (2008) - Chasseurs cueilleurs du Jungwald. L'Outre-Forêt, n° 141, p. 15-19.

SCHELLMANS R., SAINTY J., THÉVENIN A. (2008) - Le gisement mésolithique de Climbach. L'Outre-Forêt, n° 141, p. 5-14.

SCHIRARDIN J. (1923) - Note sur le Lias inférieur du Bas-Rhin. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.,* 1, p. 89-116.

SCHIRARDIN J. (1925) - Die Eizenerze des Hochwaldes. *Elsassland*, p. 250-253.

SCHIRARDIN J. (1938) - Nouvelles observations sur le Toarcien de l'Alsace. *Bull. Ass. philom. Als.-Lorr.*, VIII, p. 506-549.

SCHIRARDIN J. (1953) - Les surfaces prétertiaires dans la Vallée du Rhin. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 236, p. 1806-1808.

SCHIRARDIN J. (1960a) - Sur la limite du Toarcien et de l'Aalénien en Alsace. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 13, 3, p. 97-125.

SCHIRARDIN J. (1960b) - Sur la Zone à *Ludwigella concava* Sow. en Alsace. *Bull. Ser. Carte Géol. Als.-Lorr.*, 13, 1, p. 5-55, Strasbourg.

SCHLAGDENHAUFFEN J.-M. (1991) - Uhrwiller Niefern, histoire et traditions, ann. VII, les mines de fer sur le territoire d'Uhrwiller et de Niefern, p. 235-242.

SCHLICKUM W.-R., GEISSERT F. (1980) - Die pliozäne Land- und Süsswassermolluskenfauna von Sessenheim/krs. Haguenau (Unterelsass) *Arch. Moll.* 110 (1979), 4/6, p. 225-259, Frankfurt a. M.

SCHLIPPE O. (1888) - Die fauna des Bathonien in Oberrheinischen Tieflande. *Abh. Z. Spezialkarte v. Els. Lothr.*, IV, 4, 267 p., VIII pl. h.t.

SCHMITT J.-P. (1987) - Les microflores du Jurassique. Intérêts stratigraphiques, paléogéographiques et paléoclimatiques. Étude palynologique du Jurassique en Alsace. Thèse Univ. Strasbourg I, 190 p.

SCHNAEBELÉ R. (1948) - Monographie géologique du champ pétrolifère de Péchelbronn. *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 7, 254 p., XI pl. h.t.

SCHNEIDER N. (1927) - Étude stratigraphique et paléontologique de l'Aalénien de Gundershoffen (Bas-Rhin). *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 3, 132 p., 5 pl. h.t.

SCHULER M. (1990) - Environnements et paléoclimats paléogènes. Palynologie et biostratigraphie de l'Éocène et de l'Oligocène inférieur dans les fossés rhénan, rhodanien et de Hesse. (Thèse Sci. univ. Strasbourg, 1988) *Documents du BRGM*, 503 p., 14 pl. h.t., Orléans.

SCHULER M., OLLIVIER M.-F. (1982) - Étude palynologique (pollens et spores) du Lutétien continental de Bouxwiller (Bas-Rhin, France). *Sci. Géol. Bull.*, 34, 4, p. 219-238, Strasbourg.

SCHUMACHER E. (1890a) - Zur Kenntniss des unteren Muschelkalk im nordlischen Deutsch-Lothringen. *Mitt. Geol. L.-Anst Els.-Lothr.*, II, p. 111-182, Strasbourg.(coupe de Niederbronn, p. 165).

SCHUMACHER E. (1890b) - Die Bildung und der Aufbau des Oberrheinische Tieflandes. *Mitt. Comm. geol. Land. Untersuchung. Els. Lothr.*, 2, III, p. 184-401.

SCHUMACHER E. (1891) - Erlaüterungen zu Blatt Volmunster. *Geol. Spez. Karte von Els.-Lothr.,* n° 28, 64 p., Strasbourg.

SCHUMACHER M.-E. (2002) - Upper Rhine Graben. The role of pre-existing structures during rift evolution. *Tectonics*, 10. 1029/2001TC900022 (6-1 - 6-17).

SCHUURMANN W.-M.-L. (1977) - Aspects of the late triasic palynology. 2. Palynology of the "grès et schistes à *Avicula contorta*" and "argiles de Levallois" (Rhaetian) of the northeastern France and southern Luxembourg. *Rev. Paleobot. And Palynology*, v. 27, p. 159-252, 25 pl.

SCHWARZ H.-U. (1970) - Zur Sedimentologie und Facies des Unteren Muschelkalkes in Südwesdeutschland und angrezenden Gebieten. Diss., 213 p., Tübingen.

SCHWEISS D. (1984) - Sedimentpetrographische Untersuchungen an Rotsedimenten des Grenzbereiches Perm/Trias am südwestdeutschen Beckenrand. *Geol. Jb. Hessen*, 112, p. 83-126, 25 fig., 4 tbl., Wiesbaden.

SIMLER L., MILLOT G. (1967) - Le réseau hydrographique alsacien à l'époque pliocène. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 20, 3, p. 159-165.

SIMON T. (1987) - Zur entstehung der Schichtstufenlandschaft im nördlichen Baden-Württemberg. *Jh. Geol. Ladesamt Baden-Württemberg*, 29, p. 145-167, Freiburg im B.

SISSING H.-W. (2001) - Tectonostratigraphy of the West Alpine Foreland: correlation of Tertiary sedimentary sequences, changes in eustatic sea-level and stress regim. *Tectonophysics*, 333, p. 361-400.

SITTLER C. (1965) - Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien ; études sédimentologiques et paléoclimatiques. *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 24, 392 p., Strasbourg.

SITTLER C. (1967) - Le soubassement et le remplissage sédimentaire du Fossé rhénan au niveau du Bassin de Péchelbronn et du seuil d'Erstein. Coupes géologiques en travers du Fossé rhénan *in* Rothé J.-P. et Sauer K. The Rhinegraben progress report 1967, p. 69-80 (voir cette référence).

SITTLER C. (1968) - Les indications stratigraphiques fournies par les minéraux argileux des différentes formations éocènes du Fossé rhénan. Comparaison avec les régions voisines. Colloque sur l'Éocène. *Mém. BRGM*, n° 58, p. 495-503.

SITTLER C. (1974) - Sous-sol et ressources pétrolières en Basse-Alsace. Aspect géologique et bilan de deux siècles et demi de recherches et d'exploitations. *Saisons d'Alsace*, 52, p. 31-62, Istra éd., Strasbourg.

SITTLER C. (1982) - Argile. L'Encyclopédie de l'Alsace, vol. I, p. 323-330, Publitotal éd., Strasbourg.

SITTLER C. (1984) - Lampertsloch. Encyclopédie de l'Alsace, vol. 8, p. 4613-4614.

SITTLER C. (1985) - Les hydrocarbures d'Alsace dans le contexte historique et géodynamique du Fossé rhénan. *Bull. Centr. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 9 (2), p. 355-371, Pau.

SITTLER C., GEISSERT F. (1993) - Flore palynologique et flore carpologique, un témoignage paléobiogéographique conjugué, au Miocène et au Pliocène dans la vallée du Rhin. *Palynosciences*, 2 (1993), p. 15-37.

SITTLER C., SCHULER M. (1988) - The Rhinegraben. The description of the regional lithostratigraphy, France - The Federal Republic of Germany. *In*: The Nordwest European Tertiary Basin. Results of the IGCP Project n° 124. *Geol Jb.*, A 100, 41-47, fig 10 h.t., Hannover.

SITTLER CL., WESTPHAL Ch. (1974) - La recherche du pétrole mène au thermalisme à Péchelbronn. *Saisons d'Alsace*, 52, p. 130-140, Istra éd., Strasbourg.

SKRZYPEK, CRUZ-MERMY D., CHÈVREMONT P., MÉNILLET F. (2007) - Carte géologique harmonisée du département du Bas-Rhin. 1 carte à 1/125 000 ; notice explicative (rapport BRGM/RP-56028-FR, 319 p., 4 fig., 3 tabl., 8 ann., 3 pl. h.t., Orléans.

SOTTY M., LEFORT M.(1968) - Aménagement de la Moder de Bischwiller à Pfaffenhoffen. Société hydrotechnique de France, X^{e} journées de l'hydraulique, Paris 1968, question V, rapport 4, 7 p.

STAESCHE K. (1927) - Der Buntsandstein des Saarlandes. Ein Beitrag zu Kenntniss der linksrheinischen Unteren Trias. Festschr. 55, *Tgg. oberrhein. geol. Ver.* Saarbrucken, p. 39-91.

STAMPFLI G.-M., MOSAR J., FAVRE P., PILLEVUIT A., VANNEY J.-C. (2001) - Permo-Mesozoïc evolution of the western Thetys realm: the Neo-Thetys East-Mediterranean connection. *In* Ziegler P.-A., Cavazza W., Robertson A.-H.-F., Crasquin Soleau S. (eds.), Peri-Thetys, Mem. 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench basin and Passive Margins. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat.*, vol. 186, p. 151-108.

STCHÉPINSKY A. (1960) - Étude des Ostracodes du Sannoisien de l'Alsace. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 13, 1, p. 11-33, Strasbourg.

STCHÉPINSKY A. (1963) - Étude des Ostracodes du Stampien d'Alsace et complément à l'étude des Ostracodes du Sannoisien d'Alsace. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 16, 3, p. 151-174. Strasbourg.

STCHÉPINSKY A. (1964) - Contribution à l'étude stratigraphique et paléoécologique des Ostracodes du Sannoisien et du Stampien d'Alsace. *Mém BRGM* 28, Paris, colloque sur le Paléogène, Bordeaux, 1962, p. 499-502.

STEHLIN H.-G. (1903-1916) - Die Saugetiere des Schweizerischen Eocaens. Critischer Catalog. der Materialen. *Abh. Schweiz. paleont. Ges*, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 41, 1552 p.

STRAUMANN F. (1985) - Valorisation des ressources naturelles de la plaine d'Alsace. Matériaux de substitution aux graviers rhénans en génie civil. Alluvions vosgiennes et limons lœssiques. Comportement géotechnique, relation avec les caractères sédimentologiques. Thèse 3e cycle, Univ. Strasbourg, 194 p.

STREICHER J.-C. (1976) - Georges-Chrétien Rosentritt. Directeur de la saline de Soultz et de la houillère de Lobsann (1789-1815). *Saisons d'Alsace*, Nlle sér., n° 59, 21e an., p. 76-85.

STUBER J.-A. (1893) - Die oberen Abtheilung des unterer Lias in Deutsch Lothringen. *Abhand. Zu Geol. Specialkarte Els.-Loth.*, Bd. V, Heft II, 175 p.

STUSSI J.-M., CHEILLETZ A., ROYER J.-J., CHÈVREMONT P., FÉRAUD G. (2002) - The hidden monzogranite of Soultz-sous-Forêts (Rhine Graben, France). Mineralogy, petrology and genesis. *Géologie de la France*, 2002, n° 1, p. 45-64.

SUESS H. (1961) - La microfaune de l'Oligocène d'Alsace et son application en stratigraphie. Rapport interne, Prépa, 7 p.

SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE DU BASSIN DE PARIS (1980) - Mégnien C. coordonnateur ; vol. 1, Stratigraphie et paléogéographie, *Mém. BRGM* n° 101, 466 p ; vol. 2, Atlas, *Mém. BRGM* n° 102 ; vol. 3. Lexique des noms de formations, *Mém. BRGM* n° 103, 467 p.

TESAURO M., HOLLENSTEIN C., EGLI R., GEIGER A., KAHLE H.G. (2005) - Continuous GPS and broad-scale deformation across the Rhine Graben and the Alps. *J. Earth Sci.* (Geol. Rundsch.), 94, p. 525-537.

SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR (1979) - 51 p., 4 ann., 23 pl. h.t., Strasbourg, Freiburg (BRGM, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg) ; partie alsacienne par Walgenwitz F. et Maget P. ; partie allemande par Tietze R.

THALER L. (1966) - Les Rongeurs fossiles du Bas-Languedoc, dans leurs rapports avec l'histoire des faunes et la stratigraphie du Tertiaire d'Europe. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, sér. C, 17, 295 p.

THÉOBALD N. (1948) - Développement des minerais de fer dans les étages de l'Aalénien et du Bajocien de la vallée du Rhin moyen (Alsace, Bade) *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, n° 8, 58 p., 2 pl. h.t.

THÉOBALD N. (1951) - Stratigraphie et Paléogéographie dans le SW de l'Allemagne et le NE de la France. *Bull. Soc. Hist. Moselle*, 3e sér., 12, 36e cahier, p. 1-19, Metz.

THÉOBALD N. (1952) - Stratigraphie du Trias moyen dans le SW de l'Allemagne et le NE de la France. *Publication de l'université de la Sarre*, 64 p., 1 tabl. h.t. Sarrebruck.

THÉOBALD N. (1953) - Une nouvelle espèce de Crustacé décapode, fossile de l'Aalénien du Bas-Rhin. *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 10, p. 150-152 (Sondage de Berstheim S).

THÉOBALD N. (1954) - Évolution géologique du NE de la France, en particulier du Fossé rhénan depuis les temps secondaires, en relation avec les possiblité pétrolifères. *Ann. Sci. Univ. Besançon*, (2), Géol. 1, p. 3-34.

THÜRACH H. (1894) - Bericht über die Excursionen am 29 und 30 März und 1 April. *Ber. Versamml. oberrhein. geol. ver.*, 27, p. 27-71, Stuttgart.

TIMBAL J. (1985) - Carte de la végétation de la France, feuille n° 28, Alsace.

TOBIEN H. (1968) - Mammifères éocènes du Bassin de Mayence et de la partie orientale du Fossé rhénan. Colloque sur l'Éocène (Paris, mai 1968). *Mém. BRGM*, n° 58, p. 297-307.

TRAUTH N., CAVELIER C., SOMMER F., TOURENQ, POMEROL C., THIRY M. (1977) - Aperçu sur la sédimentation paléogène du synclinal de Bouxwiller, comprises entre les marnes à Rhynconelles (Bathonien) et le Conglomérat du Bastberg (Oligocène). *Sci. Géol. Bull., Srasbourg*, 30, 2, p. 91-100.l.

TRUSHEIM F. (1961) - Über Diskordanzen im Mittlerem Buntsandstein Nortddeutschland zwischen Ems und Weser. *Erdœl-Z.*, 77, 9, p. 361-367.

VAIL P.-R., MITCHUM R.-L., TODD R.-G., WIDMIER J.-M., THOMPSON S., SANGREE J.-B., BUBB J.-N., HATLELID W.-G. (1977) - Seismic stratigraphy and global changes of sea leveal. *Am. Assoc. Petr. Geol.*, Mem., 26, p. 49-212.

VALLERON M.-M., DULAU N., POURZAHED P., SAUGRIN T. (1983) - Calcitisations et opalitisatisations dans l'Eocène du Sud-Est de la France. Comparaison avec des faciès analogues d'Alsace et de Touraine. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), XXV, 1, p. 11-18.

VAN ANDEL T.-H. (1950) - Provenance, Transport and Deposition of Rhine sediments. Venmann & Zonen (Wageningen), 129 p.

VAN WERVEKE L. (1892) - Ueber das Pliocän des Unter-Elsass. *Mitt d. geol. Landesant. v. Els.-Loth.*, Bd. III, p. 139-157. Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1895) - Bemerkung über die Verbreitung der Zone mit verkiesten Amoniten aus dem unteren Lias β im unterer Elsass. *Mittheilungen Philomatische Gesellschaft von Els.-Lothr.*, 1, p. 15-16.

VAN WERVEKE L. (1897) - Erlaüterungen zu Blatt Niederbronn. *Geol. Spezialkarte von Els. Lothr.*, 86 p. + 1 p. errata, Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1898a) - Blatt Niederbronn. *Geol. Spezialkarte von Els. Lothr.*, Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1898b) - Profil in den Schichten mit *Amaltheus spinatus* und im oberen Lias bei Mertzwiller. *In* Mittheilungen der Mitarbeiter der geologische Landesanttalt über die Ergebnisse ihrer Untersuchungen im Jahre 1892. *Mitt. d. geol. Landesanst. v. Els.-Loth.*, Bd. IV, p. XIV-XXI, Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1904) - Erläuterungen zu Blatt Buchsweiler. *Geol. Spezialkarte V. Els.-Lothr.*, Strasbourg, 62p.

VAN WERVEKE L. (1905) - Die Gliederung der lehmablagerungen im Unterelsass und in Lothringen *Mitt. d. geol. Landesanst V. Els. Loth.*, 5, 4, p. 311-321.

VAN WERVEKE L. (1909) - Das Erdölvorkommen im Elsass. *In* Engler-Höfer, 1ère éd. p. 209-234.

VAN WERVEKE L. (1910) - Ergebnisse der Untersuchung der Kerne von Tiefbohrungen in Lothringen und im Unter-Elsass Bitumenführende Jurensisschichten aus dem Untergrunde des Tertiärs. *Mitt. Philomath. Gesels. Els-Loth.*, Strasbourg, IV, 3, p. 327-331.

VAN WERVEKE L. (1913) - Mächtigkeit der Trias und des Jura im Unter-Elsass. *Mitt. Geol. Land. Anst. Els.-Loth.*, VIII, 1, p. 101-102, Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1913) - Profil durch den Unteren Muschelkalk aus Bohrungen im Lothringen und im Rheintal. *Mitt. Geol. Land. Anst. Els.-Loth.*, VIII, 1, p. 103-136, Strasbourg.

VAN WERVEKE L. (1917) - Profil durch den Mittleren Muschelkalk aus Bohrungen im Nordöstling Frankreich, im Luxemburg, Lothringen und im Rheintal. Vergleich mit der Entwicklung in Württemberg. *Mitt. Geol. Land. Anst. Els.-Loth.*, X, 3, p. 335-365, Strasbourg.

VERGÈS J., GARCIA-SENEZ J. (2001) - Mezozoic evolution and cainozoic inversion of the Pyrenean rift. *In*: Ziegler P.-A., Cavazza W., Robertson A.-H.-F., Crasquin-Soleau S. (eds.), Peri-Thetys. Mem. 6: Peri-Tethyan Rift/ Wrench Basins and passive Margins, *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat.*, vol. 186, p. 187-212.

VILLEMIN T. (1986) - Tectonique en extension, fracturation et subsidence : le Fossé rhénan et le bassin de Sarre-Nahe. Thèse univ. Paris VI.

VILLEMIN T., BERGERAT F. (1987) - L'évolution structurale du Fossé rhénan au cours du Cénozoïque : un bilan de la déformation et des effets thermiques de l'extension. *Bull. Soc. géol. France*, (8), t. III, n° 2, p. 245-255.

VOGT H. (1992) - Le relief en Alsace. Étude géomorphologique du rebord sud occidental du Fossé rhénan, 240 p., Oberlin éd. Strasbourg (version publiée de la thèse de Vogt H., 1980).

VOGT H., MÉNILLET F. (1980) - Esquisse lithostratigraphique des alluvions vosgiennes sur le piémont oriental des Vosges. *In* Chaline J. (1980) - Problémes de stratigraphie du Quaternaire en France et dans les pays limitrophes. Suppl. *Bull. AFEQ*, NS, n° 1, p. 114-118.

VOGT J. (1983) - L'érosion anthropique. L'encyclopédie de l'Alsace, vol. 5, p. 2840-2842, Strasbourg.

VOGT J. (1986) - L'exploitation des gîtes de fer des plaines et collines du Nord de la Basse Alsace par les De Dietrich, leurs prédecesseurs et leurs concurrents. *Revue d'Alsace*, n° 112, p. 226-232.

VOGT J. (1997) - L'érosion des sols en Alsace (recensements de témoignages). *Dialogues transvosgiens*, n° 12, p. 107-117.

VOGT J. (2000) - Les minières du Nord-Ouest de l'Alsace. *Bull. Soc. Hist. de Reichshoffen et environs*, n° 20, p. 8-31.

VOGT J., CADIOT B., DELAUNAY J., FAURY G. MASSINON B., MAYER-ROSA D., WEBER C. (1979) - Les tremblements de terre en France. Mém. BRGM, n° 96, 220 p., 1 carte h.t.

VOGT J., WEBER C. (1980) - Carte sismotectonique de la France à 1/1 000 000 et notice. BRGM Orléans.

VOGT T., CLAUER N., LARQUE P. (2010) - Impact of climate and related weathering processes on the authigenesis of clay minerals: examples from circum Baikal region, Siberia. *Catena*, 80, p. 53-64.

WACKERMANN G. (1985) - Outre-Forêt. Encyclopédie de l'Alsace, vol. 10, p. 5773-5790.

WALSCH J.-E.-J. (1755) - Die Naturgeschiste der Versteinerung zur Erlaüterungen der knorrische sammlung von Merkwurdigkeiten der natur. Nurnberg, 1755-1773, Band III. Tafel V.

WEILER W. (1953) - Die Verbindung des mitteloligocänen Rheintalgraben mit dem Mittelmeer. *Jber. u. Mitt. oberrh. Ver.*, NF., 34, p. 21-29.

WEISS E. (1869) - Die Entwicklung des Muschelkalkes an der Saar, Mosel und Luxemburgischen. *Zeitschr. deutsch. geol. Ges.*, 21, p. 837-849, Stuttgart.

WELLER W. (1988) - Le bombardement de Péchelbronn. L'Outre-Forêt, 61, p. 48-50.

WERNERT P. (1936) - De quelques phénomènes géologiques dans les coupes de la station paléolithique d'Achenheim (Bas-Rhin). *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 11, 4 p.

WERNERT P. (1957) - Stratigraphie paléontologique et stratigraphique des lœss des sédiments quaternaires d'Achenheim. *Mém. serv. carte géol. Als. Lorr.*, 14, 254 p.

WIMMENAUER W. (1967) - Igneous rocks of the Rhinegraben *in* Rothe J.-P. et Sauer K. - The Rhinegraben progress report 1967 (voir cette référence), p. 144-146.

WYNS R., FIZAINE J.-P. (2010) - Le fer fort Crétacé-Tertiaire. *Bull. inf. géol. Bass. Paris*, vol. 47, 1, p. 3-12.

ZAGWIJN W.-H. (1985) - An outline of the Quaternary stratigraphy of the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, 64, p. 17-24.

ZIEGLER P.-A. (1990) - Geological Atlas of Western and central Europe Schell int., 239 p., 56 tabl., Amsterdam (Petroleum Maatsch. B.V.)

ZIPPELT K., MALZER H. (1981) - Recent height changes in the central segment of the Rhinegraben and its adjacents shoulders. *Tectonophysics*, 73, p. 119-123.

ZÖLLER L., STREMME H., WAGNER G.-A. (1988) - Thermolumineszenz datierung an löss Palaeoboden -sequenzen von Nieder-, Mittel-, und Oberrhein/Bundesrepublik Deutschland Chemical Geology (Isotop Geoscience Section), 73, p. 39-62

Archives du Service géologique Alsace-du BRGM

Rapports divers dont :

– FRAUEL (1959) - Étude de la nappe des environs de Haguenau.

– MILLOT G. (1960) - Étude hydrologique pour l'alimentation complémentaire de Haguenau-Bischwiller.

– Rapports d'implantation et d'exécution de forages.

– Eaux thermales et minérales, Vosges-Alsace, de Rissler et Grandarovsky.

AUTEURS DE LA NOTICE

Introduction : F. Ménillet

Socle : F. Ménillet, avec la collaboration d'Albert Genter.

Secondaire et Tertiaire : F. Ménillet avec la collaboration de Marc Durand pour le Buntsandstein moyen ; données de F. Geissert pour le Pliocène (1ère édition et publications), quelques données de Henri Hof pour le Secondaire (principalement sur le Toarcien).

Formations superficielles : F. Ménillet avec des données de F. Geissert (1ère édition) et quelques modifications de J.-P. Party.

Tectonique : F. Ménillet.

Géodynamique : F. Ménillet.

Sols et végétation : texte de la 1ère édition de F. Ménillet, J.-P. Boudot, et F. Geissert, actualisé et complété par J.-P. Party.

Archéologie : texte de la 1ère édition de A.-G. Thévenin avec quelques ajouts de F. Ménillet.

Données géotechniques : texte de la 1ère édition F. Ménillet et F. Straumann ; ajouts de F. Ménillet.

Hydrogéologie : texte de la 1ère édition P. Schwoerer ; actualisation et ajouts mineurs de F. Ménillet.

Géothermie : A. Genter, ingénieur géologue au BRGM.

Pétrole : texte de la 1ère édition : F. Ménillet, d'après J. Blumenroeder (1962) et Cl. Sittler (1974) légèrement modifié.

Substances minérales : F. Ménillet.

Coordination : F. Ménillet, ancien géologue régional d'Alsace, au BRGM.

ANNEXES

ANNEXE 1
TABLEAU SYNOPTIQUE DE SONDAGES PROFONDS
DE LA CARTE GÉOLOGIQUE À 1/50 000 HAGUENAU
(SONDAGES PÉTROLIERS, POUR L'ESSENTIEL)

(Tableaux 1 et 2 hors texte)

ANNEXE 2
COUPES GÉOLOGIQUES (LOGS) DE 3 SONDAGES PÉTROLIERS
DE LA CARTE GÉOLOGIQUE À 1/50 000 HAGUENAU

Logs de 3 sondages pétroliers (figure hors texte)

ANNEXE 3
TABLEAU D'ÉQUIVALENCE DES NOTATIONS
DES CARTES GÉOLOGIQUES À 1/50 000 DU NORD
DE LA PLAINE D'ALSACE
Tableau hors texte

ANNEXE 4
POSITION ET ABRÉVIATIONS DES CENTRES COMMUNAUX (POINTS), DE QUELQUES LIEUX-DITS, ANCIENS CENTRES COMMUNAUX, HAMEAUX (CROIX) ET DISTRICTS FORESTIERS DE LA COUPURE À 1/50 000 HAGUENAU AVEC LEURS COORDONNÉES, SUR UNE GRILLE SURIMPOSÉE À LA MOSAÏQUE DES BANS COMMUNAUX. LA FORÊT INDIVISE DE HAGUENAU EST FIGURÉE EN GRISÉ
Tableau et figure hors texte

ANNEXE 5
NOTICE DESCRIPTIVE DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES SUPERFICIELLES APPARAISSANT SPÉCIFIQUEMENT SUR LA CARTE DU RÉGOLITHE
(par F. Ménillet, avec la collaboration de J.-P. Party, 2015
Site http://geolfrance.brgm.fr/)

Cette notice descriptive concerne essentiellement les altérites et les formations de versant. Certaines d'entre-elles sont figurées sur la carte du substrat, mais pour éviter un va et vient peu commode entre les 2 parties de la notice, nous reprenons ici l'ensemble des formations de versant. Les formations alluviales, palustres, les accumulations argileuses bariolées et les formations éoliennes sont traitées dans la première partie dont les remarques préliminaires concernent aussi cette seconde partie.

Altérites (*A*)

Les altérites de formations secondaires affleurent localement dans la partie occidentale de la carte et celles de formations tertiaires de Morsbronn à Soultz-sous-Forêts, de manière discontinue. Ailleurs, la série lœssique les recouvre largement, sauf en forêt de Haguenau et ses abords méridionaux où la couverture est essentiellement sableuse. Tous les matériaux argileux ou enrichis en argile par pédogenèse peuvent présenter des teintes bariolées ocre et gris très clair un peu verdâtre ou bleu verdâtre liées à l'alternance de périodes d'engorgement par les eaux de surface ou de faible profondeur et d'assèchement. Ainsi altérés, ils ne sont pas toujours reconnaissables et nous les avons souvent regroupés avec des lœss très altérés et des alluvions anciennes résiduelles très enrichies en argile dans la rubrique « complexe infralœssique » (corps de la notice). Sur versant, les altérites peuvent aussi présenter une accumulation argileuse bariolée. Ainsi, sur le versant NW du Kirchenkupp, au Nord de Gumbrechtshoffen, le sondage 1-137 a pénétré une telle accumulation sur 1,2 m, sous 0,2 m de limons sableux, plus ou moins lessivés.

Les roches saines n'affleurant que sur de rares surfaces d'extension réduite, localement figurées sur la carte des formations superficielles dans la teinte vive de la formation adoptée sur la carte du substrat. Ailleurs sur la carte des formations superficielles, le substrat subaffleurant est traité en altérites. Les formations donnant des altérites semblables sont regroupées. Ainsi, la plupart des marnes du Lias sont notées *A*l et représentées par la même teinte. Les altérites ont été plus ou moins remaniées en surface, par solifluxion et cryoturbation, en particulier sur les versants où elles affleurent aussi dans les parties érodées. Ainsi, au Nord du bois d'Uhrwiller, dans le sondage 1-141, profond de 1,2 m, la présence de sables alluviaux résiduels dans l'altérite, montre que celle-ci est remaniée (solifluxion probable). La maille d'observation ne permet pas de délimiter les zones où les altérites affleurent de celles où elles sont remaniées. Les couvertures très minces (quelques décimètres) et

discontinues de sables alluviaux et de lœss résiduels ou colluvionnés n'ont pas été représentées. Dans l'impossibilité de délimiter de façon objective les différentes altérites, largement remaniées en surface dès la moindre pente et souvent mélangées par la gélifluxion avec d'autres matériaux (autres altérites, loess, alluvions anciennes), nous les avons figurées au niveau de leur « racine », c'est-à-dire dans la zone de contact avec leur substrat non altéré. Ainsi, sur un versant, le lecteur pourra prévoir l'altitude maximale à laquelle les matériaux de l'altérite considérée sont présents.

Notations ponctuelles

*A*1. Altérites indifférenciées.

*A*a. Altérites très argileuses.

*A*ca. Altérites carbonatées.

Altérites des formations triasiques ; de bas en haut : 1

*A*t*C-V*. Altérites des Couches intermédiaires et du Grès à *Voltzia*, notation exhaustive : *A*t2-3*C-V*.

*A*T*M*. Altérites du Grès coquillier et des Couches à myacites, notation exhaustive : *A*t3*G-M*

*A*t*M-T*. Altérites des Couches à myacites et des Couches à térébratules.

*A*t*M-W*. Altérites des Couches à myacites, à térébratules et du Wellenmergel.

*A*t3*T-G*. Altérites des Couches à térébratules, du Wellenmergel, du Schaumkalk, des Couches à Orbicularis et des Couches grises.

*A*t*W*. Altérites du Wellenkalk et du Schaumkalk, notation exhaustive : *A*t3*W*.

*A*t3*W-O*. Altérites du Wellenkalk, du Schaumkalk et des Couches à Orbicularis.

*A*t3*O*. Altérites des Couches à Orbicularis.

*A*t3*G*. Altérites des Couches grises.

*A*t3*G-B*. Altérites des Couches grises et des Couches blanches.

*A*t3*B*. Altérites des Couches blanches.

*A*t*E*. Altérites du Calcaire à entroques, notation exhaustive : *A*t3*E*.

*A*t3*E-C*. Altérites du Calcaire à entroques, des Couches à cératites et du Calcaire à térébratules, notation exhaustive : *A*t3-4*E-C*.

*A*t*C*. Altérites des Couches à cératites, notation exhaustive : *A*t3-4*C*.

*A*t4-5. Altérites de la Lettenkohle.

*A*t4-5D. Altérites de la Dolomie inférieure de la Lettenkohle.

*A*t4-5A. Altérites de la Lettenkohle moyenne.

*A*t5. Altérites des Marnes irisées inférieures du Keuper.

$\mathcal{A}$t5-6. Altérites des Marnes irisées du Keuper.

$\mathcal{A}$t7*G*. Altérites des grès rhétiens.

$\mathcal{A}$t7*A*. Altérites des Argiles de Levallois (Rhétien).

$\mathcal{A}$t7. Altérites des argiles, silts et grès du Rhétien.

À l'altération, les grès du Trias se désagrègent en sables plus ou moins silteux ou argileux, généralement riches en cailloux et blocs, en particulier ceux des formations du Buntsandstein. Généralement roses, ces sables se décolorent et deviennent souvent blanchâtres en conditions hydromorphes, en particulier en bas de versant (départ du fer en milieu réducteur). Sur les formations du Buntsandstein supérieur ($\mathcal{A}$t*C-V*), ils peuvent se charger en silt et même en argile. Les paillettes de muscovite (mica blanc) peuvent révéler 4 niveaux ; par ordre décroissant d'abondance et de taille des paillettes : le Grès à *Voltzia*, le Grès coquillier, le Grès à *Avicula contorta* du Rhétien et le Grès à Roseaux du Keuper, sans oublier que les altérites des faciès silto-sableux des Couches de Schalkendorf (Jurassique moyen) contiennent aussi de la muscovite, en paillettes assez fines.

Les grès et siltites du Muschelkalk inférieur ($\mathcal{A}$t-*M*) s'altèrent en limons sableux ou en limons beiges ocreux pouvant ressembler à des lœss. L'observation à la loupe, à fort grossissement, permet d'y observer de minuscules plaquettes de siltites. Les siltites dolomitiques et les dolomies des niveaux élevés du Muschelkalk inférieur s'altèrent en limons argileux de teintes grisâtres. Les argiles et marnes du Muschelkalk moyen, les marnes de la Lettenkohle en argiles ocre ou grises et les marnes irisées du Keuper s'altèrent en terre noire, peu épaisse, donnant des sols particuliers, lourds et difficiles à travailler en agriculture (pélosols).

La Formation de Froeschwiller (Grès à *Avicula contorta*) comprend des niveaux de siltites et d'argiles qui peuvent prédominer. Cette diversité lithologique se retrouve dans ses altérites ($\mathcal{A}$t7*G*) qui varient d'un pôle de sables fins limoneux à fragments de grès à un pôle argileux, ces faciès extrêmes pouvant être imbriqués. Les siltites du Rhétien donnent à l'altération des argiles silteuses de teintes très variées : gris foncé à clair, bis rosâtre (5YR6/2), blanchâtres ou bariolées. Recoupées en tranchée par les terrassements de la future ligne de train à grande vitesse au Nord-Ouest de Wilwisheim (feuille à 1/50 000 Saverne), elles présentaient un superbe kaléidoscope. Nous avons retrouvé ces teintes en sondage (la teinte bis rosâtre dans le sondage 1-130, à Zinswiller, en forêt de Frohret) et dans des affleurements de faible extension, souvent difficiles à interpréter sans coupes et échantillons de référence. Dans le sondage 2-90 du bois de Langensoultzbach, l'altérite des siltites du Rhétien est une argile gris clair contenant 10 % de sable dont 2/3 de sablon blanc et 1/3 de sable hétérométrique qui proviennent des alluvions anciennes du Pléistocène ancien ou moyen et indiquent un remaniement par solifluxion.

La fraction argileuse des altérites des formations triasiques, où prédomine souvent l'illite, comprend, par rapport à la roche mère, une proportion plus importante de minéraux interstratifiés chlorite/smectite et illite/smectite (10 à 30 % en plus).

Sur le Calcaire à entroques du Muschelkalk supérieur, la décarbonatation conduit à des argiles brun ocre (*terra fusca*), souvent caillouteuses. Sur les Couches à Cératites, où les niveaux de marnes alternent avec les bancs calcaires, l'altérite est une argile grise, pouvant contenir des fragments de calcaire gris durs, souvent à grain fin, bien typiques de la formation.

Altérites des formations jurassiques ; de bas en haut

$\mathscr{A}$l. Altérites des marnes du Lias.

$\mathscr{A}$l3*M*. Altérites des marnes du Pliensbachien.

$\mathscr{A}$j1. Altérites des marnes de l'Aalénien, indifférenciées.

$\mathscr{A}$l-j. Altérites des marnes du Lias et du Jurassique moyen (Toarcien, Aalénien et Bajocien inférieur) indifférenciées.

$\mathscr{A}$j1*G*. Altérites des marnes de Gundershoffen.

$\mathscr{A}$j1*S*. Altérites des marnes de Schalkendorf, souvent très silteuses.

$\mathscr{A}$j1-2. Altérites des marnes de l'Aalénien et du Bajocien inférieur, indifférenciées.

$\mathscr{A}$j2*E*. Altérites des Calcaires d'Ettendorf, argiles limoneuses à cailloux et petits blocs de calcaires à petites taches ferrugineuses.

$\mathscr{A}$j2. Altérites des marnes du Bajocien inférieur.

$\mathscr{A}$j2*O*. Altérites des calcaires du Jurassique moyen : Grande oolithe et calcaire à *Ostrea acuminata*. Cailloux et petits blocs calcaires, à matrice argileuse.

$\mathscr{A}$j3. Altérites des marnes du Callovien.

Sur les marnes du Lias et du Bajocien, le faciès des altérites varie plus en fonction des conditions de la pédogénèse, en particulier du caractère hydromorphe ou non de l'endroit, que celle du niveau stratigraphique, à l'exception des Schistes cartons, riches en intercalations gréseuses, le plus souvent décolorés et des faciès silteux de la Formation de Schalkendorf, qui donnent à l'altération des limons ocre, assez grossiers, dont l'épaisseur peut atteindre 10 m. Les autres faciès, marnes et argiles silteuses prennent à l'altération une teinte gris olivâtre à gris verdâtre clair (gammes des 5Y, 2,5Y et 7,5Y du Code Munsell), souvent panachée d'ocre. Ainsi, dans le sondage 1-65, le mètre inférieur des altérites des marnes à ovoïdes du Pliensbachien (l3*M*) présente des teintes gris-vert olivâtre (5Y5/1 à 6/2) avec un passage progressif, vers le haut, au gris-vert clair (2,5Y5/1 à 6/2), dans les 4 m supérieurs. Dans les altérites des marnes du Toarcien, par exemple dans le sondage 2-153, les 3 m

inférieurs présentent aussi une teinte gris-vert olivâtre (5Y5/2 à 4/2). Au-dessus, le gris-vert clair prédomine (5Y6/3 à 7/3). Sur les affleurements de surface, les teintes gris-vert clair (2,5Y6/1 à 6/3) et gris-beige (2,5Y7/1) sont très fréquentes. Dès quelques décimètres de profondeur, elles se panachent d'ocre, parfois jusqu'à plus de 3 m, avec des couleurs, dans l'ensemble plus sombres que celles des lœss bien altérés : 2,5Y5/6 à 6/6 ; 10YR5/8 à 6/8 ; 10YR6/6.

Très fréquemment, l'**altérite est couronnée par un niveau très argileux**, bariolé brun ocre et gris très clair, légèrement verdâtre ou bleuté. En veines ou en petits volumes de forme irrégulière, cette teinte claire (N7/1, 10Y7/1 à 8/1, 7,5Y8/1) est généralement plus discrète et moins fréquente que dans le complexe infralœssique, sauf en conditions nettement hydromorphes. Lié à une augmentation de la teneur en argile, due partiellement à l'élimination des carbonates, mais probablement davantage par illuviation (horizon B en pédologie classique, ici bariolé ; « marmorisé » dans la littérature pédologique ancienne), ce niveau argileux n'est pas propre aux altérites du Jurassique, mais peut se rencontrer sur d'autres matériaux tels que les marnes du Tertiaire, moins fréquemment celles du Trias ou les très vieux lœss (complexe infralœssique), avec la même gamme de teinte et de faciès. Il convient donc de traverser cette couche en sondage pour bien s'assurer de la présence de marnes jurassiques en-dessous.

Sur les marnes jurassiques, le front de décarbonatation se marque par un niveau plus ou moins riche en concrétions calcaires dures ou blanches pulvérulentes, généralement moins abondantes que sur les marnes tertiaires. Le niveau à concrétions passe, avec une rapide transition, au niveau d'accumulation argileuse ou se trouve directement recouvert par un limon assez argileux brun terreux, nettement plus sombre et plus gris que les lœss. Sous le front de décalcification, l'oxydation a peu profondément affecté les faciès les plus argileux ; les taches ocre deviennent rapidement moins nombreuses et s'accompagnent de petits cristaux de gypse secondaire (prismes monocliniques transparents, isolés ou en rosettes), lorsque les marnes contiennent de la pyrite, minéral constitué de sulfure de fer. L'oxydation de la pyrite libère du soufre qui se combine avec le calcium des carbonates pour former du gypse. Plus profondément, les marnes conservent une teinte grise homogène, s'assombrissant, sauf pour celles du Carixien, et devenant compactes en profondeur, jusqu'au faciès de la roche saine.

Sur les faciès les plus silteux, fréquents dans la **Formation de Schalkendorf, l'oxydation** est beaucoup plus profonde (jusqu'à 10 m et plus) que la décarbonatation et les limons d'altération ocre peuvent encore contenir du carbonate de calcium dans leur moitié ou leur 2/3 inférieurs. Au Nord-Ouest de Bitschhoffen, dans le sondage 5-63, les formations de versant ayant remanié, par gélifluxion, les silts et argiles de la Formation de Schalkendorf ont une épaisseur de 4 m. Ce sont des argiles limoneuses (60 à 70 % d'argile ; 23,5 % de limon),

un peu sableuses dans leur partie supérieure (13 %), de teinte brun-ocre (10YR5/4), par endroits panaché de gris clair (10YR6/1). Elles renferment de menus fragments de siltites (< 8 mm) plus ou moins imprégnés d'oxydes de fer.

Les bancs calcaires intercalés dans les marnes donnent localement une charge caillouteuse notable dans les faciès peu altérés ou à la base des profils d'altération qui les recoupent. Dans les faciès les plus altérés, entièrement décarbonatés, il ne reste plus que leurs phases argileuse et silteuse qui se confondent avec la marne altérée environnante, forte gène pour la cartographie de surface fondée sur le suivi de bancs calcaires repères.

En **microgranulométrie**, par la méthode du Sédigraphe, les altérites des marnes du Lias et du Dogger marneux correspondent à des argiles limoneuses avec 40 à 70 % de particules < 2 µm, le reste étant constitué de silts et, pour certains profils d'altération, de grains et concrétions ferrugineuses ou de fragments de siltites (altérites des Marnes de Schalkendorf). Exprimée en coordonnées semi-logarithmiques, leur granulométrie se dispose sensiblement selon une droite (fig. 20A-B), distribution largement prédominante parmi les altérites. Une pollution par des lœss se marque, sur la courbe de fréquence, par un « dôme » entre 8 et 40 µm, culminant vers 20-25 µm, correspondant au mode des lœss du secteur (*cf.* Complexe infra-lœssique, fig. 23).

Quand elles sont présentes, les **fractions sableuse grossière et rudite** sont constituées de menus fragments calcaires, de cristaux de gypse, de fragments de siltites, souvent imprégnés d'oxydes de fer (Formation de Schalkendorf) et de grains et plaquettes d'oxydes de fer, particulièrement abondants dans de nombreuses altérites des marnes du Pliensbachien. Dans les sites où elles abondent, ces plaquettes ont été jadis exploitées comme minerai de fer (*Blättelerz*). Les altérites des autres formations marneuses du Jurassique peuvent aussi renfermer des granules ferrugineux, mais de façon plus aléatoire et en moindre quantité.

La **fraction argileuse** des altérites du Lias et du Dogger marneux comprend, par rapport à la roche mère, une proportion plus importante de minéraux interstratifiés chlorite/smectite et illite/smectite (10 à 20 % en plus). Sur les marnes du Domérien, la fraction argileuse de l'altérite comprend, selon C. Sittler (1982), de la kaolinite (environ 60 %), des minéraux gonflants, notamment des interstratifiés smectites/chlorite (25 %) et de l'illite (15 %).

Altérites des formations tertiaires ; en montant la série stratigraphique :

Ae5B. **Altérites de la Formation de Bouxwiller**.

Ae6M. **Altérites de la Formation de Mietesheim**.

𝒜e*F*. **Altérites des marnes d'âge Éocène moyen à supérieur ; notation exhaustive :** 𝒜e5-7*F*.

𝒜g1*P*. **Altérites des Couches de Péchelbronn indifférenciées**.

𝒜g1*PS*. **Altérites des Couches de Péchelbronn supérieures**.

𝒜g1*Cg*. **Altérites du « Conglomérat côtier »**.

𝒜g1*F*. **Altérites des Marnes à foraminifères**.

𝒜g1*A*. **Altérites des Marnes feuilletées à amphisiles**.

𝒜g1*M*. **Altérites des Couches à mélettes**.

𝒜g1*G*. **Altérites des marnes de la Série grise**.

𝒜pa. **Altérites des niveaux pliocènes argileux**.

Les altérites de la Formation de Bouxwiller contiennent de nombreux cailloux et petits blocs calcaires.

Les Marnes de Mietesheim, gris-bleu verdâtre à l'état frais, s'altèrent en argile gris clair (5Y6/2 à 6/3), brun beige (2,5Y5/4), gris beige à beige jaunâtre (2,5Y7/2 à 7,4). Vers le haut, elles s'oxydent partiellement et parfois complètement en prenant des teintes ocre (2,5Y5/6, 10YR 5/4 à 5/8, 7,5YR5/6), avec des niveaux riches en concrétions et petits fragments calcaires. Les altérites de l'unité de Forstheim, partie supérieure possible des Marnes de Mietesheim leur ressemblent beaucoup.

Sur les Couches de Péchelbronn, de lithologie variable, les altérites sont fréquemment argileuses, avec des teintes diverses, grises, rougeâtres, verdâtres, bleuâtres ou bariolées. Répartition habituelle pour des altérites, leur courbe granulométrique est proche d'une droite en coordonnées semi-logarithmiques. Sur les faciès argileux du Conglomérat côtier (fig. 21C) et des Couches à mélettes, on retrouve la même répartition (fig. 21B). Sur les faciès silteux, la fraction argileuse est évidemment plus réduite (fig. 21A). Les teintes prédominantes sont le gris beige et le gris sale, parfois foncé mais rarement noirâtres, comme les altérites des marnes du Keuper. En conditions hydromorphes, on observe des argiles grises assez compactes.

Formations de versant

Recouvrant toutes les pentes, les formations de versant sont difficiles à représenter, car elles montrent de fréquentes variations d'épaisseur et de composition sur des distances faibles ; de l'ordre de la dizaine de mètres. Leur

figuration, sur le fond IGN à 1/50 000, ne peut être que schématique. En coupe verticale, elles peuvent être homogènes, mais aussi constituées d'une succession de couches, souvent lenticulaires, chacune pouvant correspondre à un court épisode climatique ; des corps de lœss de forme lenticulaire s'y intercalent fréquemment, en particulier sur les versants exposés aux secteurs nord à est du pays de Hanau et la partie la plus occidentale de l'Outre Forêt, jusqu'au secteur de Soultz-sous-Forêts. La composition des formations de versants dépend largement de la lithologie des niveaux qui les ont alimentées, soit une variation possible selon la position du secteur considéré sur les parties hautes, moyennes ou basses du versant. Leurs formations mères seront donc largement prises en compte dans la définition et la notation des différentes unités cartographiques, subordonnées au mécanisme de mise en place, essentiellement :

– **la gélifluxion notée « S »** (solifluxion sur le pergélisol au moment du dégel, pendant les périodes froides du Pléistocène) ;

– **le colluvionnement** au sens étroit (dépôts de ruissellement sur la partie inférieure des versants), **noté « C »**.

Ces deux types de mise en place ont pu alterner, fait évoqué par la **notation « SC »**. Sur les faibles pentes et bas de versants, les phases de colluvionnement et solifluxion, ont pu alterner. Ainsi, dans le sondage 6-1052, 2 km au SW de Mertzwiller, des Marnes de Mietesheim altérées recouvrent des sables alluviaux CFv. Elles sont donc sans nul doute solifluées. Sur les faibles pentes et bas de versants, les phases de colluvionnement et de solifluxion, ont également pu alterner. Cependant, les coupes selon la ligne de plus grande pente, permettant de voir la structure des formations de versant et donc les différentes phases de mise en place sont exceptionnelles et la distinction S, C et CS apparaît plus supposée qu'observée. Les altérites sont plus ou moins solifluées sur les versants, mais une trop large maille d'observation et la grande dépendance de ces formations des infimes détails de la topographie ne permet pas de tracer leurs limites. Pour les lœss, la distinction devient encore plus difficile, des corps de lœss déposés sur des versants pouvant être interstratifiés avec des couches solifluées ou colluvionnées. Nous n'avons donc guère fait de distinctions entre les altérites et les lœss en place ou remaniés.

Les formations de surface peuvent masquer des vallons comblés. Ainsi, le **sondage 6-137**, au NW d'**Ohlungen**, a pénétré un remplissage sur 13 m, sans atteindre sa base ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

2,2 - sables à grain moyen, rosâtres à ocre, avec quelques fins niveaux d'accumulation d'oxydes de fer et d'argile dans leur moitié inférieure baignée par une nappe d'eau superficielle ;

2,8 - limons gris hydromorphes, à consistance boueuse, passant à des lœss francs, calcaires, brun clair ;

6,0 - lœss gris, un peu sableux, à petits mollusques (*Succinea oblonga*) ;

1,5 - sables silteux à mollusques, avec quelques graviers de quartz (longueur 1 cm) ;

0,5 - silt argileux gris, assez compact, avec mollusques.

Les sables sont vraisemblablement remaniés des alluvions Fv.

Formations du piémont et des versants des Vosges gréseuses

Pt2/∅a. **Formation du piémont vosgien, sables à fragments et blocs de grès, galets de quartz et de quartzite, remaniés du Grès vosgien, sur altérites argileuses**. L'escarpement de la faille vosgienne est souvent recouvert par des placages de formations sableuses à blocs de grès du Buntsandstein. D'aspect semblable aux formations de versant SCE et faisant appel aux mêmes mécanismes génétiques, elles en diffèrent par leur épaisseur, souvent plus importante et pouvant atteindre et dépasser localement 10 m, et aussi par leur substrat, souvent argileux.

Pt2-3. **Formation de piémont du Hochwald, sables peu limoneux et argileux, avec fragments et blocs de grès, remaniés du Grès vosgien et des Couches intermédiaires**. Sur l'éperon méridional du Hochwald, à Gœrsdorf et Mitschdorf, les blocs de grès viennent principalement des formations du Buntsandstein supérieur. Localement, la présence de galets de quartz et de quartzites indique une provenance de la partie inférieure des Couches intermédiaires ou du Grès vosgien.

Pt2-3/g1*Cg*. Formation de Piémont du Hochwald recouvrant le « Conglomérat côtier » du Rupélien. Au NE de Mitschdorf, la Formation de Piémont du Hochwald s'étale sur le Conglomérat côtier, dans la partie haute d'un large interfluve. Un sondage pétrolier lui donne une épaisseur de 1,5 m.

SCE. **Formations de versant des Vosges gréseuses, sables à blocs et fragments de grès du Buntsandstein, souvent de grande taille ; galets de quartz et de quartzite fréquents**. Des sables parfois silteux ou argileux en profondeur renfermant habituellement de nombreux fragments et blocs de grès vosgien, de poudingue et des galets de quartz et de quartzite recouvrent la quasi totalité des versants des Vosges gréseuses. Très variable, leur épaisseur atteint et dépasse souvent 3 m. Fréquents, les gros blocs sont irrégulièrement répartis ; leur taille peut atteindre et dépasser largement 2 m. Les formations SCE se sont principalement formées lors des épisodes de dégel des périodes froides du Pléistocène, en particulier par gélifluxion et chute sporadique de blocs. Les coulées de neige, qui s'observent actuellement sur des prairies alpines à partir d'une trentaine de mètres de dénivelé, et de petites avalanches sur les pentes des reliefs les plus importants, ont vraisemblablement contribué à leur formation. Le ruissellement diffus, prédominant à la période post glaciaire a, par colluvionnement, parachevé la régularisation des versants,

entaillés seulement par les ruisseaux les plus actifs qui cascadent sur les blocs remaniés et n'atteignent que très rarement la roche en place.

SCE/r3. **Formation de versant des Vosges gréseuses SCE sur Grès d'Annweiler**. Dans la vallée du Falkensteinbach, en amont de Niederbronn, le Grès d'Annweiler est largement recouvert de blocs, cailloux et sables, continuant la couverture SCE jusqu'au bas du versant. Son épaisseur est très variable, de quelques décimètres à 2 ou 3 mètres. Sur la carte des formations superficielles, nous l'avons distinguée, car son substrat, très peu perméable, lui donne localement un faciès hydromorphe.

SCE/t3*CV*. **Formation de versant des Vosges gréseuses SCE sur les grès du Buntsandstein supérieur**. Au Nord de Mitschdorf, les Couches intermédiaires et le Grès à Voltzia sont recouverts par une formation de versant sableuse à blocs et fragments de Grès vosgien, de grès des Couches intermédiaires et de Grès à Voltzia. Dans le sondage 3-6, l'épaisseur de cette couverture atteint 6 m et 9 m dans le forage 3-7.

Formations de versant des collines sous vosgiennes à la basse plaine rhénane

CFu1. **Alluvions sableuses du Pléistocène inférieur probable colluvionnées**. Au SW de Frœschwiller, le versant descendant vers l'extrême amont du cours de l'Eberbach est tapissé de sables. Limoneux et plus ou moins argileux en profondeur au SW du Holzmatten (lieu-dit « Sand » sur le 1/25 000 IGN, cultivé ; sondage avec épaisseurs figurées sur la carte des Formations superficielles), ils deviennent très sableux dans le Grosserwald. Même notation au NE de Niederbronn pour des sables colluvionnés sur le flanc ouest du vallon Krummenacker, en contrebas de la route D653.

SCŒ-Fu1. **Lœss et alluvions du Pléistocène inférieur probable soliflués et colluvionnés**. Au NW de Frœschwiller, des limons, plus ou moins sableux, recouvrent l'épaulement SW de l'axe haut venant de Nehwiller. Leur bordure nord laisse apparaître quelques galets de quartz, jalonnant peut-être la base de la couverture de formations superficielles. Au SW de la localité et sur les confins des bans de Reichshoffen et de Gundershoffen, à l'Ouest du pointement de basalte, nous avons attribué cette notation à une couverture de limons sableux dont la phase arénite ne peut venir que du remaniement des alluvions Fu1.

𝒜-CFu1. **Alluvions du Pléistocène inférieur probable colluvionnés avec accumulation argileuse bariolée**. Au Nord du Grosserwald de Gundershoffen, vers la pointe septentrionale du ban communal, les versants nord et est de la butte cotée 256 m sont tapissés de sables avec ou sans galets. Ces colluvions présentent souvent, à une profondeur de 0,5 à 1 m, une

accumulation argileuse bariolée. Les sondages effectués à la tarière manuelle de 1,20 m, n'ont pas atteint le substrat.

S𝒜-CFu1. **Complexe infralœssique soliflué à alluvions résiduelles RFu1 : argile silteuse, plus ou moins sableuse à galets de quartz, de grès et de silexites**. Au Nord de Reichshoffen le flanc oriental du Bois Eyler est tapissé d'argile limoneuse et sableuse contenant fréquemment des fragments de silexites anguleux ou un peu émoussés, matériaux remaniés, par gélifluxion d'altérites et d'alluvions anciennes du Pléistocène inférieur probable. Aucun sondage ne donne leur épaisseur. Au SW de Frœschwiller, les éléments de silexites sont moins nombreux.

S𝒜-CFu2. **Complexe infralœssique soliflué à alluvions résiduelles RFu2 : argile silteuse, plus ou moins sableuse à galets de quartz, de grès et de quelques silexites**. Au Nord-Est de Gundershoffen, Schirlenhof, le flanc septentrional de la butte du Waldfeld et de celle qui lui fait suite à l'Est (Thiergarten) sont recouverts de sables et graviers remaniés des alluvions Fu2, largement emballés dans des argiles silteuses bariolées analogues à celles du complexe infralœssique. Leur épaisseur peut atteindre et dépasser 1 m, notamment dans le sondage 2-176 où ils contiennent 12 % de sable rose, assez fin, d'origine vosgienne. Dans le sondage 2-151, avec une épaisseur de 2,20 m, ils recouvrent des lœss du Pléistocène moyen altérés, mêlés de sable et fragments de grès rhétiens dans leur partie inférieure (épaisseur 2,30 m) avec des concrétions ferromanganiques. Une couche de 50 cm d'alluvions Fu2 remaniées et argileuses sépare les lœss des marnes du Sinémurien. Vers le Sud-Est, le matériel soliflué n'est plus sableux, mais argileux et limoneux. Dans les lentilles résiduelles d'alluvions anciennes, intercalées entre le complexe S𝒜-CFu2 infralœssique et les altérites des marnes sous jacentes, un aquifère perché et captif peut se trouver sous pression (observation de J.-P. Party).

S𝒜-CFu2/l. **Complexe infralœssique à alluvions résiduelles Fu2 : argile silteuse, plus ou moins sableuse à galets de quartz, de grès et de silexites, solifluée sur des marnes du Lias**. À l'Ouest de Forstheim, le versant Est, à l'amont du ruissseau, est tapissé par des matériaux du complexe infraloessique 𝒜-RFu2 soliflués sur des marnes du Pliensbachien probable.

S𝒜-RFu2/e*F*. **Complexe infralœssique à alluvions résiduelles Fu2 : argile silteuse, plus ou moins sableuse à galets de quartz, de grès et de silexites, solifluée sur des marnes de l'Unité de Forstheim**. Au Sud-Ouest de Forstheim, le versant Est du ruisseau est tapissé par des matériaux du complexe infralœssique 𝒜-RFu2 soliflués sur des marnes de l'Unité de Forstheim.

SCFu2-Œ. **Alluvions du Pléistocène inférieur mêlées de lœss, colluvionnées et solifluées**. Au Sud et au SW de Forstheim, les versants sont recouverts de sables limoneux, remaniement de lœss, par colluvionnement ou solifluxion. Le sondage 2-178 a recoupé une accumulation argileuse bariolée qui explique l'existence de zones très humides sur ce versant ; teinte à sec au code Munsell ; épaisseurs en mètres :

1,00 - limons argileux et sableux ;

0,10 - passée riche en concrétions ferromanganiques (5 %) ; 30 % de sable ;

0,40 - argile sableuse bariolée, brun ocre (10YR5/8 à 6/6) et gris blanc verdâtre (7,5GY7/1) ; 30 % de sable ;

0,50 - sable argileux brun ocre (10YR5/8) et gris blanc verdâtre (7,5Y8/1) ; 65 % de sable.

Les fractions arénites sont constituées de sable rosâtre hétérométrique, identique à ceux des alluvions anciennes d'origine vosgienne.

La couverture sablo-limoneuse du versant situé au NE de Laubach, provient du colluvionnement des alluvions Fu2 de la butte cotée 218 (« Der Wald ») mêlées, probablement par solifluxion, à des lœss du Pléistocène moyen.

CFu/t4-5*D*. **Alluvions du Pléistocène inférieur colluvionnés sur la Dolomie inférieure de la Lettenkohle**. Au Sud de Niederbronn, le versant occidental de la butte cotée 256 est tapissé de galets de quartz, recouvrant la Dolomie inférieure de la Lettenkohle.

CFu/t4-5*A*. **Alluvions du Pléistocène inférieur colluvionnés sur les argiles moyennes de la Lettenkohle**. Au Sud de Niederbronn, le versant SW de la butte cotée 256 est tapissé de galets de quartz, recouvrant les Argiles moyennes de la Lettenkohle.

SCŒ-Fu2. **Lœss et alluvions du Pléistocène inférieur soliflués et colluvionnés**. Des limons sableux recouvrent le versant, à regard est, situé au Nord d'Eberbach. Ils contiennent 10 à 20 % de sables, remaniés, pour l'essentiel, des alluvions Fu2. Leur épaisseur est inconnue. On les retrouve au NE de Gundershoffen, à Schirlenhof et Ingelshof dans une position géomorphologique semblable. À l'Ouest de Forstheim, le sondage 2-178 a traversé, sous 1 m de limons sableux et argileux, une argile sableuse bariolée, épaisse de 0,40 m (30 % de sable). En dessous, le matériau devient franchement sableux (65 % de sable rose hétérométrique, semblable à celui des alluvions d'origine vosgiennes). Pénétré sur 0,50 m, ce sable argileux provient probablement du remaniement des alluvions Fu2, reconnues plus haut sur le versant par le sondage 2-140.

C∅/-RFu2. **Colluvions d'alluvions résiduelles Fu2 plus ou moins mêlés d'argiles d'illuviation**. Le versant ouest de la butte de Forstheim est tapissé de sables plus ou moins argileux, accompagnés de galets de quartz, de quartzite et de silexites, irrégulièrement répartis.

S∅/-R. **Complexe infralœssique soliflué**. Au Nord de Schirlenhof (NE de Gundershoffen), le versant à regard sud est en partie tapissé par une argile assez plastique brun ocre. Sans fraction sableuse et plus argileuse que les altérites des marnes du Lias sous-jacentes, ce matériau peut s'interpréter comme une accumulation argileuse d'origine pédologique, générée par l'altération des marnes et étalée presque jusqu'à la partie inférieure du versant par gélifluxion. Son épaisseur peut atteindre et dépasser le mètre.

S∅/-RFv. **Alluvions résiduelles du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien avec accumulation argileuse bariolée solifluées**. Aux confins orientaux du ban de Zinswiller, en forêt de Frohret, les matériaux argileux S∅/-RFv tapissent largement un vallon. Dépôts argilo-sableux, mais aussi localement argileux comme l'a montré un sondage de 1,2 m de profondeur au fond du vallon, provenant probablement de l'altération des Argiles de Levallois, formant vraisemblablement le substrat de cette dépression topographique.

CFv. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent ou moyen ancien colluvionnées**. Dans le secteur de la forêt de Haguenau compris entre Mertzwiller, Laubach, Eschbach et la Zinsel du Nord, les alluvions Fv ont été largement étalées sur les versants. Ce remaniement se retrouve au Sud de la Moder, sur la partie nord des bans d'Ohlungen et d'Uhlwiller, principalement en zone forestière. Plus ou moins altérées par pédogenèse, les colluvions CFv peuvent présenter une accumulation argileuse bariolée, comme au Nord de Mertzwiller, dans le bois du Zang (sondage 2-179). L'épaisseur de cette couverture apparaît faible mais variable ; un chiffre donne localement sa valeur partielle ou totale. Nous indiquons, le plus souvent le substrat par sa notation.

CFv/∅/lj. **Sur des marnes du Lias et du Dogger indifférenciées**.

CFv/j1*S*. **Sur les Marnes silteuses de Schalkendorf**.

CFv/j2*O*. **Sur les calcaires et marnes du Bajocien supérieur**.

CFv/e6*M*. **Sur les Marnes de Mietesheim**.

CFv/e*F*. **Sur les marnes de l'Unité de Forstheim (notation exhaustive** CFv/∅/e6-7*F*).

CFv/e6-g1. **Sur des couches d'âge bartonien à rupélien indifférenciées**.

CFv/g1*P*. **Sur les Couches de Péchelbronn indifférenciées**.

CFv/g*PS*. **Sur les Couches de Péchelbronn supérieures du Rupélien**.

CFv/∅g1*F*. **Sur les Marnes à foraminifères du Rupélien**.

CFv/∅g1*A*. **Sur les Marnes feuilletées à amphisiles du Rupélien**.

CFv/∅g1*M*. **Sur les Couches à melettes du Rupélien**.

CFv/p. **Sur sables et argiles du Pliocène**.

SCŒ-Fv. **Lœss et alluvions du Pléistocène inférieur récent au Pléistocène moyen ancien, soliflués et colluvionnés**. Une formation limono-sableuse tapisse un versant au Sud-Ouest de Mietesheim (Kleinfeld, sur le 1/25 000 IGN). Le sondage 1-106, sur le haut du versant, en topographie subhorizontale, montre une succession de lœss altérés, plus ou moins riches en sables remaniés des alluvions anciennes Fv ; de haut en bas, épaisseurs en mètres ; couleurs à sec au code Munsell :

0,50 - limons lœssiques argileux et sableux brun ocre (10YR4/6) ;

0,50 - limons lœssiques argileux et sableux brun ocre (10YR5/6) ; **20 % de sable**, rares graviers de quartz, un menu fragment d'huître, rares petites concrétions ferromanganiques ;

1,50 - limon lœssique argileux, un peu sableux, ocre ;

2,00 - limon très argileux et sableux, plastique, brun jaune ocreux (entre 10YR6/6 et 2,5Y6/6), taches noires et concrétions ferromanganiques peu abondantes ;

0,50 - limon lœssique argileux peu sableux, ocre rouille (7,5YR6/6), taches noires et concrétions ferromanganiques petites (< 2 mm) et peu nombreuses ;

0,60 - limon lœssique argileux et sableux (**25 % de sable**), ocre rouille (7,5YR6/6), concrétions ferromanganiques petites (< 2 mm) et peu nombreuses ;

0,20 - argile limoneuse très sableuse (**40 % de sable**), concrétions ferromanganiques concentrées dans certaines passées.

Substrat :

0,20 - marne vert très clair, un peu panachée d'ocre à concrétions calcaires dures et tendres ;

0,50 - marne vert très clair (5GY7/1 à 8/1) ; Formation de Mietesheim probable, Bartonien.

Cette coupe est assez voisine de celle des lœss altérés à intercalations de limons sableux du sondage 1-104, sur une butte sommitale du bois d'Uhrwiller (fig. 22).

700 m plus au Nord-Est, la succession du **sondage 1-107**, situé sur un versant, à une altitude de 15 m inférieure, est nettement différente ; de haut en bas, épaisseurs en mètres :

0,50 - limons lœssiques sableux brun beige (10YR5/4) ;

1,80 - limons lœssiques argileux et sableux (**10 % de sable**) brun-ocre clair (10YR5/8) ;

0,40 - limons lœssiques argileux et assez sableux (**20 % de sable**) ocre (10YR5/6 à 6/6), quelques pisolites ferromanganiques ;

0,30 - sable argileux et limoneux, plastique (**70 % de sable**) ; brun rouille (7,5YR5/6) ;

Substrat :

1,00 - argile gris-vert olive clair (2,5Y5/3) ;

0,50 - argile gris-vert très clair (2,5Y7/3), concrétions calcaires dures, fragments de calcaire oolitique ;

0,50 - calcaire meuble à oolites subjointives dans une matrice argilo-carbonatée brun clair à beige (Grande Oolithe, Bajocien supérieur, modérément altérée et faiblement remaniée.

La pente est assez forte (12 % environ) et l'apport sableux, ici colluvionné, est nettement plus important. Comme dans le sondage 1-106, on peut noter l'absence d'accumulation argileuse à la base des limons.

Au Nord de Mietesheim, les limons lœssiques sont assez sableux ; 20 % dans les sondages 1-126 et 1-127 où leur épaisseur dépasse 2 m.

Au Nord de Griesbach, un bas de versant présente une couverture limono-sableuse d'origine colluviale dont les matériaux proviennent vraisemblablement de dépôts du Pléistocène ancien récent ou moyen ancien.

À l'Est de Laubach et au Nord d'Eschbach, la formation est localement très sableuse. Les versants en pente douce exposés à l'Est, sont recouverts de sables argileux et limoneux. Dans le sondage 2-124, entre Eschbach et Laubacherhof, à 1,50 m de profondeur, le sable occupe 52 % du matériau, l'argile 35,3 % et les limons 12,7 %. De 2 à 3 m, la répartition s'équilibre au 1/3 pour les 3 composants, avec quelques petits manchons calcaires, remaniés des

lœss. Dans le sondage 3-2868, au SE d'Eschbach, les sables prédominent (70 à 75 % dans les 2 m supérieurs, avec une teneur en argile comprise entre 17 et 19 %) ; leur teinte est ocre rouille (7,5YR5/6). Dans les 1,50 m inférieurs la proportion de sable s'abaisse (45 % à la base) tandis que celle des argiles et des limons augmente (30 et 25 %).

Au NW d'Ohlungen, des limons sableux recouvrent le versant nord du Jaegersbaechel. Leur épaisseur atteint 4 m dans le sondage 6-862 où 2 m de « limon vert calcaire » (probablement des altérites de marnes oligocènes solifluées) recouvrent 2 m de lœss lités sableux. Dans le forage 6-277, la succession est différente (épaisseur en mètres) :

1,00 - lœss sableux ferrifère, avec Bohnerz ;

1,00 - « marne » gris-jaune ;

2,00 - lœss avec gastéropodes.

Substrat : marnes oligocènes altérées.

*A*CFv. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent ou du Pléistocène moyen ancien, colluvionnées et altérées avec accumulation argileuse bariolée**. **Au Nord de Gumbrechtshoffen**, sur le haut du versant descendant du Kirchenkupp vers la Zinsel, le complexe infralœssique *A*/RFv est largement soliflué. Deux chantiers en haut de la rue de la forêt montraient un matériau argilo-sableux à sablo-argileux blanchâtre, non stratifié, sur une épaisseur dépassant 1,50 m. Le sable provient pour l'essentiel des alluvions Fv, avec une fraction moyenne à grossière prédominante, originaire des grès du Buntsandstein et du sable fin probablement remanié des altérites des grès rhétiens. **À l'Ouest de Pfaffenhoffen**, dans le secteur du bois de Zutzendorf, ces colluvions présentent une accumulation argileuse bariolée typique.

CFv-w/*A*l. **Alluvions du Pléistocène inférieur récent à moyen médian colluvionnées sur des marnes du Lias altérées**. Au Nord de Gumbrechtshoffen, le bas du versant sur la rive gauche de la Zinsel est recouvert de sables, très limoneux sous le lotissement de la Scheuermatt. À l'amont et vers l'Est, dans le secteur du Eulenberg, ils proviennent, pour l'essentiel, du remaniement de sables alluviaux Fw ; à la Scheuermatt, l'apport, par colluvionnement et solifluxion des alluvions Fv est vraisemblablement important. L'épaisseur de ce dépôt peut atteindre et dépasser 2 m.

CFw. **Alluvions anciennes du Pléistocène moyen médian colluvionnées**. En contrebas des buttes coiffées d'un manteau d'alluvions du Pléistocène moyen médian, souvent résiduelles, les versants sont largement tapissés de colluvions sableuses. L'épaisseur de cette couverture apparaît faible mais variable ; un chiffre donne localement sa valeur partielle ou totale. Les colluvions CFw occupent des surfaces assez étendues au SE d'Uhrwiller sur les

bas de versant NE et SE de l'Auerberg ; au SE de Mietesheim, sur les bords de la terrasse reconnue par le sondage 2-157 (Walterspiel sur le fond IGN 1/25 000) ; à l'Ouest de Reichshoffen ; sur le versant sud de la Moder d'Uhlwiller à Schweighouse et, en vis-à-vis, sur le versant nord de la Zinsel. De la Hardt de Batzendorf à Haguenau, elles s'étendent sur les sables et argiles du Pliocène. À l'Est de Walbourg, leur extension est moins importante. Nous indiquons, le plus souvent, le substrat par sa notation :

CFw/t5-6. **Sur les Marnes irisées du Keuper**.

CFw/j1S. **Sur la Formation de Schalkendorf**.

CFw/l. **Sur les marnes du Lias altérées**.

CFw/e6*M*. **Sur des marnes du Bartonien**.

CFw/g1*PS*. **Sur les Couches de Péchelbronn supérieures du Rupélien**.

CFw/g1*F*. **Sur les Marnes à foraminifères**.

CFw/g1*A*. **Sur les Marnes feuilletées à amphisiles du Rupélien**.

CFw/g1*M*. **Sur les marnes des Couches à melettes (Oligocène, Rupélien)**.

CFw/a. **Sur des argiles indéterminées (Nord de Mertzwiller)**.

CFw/p. **Sur sables et argiles du Pliocène**.

CFw-Œ. **Alluvions anciennes et lœss du Pléistocène moyen médian colluvionnés**. À Betschdorf, les colluvions CFw sont plus ou moins mêlées de lœss. À l'Est de Gunstett, le versant nord de la vallée de la Sauer présente une couverture limono-sableuse, avec un témoin de sables alluviaux que nous attribuons au Pléistocène moyen médian sur un critère altimétrique. Au Nord du sondage 3-2869 où 1,5 m de limon argilo-sableux recouvre 2,5 m d'argile sableuse, deux sondages pétroliers mentionnent une mince couche de lœss sous 1 m de limons sableux. Cette partie du versant présente un regard est, exposition où les accumulations de lœss sont fréquentes, en pays de Hanau.

CHw. **Colluvions sableuses à sablo-graveleuses, remaniement de l'épandage Hw**. En contre-bas des buttes basses du district forestier de Strohhuebel, au Nord de Haguenau, les sables et graviers Hw ont été remaniés par colluvionnement. L'épaisseur du dépôt CHw ne doit guère dépasser le mètre.

CFw-x. **Alluvions d'âge Pléistocène moyen médian à récent, colluvionnées**. Les alluvions Fw-x ont été étalées, essentiellement par colluvionnement, sur différentes formations du Rupélien indiquées dans les notations suivantes, sous la barre de fraction, sur la carte et ci-dessous. L'épaisseur de cette couverture ne semble guère dépasser le mètre. Juste sous ces alluvions remaniées, les marnes sont plus ou moins altérées et mêlées d'alluvions. Ces colluvions se localisent au Nord-Ouest de **Durrenbach** et au Sud-Ouest de **Walbourg**, dans la partie nord de la forêt de Haguenau, où les alluvions Fw-x, en position haute, ont été remaniées sur les Couches à melettes, en particulier entre la maison forestière de Gruendel et la route forestière éponyme. Elles reposent sur différents substrats du Rupélien :

CFw-x/g1*PS*. **Sur les Couches de Péchelbronn supérieures**.

CFw-x/g1*F*. **Sur les Marnes à foraminifères du Rupélien**.

CFw-x/g1*A*. **Sur les Marnes feuilletées à amphisiles**.

CFw-x/g1*M*. **Sur les marnes des Couches à mélettes du Rupélien**.

CŒ-Fw-x. **Lœss et alluvions anciennes du Pléistocène moyen médian et récent colluvionnés**. À mi-distance entre Morsbronn et Eberbach, le long versant emprunté par la D250 se couvre dans sa partie inférieure de limons sableux, localement humides (argile probable à faible profondeur).

CŒw-xs. **Lœss sableux du Pléistocène moyen médian et récent colluvionnés**. Au Nord-Ouest de Morsbronn, sous le Jungwald, les lœss sableux ont été largement colluvionnés.

𝒜CFw-x. **Alluvions du Pléistocène moyen médian à récent, colluvionnées avec accumulation argileuse bariolée (complexe infralœssique)**. À l'ouest de Walbourg, les alluvions Fw-x du hameau de Hinterfeld sont colluvionnées sur le talus NE de la terrasse alluviale et plus largement en direction de l'Est. Dans les sondages 3-2914 et 3-2917, ces colluvions deviennent rapidement argileuses en profondeur ; dans le second ouvrage, les argiles sableuses contiennent 5 % de concrétions ferromanganiques, les plus grosses atteignant 0,8 mm. À l'Est de Hinterfeld, les colluvions sableuses sont très mêlées de limons, prédominants dans les sondages 3-2925 et 3-2916. Elles deviennent plus argileuses en profondeur, dès 50 cm dans le sondage 3-2916.

S𝒜-t*E-C*. **Formation de solifluxion remaniant des altérites du Calcaire à entroques et des Couches à cératites**. Dans la vallée de la

Sauer, en limite nord de la carte, le versant en rive droite de la rivière apparaît largement tapissé d'argiles limoneuses à fragments et blocs calcaires.

C-Fy/t5*A*. **Dépôts de fonds de vallons attribués au Pléistocène supérieur recouvrant les Marnes irisées inférieures**. Le fond du large vallon situé au NE de Reichshoffen apparaît légèrement creusé par 3 thalwegs ; au Nord du petit thalweg septentrional, les colluvions sont limono sableuses.

C-Fy/t5-6. **Dépôts de fonds de vallons attribués au Pléistocène supérieur recouvrant les Marnes irisées indifférenciées**. Au Sud du dépôt C-Fy/t5*A*, les modestes interfluves sont recouverts de sables légèrement limoneux dont nous attribuons, de façon hypothétique, le dépôt au Weichsélien. Ils reposent sur les Marnes irisées, principalement les Marnes irisées supérieures.

Cy. **Colluvions d'anciens fonds de vallons d'âge Pléistocène supérieur probable**. Sables plus ou moins limoneux et argileux ; limons sableux. Nous employons la notation Cy sur la feuille Haguenau pour des aires, en fonds de vallon, qui apparaissent légèrement entaillées par les lits majeurs des ruisseaux actuels. À l'Ouest de Hœsloch, le couloir emprunté par la voie ferrée et reconnu par les sondages 3-42 et 3-43 est tapissé par un dépôt sableux que nous estimons un peu antérieur à l'Holocène soit weichsélien. Au SW de Pfaffenhoffen, de part et d'autre de la D235, s'étend un dépôt sablo-limoneux, entaillé par le fond de vallon holocène. La fraction sableuse pourrait provenir du remaniement des alluvions Fx, dont un témoin subsiste de l'autre coté du vallon ou d'un vannage éolien sur les alluvions Fy1.

CF. **Alluvions anciennes de différentes époques colluvionnées**. Au NE de Dauendorf, des colluvions sableuses s'étendent largement sur le Herrenwald. Elles ont probablement une origine alluviale, mais les corps sédimentaires d'origine, vraisemblablement érodés, n'existent plus ou sont masqués par les lœss ou les colluvions, sans exclure la possibilité d'apports éoliens depuis la terrasse Fy1. Leur épaisseur peut atteindre et dépasser 1 m. À Griesbach, de part et d'autre des dépôts de fonds de vallon, les interfluves, à peine en relief, et des bas de versants sont recouvert de sables. Ces colluvions proviennent du remaniement d'alluvions anciennes qui ne sont guère conservées dans ce vallon. L'âge de ces alluvions, pouvant s'échelonner du Pléistocène inférieur récent au Saalien, est difficile à préciser. La mise en place des colluvions CF pourrait dater du Pléistocène supérieur. Elles pourraient être aussi notées Cy. À l'Est de Wœrth, les colluvions CF masquent la faille rhénane.

CF/t5-6. **Alluvions anciennes de différentes époques colluvionnées sur les marnes irisées du Keuper**. À l'Ouest de Reichshoffen, sur les argiles et marnes du Keuper, l'extension des colluvions sableuses est importante.

CF/t7G. **Alluvions anciennes de différentes époques, Colluvionnées sur des silts et grès du Rhétien**. Aux confins SE de la commune d'Oberbronn, les altérites des grès et siltites du Rhétien, plus ou moins colluvionnées et solifluées, sont recouvertes ou mêlées d'alluvions anciennes de la Zinsel, d'âge Pléistocène moyen probable. Dans le sondage 1-86, 1 m d'argile limoneuse et sableuse recouvre 1m de sables argileux et limoneux, de plus en plus riches vers la base en sable fin et en fragments de siltites, avec de plus rares et menus débris de grès, provenant de l'altération et de la désagrégation des grès et siltites du Rhétien.

CF/𝒜l. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées sur des marnes du Lias altérées -** CF/𝒜lj. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées sur des marnes altérées du Lias et du Dogger**. À Gundershoffen, la partie inférieure des versants est largement recouverte de colluvions sableuses. Les seuls témoins d'alluvions sub- en place se rattachent au Pléistocène moyen médian. Cette zone se prêtant mal à l'observation, par sa forte urbanisation, on ne peut exclure l'existence de restes d'alluvions plus récentes. Les substrats sont précisés sous la barre de fraction. Près de l'église catholique, deux sondages donnent une idée de la composition de ces colluvions, constituées ici de sable ocre contenant quelques graviers et galets. Dans l'un d'eux, ce sable, moins épais, passe en profondeur, à un sable brun ou une argile sableuse renfermant quelques débris végétaux. Épaisses de 2 à 3 m, ces colluvions reposent sur une « argile grise », substrat jurassique probable.

CF-Œ. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés**. Des sables limoneux CF-Œ sont représentés à Uberach, Harthouse, à l'Ouest de Surbourg et au Sud de Dieffenbach.

À Uberach, le sondage 5-56 donne une coupe assez détaillée de ces colluvions, épaisseurs en mètres, de haut en bas :

1 - 0,8 - sables limoneux brun ocre et galets (de quartz) ;

2 - 0,5 - limons sableux brun ocre, un peu sableux ;

3 - 2,8 - limons ocre, légèrement sableux ;

4 - 0,1 - limons sableux gris clair.

En rive droite du Rothbach, du Sud de Niefern à l'éperon dominant la Hardtmuehle, la partie moyenne du versant est recouverte de sable limoneux (50 à 65 % de sable) et localement de limons sableux. Au Sud d'Uhrwiller, dans la tranchée de la D24, à la retombée septentrionale de l'interfluve, ces sables ont au moins 2 m d'épaisseur. Un peu en contre-bas, avant d'atteindre le point coté 200, ils passent, vers le bas, à des limons lœssiques sableux. Plus ou moins grossiers, les sables s'acompagnent de quelques petits graviers.

CF-Œ/𝒜t3. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur des formations du Muschelkalk inférieur**.

CF-Œ/t3-4*C*. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur des formations du Muschelkalk supérieur**.

CF-Œ/t4-5*D*. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur la dolomie inférieure de la Lettenkohle**.

CF-Œ/t4-5*A*. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur les argiles moyennes de la Lettenkohle**.

CF-Œ/e6-7*F*. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur les marnes de l'Unité de Forstheim**.

CF-Œ/Fy1. **Alluvions anciennes de différentes époques, colluvionnées et mêlées de lœss remaniés sur les alluvions du Pléistocène supérieur ancien**.

SCŒ-F. **Lœss et alluvions anciennes de différentes époques soliflués et colluvionnés**. Au Sud de Gumbrechtshoffen, le colluvionnement et la cryoreptation ont accumulé, sur la partie basse du versant, des sables plus ou moins argileux, remaniés des alluvions Fu et Fw mêlées de limons lœssiques. Leur épaisseur peut atteindre et dépasser 2 m.

CŒ-F. **Colluvions lœssiques mêlées d'alluvions anciennes de différentes époques**. Au NE de Zinswiller, le versant nord de la forêt de Frohret est recouvert dans sa partie centrale, entre une zone presque dépourvue de formations superficielles et une autre nappée de lœss, par des colluvions limono-sableuses. À mi-pente, une souche exposait une petite coupe ; de haut en bas, épaisseurs en mètres, teintes à sec au code Munsell :

0,50 - limons sableux gris beige clair (10YR8/3), lessivés, avec quelques galets de quartz épars ;

0,35 - limons sableux, modérément argileux, de même couleur, avec quelques taches ocre ;

0,15 - argile limono-sableuse très compacte, panachée ocre, ocre rouge et blanc gris verdâtre (accumulation argileuse bariolée probable).

Les 3 couches ont la même teneur en sable : 20 % qui provient, ainsi que les galets, du remaniement d'alluvions anciennes du Pléistocène ancien ou moyen.

Au SE de Griesbach, une longue bande de colluvions limono-sableuses borde le versant en rive droite du Schliederbach.

CŒ. **Limons lœssiques colluvionnés**. Largement répandues sur les bas des versants, les colluvions CŒ ne sont figurées que localement. Dans les sites où elles se différencient nettement des lœss, ces colluvions limoneuses, plus ou moins argileuses, ont un débit souvent granuleux. Localisées en bas de versant, elles sont fréquemment affectées par l'hydromorphie et prennent alors une teinte plus sombre, brunâtre (Elsasshausen). Citons le versant ouest du Neuwald, au NE de Reichshoffen, les bas de versants de la butte de Gunstett et au S-SW de Kutzenhausen où elles tapissent un fond de vallon en direction de Hœsloch, et présentent un faciès hydromorphe contenant des concrétions ferromanganiques (Bohnerz ; sondage 4-1366).

C*ahy*. **Colluvions argileuses et hydromorphes de bas de versant**. Sur la partie basse des versants à substrat de marnes ou d'argile, les colluvions ont une granulométrie souvent fine, qui favorise le maintient de l'hydromorphie. Le fond du vallon situé au SW de Gumbrechtshoffen, en contrebas du Suessenberg, en est un bon exemple.

Cla. **Colluvions limono-argileuses**. Au SW de Frœschwiller, vers l'extrémité nord du Grosserwald, sur le haut du versant à regard ouest, des limons argileux et des argiles limoneuses recouvrent les altérites du Lias. Epais de 1 à 1,5 m, ces matériaux proviennent d'un mélange, par colluvionnement, d'altérites de Lias et de lœss.

Csa. **Colluvions sablo-argileuses**. À l'Est d'Uberach, sur le flanc occidental du massif de Stocklach de la forêt de Haguenau, le versant est couvert de sables plus ou moins argileux, provenant du remaniement de la couverture limono-sableuse à sablo-argileuse du plateau qui le domine à l'Est.

Cls. **Colluvions limono-sableuses**. À Woerth, en rive droite de la Sauer, le bas des versants est recouvert de dépôts limono-sableux d'origine colluviale pour l'essentiel, la fraction sableuse provenant vraisemblablement du remaniement de sables alluviaux du Pléistocène moyen ou supérieur.

Cs/Fz*T*/Fz*R*. **Colluvions sableuses recouvrant des tourbes et alluvions tourbeuses surmontant des alluvions rhénanes du Pléistocène supérieur**. En s'éloignant de la cuesta Oberhoffen – Schirrhein, les sondages pétroliers montrent que le complexe Cs/Fz*T* repose sur les sables et graviers rhénans, Fy*R*, dont la partie supérieure est attribuée au Weichsélien (Geissert, Ménillet, Boudot, 1976).

Cs/Fz*T*. C**olluvions sableuses recouvrant des tourbes et alluvions tourbeuses de la basse plaine rhénane**. Au SE de la carte, au pied de l'escarpement qui se suit d'Oberhoffen à Schirrhein, les alluvions rhénanes tourbeuses holocènes (« Ried ») sont recouvertes de limons sableux ou de sables limoneux. Plus ou moins marécageuses et tourbeuses, ces colluvions se remarquent par leur sol souvent noir et acide où se développement des peuplements d'Aulnaie. Les sondages 8-72 et 8-73, les seuls que nous connaissons dans cette zone, attribuent à ces colluvions une épaisseur inférieure ou égale à 2 m. Dans le second, leur substrat est formé par des sables rouges, alluvions Fy1 abaissées par la faille de Bischwiller-Mothern.

Cs. **Colluvions sableuses**. Au Nord de Niederbronn, en contre-bas de l'escarpement de la faille vosgienne, le plateau présente une couverture sableuse, plus ou moins enlevée par les terrassements effectués lors de l'urbanisation du secteur. Les sables sont accompagnés d'un peu d'argile.

C. **Colluvions indifférenciées ; sables limoneux, limons plus ou moins sableux ou argileux**. Les dépôts fins de bas versant constitués par un mélange de matériaux variable ou mal connu sont regroupés sous la notation C. Sous l'escarpement de la faille vosgienne, des colluvions sablo-limoneuses relayent localement, vers la plaine, les formations de piémont à blocs de grès. Au NE de Zinswiller, près de la limite NE de la forêt de Frohret, des colluvions limono-sableuses deviennent hydromorphes. Un sondage à la tarière a pénétré, sous 0,7 m de colluvions limono-sableuses, une accumulation argileuse bariolée sur 0,3 m. Nous avons individualisé les colluvions C dans la vallée du Rothbach entre Niefern et La Walk et au Nord de Dauendorf.

Au lycée de Wœrth, l'épaisseur des colluvions C augmente, en s'éloignant du versant avec un maximum de 3,8 m. Leur composition, comprenant 2 à 4 couches, varie beaucoup : argile, limon argileux, limon sableux, argile sableuse. La présence d'argile brun rouge en surface, au-dessus de limons sableux, dans trois sondages voisins est un indice de la présence de matériaux soliflués depuis le versant, constitué, dans sa partie inférieure des Marnes irisées supérieures du Trias.

À Mitschdorf, dans la vallée du Seltzbach, à Oberdorf, Gunstett et Hegeney, cette notation s'applique à des limons argileux, déposés probablement par le ruissellement érodant le « Conglomérat côtier » du Rupélien, Plus à l'Est, en aval de Soultz, la part revenant au remaniement des læss est importante. À Schwabwiller et Betschdorf, les colluvions de bas versant sont limono-sableuses à sablo-limoneuses.

Glissements de terrain

Les levers n'ont mis en évidence qu'un petit nombre de formes typiques de glissement de terrain : les loupes de glissement ; mais celles-ci n'ont pas fait l'objet d'une recherche systématique qui nécessite un examen des versants éclairés par le soleil en lumière latérale. De tailles modestes, elles concernent essentiellement des versants façonnés dans des niveaux argileux. Notons quelques loupes de glissement observées :

– sur les Marnes irisées supérieures du Trias, à Zinswiller, au NW de la forêt de Frohret ;

– sur les Marnes de Mutzenhouse, dans 3 sites :
- au Sud de Reichshoffen, sur le flanc nord du dernier interfluve précédant la limite de la commune,
- 2 km à l'Est de Reichshoffen, à proximité du Grosserwald de Gundershoffen,
- 300 m au SW du hameau d'Elsasshausen, au Sud de Frœschwiller.

À Wœrth, dans la montée de la D28 en direction de Frœchwiller, le versant au nord de la route a été affecté, dans les années 70, par des glissements de terrains, dans les Marnes irisées supérieures et les Argiles de Levallois du Trias.

Dépôts anthropiques

Outre les dépôts décrits dans la première partie de la notice, la carte du régolithe figure deux autres types de dépôts anthropiques.

Xpe. **Remblais sur ancien dépôts d'hydrocarbures**. Localement, des déblais ont recouvert d'anciens dépôts de produits pétrolier, comme un remblai situé au Sud de Bertsheim.

X. **Anciennes zones de déblais et remblais d'origine inconnue**. Outre les dépôts anthropiques décrits dans la première partie de la notice, nous avons figuré quelques aires truffées de fosses et déblais, sans indices permettant de savoir s'il s'agit d'anciennes recherches de minerai de fer ou de mouvements de terre d'une autre origine. La plus étendue se situe sur la rive gauche de la Moder, au NE de Dauendorf.

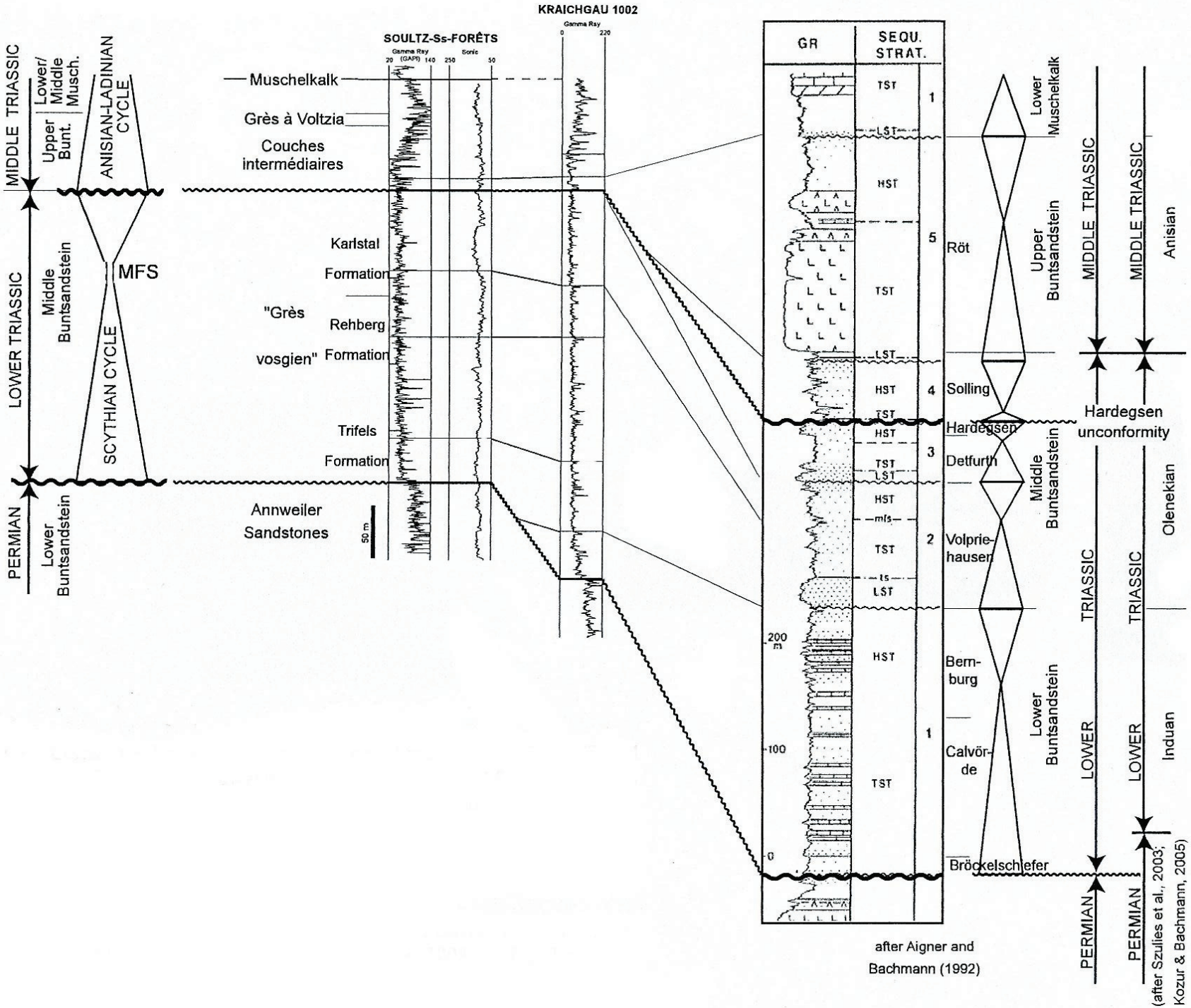


Fig. 4 - Corrélations entre les dépôts triasiques du fossé rhénan (forage de Soultz-sous-Forêts, 01984X0069) et le Nord de la Forêt Noire (forage Kraichgau 1002) ; comparaison avec les cycles stratigraphiques définis au Centre du bassin germanique (Bockenem, 50 km au SE de Hanovre) (Bourquin *et al.*, 2006)

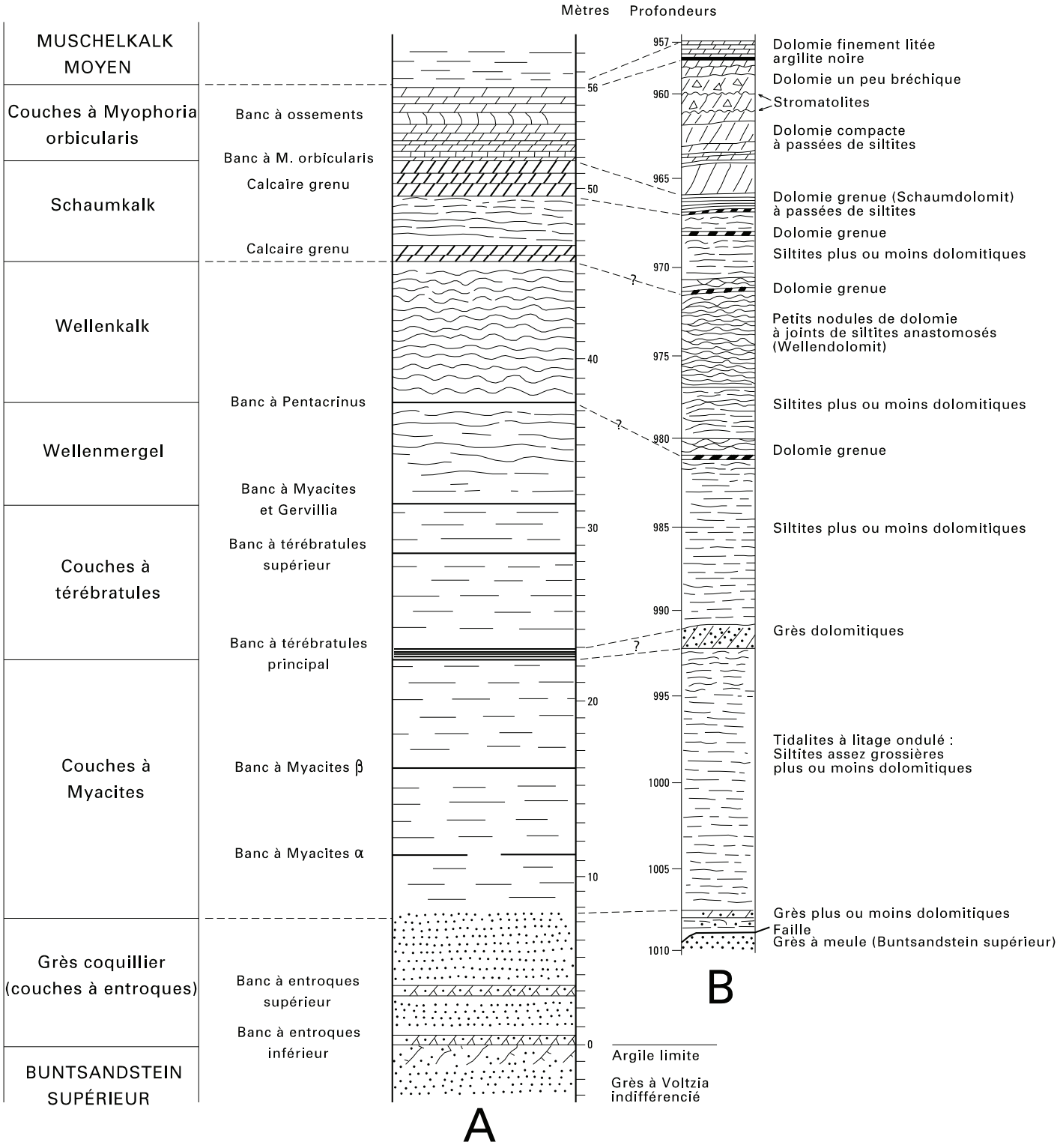
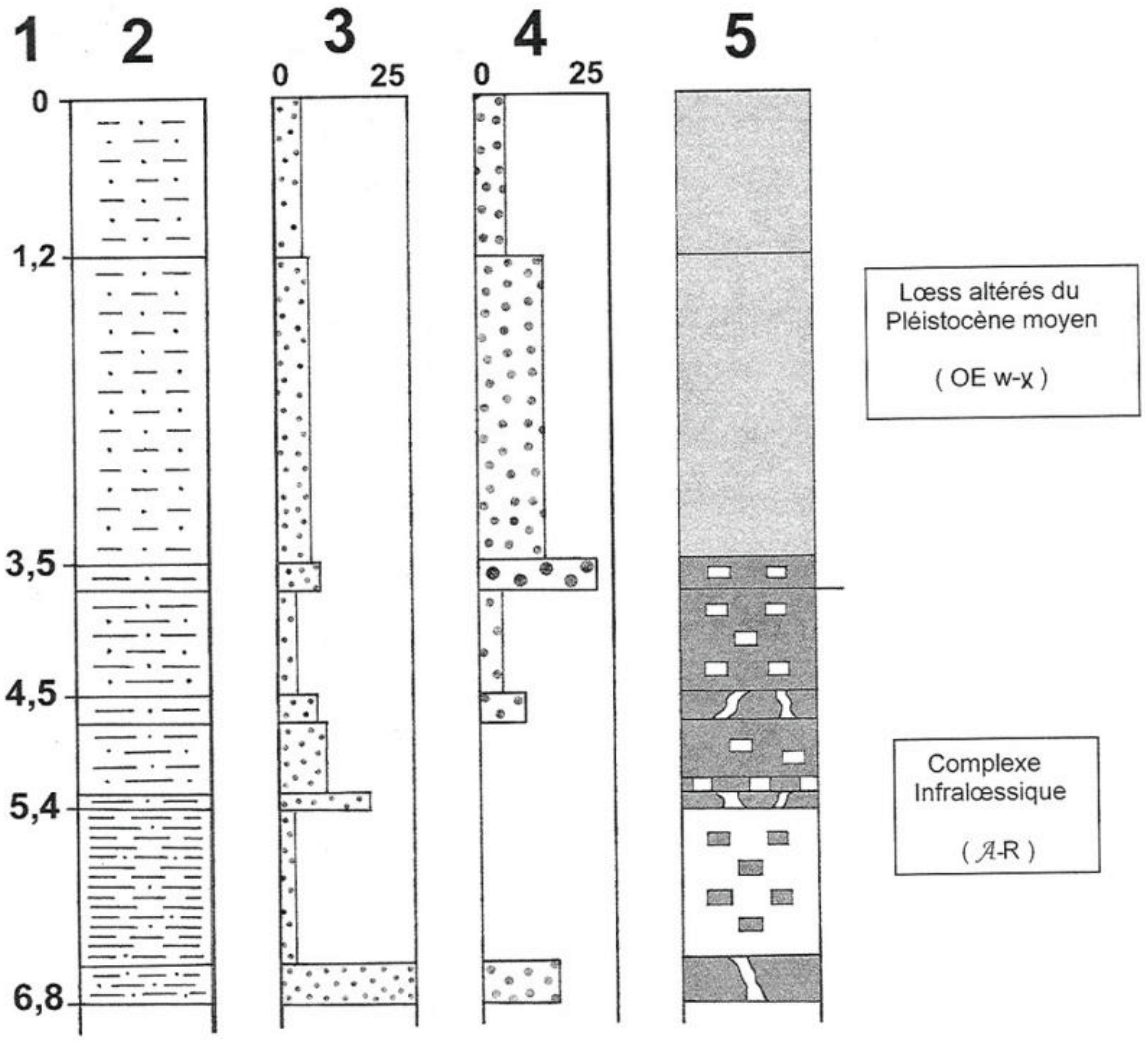


Fig. 6 - Coupes dans le Muschelkalk inférieur de Lorraine et d'Alsace



1 - Profondeur, en mètres

2 - Lithologie : limons argileux, limons très argileux

argile plus ou moins sableuse

3 - Fraction sableuse, d'origine alluviale (rivières issues des Vosges du Nord), pourcentage sur le poids total du sédiment

4 - Concrétions ferromanganiques : pourcentage sur le poids total du sédiment

taille inférieure à 5 mm, nombreux pisolites de 1cm de diamètre

5 - Couleur : brun ocre, brun rouge à ocre, gris clair,

parties claires, veines claires, parties brun ocre

Substrat : marnes d'âge probable toarcien supérieur, altérées dans leur partie supérieure

Fig. 23 - Couverture infraloessique et loessique ancienne ; coupe de référence du pays de Hanau, Uhrwiller (Bas-Rhin, France), sondage 01981X0104, par F. Ménillet

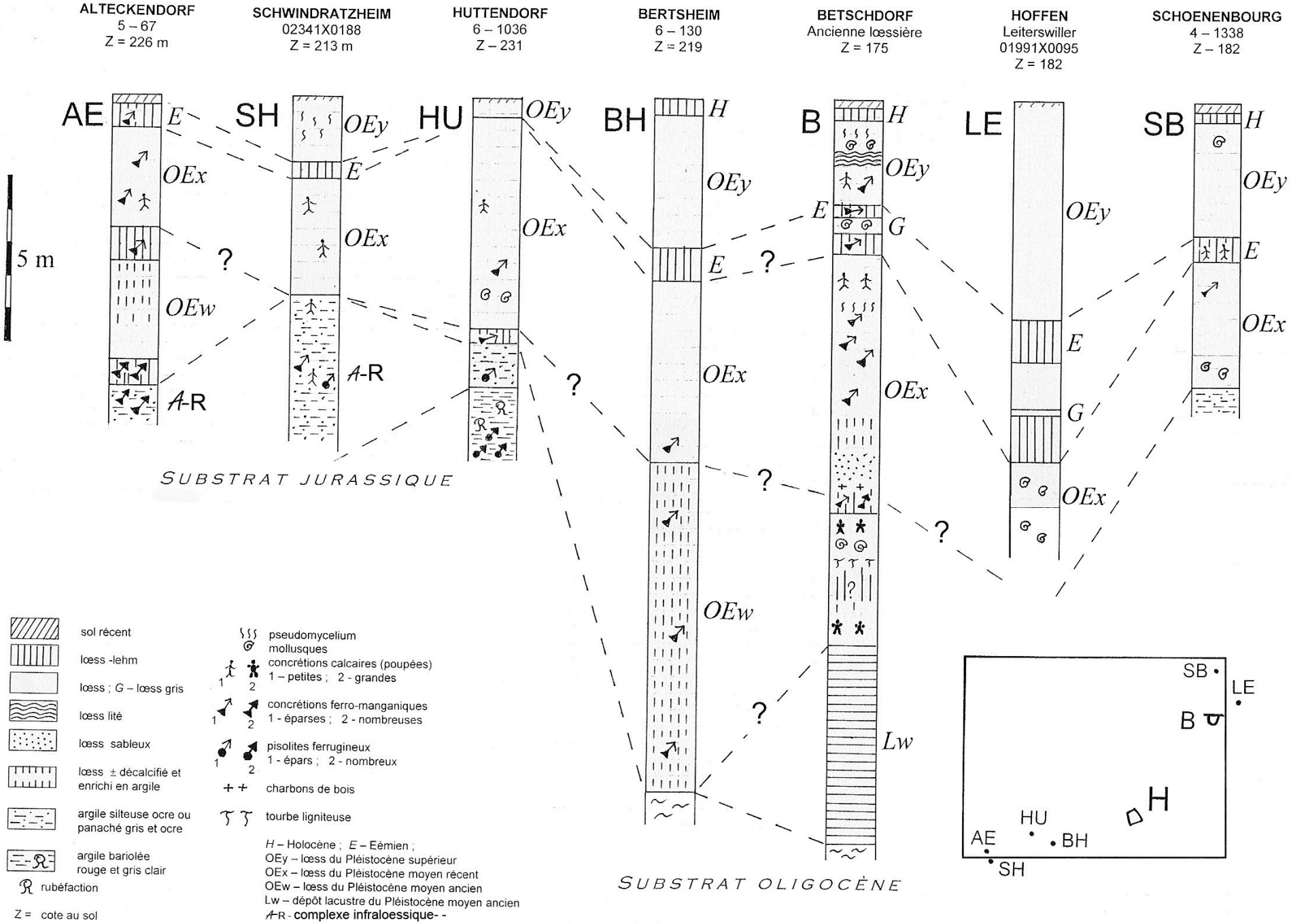


Fig. 24 - Complexe lœssique dans l'emprise de la carte géologique à 1/50 000 Haguenau par F. Ménillet. Corrélations possibles entre les principales coupes de sondages (n° BSS) et l'ancienne lœssière de Betschdorf

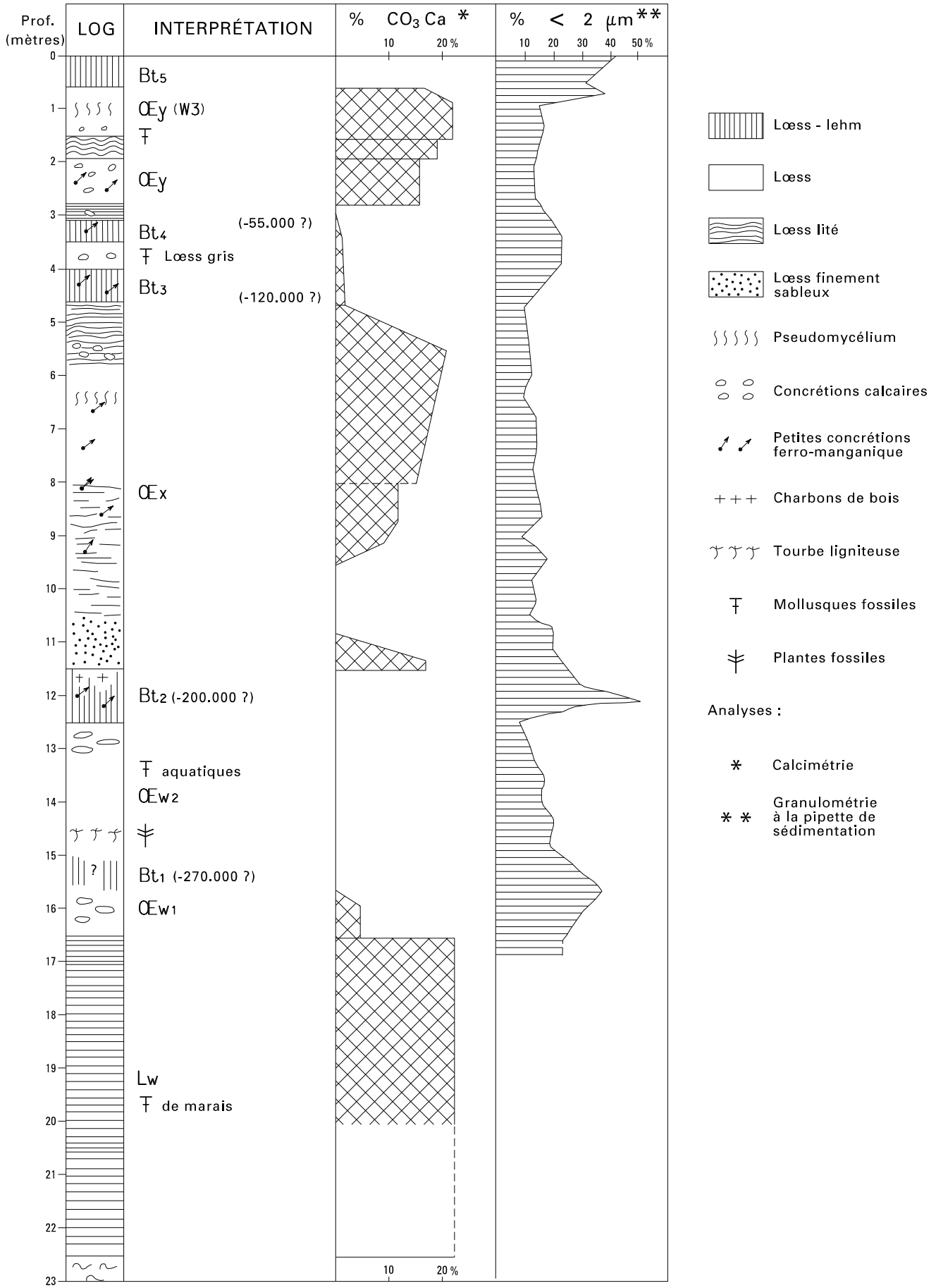


Fig. 28 -Coupe synthétique de l'ancienne lœssière de Betschdorf (Bas-Rhin, France), d'après F. Geissert (1968), J. Buraczynsk, (1982), F. Buissez (1988) et B. Ludwig (1988)

CHOIX DE SONDAGES PROFONDS (sondages pétroliers) N° 1		Numéro sur la carte (archivage S.G.N.)		3-23	3-24	3-26	3-27	3-25	4-22	4-20
		Société de forage		PSAEM		PREPA	PREPA	PSAEM	PSAEM	PSAEM
		Lieu		Morsbroon	Woerth	Dieffenbach	Dieffenbach	Pechelbronn Thermal	Kutsenhausen	Soultz
		numéro initial		4804		1	2	1266	3956	4616
		Année de réalisation		1955	1917	1954	1955	1909-10	1938-39	1950-51
		Coordonnées Lambert		995,790 147,900	995,530 152,260	997,250 152,025	998,300 151,850	1001,525 152,720	1003,370 151,250	1004,630 152,500
PLIO-QUATERNAIRE (cote au sol)				+ 190,5	+ 175	+ 222,6	+ 237,9	+ 159,5	+ 176	+ 155
OLIGO-CENE	**RUPELIEN**	Marnes à Cyrènes Couches à Mélettes	g1*G*	-	-	-	-	-	-	-
		Schistes à Amphisiles	g1*A*	-	-	-	-	-	-	-
		Marnes à Foraminifères	g1*F*							
EOCENE	**PRIABON.**	Couches de Péchelbronn	g1*P*	+ 137	-	+ 218	+ 233	+	+ 163	+ 138
		Couche rouge		-	-	+ 16	- 87	~ - 144	- 391	- 168
		Zone dolomitique		-	-	- 97	- 185	~ -282	- 506	- 234
		Zone de transition								
JURASSIQUE	**DOGGER**	Bathonien - Marnes et calcaires	j2	-	-	-	-	-	-	-
		Bajocien - Grande Oolithe	j2*GO*	-	-	-	-	-	-	-
		Bajocien - Calcaires et marnes	j2*MG*							
	LIAS	Aalénien - Couches de Schalkendorf	j1*S*	+ 132	-	-	-407	~ - 300	- 769	- 499
		Aalénien - Couches de Gindershoffen	j1*G*							
		Toarcien - Marnes à Posidonomies	l4*C*	+	-	-	- 454	~ -320	- 784	- 528
		(Domérien) - Calcaire à *P. d'avooi* Carixien et marnes à *Z. numismalis*	l3*BZ*	+ 9	-	-	-538	+	+	-
		Sinémurien - Calcaires et marnes Hettangien à Gryphées	l1-2*C*	- 16	-	-	-579	~ - 528	- 909	-
TRIAS	**KEUPER SUP.**	Rhéthien - Argiles, marnes rouges	t7*A*	- 36			-597	- 547		
		Rhétien - Grès	t7*G*			-			- 944	- 631
	MARNES IRISEES	supérieures - Argiles bariolées dolomitiques	t5-6*M*	-		-	- 614	- 566		
		supérieures - Marnes rouges à anhydrite	t5-6C						- 949	- 649
		moyennes - Dolomie, marnes irisées moyennes moyennes - Grès à roseaux	t5*GD*	-	+ 166	-	+	- 615	- 1004	- 698
		Inférieures - Marnes irisées inférieures	t5*A*	- 62		-	- 694	- 640	- 1024	~ - 709
	LETTEN-KOHLE	Dolomie-limite	t4-5*L*	- 92				- 751		
		argiles bariolées	t4-5A			-	-		-	- 817
		Caclaire et dolomie	t4-5*D*			~~~~~~~~~				
	MUSCHELKALK	supérieur - Couches à Cératites	t4*C*	-119	- 5	- 138	- 747	- 789	-	- 834
		supérieur - Calcaire à entroques	t3-4*E*							
		moyen - Dolomies à Lingules	t3*B*	- 186		+				
		moyen - Marnes bariolées	t3*G*				- 798 *	- 843	-	-
		inférieur - Dolomie, marnes, calcaires ondulés	t3*T-O*	-237		-		- 899	-	-
		inférieur - Grès coquillier	t3*M*					-957		
	BUNTSANDSTEIN	supérieur - Grès à *Voltzia*	t3*V*	- 281	- 85,6 ?					
		supérieur - Couches intermédiaires	t3*C*	- 290		-186 - 217 *		- 997,6	-	-
		Conglomérat principal		- 365					-	-
		inférieur - Grès vosgien	t2*V*	- 375					- 1124	- 952
		inférieur - Grès d'Annweiler	r3	- 380 *	- 287 *					
	PERMIEN								~'- 1354	-
	SOCLE CRISTALLIN								- 1385 Granite - 1397 *	- 1225 Granite - 1248 *

Tabl. 1 - Tableau synoptique de sondages profonds de la carte géologique à 1/50 000 Haguenau (sondages pétroliers, pour l'essentiel).

CHOIX DE SONDAGES PROFONDS (sondages pétroliers) N° 2		Numéro sur la carte (archivage S.G.N.)		4-25	6-22	6-21	6-25	7-32	7-33	8-30
		Société de forage		PREPA	PSAEM	PSAEM	PREPA	PREPA	PREPA	PSAEM
		Lieu		Reimerswiller	Berstheim	Sommerbaechel	Haguenau	Haguenau	Haguenau	Schirrein
		numéro initial		1	4.687	3.590	3	2	1	4.770
		Année de réalisation		1958	1951	1933-35	1956	1956	1955	1952-53
		Coordonnées Lambert		1005,660 149,375	992,350 136,575	993,275 136,860	996,261 134,848	998,925 135,280	1000,015 135,300	1008,975 137,010
PLIO-QUATERNAIRE (cote au sol)				+ 185,6	+ 203,4	+ 181	+ 182,5	+ 156,1	+149,8	+ 120,9
OLIGOCENE	RUPELIEN	Marnes à Cyrènes Couches à Mélettes	g1G		+ 153 ?	+ 165	+ 117	+ 94	+ 90	+ 16
		Schistes à Amphisiles	g1A	+ 157		+ 111	- 81	- 166	- 168	- 354
		Marnes à Foraminifères	g1F							
EOCENE	PRIABON.	Couches de Péchelbronn	g1P	+ 44	+ 103	+ 84	- 103	- 184	- 187	- 377
		Couche rouge		+ 1	- 69	- 283	- 693	+	+	-
		Zone dolomitique		- 190	- 103	- 338	- 731	689	- 730	- 629
		Zone de transition			-					
JURASSIQUE	DOGGER	Bathonien - Marnes et calcaires	j2		~~~~~~~~~~	- 505	- 982	- 1217	- 1255	- 1014
		Bajocien - Grande Oolithe	j2GO				- 1004	- 1253	- 1280	- 1045
		Bajocien - Calcaires et marnes	j2MG		- 247		- 1020,6	- 1288		
	LIAS	Aalénien - Couches de Schalkendorf	j1S	~~~~~~~~~ - 483	- 340				- 1369	- 1172
		Aalénien - Couches de Gindershoffen	j1G	- 523,1					-1390,6	
		Toarcien - Marnes à Posidonomies	l4C		- 444					- 1293
		(Domérien) - Calcaire à *P. d'avooi* Carixien et marnes à *Z. numismalis*	l3BZ		- 507					- 1372
		Sinémurien - Calcaires et marnes Hettangien à Gryphées	l1-2C		- 540					- 1382
TRIAS	KEUPER SUP.	Rhéthien - Argiles, marnes rouges	t7A		- 548	?				- 1436
		Rhétien - Grès	t7G							
	MARNES IRISEES	supérieures - Argiles bariolées dolomitiques	t5-6M		- 567	- 512				- 1456
		supérieures - Marnes rouges à anhydrite	t5-6C							
		moyennes - Dolomie, marnes irisées moyennes moyennes - Grès à roseaux	t5GD		- 607	+				- 1496
		Inférieures - Marnes irisées inférieures	t5A		- 622	+				- 1511
	LETTEN-KOHLE	Dolomie-limite	t4-5L							
		argiles bariolées	t4-5A		- 697	- 662				- 1624
		Caclaire et dolomie	t4-5D							
	MUSCHELKALK	supérieur - Couches à Cératites	t4C		- 735	- 695				- 1649
		supérieur - Calcaire à entroques	t3-4E			-711				- 1709,6 *
		moyen - Dolomies à Lingules	t3B		- 772					
		moyen - Marnes bariolées	t3G							
		inférieur - Dolomie, marnes, calcaires ondulés	t3T-O		-					
		inférieur - Grès coquillier	t3M							
	BUNTSANDSTEIN	supérieur - Grès à *Voltzia*	t3V							
		supérieur - Couches intermédiaires	t3C		-					
		Poudingue de Sainte-Odile								
					-					
		moyen - Grès vosgien	t2V		- 827					
		inférieur - Grès d'Annweiler	r3							
PERMIEN					- 1252					
SOCLE CRISTALLIN					~~~~~~~~~ - 1351 Diorite -1353 *					

LEGENDE

P.S.A.E.M. : Pechelbronn Société anonyme d'exploitations minières

P.R.E.P.A. : Prospections et exploitations pétrolières en Alsace

+ 84, - 69 : Cote du toit des formations géologiques

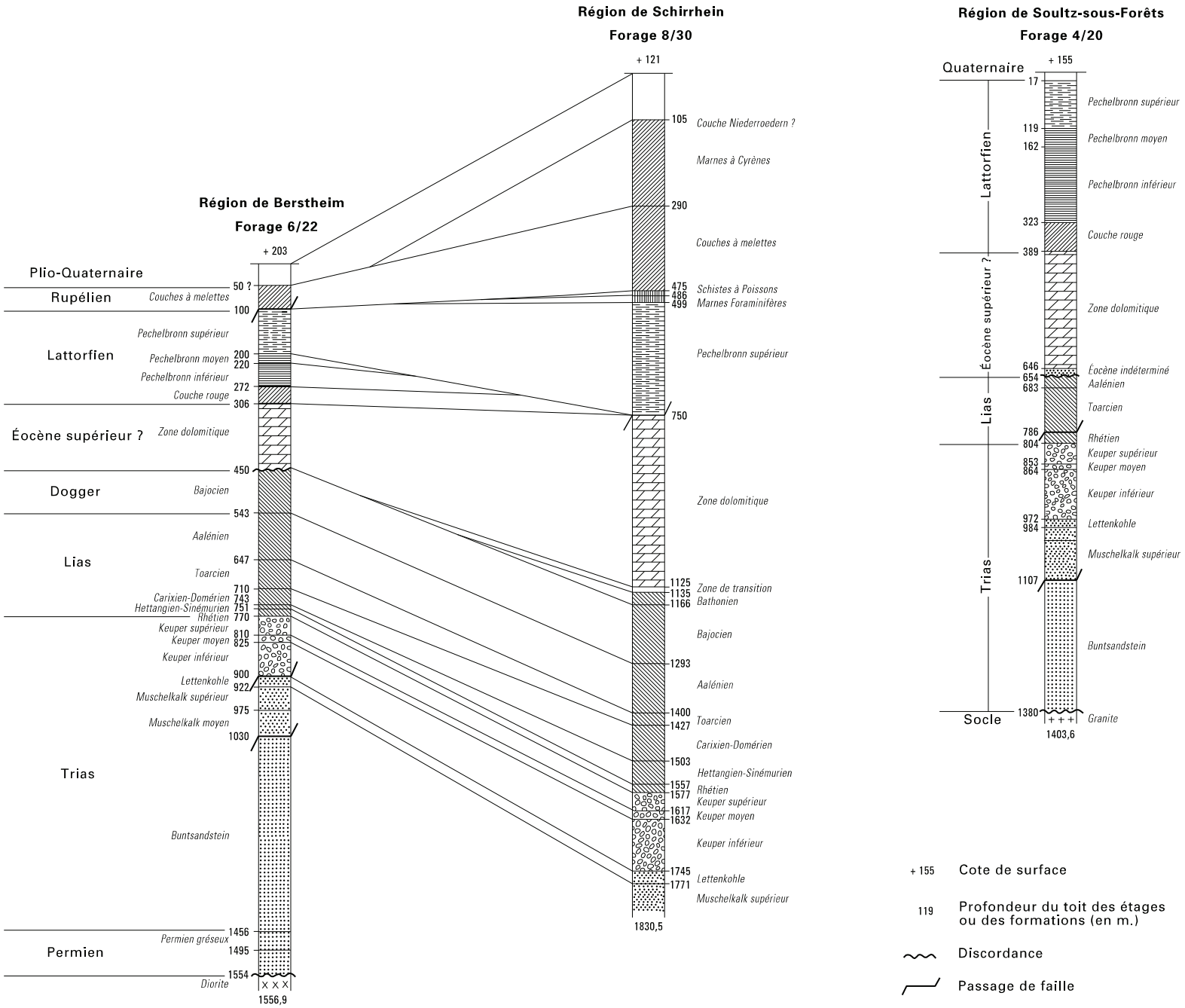
———— : Faille

~~~~~~~~~ : Discordance * : Fond de forage

\+ : Niveau géologique présent, cote non précisée

\- : Niveau géologique absent

Tabl. 2 - Tableau synoptique de sondages profonds de la carte géologique à 1/50 000 Haguenau (sondages pétroliers, pour l'essentiel).
~~~~~~~~~



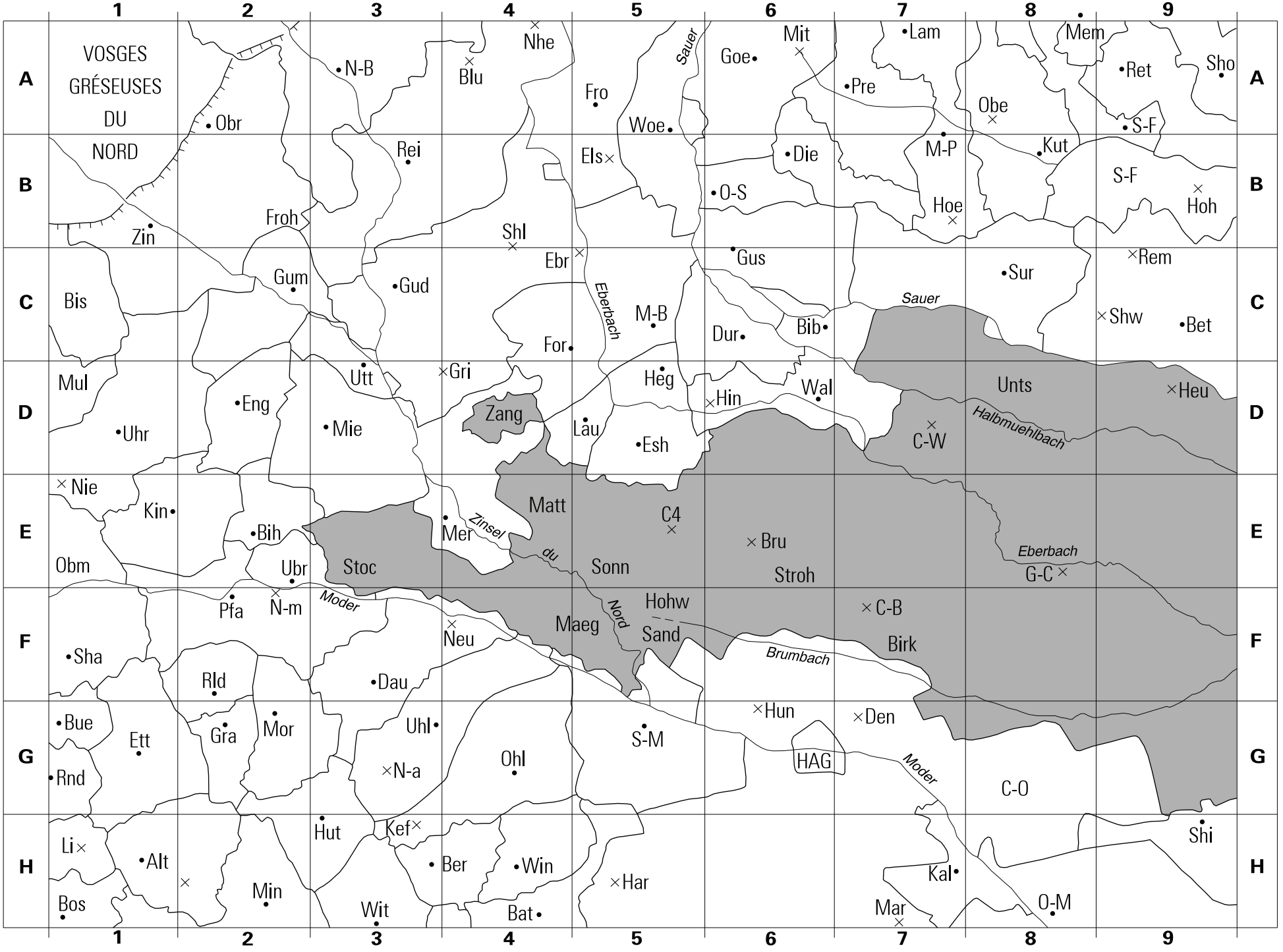
Coupes géologiques (logs) de 3 sondages pétroliers de la carte géologique Haguenau à 1/50 000. Keuper au sens restreint français = Mittelkeuper = Marnes irisées

Haguenau 2ème éd.	Haguenau 1ère éd.	Brumath	Bouxwiller	Lembach	Seltz-Wissembourg
C			C		
Cœ	Non identifié				Cœ
Pt2	E			Pt1	
Pt2-3	E		Pt1-2	Pt1-2	
Uz	U			U	
CFy-z	Fz	Cy-z	Fz	CFy-z *p.p.*	CFz
CFzT	Non identifié				
FzT	T	T		Tz	T et T/Fz
Fz*R*	Fz *p.p.*				Fz*R*
Fz	Fz *p.p.*	Fz	Fz	Fz	Fz
Fy	Fy *p.p.*		(Fy)		
Fy2	Fy *p.p.*				
Fy1	Fy *p.p.*				
RFx-y/p	Fy *p.p.*				
RFx-y/g1*G*	Fy *p.p.*				
Fx	Fy *p.p.*		Fxz *p.p.*		
Fx2	Fy *p.p.*				
Fx1	Fy *p.p.*				
RFw-x/p	Fy *p.p.*		Fwz *p.p.*		
RFw	Fy *p.p.*		Fwz *p.p.*		
Fw	Fy *p.p.*		Fwz *p.p.*	Fv-w *p.p.*	
Fws	Fy *p.p.*				
Fv-w*R*	Non identifié	Fv-w*R*			Fv-y *p.p.*
Fvsx	p *p.p.*				
RFv	p *p.p.*	P *p.p.*	Fv et Fp-v	Fv-w *p.p.*	
RFu	p *p.p.*				
Œy	Œ *p.p.*	Œy	Œy	Œ *p.p.*	
					Œx
					Œw
Œw-x	Œ *p.p.*	Œ *p.p.*	Œ *p.p.*	Œ *p.p.*	Œ *p.p.*
Dy-z	D				D
A-R	Non identifié		Non identifié		
A-RFx	Non identifié		Non identifié		
A-RFw	Non identifié		Non identifié		
A-RFv	Non identifié		Non identifié		
A-RFu1 et A-RFu2	Non identifié		Non identifié		
p	p *p.p.*	P *p.p.*		p	p
pa	p *p.p.*		Non distingué		
p*R*	Non identifié				
p*B*	Non identifié				
					m 1 à 4
g2	g3	Non affleurant			g3
g1*G*		g2c-d		g2c-d	g2c-d
g1*C*	g2d	g2d			
g1*M*	g2c	g2c			
g1*A*	g2b	g2b		g2b	g2a-b
g1*F*	g2a	g2a		g2a	
g1*C*g	g1M	g1D	g	g1-2	g2
g1*PS*	g1	Non affleurant			g1 *p.p.*
e-7g1*PM*	Non figuré	Non affleurant			
e7*PI*	Non identifié	Non affleurant			
e7*R*	Non identifié	Non affleurant			
e6-g1					
e7*R*	Non identifié	Non affleurant			
e6-g1					
e5-7*F*					
e6*M*	Non identifiée		Non affleurant		
e5*B*	e5		e5C		
			e5A		
j3	j2		j2		
j2*O*	j1c		j1c		
j2*A*					
j2*G*	j1b-a		j1b		
j2*E*					
j2*M*			j1a		
j1*S*	l6c		l9b		
j1*G*	l6b-a		l9a		
l4*P*			l8		
l4*S*	l5				
L4*Po*			l7	l7	
l3*K*	l4c	l4b-c	l6	l6	
l3*M*	l4b				
l3*Z* / l3*BZ*	l4a	l4a	l5	l5	
l3*B*					
l2*R*	l3c-b	l3b	l4	l4	l1-4
l2*A*					
l1-2*C*	l3a-2	l2-3a	l1-3	l1-3	
t7*A*	l1b	l1	t10	t10	t10
t7*G*	l1a				
t5-6*M*	t9	t9	t9b	t9b	t7-9
t5-6*C*			t9a	t9a	
t5*GD*	t8		t8	t8	
t5*D*	Non différencié	Non affleurant	Non affleurant	Non différencié	
t5M	Non différencié	Non affleurant	Non affleurant	Non différencié	
t5G	Non différencié	Non affleurant	Non affleurant	Non différencié	
t5*A*	t7	Non affleurant	Non affleurant	t7	
t4-5*L*	t6b-c	Non affleurant	Non affleurant	t6b	t6
t4-5*A*			Non affleurant		
t4-5*D*	t6a	Non affleurant	Non affleurant	t6a	
t3-4*T*	t5b *p.p.*	Non affleurant	Non affleurant	t5bT	t5
t3-4*C*	t5b *p.p.*	Non affleurant	Non affleurant	t5b	
t3-4*E*	t5a	Non affleurant	Non affleurant	t5a	
	t4	Non affleurant	Non affleurant	t4	t3-4
t3*B*	t4b	Non affleurant	Non affleurant	t4b *p.p.*	
t3*G*	t4a	Non affleurant	Non affleurant	t4a *p.p.*	
t3*O*	t3c-b	Non affleurant	t3c	t3c	
t3*W*		Non affleurant			
t3*T*		Non affleurant	t3b	t3b	
T3*M*	t3a	Non affleurant	t3a	t3a	
T3*V*	t2b	Non affleurant	t2b	t2b	t2
t3*C*	t2a	Non affleurant	t2a	t2a	
		Non affleurant	t1c		
t2*VK*				t1bK	
t2*V*	t1b + t1c	Non affleurant	t1b	t1b	t1b
t2*VT*				t1bT	
r-t	t1a			t1a	t1a

Tableau d'équivalence des notations des carges géologiques à 1/50 000 du Nord de la plaine d'Alsace

Alteckendorf	**Alt**	**H 1**		Suite		
Batzendorf	**Bat**	**H 4**		*Mattstahl* (district forestier)	**Matt**	**E 4**
Bertsheim	**Ber**	**H 3/4**		Memmelshoffen	**Mem**	**A 8**
Berwiller (carrefour de)	**C-B**	**F 7**		Merkwiller-Pechelbronn	**M-P**	**B 7**
Betschdorf	**Bet**	**C 9**		Mertzwiller	**Mer**	**E 4**
Biblisheim	**Bib**	**C 6**		Mietesheim	**Mie**	**D 3**
Bischholtz	**Bis**	**C 1**		Minversheim	**Min**	**H 2**
Birklach (district forestier)	**Birk**	**F 7**		*Mitschdorf*	**Mit**	**A 6**
Bitschhoffen	**Bih**	**E 2**		Morsbronn-les-Bains	**M-B**	**C 5**
Blumenhaueser	**Blu**	**A 4**		Morschwiller	**Mor**	**G 2**
Bossendorf	**Bos**	**H 1**		Mulhausen	**Mul**	**D 1**
Bruderhaus	**Bru**	**E 6**		*Nehwiller-près-Woerth*	**Neh**	**A 4**
Bueswiller	**Bue**	**G 1**		*Neubourg (le)*	**Neu**	**F 4**
camp d'Oberhoffen	**C-O**	**G 8**		*Niederaltdorf*	**N-a**	**G 3**
Dauendorf	**Dau**	**F 3**		Niederbronn-les-Bains	**N-B**	**A 3**
Dentsch	**Den**	**G 6**		*Niedermodern*	**N-m**	**E/F 2**
Dieffenbach-lès-Woerth	**Die**	**B 6**		*Nieffern*	**Nie**	**E 1**
Durrenbach	**Dur**	**C 6**		Oberbronn	**Obr**	**A 2**
Eberbach	**Ebr**	**C 5**		Oberdorf-Sperbach	**O-S**	**B 6**
Elsasshausen	**Els**	**B 5**		Oberhoffen-sur-Moder	**O-M**	**H 8**
Engwiller	**Eng**	**D 2**		Pfaffenhoffen	**Pfa**	**E/F 2**
Eschbach	**Esh**	**D 5**		Preuschdorf	**Pre**	**A 7**
Ettendorf	**Ett**	**G 1**		*Quatre triages (carrefour)*	**Q 4**	**E 5**
Forstheim	**For**	**C 4/5**		Reichshoffen	**Rei**	**B 3**
Frœschwiller	**Fro**	**A 5**		*Reimerswiller*	**Rem**	**C 9**
Frohret (forêt de)	**Froh**	**B 2**		Retschwiller	**Ret**	**A 9**
Goersdorf	**Goe**	**A 6**		Ringeldorf	**Rld**	**F 2**
Grassendorf	**Gra**	**G 2**		Ringendorf	**Rnd**	**G 1**
Griesbach	**Gri**	**D 3/4**		*Sandlach (district forestier)*	**Sand**	**F 5**
Gros Chêne	**G-C**	**E 8**		Schalkendorf	**Sha**	**F 1**
Gumbrechtshoffen	**Gum**	**C 2**		*Schirlenhof*	**Shl**	**B/C 4**
Gundershoffen	**Gud**	**C 3**		Schirrhein	**Shi**	**H 9**
Gunstett	**Gus**	**C 6**		Schœnenbourg	**Sho**	**A 9**
Haguenau	**HAG**	**G 6**		*Schwabwiller*	**Shw**	**C 9**
Harthouse	**Har**	**H 5**		Schweighouse-sur-Moder	**S-M**	**G 5**
Hegeney	**Heg**	**D 5**		*Sonnenplan district forest.)*	**Sonn**	**E 5**
Heuscheuer	**Heu**	**D 9**		Soultz-sous-Forêt	**S-F**	**A/B 9**
Hinterfeld	**Hin**	**D 6**		*Stocklach (district forestier)*	**Stoc**	**E 3**
Hœsloch	**Hoe**	**B 7**		*Strohhuebel district forest.)*	**Stroh**	**F 7**
Hohwart (district forestier)	**Hohw**	**F 5**		Surbourg	**Sur**	**C 8**
Hohwiller	**Hoh**	**B 9**		Uberach	**Ubr**	**E 2**
Hundshof	**Hun**	**G 7**		Uhlwiller	**Uhl**	**G 3/4**
Huttendorf	**Hut**	**G/H 3**		Uhrwiller	**Uhr**	**D 1**
Kaltenhouse	**Kal**	**H 7**		*Unterschritten (dist. forest.)*	**Unts**	**C 8**
Keffendorf	**Kef**	**H 3**		Uttenhoffen	**Utt**	**D 3**
Kindwiller	**Kin**	**E 1**		Walbourg	**Wal**	**D 6**
Kutzenhausen	**Kut**	**B 8**		*Walbourg (carrefour de)*	**C-W**	**D 7**
Lampertsloch	**Lam**	**A 7**		Wintershouse	**Win**	**A 4**
Laubach	**Lau**	**D 5**		Wittersheim	**Wit**	**H 3**
Lixhausen	**Lix**	**H 1**		Wœrth	**Woe**	**A 5**
Maegstub (district forestier)	**Maeg**	**F 4/5**		Zinswiller	**Zin**	**B 1**

Abréviations et position (grille) des lieux distingués dans la figure hors texte de l'annexe 4



Position et abréviations des centres communaux (points), de quelques lieux-dits, anciens centres communaux, hameaux (croix) et districts forestiers de la coupure à 1/50 000 Haguenau avec leurs (coordonnées, sur une grille surimposée à la mosaïque des bans communaux. La forêt indivise de Haguenau (Hun) est figurée en (Den) grisé