

**CARTE
GÉOLOGIQUE
DE LA FRANCE
À 1/50 000**

DECIZE

par

J. ROGER, F. GAUDRY, P. MARTEAU,
F. QUESNEL, P. CHÈVREMONT, D. JAUFFRET





DECIZE

La carte géologique à 1/50 000
DECIZE est recouverte
par les coupures suivantes
de la Carte géologique de la France à 1/80 000
au Nord : NEVERS (N° 123)
au Sud : SAINT-PIERRE (N° 135)

Nevers	Saint-Saulge	Château-Chinon
Sancoins	DECIZE	Fours
Lurcy-Levis	Dornes	Bourbon-Lancy

**NOTICE EXPLICATIVE DE LA FEUILLE
DECIZE À 1/50 000**

par

**J. ROGER, F. GAUDRY, P. MARTEAU, F. QUESNEL,
P. CHÈVREMONT, D. JAUFFRET**

2010

**BRGM Éditions
Service géologique national**

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

– *pour la carte* : GAUDRY F., ROGER J., MARTEAU P., QUESNEL F., CHÈVREMONT P. (2010) – Carte géol. France (1/50 000), feuille Decize (549). Orléans : BRGM. Notice explicative par Roger J., Gaudry F., Marteau P., Quesnel F., Chèvremont P., Jauffret D. (2010), 185 p.

– *pour la notice* : ROGER J., GAUDRY F., MARTEAU P., QUESNEL F., CHÈVREMONT P., JAUFFRET D. (2010) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Decize (549). Orléans : BRGM, 185 p. Carte géologique par Gaudry F., Roger J., Marteau P., Quesnel F., Chèvremont P. (2010).

© BRGM, 2011. 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 : 978-2-7159-1549-7

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	7
ABSTRACT	9
INTRODUCTION	13
<i>SITUATION GÉOGRAPHIQUE – PRÉSENTATION DE LA CARTE</i>	13
<i>CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL</i>	14
Socle anté-Carbonifère	14
Bassins paléozoïques	14
Couverture mésozoïque	15
Cénozoïque	15
<i>TRAVAUX ANTÉRIEURS - CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE</i>	16
DESCRIPTION DES TERRAINS	23
<i>SOCLE VARISQUE ANTÉ-CARBONIFÈRE</i>	23
<i>BASSINS DU PALÉOZOÏQUE SUPÉRIEUR</i>	25
Carbonifère (terrains affleurants)	26
Carbonifère (terrains non affleurants)	37
Permien (terrains affleurants)	37
Permien (terrains non affleurants)	39
<i>MÉSOZOÏQUE</i>	41
Trias	41
Jurassique	57
Lias	57
Dogger	79
Crétacé	97
<i>CÉNOZOÏQUE</i>	109
Paléocène-Éocène inférieur	109
Éocène moyen-supérieur à Miocène	115
Pliocène	123
Quaternaire	126
<i>FORMATIONS ANTHROPIQUES</i>	129
CONDITIONS DE FORMATIONS DES ENTITÉS GÉOLOGIQUES	129
<i>PALÉOZOÏQUE</i>	129
Socle varisque	129
Bassins carbonifères et permien	130
<i>MÉSOZOÏQUE ET CÉNOZOÏQUE</i>	131
<i>PALÉOALTÉRATIONS</i>	137

FRACTURATION	139
<i>HORST DE NEUVILLE-LÈS-DECIZE</i>	140
<i>HORST DE LA MACHINE ET BASSINS PALÉOZOÏQUES</i>	140
<i>COUVERTURE MÉSOZOÏQUE</i>	141
<i>GRABENS FINI-PALÉOGÈNES ET NÉOGÈNES</i>	142
SYNTHÈSE GÉODYNAMIQUE RÉGIONALE	143
<i>ÉVÈNEMENTS ANTÉ-VARISQUES</i>	143
<i>OROGENÈSE VARISQUE (OU HERCYNIENNE)</i>	143
<i>ÉVÈNEMENTS MÉSO-CÉNOZOÏQUES</i>	147
APPORTS DU LEVÉ DE LA FEUILLE À 1/50 000 DECIZE	150
<i>DOMAINE PALÉOZOÏQUE</i>	150
<i>DOMAINE MÉSOZOÏQUE ET CÉNOZOÏQUE</i>	151
GÉOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT	152
<i>RESSOURCES EN EAU</i>	152
Cadre géographique et géologique	152
Climatologie et hydrologie	153
Ressources en eau	155
<i>RESSOURCES MINÉRALES, SUBSTANCES UTILES, CARRIÈRES</i>	161
<i>GÎTES ET INDICES MINÉRAUX</i>	164
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE	165
<i>LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DES SONDAGES CITÉS DANS LE TEXTE</i>	165
<i>ITINÉRAIRES GÉOLOGIQUES</i>	165
Terrains paléozoïques du horst de La Machine	167
Dans le Trias, au Sud de La Machine et en rive gauche de la Loire	168
Dans le Lias	169
Dans le Dogger, au Nord-Ouest de la feuille	170
Dans les terrains cénozoïques	171
Les paléoaltérites	171
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	172
<i>DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES PARUS</i>	181
AUTEURS	183

*UN CD-ROM REGROUPEANT L'ENSEMBLE DE LA BASE
DE DONNÉES SYNTHÉTISÉE*

Liste des figures

Fig. 1 - Carte de localisation des sondages d'exploration pour la recherche de charbon dans la région de Decize-Devay	28
Fig. 2 - Coupe schématique du sondage des Menotons (d'après Feys, <i>in</i> Grangeon <i>et al.</i> , 1968)	29
Fig. 3 - Log du sondage de Germancy, illustratif de la série stéphano-permienne représentée sur la feuille Decize	32
Fig. 4 - Coupe schématique du sondage des Girodons (d'après Feys, <i>in</i> Grangeon <i>et al.</i> , 1968)	33
Fig. 5 - Coupe schématique du sondage Varioux 1 (d'après Feys, <i>in</i> Grangeon <i>et al.</i> , 1968)	34
Fig. 6 - Coupe schématique du sondage Devay 3 (d'après Feys, <i>in</i> Grangeon <i>et al.</i> , 1968)	35
Fig. 7 - Log représentatif du Trias du bassin de Decize dont la série type est prise d'après le sondage de Champvert (CT1) (Bois, 1978)	42
Fig. 8 - Coupe corrélée des sondage Niv 50 (Rouy) et Faye 2 (Le Calvez <i>et al.</i> , 1969) montrant la dilatation vers le Sud des faciès triasiques	48
Fig. 9 - Coupe N-S, depuis l'Ouest du horst de Saint-Saulge (Saxi-Bourdon), jusqu'à la bordure sud-orientale (Champvert) du horst de La Machine (Bois, 1978)	49
Fig. 10 - Coupes corrélées du Lias inférieur de 4 forages du secteur sud-oriental de Decize (Le Calvez et Lefavrais-Raymond, 1961)	60
Fig. 11 - Coupe du passage Hettangien-Sinemurien dans une ancienne carrière proche de Sougy-sur-Loire	62
Fig. 12 - Coupe du Sinémurien de l'ancienne carrière de Poisson	66
Fig. 13 - Coupes corrélées du Pliensbachien inférieur (Carixien) de 2 forages du secteur oriental de Decize (Le Calvez et Lefavrais-Raymond, 1961)	70
Fig. 14 - Coupe du Toarcien du sondage Niv43 de Saint-Revérien (Le Calvez <i>et al.</i> , 1969)	76
Fig. 15 - Coupe de la tranchée SNCF du Port-des-Bois (d'après Barbin, 2000 et Perraudin, 1971)	80
Fig. 16 - Coupe montrant le passage Bajocien inférieur-supérieur dans la falaise exposée au Sud de Chevenon (l'Atelier)	81
Fig. 17 - Détail de la coupe précédente (Sud Chevenon) centré sur l'horizon condensé	82

Fig. 18 - Coupe de la barre calcaire sommitale du Bathonien supérieur, dans la carrière du Bois de Limon, près du Bouchot	94
Fig. 19 - Coupe du Callovien exposé en carrière dans le Bois du Mont Dessend	96
Fig. 20 - Évolution des paléaltérations du Nivernais après le Jurassique (modifié d'après Roger <i>et al.</i> , 2006)	102
Fig. 21 - Lithologie et minéralogie des altérites à chailles avec minerai de fer et gibbsite dans le sondage à la tarière S2 (Grands Bois de Sauvage, Beaumont-la-Ferrière, Nord-Ouest de la feuille Saint-Saulge, Thiry <i>et al.</i> , 2005)	106
Fig. 22 - Schéma des relations stratigraphiques entre les différentes paléaltérites et formations résiduelles du Sud-Est du bassin de Paris (Nivernais)	112
Fig. 23 - Log de la série tertiaire du sondage DYA de Devay (Bois <i>et al.</i> , 1982)	120
Fig. 24 - Carte d'affleurement des Sables et argiles du Bourbonnais et réseau fluvial actuel (compilation des données de la carte géologique de la France à 1/50 000)	122
Fig. 25 - Extension des dépôts triasiques à l'échelle du bassin de Paris (Mégrien, 1980)	132
Fig. 26 - Cadre structural et géologique du Sud du bassin de Paris et du Nord-Est du Massif central (d'après Chantraine <i>et al.</i> , 2003)	138
Fig. 27 - Modèle d'évolution géodynamique du Nord-Est du Massif central, du Silurien au Tournaisien (d'après Leloix, 1998)	144
Fig. 28 - Itinéraire géologique de la carte de Decize. Carte de localisation des arrêts proposés	166

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1 - Découpages lithostratigraphiques de la couverture Triasico-Jurassique du Nivernais, repris des anciennes cartes géologiques à 1/80 000 et découpage révisé publié dans la synthèse géologique du bassin de Paris (Mégrien (ed.), 1980)	20
Tabl. 2 - Stations de jaugeage sur cours d'eau concernant la feuille Decize	154

RÉSUMÉ

Localisé au Nord du Massif central et à l'Ouest du Morvan, le territoire de la feuille Decize s'inscrit à la terminaison méridionale du Bassin parisien, au Sud du Nivernais et aux confins sud-occidentaux de la Bourgogne.

La feuille vient recouper à l'affleurement l'auréole triasico-jurassique la plus méridionale du bassin de Paris. Le horst de La Machine-Decize en constitue la structure la plus remarquable. Ce relief armé par les terrains paléozoïques est bordé de panneaux effondrés, fortement tectonisés, dessinant un chapelet de buttes dont le relief est accentué par l'enfoncement du réseau hydrographique.

Les terrains les plus anciens, rapportés au socle varisque anté-Stéphanien, affleurent marginalement dans le horst de Neuville-lès-Decize, petite structure observée dans le coin sud-ouest de la feuille, à la limite avec la feuille Dornes.

Le horst de La Machine-Decize dessine une structure plus vaste, allongée selon une direction méridienne et bordée par des failles normales responsables de l'effondrement de ses bordures mésozoïques. Il est armé par un cœur de terrains stéphanien productifs (bassin houiller de La Machine), bordé par des dépôts détritiques permien rouges (Saxonien) effondrés au Sud et au Nord de la partie centrale du horst. Au Sud de La Machine, le Permien est coiffé par des dépôts triasiques qui forment l'entablement du plateau de Saint-Léger-des-Vignes.

Le horst est encadré sur ses bordures occidentale et orientale, par des terrains mésozoïques effondrés et découpés en lanières structurales selon une direction NNE-SSW.

Le secteur le plus occidental de la feuille, traversé en oblique et entaillé par la Loire, présente à l'affleurement la série mésozoïque la plus complète, comprise dans l'intervalle stratigraphique Trias supérieur (Keuper)-Dogger ; les terrains mésozoïques les plus récents, Malm à Crétacé, ne sont que très marginalement représentés, parfois restreints à des faciès altéritiques. Seuls le Trias supérieur (Keuper) et le Lias affleurent dans le secteur oriental de la feuille.

Plusieurs petits bassins tertiaires, souvent résiduels et limités à des lanières tectoniques effondrées, s'observent en couverture du Jurassique (Forge, la Fermeté/le Port-des-Bois, Béard). Le plus important de ces bassins affleure dans le coin sud-est de la feuille (extension septentrionale

du bassin de Moulins), où la série oligo-miocène apparaît effondrée contre le bâti Jurassique.

Le socle varisque anté-Stéphanien, de nature cristalline et cristallophyllienne, est formé par un protolite d'âge Protérozoïque supérieur à Carbonifère inférieur ayant subi un métamorphisme polyphasé d'âge Silurien à Carbonifère.

Dans un régime de déformation N-S, la sédimentation houillère stéphanienne s'est déposée dans un bassin syntectonique subsident en contexte de décrochements tardi-hercyniens. Au Permien (Autunien puis Saxonien), le régime tectonique s'est inversé, les décrochements étant alors réutilisés en failles normales, les aires de dépôt s'étalant largement par rapport à celle du bassin stéphanien. La tectonique méso-cénozoïque a réactivé le réseau de failles pour mettre en relief une partie du bassin permo-carbonifère dans le horst de La Machine.

Si la série triasique est à dominante grés-marneuse, la transgression liasique permet l'installation de faciès carbonatés de plate-forme (Hettangien-Sinemurien), vite relayés par une série marneuse (Pliensbachien, Toarcien) marquant l'approfondissement des milieux de dépôt. La coupure Lias-Dogger marquée par une lacune du sommet du Toarcien et de l'Aalénien est la conséquence de la phase tectonique méso-cimmérienne.

Avec le Dogger, la sédimentation carbonatée de plate-forme reprend ses droits, sauf pendant un cours intervalle (Bajocien supérieur) marqué par l'enneiement de la plate-forme bourguignonne (sillon marneux). Avec le Callovien (inférieur à moyen) la plate-forme bourguignonne atteint son extension maximale.

Malgré le caractère très lacunaire de nos informations concernant le Malm, dû au manque d'affleurement et aussi à sa profonde altération post-jurassique, il est probable que la lacune du sommet du Callovien qui se prolonge jusqu'à l'Oxfordien est ici enregistrée et que la sédimentation marine a repris à l'Oxfordien moyen et jusque pendant le Tithonien.

L'émersion fini-jurassique, liée à la déformation tardi-cimmérienne, se prolonge pendant une grande partie du Crétacé inférieur et s'accompagne d'une intense altération du bâti jurassique, responsable de la formation d'argiles à chailles, plus ou moins riches en minerais de fer latéritique.

Il faut attendre l'Albien, pour la région soit à nouveau inondée par la mer, même si sur la carte, les témoins qui en apportent la preuve sont bien ténus.

L'émersion fini-crétacée, en relation avec la tectonique pyrénéo-alpine, soumet la région à l'émersion et la série mésozoïque à une profonde altération, qui se surimpose à celle de l'épisode Crétacé inférieur. Celle-ci va favoriser la formation d'argiles à silex et le développement de silcrètes pédogénétiques.

La distension fini-Éocène à Oligocène-Aquitainien, responsable de l'ouverture des grands rifts nord-européens, s'accompagne sur la feuille Decize, du dépôt de calcaires et d'argiles lacustres.

Ces formations lacustres sont à leur tour exposées à l'altération météorique au Néogène et se transforment en argiles à meulière.

Au Pliocène, les Sables et argiles du Bourbonnais attestent de la mise en place d'une sédimentation continentale marquée par les dépôts fluviaux qui viennent combler le graben de la Loire et de ses principaux affluents.

Les terrains sont découpés suivant un réseau de failles entrecroisées, où domine la direction NNE-SSW, responsable du découpage de la région en lanières tectoniques.

Les fractures, qui affectent le socle paléozoïque et la couverture mésozoïque, sont l'expression de la réactivation des fractures tardi-hercyniennes, durant le Mésozoïque et le Cénozoïque, sous l'action des contraintes tectoniques induites par les phases orogéniques pyrénéenne et alpine.

La configuration actuelle marquée par les horsts de Neuville-lès-Decize et de La Machine, dont le dernier met à l'affleurement le Paléozoïque supérieur, est d'acquisition récente, liée à un stade tardif de l'orogénèse alpine.

Les ressources minérales locales (charbon du gisement de La Machine, gypse, kaolin, minéral de fer) qui ont largement participé au développement économique de la région, ne font plus aujourd'hui l'objet d'exploitation industrielle.

ABSTRACT

The Decize map area, which lies north of the French Massif Central and west of the Morvan, is part of the southern termination of the Paris Basin, located south of the Nivernais region and on the south-western edge of Burgundy. The sheet intersects the most southerly outcrops of the Triassic-Jurassic halo of the Paris Basin, of which the La Machine-Decize horst is

the most pronounced structure. This high, underlain by Paleozoic rocks, is bounded by highly tectonized collapsed panels forming a string of buttes, whose relief is further accentuated by the sunken stream network.

The oldest rocks, belonging to the pre-Stephanian Variscan basement, are marginally exposed in the Neuville-lès-Decize horst, a small structure in the south-west corner of the map area, bordering the Dornes sheet.

The La Machine-Decize horst is a larger structure, elongated in a north-south direction and bounded by normal faults that separate it from the Mesozoic rocks on either side. It is underlain by the Stephanian coal-bearing rocks that were mined in the La Machine basin, and is bounded by down-faulted red Permian detrital deposits of Saxonian age to the north and south of the central part of the horst. South of La Machine, the Permian is overlain by Triassic deposits that form the table lands of the St-Léger-des-Vignes plateau.

East and west of the horst, down-faulted Mesozoic deposits were cut into structural ribbons along a NNE-SSW direction. The most westerly part of the map area, obliquely traversed by the incised Loire valley, contains the most complete succession of Mesozoic outcrops, ranging from Late Triassic (Keuper) to Middle Jurassic (Dogger). Younger Mesozoic rocks from Malm to Cretaceous age are only marginally present and locally restricted to weathered alterite. In the east part of the map area, only Late Triassic (Keuper) and Liassic rocks are exposed.

Several small Tertiary basins (Forge, La-Fermeté/Le-Port-des-Bois, Béard), now generally residual and restricted to collapsed tectonic ribbons, overlie the Jurassic rocks. The largest of these, the northward continuation of the Moulins Basin, is found in the south-east corner of the map area where Oligocene-Miocene deposits are down-faulted against the Jurassic.

The crystalline and metamorphic pre-Stephanian Variscan basement consists of a protolith of Late Proterozoic to Early Carboniferous age that was subjected to polyphase metamorphism during the Silurian to Carboniferous period.

Stephanian coal sedimentation was deposited in a syntectonically subsiding basin that was affected by Late Hercynian strike-slip faulting. During the Permian (Autunian to Saxonian), the tectonic regime reversed and the strike-slip faults became normal faults, whereby the depositional areas became much larger than during Stephanian times. Mesozoic to Cenozoic tectonics reactivated the fault network, creating the La Machine horst.

The Triassic succession is dominated by sandy-marly deposits, but the Liassic transgression introduced the deposition of Hettangian-Sinemurian platform carbonates. These were succeeded by Pliensbachian-Toarcian marly deposits indicating a deepening of the depositional environment. The Lias-Dogger boundary is marked by a hiatus covering the latest Toarcian and the Aalenian, caused by the mid-Cimmerian tectonic phase.

Platform-carbonate sedimentation resumed during the Dogger, except for a short Late Bajocian interval marked by the drowning of the Burgundy platform, attested by the presence of marly deposits. During the Early to Middle Callovian, the Burgundy platform reached its greatest extension. Notwithstanding the very scarce information concerning Malm deposits, caused by both a lack of outcrops and deep post-Jurassic weathering, it is probable that the top-Callovian hiatus extended into the Oxfordian; marine sedimentation started again during the mid Oxfordian until Tithonian times.

The end-Jurassic emergence, related to the late-Cimmerian deformation, continued during much of the Early Cretaceous and was accompanied by intense weathering of the Jurassic succession, causing the formation of cherty clay with a varying content of lateritic iron ore. Not until the Albian was the region submerged again by seawater, even though few traces of this event are preserved in the map area.

The end-Cretaceous emergence, related to Pyrenean-Alpine tectonics, raised the region above baselevel, causing intense weathering of the entire Mesozoic succession, which alteration was superimposed onto that of the Early Cretaceous episode. The latter favoured the formation of flint clay and the development of pedogenetic silcrete.

The end-Eocene to Oligocene/Aquitainian crustal extension, which opened the great North European rifts, was marked by the deposition of lacustrine limestone and clay in the Decize area. These lacustrine formations were subsequently exposed to meteoric weathering during the Neogene, which transformed them into millstone clays. During the Pliocene, the Bourbonnais sand-and-clay deposits indicate continental sedimentation, marked by the fluvial deposits that filled the Loire graben and its main tributaries.

Much of the subsurface was cut up by intersecting faults with a dominant NNE-SSW direction, which were responsible for the tectonic ribbons that affect the region. The faults affecting the Paleozoic basement and the Mesozoic cover rocks, are the expression of Late Hercynian fractures that were reactivated during Mesozoic and Cenozoic times, as a result of the tectonic stresses induced by the Pyrenean and Alpine orogenic phases. The present-day configuration marked by the Neuville-lès-Decize and La

Machine horsts, the latter exposing Late Paleozoic rocks, is of recent date, related to a late stage of the Alpine orogenesis.

The local mineral resources (coal of the La Machine deposit, gypsum, kaolin, and iron ore), which were an important factor in the past economic development of the region, today are no longer mined on an industrial scale.

INTRODUCTION

SITUATION GÉOGRAPHIQUE – PRÉSENTATION DE LA CARTE

La feuille Decize s'inscrit dans le territoire de l'ancienne province du Nivernais, aux confins de la Bourgogne. Couvrant la partie la plus méridionale du département de la Nièvre, elle est traversée, dans sa partie méridionale et occidentale, par la Loire qui serpente selon un tracé oblique, depuis Decize, au Sud-Est, jusque vers Imphy, au Nord-Ouest, avant de s'écouler en direction de Nevers, capitale régionale.

Pays de collines, fortement boisée, la région est traversée par un réseau hydrographique dense qui vient entailler les plateaux qui dominent la Loire, favorisé par une forte structuration des terrains.

Au Sud du fleuve, le horst de Neuville-lès-Decize (encore appelé horst de Dornes) est à peine souligné topographiquement (altitude maximale de 249 m, alors que la Loire s'écoule à l'altitude de 180 m) et se développe principalement sur la feuille Dornes (Clozier *et al.*, 1982).

L'essentiel de l'emprise de la feuille Decize, à 1/50 000, est situé au Nord du fleuve, où le horst de La Machine¹, occupe la partie médiane de la feuille, au Nord de la ville de Decize. Largement couvert de forêts, ce horst présente une topographie relativement accidentée et culmine à l'altitude de 280 m, au Nord-Est de La Machine.

De direction méridienne, cette structure majeure, d'une dizaine de kilomètres de longueur pour une largeur de 7 km au Sud et 4 km au Nord, détermine à ses bordures, deux panneaux effondrés, fortement structurés. La bordure occidentale du horst, nettement plus complexe, présente aussi une topographie accidentée, hérissée de buttes témoin dont la plus élevée atteint une altitude de 352 m (Bois des Rouches au Sud de Limon). La bordure orientale, moins dilacérée, dessine un plateau profondément entaillé par le réseau topographique (près de 100 m de dénivelé), culminant à 311 m (Bois des Boulats au Nord-Est de la feuille).

Historiquement, le creusement au XIX^e siècle du canal du Nivernais qui rejoint la Loire au Nord de Decize et, au Sud, le canal latéral à la Loire, a favorisé l'exploitation des ressources minérales locales et notamment le développement de plusieurs industries extractives : la houille comme source d'énergie, le gypse pour la fabrication de plâtre et d'engrais, le kaolin utilisé pour la céramique et plus accessoirement ici, par rapport au secteur de Saint-Benin-d'Azy, le fer pour la sidérurgie ; ces industries ont

¹ La commune tient son nom d'un lourd manège à chevaux appelé « **La Machine** », qui permettait la remontée des mineurs, mais aussi la circulation du matériel et du charbon.

aussi été rendues possibles grâce à la présence de ressources abondantes en bois et en eau. Les formations calcaires ont fourni la ressource pour les fours à chaux artisanaux.

CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

La carte Decize est localisée à la bordure sud-est du bassin de Paris, adossée au Nord du Massif central, à l'Ouest du massif du Morvan ; le horst de La Machine vient relayer, vers le Sud, le horst granitique de Saint-Saulge.

La carte, traversée de nombreuses failles, présente une structuration complexe héritière de plusieurs épisodes de déformation qui ont additionné leurs effets. Recoupant la couverture méso-cénozoïque, les terrains les plus anciens affleurent dans deux structures remarquables : le horst de Neuville-lès-Decize, au Sud-Ouest de la feuille, et le horst de La Machine, au centre.

Socle anté-Carbonifère

Le socle varisque anté-Carbonifère est exposé très marginalement à la bordure sud-ouest de la carte, largement masqué par les dépôts triasiques et la couverture sableuse formée par les Sables et argiles du Bourbonnais. Ce socle, de nature cristalline et cristallophyllienne, affleure à la faveur d'un horst dissymétrique (horst de Neuville-lès-Decize principalement développé sur la feuille Dornes) limité sur ses bordures par des failles qui le mettent en contact, au Nord-Ouest, avec le Lias, au Sud-Est, avec l'Oligocène (Clozier *et al.*, 1982).

Il est formé par un protolite d'âge Protérozoïque supérieur à Carbonifère inférieur ayant subi un métamorphisme polyphasé Silurien à Carbonifère.

Bassins paléozoïques

Localisé au Sud-Ouest du horst de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), le horst de La Machine se dresse au Nord de Decize, mettant à l'affleurement le substratum sédimentaire paléozoïque supérieur (Carbonifère et Permien). Le Carbonifère (Stéphanien moyen) affleurant autour de la ville de La Machine et d'extension limitée, occupe le cœur de la structure et a fait par le passé, l'objet d'exploitations souterraines de charbon. Il est en contact par faille, au Nord et au Sud, avec le Permien, qui comprend l'Autunien non affleurant, et le Saxonien, légèrement discordant sur le Stéphanien au Nord de La Machine.

Il y a donc schématiquement un horst stéphanien orienté E-W dans la structure du horst paléozoïque orienté N-S.

Les aires de dépôt du Carbonifère et du Permien s'étendent largement en dehors du horst, sous la couverture des terrains mésozoïques. Elles comprennent des formations paléozoïques plus complètes, datées du Westphalien, du Stéphanien moyen et supérieur, de l'Autunien et du Saxonien.

La puissance totale cumulée de la série paléozoïque est de l'ordre de 3 000 m, mais ne se trouve nulle part en continuité stratigraphique dans le périmètre de la feuille Decize.

Couverture mésozoïque

Sur la carte Decize, la couverture mésozoïque affleure largement, repoussée sur les bordures occidentales et orientales du horst de La Machine. Elle dessine un réseau complexe de lanières tectoniques principalement orientées selon une direction méridienne.

La série mésozoïque exposée sur la feuille Decize débute tardivement (Keuper) par une semelle triasique, à faciès principalement terrigènes.

Au-dessus, la série jurassique couvre l'intervalle Jurassique inférieur à moyen (Lias-Dogger), sous un faciès marno-carbonaté. Les terrains rapportés au Jurassique supérieur (Malm) sont profondément érodés, quasi-absents, largement transformés en altérites à chailles. Le Crétacé est pratiquement absent de la feuille, limité à des dépôts résiduels ou repris dans des faciès d'altération.

En raison du fait que seuls les termes les plus inférieurs de la série mésozoïque (Trias-Dogger) ont été conservés et affleurent sur la feuille Decize, la série observée y est peu puissante (400 m), caractéristique typique des bordures du bassin de Paris.

Cénozoïque

Le Cénozoïque reste d'extension limitée dans la partie occidentale de la feuille ; il occupe une plus grande superficie dans le coin sud-est de la feuille. Il se compose en premier lieu de dépôts lacustres couvrant l'intervalle stratigraphique compris entre la fin du Paléogène et le début du Néogène, et principalement conservés dans les secteurs les plus effondrés. Les plus récents des dépôts lacustres sont coiffés par les Sables et argiles du Bourbonnais, d'âge pliocène.

*TRAVAUX ANTÉRIEURS – CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT
DE LA CARTE*

Les bases de la géologie de la Nièvre ont été établies au XIX^e siècle avec la publication des travaux très complets de T. Ebray (1858) concernant le socle cristallin, les terrains houiller et permien, la couverture sédimentaire mésozoïque et aussi avec la publication, en 1862 (Bertera *et al.*), de la première carte géologique (à 1/120 000) du département de la Nièvre.

Un peu plus tard, la publication de la carte géologique à 1/80 000 de Saint-Pierre (1888, rééditée en 1941) réalisée par E. Dagincourt, L. de Launay et M. Busquet, et accompagnée d'une notice explicative sommaire, a permis de préciser le cadre géologique des terrains à l'affleurement, depuis le socle jusqu'à la couverture.

Les formations métamorphiques et granitiques du socle varisque du horst de Neuville-lès-Decize ont été reconnues précocement par les auteurs de la carte à 1/80 000 de Saint-Pierre (1888) qui ont distingué, au sein de l'« îlot » de Neuville-lès-Decize : un substratum gneissique (noté ζ_1), recoupé par un massif granitique (noté Υ). Ces unités ont été par la suite détaillées dans la notice de la carte Dornes (Clozier *et al.*, 1982). En revanche, la position de ce horst au sein de la Chaîne varisque n'a fait l'objet d'aucune étude spécifique. La carte géologique de la France au millionième - 6^e édition (Chantraine *et al.*, 1996) montre que ce horst est limité du côté oriental par une faille de direction N20 °E se trouvant dans le prolongement septentrional du Sillon Houiller et qu'il constitue un « îlot » de socle, isolé, ennoyé par des sédiments triasiques et des formations superficielles. Dans un cadre plus régional, les travaux de synthèse les plus récents concernant le socle varisque sont ceux de J. Delfour (1989) sur la partie sud du faisceau dévono-dinantien du Morvan et de ceux M. Faure *et al.* (1997, 2005), sur l'évolution polycyclique de la Chaîne varisque.

En raison de ses ressources en charbon, connues et exploitées dès le XV^e siècle, le bassin houiller de Decize – La Machine a fait l'objet de reconnaissances géologiques précoces et d'un intérêt soutenu qui ne s'est pas démenti jusqu'aux années 1980, avec les travaux de recherche de nouveaux gisements sous couverture au Sud-Est du horst dans la région de Devay – Lucenay.

Dès le XVIII^e siècle, des observations géologiques du bassin ont été menées, puis ont été formalisées et développées, avec la réalisation des premiers forages profonds notamment, au XIX^e siècle et au début du XX^e siècle par A. Dufrenoy et L. Elie de Beaumont (1841), F.-C. Sauvage (1843), W. Manès (1844), N.-A. Boulanger (1849), T. Ebray (1861),

T. Ebray et J.-B. Dezautière (1864), C. Grand'Eury (1877), L. de Launay (1896) et F. Delafond (1920) (voir Grangeon *et al.*, 1968).

De nombreux sondages profonds ont cherché à reconnaître l'extension de la série paléozoïque et du houiller productif exposée dans le horst de La Machine, notamment pour étendre l'exploitation du gisement de charbon de La Machine (fermée en 1974), et dont la concession avait été attribuée aux Houillères du bassin de Blanzly (HBB).

C'est ainsi que les régions bordières du horst, où la série paléozoïque est masquée par la couverture méso-cénozoïque, ont donné lieu à des reconnaissances au moyen de sondages parfois profonds (jusqu'à 1 500 m) : vers l'Ouest, la région de Trois-Vèvres – Beaumont-Sardolles a fait l'objet de recherches, ainsi qu'au Sud-Ouest, le secteur d'Avril-sur-Loire ; les travaux se sont cependant concentrés à l'Est et au Sud-Est du horst de La Machine, dans les régions de Verneuil – Champvert – Devay sur la feuille Decize. L'exposé exhaustif de ces travaux réalisés sur le long terme, au cours du XIX^e et au XX^e siècle, parfois difficiles à interpréter géologiquement (Feys, 1947), est présenté dans de nombreuses études par J. Fabre, R. Feys, M. Grangeon et C. Greber entre 1947 et 1956, et l'ensemble des données synthétisées dans l'article très complet de M. Grangeon, R. Feys, C. Greber avec la collaboration de A. Lefavrais-Raymond (1968).

Plus tard, dans les années 1980, la reprise des travaux d'exploration, dans un contexte de choc pétrolier, a permis de mettre en œuvre de nouveaux outils de recherche, notamment géophysiques (gravimétrie, sismique réflexion) qui sont venus appuyer les reconnaissances plus classiques par sondages carottés. La recherche s'est surtout focalisée sur le secteur de Devay (Bois *et al.*, 1982 ; Castaing, 1983) en raison des nombreux niveaux de charbon découverts préalablement, dans les années 1955-1959, par les Charbonnages de France (CdF). Elles ont abouti à la découverte d'un important gisement de charbon, dans la région de Lucenay (Donsimoni, 1988), en prolongement sud du gisement de Devay (Donsimoni, 1983), localisé à proximité immédiate de la ville de Decize.

En revanche, l'Autunien a peu attiré l'attention des géologues car il n'affleure pas sur la feuille Decize, et étant stérile, il n'a été reconnu, de façon ponctuelle, que dans les travaux miniers : puits des Lacets au Nord des exploitations de La Machine et sondages réalisés au Nord, à l'Ouest et au Sud des affleurements du Carbonifère. La synthèse de ces observations a été faite par R. Feys (1961) et une synthèse régionale du Permo-Trias par G. Prichonnet (1967).

La couverture mésozoïque dont seuls les termes les plus anciens (Trias, Jurassique : Callovien) affleurent sur la feuille de Decize, a été

précocement reconnue, dès le XIX^e siècle. Ainsi, T. Ebray (1858) distingue en couverture des grès rouges du Permien un premier ensemble, triasique, composé des **grès bigarrés** et des **marnes irisées**, ces dernières étant très puissantes dans la région de Decize. Pour cet auteur, le Jurassique débute par les grès et calcaires gréseux de l'« Infralias » (correspondant au Rhétien-Hettangien). Au-dessus, le « **Lias** » se divise en 3 ensembles :

- le Lias inférieur, ou **étage sinémurien**, à gryphée arquée (= Sinémurien *s.l.*) ;
- le Lias moyen, ou **étage liasien d'Orbigny**, à gryphée *cymbium*, (= Pliensbachien, avec le calcaire à gryphées géantes, au toit, exploité en carrière) ;
- le Lias supérieur, ou **étage thoarcien**, à *Gryphea knorri* (= Toarcien).

Pour le Jurassique moyen, cet auteur s'appuie aussi le découpage d'A. d'Orbigny (1849) qui distingue trois étages : le Bajocien (calcaire à entroques et terre à foulon, ou couches à *P. parkinsoni*), le Bathonien (« grande oolithe ») et le Callovien.

Ce découpage a été largement repris par les auteurs de la carte de Saint-Pierre à 1/80 000 (1888, rééditée en 1941, par Dagincourt, de Launay et Busquet) qui distinguent :

- le **Trias**, duquel le Rhétien était retiré à cette époque, et qui comprend :
 - les **Grès argileux bariolés** (t_{III-IV}) (à distinguer des Grès rouges saxoniens). Près de Decize, cet étage est remplacé par un banc de calcaire dolomitique à géodes siliceuses, dit « **banc des Ponteaux** »,
 - les **Marnes irisées (t) du Keuper** : marnes rouges et vertes avec des grès fissiles à délit micacés dans lesquelles le gypse forme des bancs réguliers exploités près de Decize ;
- l'**Infralias** qui comprend :
 - les « **Arkoses de Decize** » (**Rhétien**) à la base (l_j) : marnes blanche et rouge coiffant une arkose kaolinique exploitée à Decize,
 - l'**Hettangien** (l¹) au sommet : dalles minces de calcaires jaunâtres intercalés de marnes gréseuses notamment riches en gastéropodes et encrines ; à la base, marne jaune et verte surmontant des bancs de calcaire gréseux et des cargneules à intercalations de lumachelles à *Diademopsis serialis* et *Liostraea sublamellosa* ;
- le **Lias inférieur** ou Calcaire à gryphées (l²) avec :
 - à la base, calcaires bleus à lits marneux intercalés (Sinémurien),
 - calcaire marneux bleu, au sommet (Lotharingien), exploité pour la chaux ;
- le **Lias moyen** (ou Pliensbachien) :
 - Carixien (appelé ici *Pliensbachien*, suivant la conception française ancienne, révisée depuis 1960) (l^{3a}) : marnes et calcaires marneux,

- Domérien (I^{3c}): marnes micacées à *Amaltheus* et calcaire riche en *Liogryphaea cymbium*, au sommet, utilisé pour moellon et chaux ;
- le **Lias supérieur** (Toarcien) (I⁴) qui intègre encore à cette époque l'Aalénien, placé de nos jours, à la base du Dogger :
 - à la base : marnes schisteuses,
 - au sommet, marnes bleues fissiles couronnées par un banc calcaire à oolithes ferrugineuses exploité en minerai de fer (ici faussement attribués à l'Aalénien inférieur, alors que la série ne dépasserait pas la base du Toarcien supérieur - G. Lablanche et J. Delfour, 1998).

Pour ces auteurs le Jurassique moyen comprend :

- le **Bajocien** (j_{IV}) :
 - au sommet, marnes bleues à nodules calcaires,
 - calcaires à oolithes ferrugineuses ; localement exploités,
 - à la base, « Calcaire à entroques » ;
- le **Bathonien inférieur** (Vésulien) (j_{II-III}) :
 - marnes bleues au sommet non fossilifères (20-30 m),
 - bancs de calcaires, à la base, localement exploités pour pierre de taille,
 - marnes et marno-calcaires à la base ;
- le **Bathonien supérieur** (Bradfordien) (j_I) :
 - au sommet, calcaires à entroques, oolithique et à débris, coiffé par des marnes gréseuses,
 - marnes calcaires,
 - calcaires fossilifères ;
- le **Callovien** (j¹), révisé depuis, était encore à l'époque attribué au Jurassique supérieur :
 - calcaires tendres blanchâtres à chailles,
 - marnes calcaires gréseuses jaunâtres fossilifères.

Le tableau 1 présente les équivalences entre le découpage des auteurs anciens (Ebray, 1948 ; cartes géologiques à 1/80 000 de Saint-Pierre, 1888 et de Nevers : (de) Grossouvre *et al.*, 1894) et la nomenclature moderne (synthèse du bassin de Paris : Mégnien (éd.), 1980a).

Suite à ces travaux pionniers, après la seconde guerre mondiale, la connaissance de la géologie du Mésozoïque nivernais a connu des avancées décisives, dans un contexte porté sur un effort collectif de révision et de synthèse des unités lithostratigraphiques du bassin de Paris et des régions limitrophes (Colloque sur le Lias français, BRGM, 1961 ; Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, BRGM, 1963). Le premier,

Etray (1858) ; Dagincourt <i>et al.</i> , 1888 ; Grosouevet <i>et al.</i> , 1894		Synthèse Bassin de Paris (collectif, 1980)	
Epoques	Etages	Découpage Lithostratigraphique	Etages
JURASSIQUE supérieur	Callovien	Calcaire marneux à rognons siliceux Marnes à oolithes ferrugineuses	Callovien inf. Calcaires marneux Marnes azoïques Oolithes ferrugineux
	Bathonien supérieur ("Bradfordien")	Calcaire subolithique Marnes blanchâtres Calcaires à entroques	Bathonien sup. Bathonien moyen-inf.
JURASSIQUE moyen	Bathonien inférieur ("Vésulien")	Marnes et calcaires argileux à pholadomyes Oolithes ferrugineuses	Bathonien inf. Bajocien sup.
	Bajocien	Argiles bleuâtres (Terre à foulon) Oolithes ferrugineuses Calcaire à entroques	Bajocien inf. et moyen Aalénien sup.
LIAS	Lias supérieur (Toarcien)	Marnes supraliasiques : marnes schisteuses, marnes bleues	Aalénien inf. Toarcien supérieur
	Lias moyen (Domérien - Plienbachien)	Calcaire à gryphées géantes (G. <i>gyrblum</i>)	Toarcien inf. et moyen
		Marnes micacées à <i>Arnetheus</i>	Domérien supérieur
	Lias inférieur (Lotharingien - Sinémurien)	Marnes/calcaires marneux fossilifères	Domérien inférieur
INFRALIAS	Hettangien	Calcaire à gryphées arquées	Carixien
	Rhétien	Calcaire infraliasique Grès infraliasiques Marnes irisées (Keuper) Grès bigarrés/grès argileux bariolés	Sinémurien Hettangien Rhétien Keuper
	TRIAS		TRIAS

Tabl. 1 - Découpages lithostratigraphiques de la couverture Triasico-Jurassique du Nivernais, repris des anciennes cartes géologiques à 1/80 000 et découpage révisé publié dans la Synthèse géologique du bassin de Paris (Méglin (ed.), 1980a)

R. Mouterde (1953), a, dans sa thèse, apporté une contribution décisive quant à la connaissance de l'intervalle stratigraphique Lias-Bajocien des bordures nord et nord-est du Massif central français. Grâce à plusieurs campagnes de reconnaissance par forages des indices miniers du Trias-Lias de la bordure occidentale du Morvan, ces travaux ont été enrichis par les contributions de Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961), A. Lefavrais et J. Lhégu (rapport BRGM, 1964), A. Lefavrais-Raymond *et al.* (rapport BRGM, 1965), J-P. Couchot *et al.* (rapport BRGM, 1966), dont les principaux résultats d'intérêt stratigraphiques sont synthétisés dans une note de Y. Le Calvez *et al.* (1969).

Parallèlement, dans les années 1960, le Trias a aussi fait l'objet de nombreux travaux de recherche dont les principaux résultats sont exposés dans le mémoire du colloque sur le Trias de la France (1963). Le Trias, appréhendé à l'échelle du bassin de Paris, a été en premier lieu synthétisé par J. Ricour (1962). À l'échelle plus régionale, le Permo-Trias de la bordure nord du Massif central a donné lieu à des études sédimentologiques et paléogéographiques menées par G. Prichonnet (1967). L'étude régionale la plus importante est imputable à L. Courel qui a éclairé les modalités de la transgression mésozoïque, au Trias et au Rhétien, sur la bordure nord et est du Massif central français (thèse publiée en 1970 et mémoire de synthèse en 1973). La synthèse réalisée par M. Bois (1978) des sondages miniers du BRGM, dans les années 1960, et des sondages réalisés par la SNEA(P), en 1974-1975, a permis de préciser la variabilité latérale du Trias et du Lias, à partir d'un transect, grossièrement orienté N-S, établi à l'Ouest du horst de Saint-Saulge et à l'Est du horst de La Machine.

La synthèse géologique du bassin de Paris, ouvrage collectif publié sous la direction de C. Mégnien (1980a), fait le point des connaissances disponibles à cette date et met en perspective les données régionales concernant le Nivernais, avec les contributions de L. Courel (Trias), R. Mouterde et H. Tintant (Lias) et J. Thierry (Dogger).

Plusieurs articles plus récents apportent des précisions, souvent biostratigraphiques et à valeur régionale, sur plusieurs des unités lithostratigraphiques nivernaises : J.-C. Perraudin (1971) pour le Bajocien du Nivernais, J.-H. Delance *et al.* (1979) pour la stratigraphie du Bathonien-Callovien inférieur de la région de Saint-Benin-d'Azy, D. Zany *et al.* (1995) pour la biostratigraphie et la stratigraphie séquentielle du Bajocien-Bathonien inférieur du Nivernais, J.-P. Garcia *et al.* (1996) pour les associations de brachiopodes du Jurassique moyen du bassin de Paris, G. Lablanche *et al.* (1997) pour le passage Domérien-Toarcién dans la région de Prémery, C. Durllet et J. Thierry (2000) pour les modalités de la transgression aaléno-bajocienne sur le Sud-Est du Bassin parisien, F. Gaudry et P. Neige (2002) pour la biostratigraphie et les ammonites du Toarcién des régions voisines du Charollais et du Brionnais.

L'acquisition des données de terrain et leur restitution cartographique ont été réalisées :

- pour le socle cristallin et cristallophyllien, par Ph. Chèvremont, en 2008 ;
- pour les formations paléozoïques du horst de La Machine, par P. Marteau, entre 2003 et 2007 ;
- pour la couverture triasique, jurassique et cénozoïque par J. Roger et F. Gaudry, entre 2002 et 2007 ;
- pour les altérites par F. Quesnel, en 2009.

Le caractère fortement structuré des terrains et la rareté des affleurements ont imposé la multiplication des points observations et la reconnaissance systématique des champs labourés afin d'identifier les terrains au moyen du relevé de pierres volantes. Cette démarche a justifié la collaboration de stagiaires universitaires d'été, à qui les auteurs témoignent leur gratitude, tant pour leur contribution que pour leur enthousiasme : S. Jan, P. Bailly, et R. Guillon de l'Université de Dijon, G. Calvès de l'Université de Bordeaux.

Afin de pallier l'absence d'information concernant notamment les terrains argilo-marneux du Lias, très mal affleurants, trois campagnes de sondages à la moto-tarière ont été réalisées en 2002, 2005 et 2006. Au total, 157 sondages courts ont été réalisés, par le BRGM, d'une profondeur comprise entre quelques mètres seulement, en cas de grande dureté du terrain, à 20 m maximum, dans les marnes. Par principe, les séries carbonatées ont été largement écartées de l'opération, qui a principalement concerné les séries marneuses triasiques et liasiques, celles du Dogger (Bajocien), les argiles du Paléogène lacustre, les faciès terrigènes non indurés des Sables et argiles du Bourbonnais.

Les contours de la carte ont été vectorisés et une base de données informatisée a été constituée en 2009, rassemblant toutes les informations ponctuelles disponibles qui ont été géoréférencées. La base de données concerne les feuilles Decize et Saint-Saulge.

Les levers de la carte géologique ont permis de collecter un grand nombre de fossiles : ammonites, brachiopodes et autres mollusques, qui ont été rassemblés et déterminés par F. Gaudry.

Enfin, des études biostratigraphiques sur lame mince et plus exceptionnellement sur lavage, ont été réalisées dans le but de caractériser les principaux microfaciès et/ou leur association faunique. Ce travail a été réalisé par C. Bourdillon (ERADATA, Le Mans).

DESCRIPTION DES TERRAINS

SOCLE VARISQUE ANTÉ-CARBONIFÈRE

Le socle varisque n'apparaît que dans un secteur très limité, situé en limite sud de la carte, à l'Ouest de la borne de la cote Z = 249 m. À cet endroit ne se trouve qu'un seul petit affleurement rocheux, d'allongement N140 °E, situé en rive droite d'un petit ruisseau, qui conflue avec le ruisseau de la Canne à la cote 217. Cet affleurement est constitué d'une diatexite (M²) leucocrate de grain fin à moyen et à composition de leucomonzonite quartzifère à deux micas et cordiérite pinitisée. À proximité se trouvent des altérites argileuses ou sablo-argileuses, plus ou moins remaniées, affectant des migmatites indifférenciées, développées aux dépens de paragneiss alumineux (M²ζ²). Localement, ces altérites renferment de petits débris rocheux épars, constitués essentiellement de diatexites, leucocrates ou mésocrates.

Plus au Sud, sur le territoire de la feuille Dornes à 1/50 000 (Clozier *et al.*, 1982), les migmatites affleurent dans la petite vallée et ont fait l'objet d'exploitations dans deux petites carrières. Les auteurs de cette carte ont envisagé (p. 12 de la notice explicative) l'hypothèse d'un gradient d'anatexie croissant du Sud vers le Nord. Les observations faites dans le cadre de la présente carte confortent cette hypothèse. D'après les connaissances actuelles sur le socle cristallin du Massif central, ces migmatites alumineuses dérivent de sédiments détritiques grauwackeux à pélitiques dont l'âge de dépôt est encore mal connu (Protérozoïque supérieur ou Paléozoïque supérieur ?) et qui ont subi au cours de l'orogénèse varisque un métamorphisme régional polyphasé allant du Silurien au Carbonifère, comme cela est explicité plus loin dans les chapitres « conditions de formation des entités géologiques » et « synthèse géodynamique régionale ».

M²ζ². Altérites de migmatites indifférenciées à biotite et parfois cordiérite, sillimanite et/ou muscovite. Sur le territoire de la feuille Decize, les migmatites sont très altérées en surface, transformées en des altérites argileuses ou sablo-argileuses, plus ou moins remaniées. Dans le bois situé à l'Ouest de la cote 249, de petites « pierres volantes » apparaissent dans des vallons. Ces débris rocheux sont constitués essentiellement de diatexites, soit leucocrates ou subleucocrates, en majorité, soit mésocrates.

Les deux carrières abandonnées situées plus au Sud, au Sud-Ouest de la ferme des Tardys (feuille Dornes), en rive droite (Est) du ruisseau, permettent d'observer des migmatites *in situ*.

La carrière la plus septentrionale est implantée dans une diatexite subleucocrate à grain moyen, à biotite chloritisée et localement muscovite.

L'autre carrière montre de haut en bas :

- un faciès altéré et rubéfié ;
- un faciès plus ou moins altéré selon les endroits et très fracturé, correspondant à des migmatites hétérogènes, constituées de métatexites avec des passées de diatexites de forme lenticulaire et des leucosomes ;
- un faciès frais, qualifié de « bleu », apparaissant autour d'une mare et constitué d'une diatexite à cordiérite et biotite complètement pseudomorphosées en minéraux secondaires.

L'étude microscopique d'une lame mince du faciès « bleu » montre une texture grenue hypidiomorphe, à grain moyen, relativement hétérogène (1 à 5 mm), et à fabrique planaire fruste. La composition minéralogique est la suivante :

- quartz prédominant, en plages xénomorphes de taille variable, à extinction onduleuse ;
- plagioclase subautomorphe à automorphe, séricitisé et pigmenté par des produits cryptocristallins brunâtres ;
- cordiérite complètement pseudomorphosée en mica blanc secondaire (pinite) plus chlorite vert pâle, abondante, de forme prismatique à ovoïde ;
- biotite entièrement rétomorphosée en chlorite verte plus minéraux de fer et/ou titane plus parfois mica blanc, en amas de petites lamelles cloisonnant des cristaux de plagioclase et/ou de quartz ;
- oxydes de fer et/ou titane, apatite et zircon accessoires ;
- feldspath potassique secondaire, probablement de type adulaire, apparaissant localement soit en remplissage de fissures, soit en taches sur des lattes de plagioclase ou en petits fuseaux au sein de lamelles de biotite chloritisée, aux épontes de certaines fissures.

Ce faciès de diatexite à cordiérite et biotite correspond au « faciès granitoïde sombre » décrit dans la notice de la feuille Dornes (Clozier *et al.*, 1982). Les auteurs de cette notice ont en outre inventorié, dans la carrière la plus méridionale, une anatexite sombre à nodules centimétriques de cordiérite et à reliques de sillimanite, ainsi que des restites de paragneiss quartzo-plagioclasiques à biotite et sillimanite.

Sur le territoire de la feuille Decize, les altérites de type $\mathcal{M}\zeta^2$ se sont probablement développées sur des migmatites présentant une variété de faciès analogue, avec une prépondérance de diatexites, c'est-à-dire des faciès les plus anatectiques développés aux dépens de paragneiss quartzo-plagioclasiques plus ou moins alumineux.

M². Diatexite leucocrate de grain fin à moyen, à deux micas et cordiérite pinitisée. Le seul affleurement (X = 672,85 ; Y = 2 200,60) de

socle observé sur le territoire de la feuille Decize est constitué d'une roche leucocrate, de grain fin à moyen et de teinte rose pâle, légèrement vacuolaire et recoupée localement par des veinules de quartz et/ou d'hydroxydes de fer. L'observation macroscopique à la loupe permet de distinguer d'abondants petits cristaux de feldspaths roses, un peu de quartz et de petites paillettes de mica blanc.

L'étude microscopique d'une lame mince permet de préciser que la texture est hypidiomorphe grenue, avec une taille de grain d'environ 1 mm en moyenne et de 1,5 mm au maximum ; les vacuoles (5 à 7 % du volume) sont réparties de façon irrégulière. Abstraction faite des veinules de quartz, la composition modale du stock quartzo-feldspathique est celle d'une monzonite quartzifère, les feldspaths étant nettement plus abondants que le quartz, xénomorphe et interstitiel. Les feldspaths sont de deux types : 1) du plagioclase, subautomorphe à automorphe, plus ou moins séricitisé et 2) du feldspath potassique xénomorphe à subautomorphe, présentant le quadrillage du microcline et parfois perthitique. Le reste de la paragenèse comprend les minéraux suivants : muscovite primaire en paillettes aux contours déchiquetés ; biotite altérée, décolorée et/ou pseudomorphosée en chlorite verte plus minéraux de fer et/ou titane plus parfois mica blanc secondaire ; cordiérite pinitisée ; leucoxène et apatite accessoires. Les veinules sont constituées de quartz en cristaux engrenés, parfois accompagné d'hydroxydes de fer.

Les vacuoles sont probablement dues à la dissolution de cristaux de quartz, au cours d'un phénomène s'apparentant à un début d'épisyénitisation.

BASSINS DU PALÉOZOÏQUE SUPÉRIEUR

Mises en relief par la structure complexe du horst de La Machine, les formations continentales des bassins d'effondrement du Paléozoïque supérieur, constituent aujourd'hui des secteurs dominant légèrement les formations mésozoïques voisines et culminant à plus de 280 m. Leurs dépôts détritiques continentaux viennent armer le horst de La Machine formé d'un cœur de terrains stéphaniens, bordé vers le Sud et le Nord par des ceintures permienes effondrées, localement discordantes. Au Sud de La Machine, le Permien (Saxonien) est coiffé par les dépôts triasiques qui constituent le plateau de Saint-Léger-des-Vignes. Le horst est encadré sur ses bordures occidentale et orientale par des terrains mésozoïques effondrés.

La zone d'affleurement du horst ne constitue qu'une petite partie des bassins carbonifères et permienes, qui se prolongent largement sous la couverture mésozoïque.

Carbonifère (terrains affleurants)

Le Carbonifère est représenté en surface par le Stéphanien : le Stéphanien moyen affleure dans le horst de La Machine, mais le Stéphanien supérieur n'est connu que par sondages au Sud-Est du horst, de même que le Westphalien, reconnu de façon très partielle par quelques sondages dans cette même zone.

La lithostratigraphie du Stéphanien a pu être établie de façon assez précise d'après les sondages carottés et les travaux miniers réalisés dans le bassin houiller de La Machine, ainsi que d'après les nombreux sondages réalisés dans les extensions de ce bassin, sous la couverture mésozoïque.

h5. Conglomérats, arkoses, grès, siltites, argilites grises, couches de charbon et niveaux charbonneux (Stéphanien). Le Stéphanien en place (non colluvionné ou sous forme d'altérite résiduelle) affleure assez peu dans le horst de La Machine. Seules quelques coupes situées généralement le long des routes et des chemins ou dans de petites carrières abandonnées montrent des faciès gréseux, plus ou moins argileux ou conglomératiques, parfois à débris végétaux, de teinte ocre-beige par altération météorique.

Dans un fond de vallon situé près de Trois-Vèvres, J. Fabre *et al.* (1953) ont observé sur une quinzaine de mètres d'épaisseur des grès arkosiques, fins ou grossiers, blancs à gris, en gros bancs, avec filets charbonneux et petits bancs de schistes charbonneux ou bitumineux.

Près de la ferme des Charmes à l'Ouest de Trois-Vèvres, une couche de charbon a été exploitée en puits de façon artisanale, sous une dizaine de mètres de grès, en bordure du horst (Fabre *et al.*, 1953). On retrouve des grès beiges attribués au Stéphanien sous des formations rouges colluvionnées du Saxonien, en bordure du horst, au Nord de la ferme des Charmes.

Dans ces affleurements, la flore, qui a permis la datation de ces terrains au Stéphanien, est abondante. On citera principalement (d'après Greber *in* Fabre *et al.*, 1953 ; Feys, 1961) :

- *Sphenophyllum longifolium* ;
- *Sphenophyllum oblongifolium* ;
- *Asterophyllites longifolius* ;
- *Cordaïtes* sp. ;
- *Calamites cisti* ;
- *Pecopteris cyathea* ;
- *Pecopteris oreopteridia* ;
- *Pecopteris pluckeneti* ;
- *Pecopteris polymorpha* ;

- *Asterotheca cyathea* ;
- *Asterotheca* cf. *Candollei* ;
- *Annularia stellata* ;
- *Odontopteris reichi* ;
- *Alethopteris grandini* ;
- *Linopteris germari* ;
- *Callipteridium pteridium*.

La série stéphanienne présente dans le horst est constituée par l'Assise productive de La Machine, affleurante et dont les couches de charbon ont été exploitées en mine souterraine et par l'Assise de Verneuil sous-jacente, conglomératique et stérile, non-affleurante et recoupée par forages et travaux miniers.

La série est donc principalement connue, grâce aux observations des travaux miniers, galeries et puits, ainsi que d'après les forages qui l'ont traversée, tous ces travaux étant maintenant inaccessibles. L'épaisseur de l'assise productive de La Machine est de l'ordre de 600 à 800 m au niveau du horst, où la série est constituée de quatre faisceaux contenant des couches de charbon, avec de la base au sommet (Grangeon *et al.*, 1968) :

- faisceau du Mur (250 m d'épaisseur en moyenne), contenant quatre couches de charbon ;
- faisceau des Crots (100 m d'épaisseur en moyenne), avec trois couches de charbon ;
- faisceau des Blards (100 m d'épaisseur en moyenne), avec trois couches de charbon ;
- faisceau des Meules (220 m d'épaisseur en moyenne), avec trois couches de charbon.

Le charbon du faisceau des Meules est moins évolué que ceux des couches inférieures (37 à 41 % de matières volatiles contre 30 % environ pour les couches inférieures). Les couches de charbon se stérilisent latéralement en profondeur par schistification.

D'après les documents du musée de La Machine, les trois couches supérieures affleuraient dans le secteur de La Machine : le tracé de ces affleurements, reporté sur la carte géologique, est assez irrégulier et traduit la complexité des structures des formations stéphaniennes.

Toujours d'après les sondages et les travaux miniers, la base du Stéphanien est constituée de grès et conglomérats à éléments granitiques de socle, ou Assise de Verneuil : peu épais à l'Ouest du horst (15 m environ

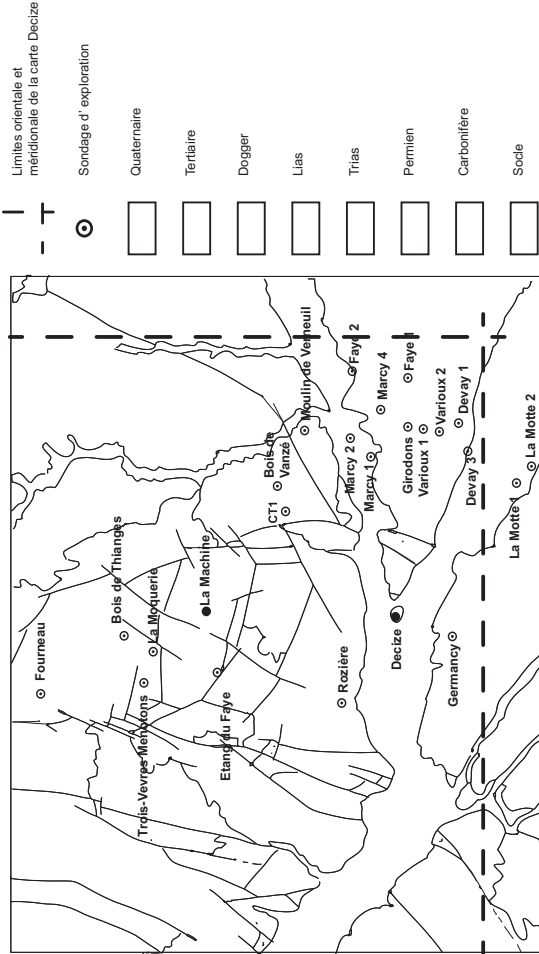


Fig. 1 - Carte de localisation des sondages d'exploration pour la recherche de charbon dans la région de Decize-Devay

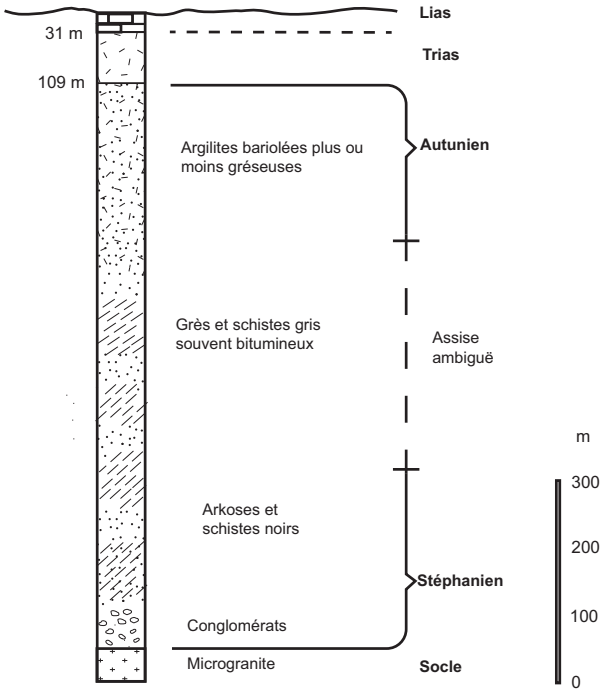


Fig. 2 - Coupe schématique du sondage des Menotons
(d'après Feys, in Grangeon *et al.*, 1968)

dans le sondage des Menotons), cette assise est beaucoup plus développée dans la partie est du horst et dans l'extension du bassin carbonifère.

Datation du Stéphanien du horst de La Machine et de son extension sous couverture : après de nombreuses interprétations (Grand' Eury, 1877 ; Bertrand, 1919-1923 ; Corsin et Monomakhoff, 1948), C. Gréber (*in* Fabre *et al.*, 1953 ; Feys, 1961) fait une synthèse de ces travaux et distingue :

– les espèces dominantes qui forment le fond de la flore fossile et sont présents à tous les niveaux : *Pecopteris polymorpha*, *Pecopteris cyathea*, *Pecopteris unita*, *Pecopteris hemitelioides*, *Odontopteris minor zeileri*, *Callipteridium pteridium*, *Callipteridium gigas*, *Cordaites*, *Cardiocarpus*, *Artisia*, *Calamites cisti*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Annularia sphenophylloides*, *Annularia stellata*, *Sphenophyllum oblongifolium*, *Alethopteris zeileri*, *Linopteris germari*, *Dicksonites pluckeneti* ;

– les espèces courantes moins abondantes : *Pecopteris plumosa dentata*, *Pseudomariopteris busqueti*, *Sphenophyllum longifolium*, *Sphenopteris matheti*, *Linopteris brongnarti*, *Pecopteris feminaeformis*, *Sphenopteris cristata*, *Dicranophyllum gallicum*, *Calamostachys* ;

– les espèces rares : *Pseudomariopteris ribeyroni*, *Neuropteris cordata*, *Neuropteris pseudo-blissi*, *Odontopteris genuina*, *Sigillaria brardi*.

Ces espèces montrent que cette flore est très voisine de celle de Blanzay (Assise de Montceau), de Commentry (Assise d'Avaize), et donc d'âge stéphanien moyen (Greber, *in* Grangeon *et al.*, 1968).

Les dépôts du Stéphanien débordent largement la zone d'affleurement du horst de La Machine et ont été reconnus, par de nombreux forages, sous la couverture mésozoïque. L'extension reconnue du Stéphanien sous couverture est reportée sur le schéma structural de la carte géologique et dans la figure 1.

À l'Ouest du horst, le Stéphanien n'a été traversé que par un seul sondage :

– sondage des Menotons (1,5 km environ à l'Ouest du horst au niveau du village de Trois-Vèvres, X = 680,50 ; Y = 2212,60) (fig. 2) : le Stéphanien stérile (argilites et arkoses), d'une épaisseur de 200 m environ, repose sur le socle à 956 m de profondeur environ, par l'intermédiaire d'un conglomérat de base, sous une puissante formation datée de l'Autunien. D'autres sondages (Azy-le-Vif, Chantenay), situés à une vingtaine de kilomètres de La Machine vers le Sud-Ouest, en dehors de la feuille Decize, n'ont pas rencontré de terrains datés du Carbonifère ;

Directement au Sud du horst, le Stéphanien, mal reconnu (seul le sondage de l'Étang de Faye est interprétable, d'après Grangeon, 1957), semble se prolonger

sous les dépôts permien et mésozoïques, en devenant stérile, et en se trouvant à grande profondeur au Sud de la Loire :

– sondage de l'Étang du Faye (1957, profondeur 804 m, X = 683,75 ; Y = 2 210,25) : sous le Saxonien (entre 12 et 184 m) et une série probablement autunienne (184 à 274 m environ), le Stéphanien (274 à 804 m) constitué de grès, conglomérats, schistes, avec quelques niveaux charbonneux, se stérilise donc progressivement ;

– dans le sondage de Rozière (ou Rosière, 1856, profondeur 415 ou 460 m, position approchée X = 682,60 ; Y = 2 205,70) entre le horst et la Loire : le « houiller » aurait été atteint à 368 m de profondeur, mais cette interprétation est très peu plausible ;

– sondage de Germancy (1954, 8 km environ au Sud du horst et au Sud de la Loire, profondeur 1 273,90 m, X = 685,10 ; Y = 2 201,10) : le Stéphanien stérile (argilites et arkoses), d'une épaisseur de 370 m reconnue (socle non atteint) se trouve à près de 1 000 m de profondeur environ, sous une puissante formation datée de l'Autunien (voir fig. 3) (Feys et Greber, 1954a).

À l'Est et au Sud-Est du horst, le Stéphanien se développe considérablement, la série allant du Stéphanien inférieur au Stéphanien supérieur, et a été reconnu par de nombreux sondages, dont certains ont traversé de puissantes couches de charbon. Les sondages les mieux interprétables sont les suivants :

– sondage du Bois de Vanzé (1900, 2,5 km à l'Est du horst, profondeur 718 m, X = 690,60 ; Y = 2 208,20) : Stéphanien productif (argilites et arkoses), d'une épaisseur de près de 400 m sous 213 m de Mésozoïque et de Permien, le socle étant atteint à 605 m ;

– sondage du Moulin de Verneuil (1919, 5 km au Sud-Est du horst, profondeur 696 m, X = 692,80 ; Y = 2 207,15) : Stéphanien productif, d'une épaisseur de plus de 400 m sous 207 m de Mésozoïque et de Permien, le socle étant atteint à 649 m ;

– sondage Marcy 1 (1920, profondeur 1 515,80 m, X = 691,80 ; Y = 2 204,70) : le Stéphanien productif (couche de plus de 6 m d'épaisseur à 976 m) est très développé, plus 1 200 m de puissance sous 225 m de Mésozoïque et de Permien, le socle étant atteint vers 1 495 m ;

– sondage Marcy 2 (1950, profondeur 955,50 m, X = 692,50 ; Y = 2 205,50) : le Stéphanien, atteint à 365 m de profondeur sous une zone faillée et broyée, est constitué d'arkoses, schistes noirs et grès, datés par *Odontopteris reichi*, *Callipteridium pteridium* ou *gigas*, *Sphenophyllum oblongifolium* etc., puis à partir de 750 m par des conglomérats polygéniques multicolores à pendages subverticaux (conglomérats de Verneuil), jusqu'au fond du sondage à 955,5 m ;

– sondage des Girodons (1954, profondeur 1 286,80 m, X = 693,50 ; Y = 2 203,45) (fig. 4) : sous 241 m de Mésozoïque, ce sondage pénètre directement dans le Stéphanien moyen typique bien développé, avec schistes, arkoses grès et filets charbonneux, dont la base est constituée des conglomérats de l'assise de

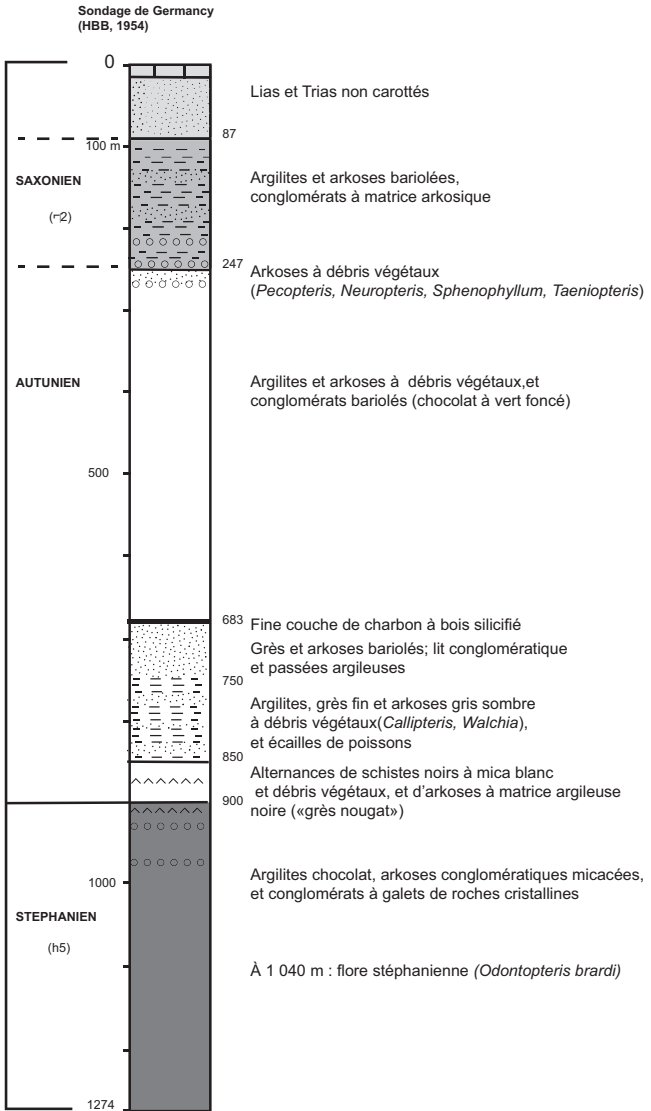


Fig. 3 - Log du sondage de Germancy, illustratif de la série stéphanio-permienne représentée sur la feuille Decize

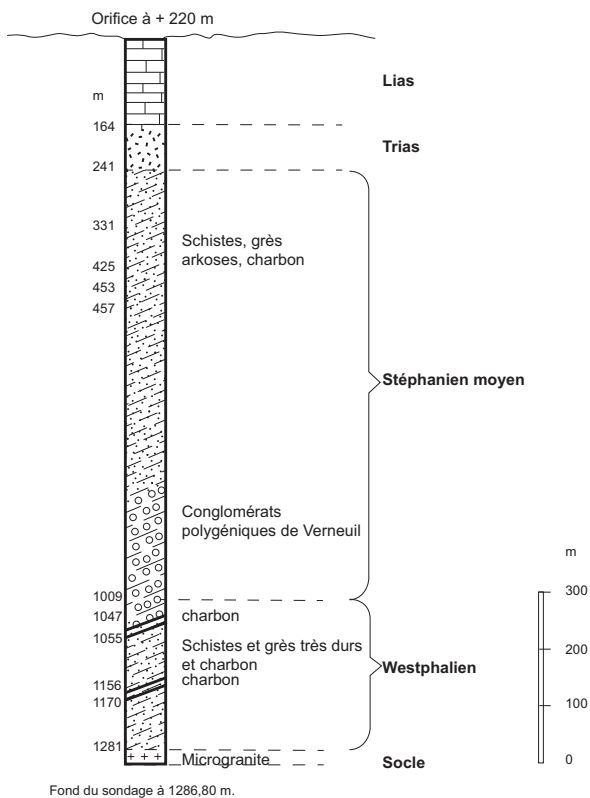


Fig. 4 - Coupe schématique du sondage des Girodons
(d'après Feys, in Grangeon *et al.*, 1968)

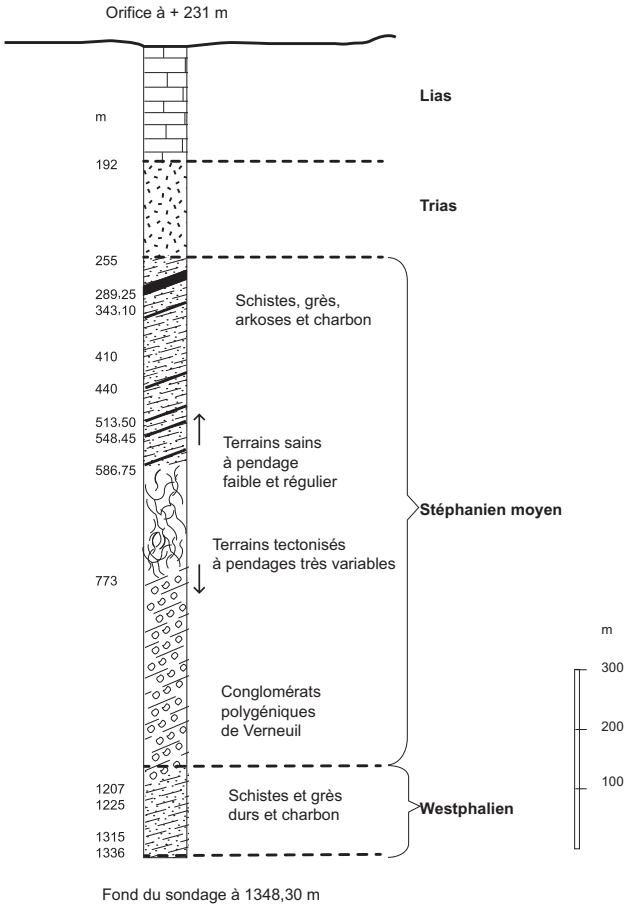


Fig. 5 - Coupe schématique du sondage Varioux 1
(d'après Feys, in Grangeon et al., 1968)

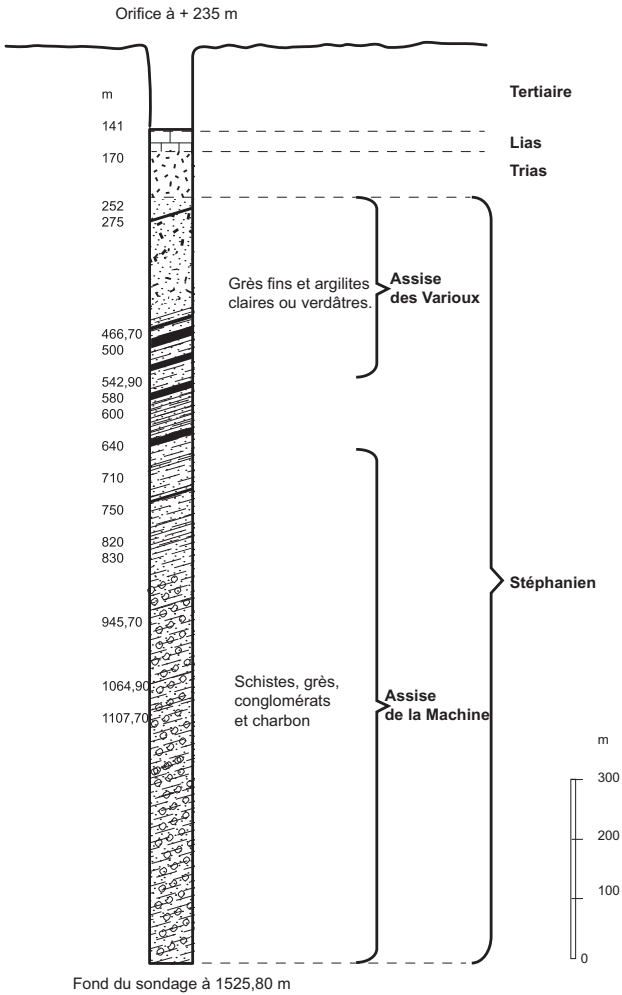


Fig. 6 - Coupe schématique du sondage Devay 3
(d'après Feys, in Grangeon et al., 1968)

Verneuil, de 826 à 1 009 m. Entre 1 009 m et 1 281 m, on trouve une série de schistes, grès et niveaux de charbon datée du Westphalien, reposant sur un socle granitique ;

– sondage Varioux 1 (1955, profondeur 1 348,30 m, X = 692,85 ; Y = 2 202,85) (fig. 5) : une nouvelle assise productive, datée du Stéphanien supérieur (assise des Varioux), a été découverte sous le Mésozoïque à 255 m de profondeur. Dans ce sondage, il s'agit de conglomérats, schistes, arkoses et grès avec une couche de lignite de 15 m de puissance, assise traversée par d'autres sondages dans ce secteur. Le Stéphanien moyen est très développé dans ce sondage, environ 800 m jusqu'au Westphalien recoupé sur 120 m d'épaisseur ;

– sondage Devay 3 (1958, profondeur 1 525,80 m, X = 692,025 ; Y = 2 201,275) (fig. 6) : le Stéphanien supérieur (assise des Varioux), est bien représenté : de 252 m, à environ 5-600 m des niveaux de lignite s'intercalent entre des grès fins et des argilites gris-verdâtres. Jusqu'à 1 250 m environ, le Stéphanien moyen est caractérisé par *Callipteridium pteridium* et *Sphenophyllum oblongifolium*, avant d'être représenté par les conglomérats de l'assise de Verneuil ;

– dans le sondage CT1, de Champvert, un échantillon, rapporté au Stéphanien supérieur et étudié par J. Doubinger et M.-C. Adloff (cité par Bois, 1978), a livré une association palynologique, riche, diversifiée et bien conservée, constituée d'une importante proportion de spores des genres *Laevigatosporites*, *Thymospora*, *Spinospores*, *Calamospora* et l'absence de *Punctatosporites*. Un autre échantillon prélevé dans le même sondage CT1, dans le substratum, environ 1 m sous le Trias, a livré *Vittatina costabilis*, *Pityosporites* sp., *Spinospores spinosus*, *Polymorphisporites laevigatus*, dont l'association pourrait indiquer pour J. Doubinger et M.-C. Adloff (in Bois, 1978) un âge « Autuno-Stéphanien ».

En résumé, le Stéphanien, présent à l'affleurement dans le horst de La Machine et en sub-surface dans son prolongement sous couverture mésozoïque sur la feuille Decize, comprend, de la base au sommet :

– Stéphanien moyen affleurant (Assise productive de La Machine à argilites, grès, arkoses et couches de charbon), épaisseur 800 m environ, avec les conglomérats polygéniques de Verneuil d'une épaisseur 200 à 300 m, non affleurant, à la base), répartis sur une vaste surface à l'aplomb du horst et dans son prolongement vers le Sud-Est, le Sud et l'Ouest ;

– Stéphanien supérieur non affleurant, ou Assise des Varioux, rencontrée initialement par le sondage Varioux 1, puis recoupée par les sondages Varioux 2, Taillefer, Devay 3, La Motte 1 et La Motte 2 (ces deux derniers étant, vers le Sud, en dehors de la feuille Decize), constituée d'une série gréso-conglomératique avec couches de lignite épaisses.

h5. **Altérites sur les terrains du Stéphanien.** En surface, les terrains à dominante gréseuse du Stéphanien du horst de La Machine forment, sur

quelques mètres d'épaisseur au maximum (jusqu'à 4,5 m reconnus par sondage dans le secteur des Marizys et dans le Bois des Glénons, respectivement à l'Est et au Sud de La Machine) des placages sablo-argileux au relief mou, souvent occupés par des zones boisées.

Ces altérites en place passent localement à des formations de pente colluvionnées, de même nature argileuse et de même couleur rouge.

Carbonifère (terrains non affleurants)

Charbon, argilites, grès, arkoses (Westphalien)

Le Westphalien a été reconnu par sondages au Sud-Est du horst de La Machine sur une puissance de 90 m à 540 m (Feys et Greber, 1955 ; Feys et Greber, 1956 ; Grangeon, Feys et Greber, 1968). Il repose sur le socle, dans un bassin résiduel effondré et tectonisé lors de la phase asturienne, couvrant quelques km², cantonné dans la région de Faye – Devay. Son extension, reconnue par les sondages suivants, est indiquée sur le schéma structural :

- sondage Marcy 4, de 653 à 783 m ;
- sondage Girodons, de 1 009 à 1 281 m ;
- sondage Varioux 1, 1 190 à 1 348,3 m, socle non atteint ;
- sondage Varioux 2, 1 373 à 1 445 m, socle non atteint ;
- sondage Devay 1, 917 à 1 455,7 m.

Ces dépôts westphaliens (ou Assise des Girodons) sont constitués de grès plus ou moins grossiers, parfois arkosiques, de schistes et de couches de charbon en général peu épaisses (quelques décimètres à 2,5 m). Ils ont été érodés avant les dépôts du Stéphanien, représentés à la base par les conglomérats de Verneuil, non affleurants.

La flore caractéristique comprend notamment *Neuropteris ovata*, *Mixoneura*, *Corynepteris essinghi*, *Linopteris neuroptroides*, *Mariopteris latifolia*, *Palmatopteris furcatum*, *Alethopteris lonchitifolia*, *Sphenophyllum emarginatum*, *Renautia schatzalarensis*, *Pecopteris avoldensis* et *Asterophyllites grandis*, comparable à l'assise des « Flambants supérieurs de Lorraine » (Grangeon, Feys et Greber, 1955).

Permien (terrains affleurants)

r2. Grès et argiles rouges et verdâtres à galets de rhyolites, conglomérats (Saxonien). Les terrains gréseux et argileux de couleur rouge formant les parties sud et nord du horst de La Machine sont attribués au

Saxonien, sans argument paléontologique (formations pratiquement azoïques, sans fossiles identifiables hormis *Guilielmites*), mais par analogie de faciès avec les formations comparables du bassin de Blanzey – Le Creusot.

Il s'agit d'une formation affleurant mal sur un terrain occupé de zones boisées ou de pâturages. Le critère principal d'identification cartographique est la couleur rouge-brique à lie-de-vin des terrains en place, des altérites et des colluvions remaniés. Par ailleurs, la présence de galets de roches éruptives le plus souvent rhyolitiques, qui constituent environ 90 % des éléments détritiques grossiers, avec également des débris de lydiennes, est une caractéristique du Saxonien (Yapaudjian, 1957).

Sur le plan minéralogique, A. Yapaudjian (1957) a identifié dans ces sédiments continentaux des zircons (70 à 90 % des minéraux lourds) et des grenats, mais note l'absence de tourmaline. Il a identifié également des débris osseux et même des dents de poissons, indiquant un milieu lacustre intermittent.

Les affleurements représentatifs du Saxonien sont le plus souvent d'origine anthropique, comme c'est le cas dans une petite carrière située entre le domaine des Pierres et le domaine du Faye au Sud-Ouest de La Machine, où on observe sur une dizaine de mètres des argilites kaoliniques rouges à tâches grises, mal stratifiées avec des grès moyen à grossier gris verdâtres et rougeâtres. Au Sud de La Machine, une piste qui descend de la D34 vers la ferme de l'Ouche Margot recoupe en talus des niveaux d'argilites rouges plus ou moins gréseuses à passées conglomératiques (galets centimétriques à décimétriques de rhyolites), représentatives des formations du Saxonien. Dans les deux cas, les pendages, peu nets, sont faibles.

L'épaisseur du Saxonien, reconnu par sondages dans la partie nord du horst, semble passer de 70-90 m en bordure des formations stéphaniennes (sondages des Trois-Vèvres, de La Moquerie et du Bois de Thianges, Feys et Greber, 1954a, 1954b, 1955) à plus de 160 m vers l'extrémité nord du horst (sondage du Fourneau). Dans la partie sud du horst, les affleurements limités ne permettent pas d'évaluer l'épaisseur globale du Saxonien, qui pourrait cependant dépasser 100 m d'après les données du sondage de l'Étang de Faye.

En dehors du horst de La Machine, le Saxonien pourrait encore être présent à l'Ouest de celui-ci (sondage des Menotons ?), mais il semble disparaître rapidement dans cette direction.

Vers le Sud, on le retrouve probablement sur plus de 150 m d'épaisseur, sous 90 m de Mésozoïque, dans le sondage de Germancy au Sud de Decize. Vers le Sud-Est du horst, le Saxonien rouge est difficile à distinguer en sondage du Trias de même couleur, mais la formation semble s'amenuiser rapidement.

Un critère de différenciation avec les formations triasiques rouges qui recouvrent de façon confuse le Saxonien est lié au fait que celui-ci est peu carbonaté (avec dolomite majoritaire), alors que les argilites rouges du Trias sont plus carbonatées et font toujours effervescence à l'acide.

✍️ **Altérites sur les grès et argiles rouges saxonniennes.** En surface, les terrains argilo-gréseux du Saxonien du horst de La Machine, à couleur rouge dominante, sont très altérés sur quelques mètres d'épaisseur, jusqu'à 4 m reconnus par sondage dans le secteur de Bois Chatelain au Sud-Est de Trois-Vèvres, et parfois partiellement décolorés, sauf les galets de rhyolite qui restent rubéfiés.

Ils forment des reliefs tabulaires mous, dans la partie nord (Bois de Thianges) et est du horst (Vareennes). Ces altérites passent insensiblement à des formations de pente colluvionnées, très développées sur les rebords des talwegs qui entaillent le horst.

Permien (terrains non affleurants)

Grès, conglomérats et argilites grises (Autunien)

L'Autunien n'affleure pas au niveau du horst paléozoïque de La Machine, mais il a été reconnu par les travaux miniers et par sondages, sous le Saxonien et sous la couverture mésozoïque, sur une aire de répartition importante, notamment dans la partie nord du horst, mais également à l'Ouest et au Sud de celui-ci. Succédant au Stéphanien de façon continue, mais aussi transgressif sur le substratum cristallin, il représente un nouveau cycle sédimentaire par rapport au Stéphanien, et concerne des aires de dépôt différentes (Feys et Greber, 1956 ; Feys, 1961), d'une surface équivalente.

Constitué de pélites et argilites plus ou moins gréseuses, vertes ou bariolées, de schistes parfois « bitumineux », de bancs carbonatés, de grès, arkoses et conglomérats, correspondant à une sédimentation assez confuse, l'Autunien est caractérisé par sa flore (*Callipteris conferta*, *Calipteris polymorpha*, *Calipteris jutieri*, *Walchia*), mais renferme également une faune parfois abondante et des débris organiques animaux (écailles de poisson, coprolithes) dans les niveaux d'argilites.

Dans la partie nord du horst, l'Autunien a été identifié dans le puits des Lacets et dans les sondages des Moriots, de la Moquerie et du Bois de Thianges :

– dans le Puits des Lacets (profondeur 513,60 m), la présence de houiller productif entre 135 et 206 m, sous les faciès rouges du Saxonien, mais au-dessus de schistes fins à *Callipteris lyratifolia* et *Walchia imbricata* et de

conglomérats, attribués à l'Autunien (jusqu'au socle à 507 m) correspond probablement à une écaille tectonique ;

– dans le sondage des Moriots (ou de Trois-Vèvres n° 1, X = 683,55 ; Y = 2 212,85), l'Autunien constitué d'argilites grises à noires (à *Callipteris lyratifolia* et *Anthracomya carbonaria*, Feys et Greber, 1955), de grès et arkoses, avec un conglomérat d'une centaine de mètres à la base, est épais de plus de 300 m, sous le Saxonien (83 m de puissance) jusqu'au socle granitique à 412 m ;

– dans le sondage du Bois de Thianges (1955, au Nord-Est du précédent, profondeur 500 m, X = 685,2 ; Y = 2 213,55), sous 73 m de Saxonien, l'Autunien, constitué de pélites, arkoses et grès, s'épaissit, avec plus de 400 m de puissance, le socle n'étant pas atteint à 500 m de profondeur (Feys et Greber, 1955).

On note donc que le Stéphanien est absent dans la partie nord du horst, où l'Autunien repose directement sur le socle et remplit une vaste « fosse permienne ».

À l'Ouest du horst, l'Autunien a été traversé par le sondage des Menotons (fig. 2), sous 109 m de Mésozoïque et probablement jusqu'à 800 m environ, où il passe insensiblement à des schistes, arkoses et conglomérats datés du Stéphanien par la flore (socle atteint à 956 m).

Dans la partie sud du horst, deux sondages ont, soit traversé entièrement l'Autunien (sondage de l'Étang du Faye, entre 184 et 274 m environ), soit atteint cet étage (le sondage de Rozière -1856, semble avoir traversé à 368 m des terrains permien jusqu'à son arrêt à 415 m).

Au Sud du horst, en rive gauche de la Loire, dans la région de Decize, le sondage de Germancy (Feys et Greber, 1954 ; fig. 3) semble avoir traversé une série autunienne, constituée par des argilites, arkoses et conglomérats bariolés, avec quelques couches de schistes charbonneux ou bitumineux, de 250 m à 680 m environ, puis par des grès et arkoses gris jusqu'à 900 m environ, au-dessus de grès attribués au Stéphanien. La flore de ce sondage comprend *Pecopteris oreopteridia*, *Neuropteris gallica*, *Taeniopteris* au sommet, cordaites, *Pecopteris polymorpha*, *Callipteris jutieri*, *C. conferta*, *Walchia piniformis* à la base (Grangeon et Greber, 1954). Le passage du Stéphanien à l'Autunien, puis de l'Autunien au Saxonien, n'est pas net, ce qui est le cas le plus fréquent.

À la bordure sud-est de la feuille (hors carte), les sondages La Motte 1 (1959, profondeur 1 155 m, X = 690,85 ; Y = 2 199,80) et La Motte 2 (1959, profondeur 1 000 m, X = 691,40 ; Y = 2 199,08), ont traversé des terrains attribués à l'Autunien, avec des épaisseurs voisines de 400 à 500 m.

Immédiatement plus à l'Est, dans les nombreux sondages de la région de Devay et de Verneuil, l'Autunien et même l'ensemble du Permien sont absents entre le Stéphanien et la couverture mésozoïque.

L'Autunien correspond donc à un nouveau cycle sédimentaire débutant par un conglomérat de base, transgressif par endroits sur le socle, et dont les aires de dépôt sont donc très différentes de celles du Stéphanien.

MÉSOZOÏQUE

Trias

Le Trias constitue une ceinture d'affleurements au Nord du Massif central et à l'Ouest du Morvan, qui s'étire depuis la Châtre, dans l'Indre, jusqu'à Decize, dans la Nièvre. Il vient recouvrir en discordance les terrains rapportés au Paléozoïque supérieur restreint à des bassins étroits fortement structurés. Le Trias marque le début de la transgression mésozoïque (Courel, 1970, 1973) et le passage de dépôts strictement continentaux à une série mixte sous influences marines.

En comparaison avec celui de Lorraine, le Trias nivernais apparaît beaucoup moins épais et très incomplet, illustrant le caractère marginal de la transgression triasique dans ce secteur méridional du bassin de Paris (Mégny, 1980a).

Les auteurs de la carte à 1/80 000 de Saint-Pierre (1888) distinguent trois unités lithostratigraphiques aux faciès bien tranchés, seules les deux premières étant à leurs yeux triasiques ; avec de bas en haut :

– les **Grès argileux bariolés** (notation t_{III-IV}) (qui coiffent aux bordures du horst de La Machine les Grès rouges saxoniens). Près de Decize, cet étage est réputé remplacé par un banc de calcaire dolomitique à géodes siliceuses, dit « **banc des Ponteaux** ». Cette idée d'une évolution latérale des faciès terrigènes triasiques est reprise (« Roche des Ponteaux ») dans la carte géologique à 1/40 000 de la concession exploitée par les Houillères de Decize, qui décrit un ensemble de grès rouge à blanc, peu induré, couronné par un banc de calcaire jaunâtre dolomitique à géodes siliceuses. Les grès inférieurs sont réputés imprégnés de silice et de calcaire ;

– les **Marnes irisées du Keuper** (notation t) marnes rouges et vertes avec des grès fissiles à délits micacés. Nombreuses écailles de poissons près de Thianges. Le gypse forme des bancs réguliers exploités près de Decize ;

– les **Arkoses de Decize** (I_1), rapportées au Rhétien, qui, suivant l'usage de l'époque, étaient exclues du Trias et rattachées à l'« Infralias » : arkose kaolinique, grès bariolés, marnes blanche et rouge, marnes noires à écailles de poisson.

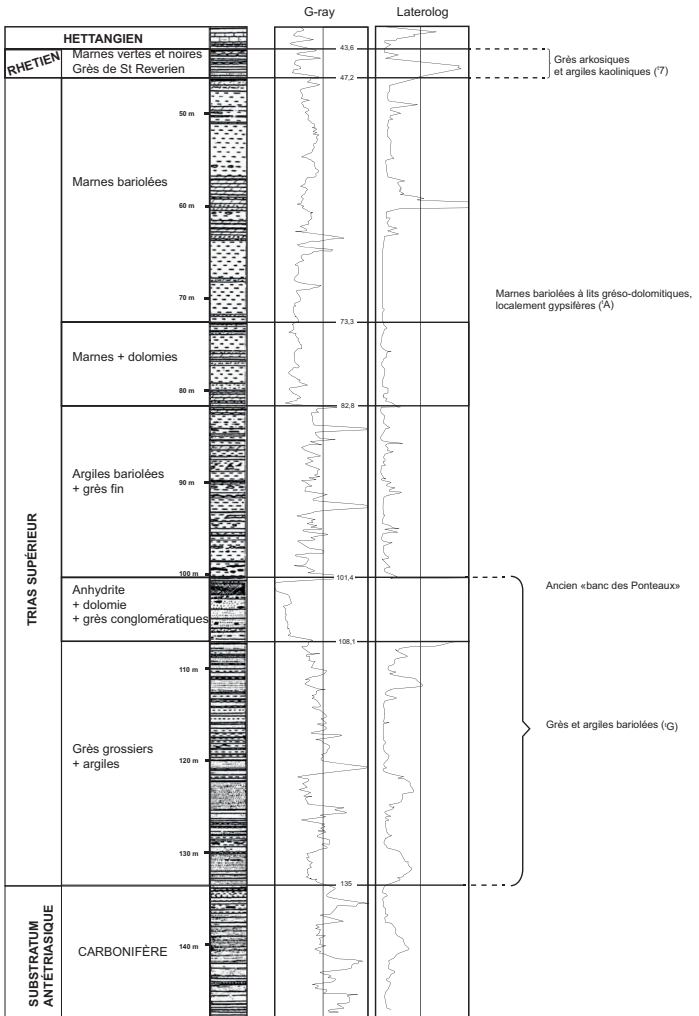


Fig. 7 - Log représentatif du Trias du bassin de Decize dont la série type est prise d'après le sondage de Champvert (CT1) (M. Bois, 1978)

Par la suite et jusqu'à l'époque moderne, ce découpage en trois ensembles distincts a été repris, J. Ricour (1962), G. Prichonnet (1967), M. Grangeon *et al.* (1968), L. Courel (1970, 1973) distinguant trois unités lithostratigraphiques :

- des grès basaux conglomératiques, parfois gypseux ;
- surmontés par des marnes bigarrées (ou bariolées), à interlits dolomitiques et gypseux, et à faciès Keuper ;
- au sommet, des sables kaoliniques blancs intercalés dans des argiles vertes parfois ligniteuses.

La synthèse la plus récente est imputable à L. Courel (*in* Mégnier, 1980a) qui, dans la région de Decize – La Machine, décrit, sous les marnes bariolées et dolomies hettangiennes (de la base au sommet) :

- **trias gréseux** (30 m) à la base : grès feldspathiques plus ou moins argileux, à passées conglomératiques, s'affinant globalement vers le haut ; présence de ciment carbonaté à la partie supérieure et d'accidents anhydritiques et siliceux (*Dolomie des Ponteaux*) ;
- **ensemble argilo-dolomitique bariolé médian** (50 m), plus sableux à la base, plus dolomitique dans la partie médiane, plus marno-dolomitique au sommet. Présence de niveaux gypsifères anciennement exploités, situés vers la base de cet ensemble. Quand la série est évaporitique, cet ensemble, dilaté, peut dépasser 100 m d'épaisseur ;
- au sommet, **Grès de Saint-Revérien** (5-10 m) : grès silteux à la base et marnes vertes à noires au sommet. À partir de Decize, ces faciès sont remplacés par des sables feldspathiques très altérés à ciment kaolinique.

Aidé de sondages carottés et de diagraphies, M. Bois (1978) a subdivisé le Trias de la région de Decize en sept formations (de la base au sommet) (fig. 7) :

- des grès grossiers à conglomératiques et argiles bariolées ;
- un ensemble complexe de grès conglomératiques à ciment dolomitique et sulfaté, parfois siliceux, équivalent au « banc des Ponteaux » ; ces deux niveaux constituent le **Trias gréseux basal** de L. Courel (*in* Mégnier, 1980a) ;
- des argiles bariolées associées à des grès fins ou des silts à ciment dolomitique ;
- des marnes à horizons dolomitiques ;
- des marnes bariolées ; ces trois dernières formations constituent **l'ensemble argilo-dolomitique bariolé** distingué par L. Courel (*in* Mégnier, 1980a) ;
- les Grès de Saint-Revérien ;
- des marnes vertes et noires sommitales ; ces deux dernières formations sont attribuées au Rhétien.

S'appuyant sur ces travaux fondateurs, un découpage similaire, selon trois termes, a été adopté ici pour le Trias de la feuille de Decize ; il comprend les unités suivantes, avec de bas en haut :

- des grès et argiles bariolées (t_G) (Keuper ?) ;
- des marnes bariolées à lits grésodolomitiques, localement gypsifères (t_A) (Keuper) ;
- des grès arkosiques et argiles kaoliniques (t_r) (Keuper terminal = Rhétien).

Les Grès de Saint-Revérien, distingués par L. Courel (*in* Mégnien, 1980a), constituent une unité lithostratigraphique puissante (10 m) et bien caractérisée sur la feuille de Prémery (Lablanche et Delfour, 1998) ; elle disparaît vers le Sud, sur la feuille de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006) et passe à des faciès marnogréseux peu épais (2 à 4 m). Ces dépôts, attribués au Rhétien, affichent un caractère particulier dans la région de Decize (arkoses kaoliniques) qui les distinguent des grès de Saint-Revérien, dont l'unité n'a pas été retenue ici.

Le Trias affleure principalement à la périphérie du horst de La Machine (Anlezy – Thianges sur la bordure orientale, et aussi, dans la dépression à l'ouest de Trois-Vèvres, sur la bordure occidentale) et dans son prolongement méridional, au Nord de Saint-Léger-des-Vignes et au Sud d'Avril-sur-Loire. Le terme terrigène basal n'est bien exposé que dans la moitié septentrionale de la feuille (Bois d'Anlezy notamment). Les faciès marneux rougeâtres médians, très dilatés dans la région centrée sur Decize, représentent l'essentiel des affleurements exposés dans la moitié méridionale de la feuille. Les grès et argiles kaoliniques du Rhétien ont été distingués dans la moitié sud de la feuille. Ailleurs, notamment au Nord de la feuille, en raison de leur épaisseur réduite, ils ont été, comme sur la feuille de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), confondus avec l'Hettangien.

Si sur la feuille de Decize, il n'existe pas de coupe naturelle permettant d'intercepter l'ensemble de la série triasique, on dispose, par contre, de données de sondages qui permettent d'appréhender les faciès et les variations latérales de la série triasique en subsurface. Ces données, circonscrites à la grande région autour de La Machine – Decize, sont en premier lieu imputables aux travaux d'exploration du Carbonifère supérieur, latéralement au gisement de charbon de La Machine, exploité depuis longtemps. Une très utile synthèse de ces travaux de sondages profonds, avec revue des plus anciens datant du XIX^e siècle, a été éditée dans la note de M. Grangeon *et al.* (1968).

Dans le sondage des Menotons réalisé en 1954, par les HBB et localisé à l'Ouest de Trois-Vèvres (GR4) (Prichonnet, 1967 et Grangeon *et al.*, 1968), sous 31 m d'Hettangien dolomitique, parfois gréseux et micacé, le Trias présente 5 m de sables kaoliniques (jusqu'à vers -36 m), coiffant des faciès argileux, à lits dolomitiques (jusque vers -75 m) et à lits gypseux (relevés vers -105 m). À la

base, au-dessus des faciès permien, les détritiques grossiers triasiques sont relevés entre -110 et -125 m.

La région de Devay, dont le Carbonifère était connu pour recéler des indices de charbon, a concentré une bonne part des recherches, dont Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961) ont exploité les résultats et publié la coupe corrélée des terrains du Rhétien/Lias, de quatre sondages, tous situés à l'Est de Decize : Marcy 4, Faye 1, Faye 2 et Girodons.

Dans le sondage de Devay 1 (HBB, en 1957), sous l'Hettangien dolomitique (limite inférieure à -162 m), G. Prichonnet (1967) et M. Grangeon *et al.* (1968) ont reconnu 57 m de Trias argileux rouge avec des bancs dolomitiques et des lentilles gréseuses et du gypse vers -198 m. La série détritique, conglomératique à la base, à ciment gypseux, parfois légèrement dolomitique est épaisse de 26 m (-219 à -245 m), le toit du Carbonifère étant intercepté vers -245 m.

Les sondages à but de recherche minière menés par le BRGM dans les années 60, sur la bordure ouest du Morvan (voir plus haut), ont aussi fortement aidé à renouveler notre connaissance de la série triasique et accessoirement liasique. Malheureusement, ceux-ci n'intéressent que très marginalement le territoire de la feuille de Decize, les sondages n'ayant pas été implantés plus au Sud que Rouy, dans le coin sud-est de la feuille de Saint-Saulge.

Notre connaissance des dépôts triasiques de la région orientale du horst de La Machine-Decize est aussi redevable aux sondages carottés (avec diagraphies) réalisés, dans les années 1973-1976, par la SNEA(P), sur la bordure du Morvan, dans le cadre d'une campagne d'exploration minière (Bois, 1978). Localisés à la bordure occidentale du horst de Saint-Saulge et à la bordure orientale du horst de La Machine, ces sondages permettent d'appréhender l'évolution latérale des dépôts triasiques, selon un transect nord-sud, et d'apprécier le développement des marnes bariolées dans la région de Decize.

La puissance totale du Trias de ces faciès de bordure qui ne dépasse pas 60-90 m dans la région de Decize (Champvert : 92 m dans CT1, Bois, 1978 ; Sud-Est de Verneuil 71 m à Faye 2, Le Calvez *et al.*, 1969 ; 78 m dans le sondage de Menoton, à l'Ouest de Trois-Vèvres, Grangeon *et al.*, 1968). Il s'épaissit fortement latéralement vers l'Ouest (171 m à Azay-le-Vif, Grangeon *et al.*, 1968) et vers le Nord (278 m à Brion, au Nord d'Auxerre, d'après Courel, 1970).

t_G. Grès et argiles bariolées.

t_{G(1)}. Cordon de galets roulés de rhyolite remaniés du Permien. Sur la feuille de Decize, la nature du substratum du Trias varie fortement latéralement, reflétant la forte structuration anté-triasique (fig. 9) : au socle cristallin de feuille de Saint-Saulge, succèdent, vers le Sud, les séries

sédimentaires des bassins paléozoïques : Carbonifère (dans les sondages AY1 et CT1 étudiés par Bois, 1978) ou Permien (dans le sondage de Thianges, TG1). À l'affleurement, on observe qu'au Nord de Decize, dans le bois d'Anlezy, le Trias vient recouvrir les terrains permien formant des cordons résiduels de galets roulés de rhyolite remaniés du Permien (notation tG(1)). Le Trias surmonte directement les dépôts cristallins et cristallophylliens, au niveau du horst de Neuville-lès-Decize.

Si la discordance angulaire observée localement au contact Carbonifère-Trias ou encore Permien-Trias, permet de fixer la limite basale du Trias, en son absence, cette distinction n'est pas toujours aisée à faire, notamment quand les faciès terrigènes grés-conglomératiques lie-de-vin du Trias coiffent les grès argileux « rouges » conglomératiques du Permien.

Dans la synthèse la plus récente du bassin de Paris, L. Courel (*in* Mégnien, 1980a) décrit, dans la région de Decize-La Machine, un **Trias gréseux basal** composé de grès feldspathiques plus ou moins argileux, à passées conglomératiques, s'affinant globalement vers le haut. Cet auteur note aussi la présence de ciment carbonaté à la partie supérieure associé à des accidents anhydritiques et siliceux (*Dolomie des Ponteaux*). Il attribue au total, à cet ensemble, une trentaine de mètres de puissance.

À l'affleurement, ces faciès terrigènes sont le plus souvent très mal exposés et de ce fait leur coupe difficile à lever en détail. Dans le bois d'Anlezy (X = 686,17 ; Y = 2 216,50), au Nord-Ouest de Chassy, cette unité, recoupée par une tranchée, a montré, à la base, un conglomérat fin à moyen (10 cm de diamètre maximum pour les clastes de socle, dont du granite ; certains clastes apparaissent très altérés), de couleur rouge, relayé vers le haut par un sable argileux rose à lie-de-vin, avec quelques galets de socle, et des argiles sableuses rouge à verdâtre.

Dans le ravin des Ponteaux, localité type du « banc des Ponteaux » défini par les auteurs de la carte à 1/80 000, situé à l'Est de Saint-Léger-des-Vignes, les termes indurés supérieurs du Trias gréseux dessinent une petite falaise, haute de 6 m (X = 686,60 ; Y = 2 206,80), qui se compose (de bas en haut) de :

- 0,50 m de conglomérat peu induré, à clastes très roulés et mal triés (diamètre de 1 à 10 cm) ; ceux-ci se composent de granite et de rhyolites ; certains sont très altérés et rougis ;
- 0,50 m de grès quartzo-feldspathiques très bien triés et blanchâtres, peu indurés ;
- sur plusieurs mètres, mal visibles, des sables rougis, fins ;
- 2 m de grès quartzo-feldspathique grossier gris, à granules quartzeux, formant un ressaut morphologique. Cet horizon induré est à ciment carbonaté et siliceux (géodes).

Plus à l'Ouest, au domaine des Pierres (X = 683,65 ; Y = 2 207,75), coiffant des argilites rouge-brique, la ferme est construite sur un banc (0,60 m) de grès grossier microconglomératique, localement argileux, à ciment carbonaté. Les grès alternent avec des faciès plus franchement carbonatés et présentent des géodes de calcite et des cavités de dissolution karstique. Plus haut dans la coupe, L. Courel (1970) rapporte la présence de grès fin en plaquettes, à pseudomorphoses de cristaux de sel gemme, alternant avec des argiles vertes (0,90 m).

On retrouve trace de cet horizon grés-carbonaté, au Sud de La Machine, en contrebas du chemin d'accès à l'Ouche Margot (X = 685,65 ; Y = 2 208,80). La coupe, visible dans le talus du chemin, traverse le contact Permien-Trias et montre aussi le passage Trias gréseux-Trias marneux.

Elle présente, de bas en haut :

- un microconglomérat polygénique (diamètre des plus gros clastes roulés, inférieur à 10 cm) à matrice gréseuse et notamment galets de rhyolite. Ces faciès sont rapportés au Permien ;
- un ensemble terrigène mixte constitué de lits sablo-gréseux arkosiques alternant avec des horizons argileux rouge-brique ; on note aussi la présence d'un horizon grés-conglomératique chenalisé et, tout au sommet, d'un lit métrique de grès à ciment carbonaté, calcaire et localement dolomitisé, formant un équivalent latéral du « banc des Ponteaux » ; cet ensemble, épais de 6 m seulement, est rapporté au Trias gréseux basal ;
- des argilites et marnes rouge-brique à fins bancs de grès, puissants de plus de 17 m (Marnes bariolées).

L'horizon carbonaté, corréléable avec le « banc des Ponteaux », a montré, à l'occasion de l'étude de son microfaciès, la présence inattendue de faune marine ; celle-ci se compose de petits foraminifères benthiques, assez communs et assez mal conservés (parfois en fantômes) à cause de la forte diagenèse qui affecte ce niveau et de débris de métazoaires. L'association reconnue de foraminifères benthiques (étude de C. Bourdillon, ERADATA) comprend des sections évoquant des *Involutinidae* simples à contours lisses et à piliers ombilicaux, de rares tests porcelanés, *Ophthalmidium* cf. *carinatum* et enfin quelques formes hyalines non déterminables. Quelques bioclastes d'échinodermes (dont des débris de crinoïdes) et de mollusques, accompagnent la microfaune. Cette faune, mal conservée, peu diversifiée et en quantité restreinte, n'en est pas moins exceptionnelle et n'avait pas été observée jusqu'ici ; elle témoigne de la première inondation marine qui affecte ce secteur au Trias et qui va conduire au dépôt des marnes bariolées à évaporites.

Dans la coupe de l'usine (« Kléber-Colombes ») localisée à l'Est de la gare de Decize, J. Ricour (1962) et L. Courel (1970) décrivent au-dessus de 19 m de

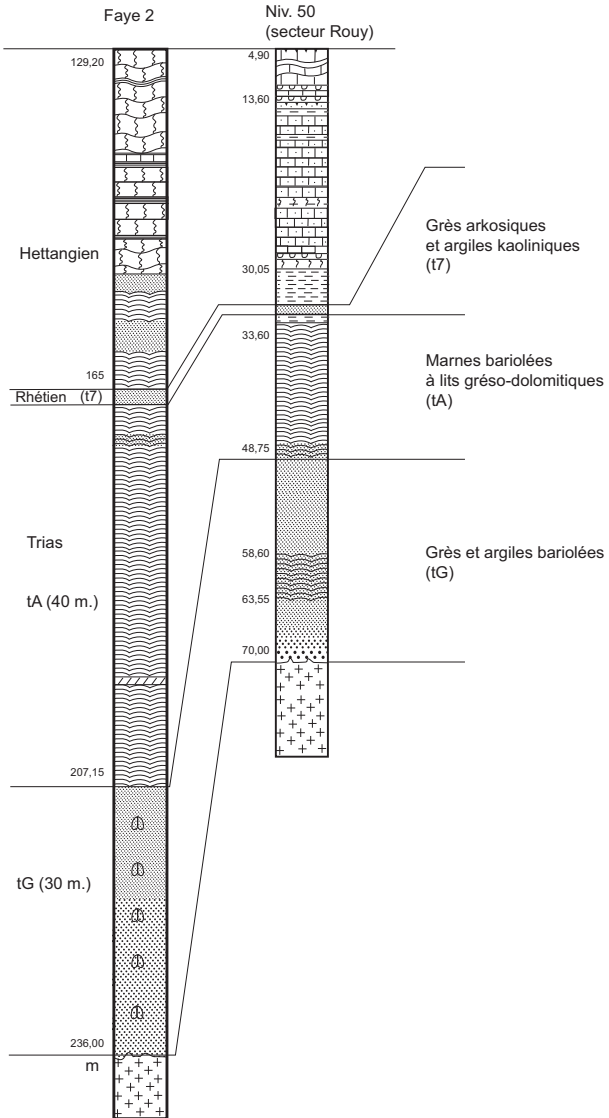


Fig. 8 - Coupe corrélée des sondage Niv 50 (Rouy) et Faye 2 (Le Calvez *et al.*, 1969) montrant la dilation vers le Sud des faciès triasiques

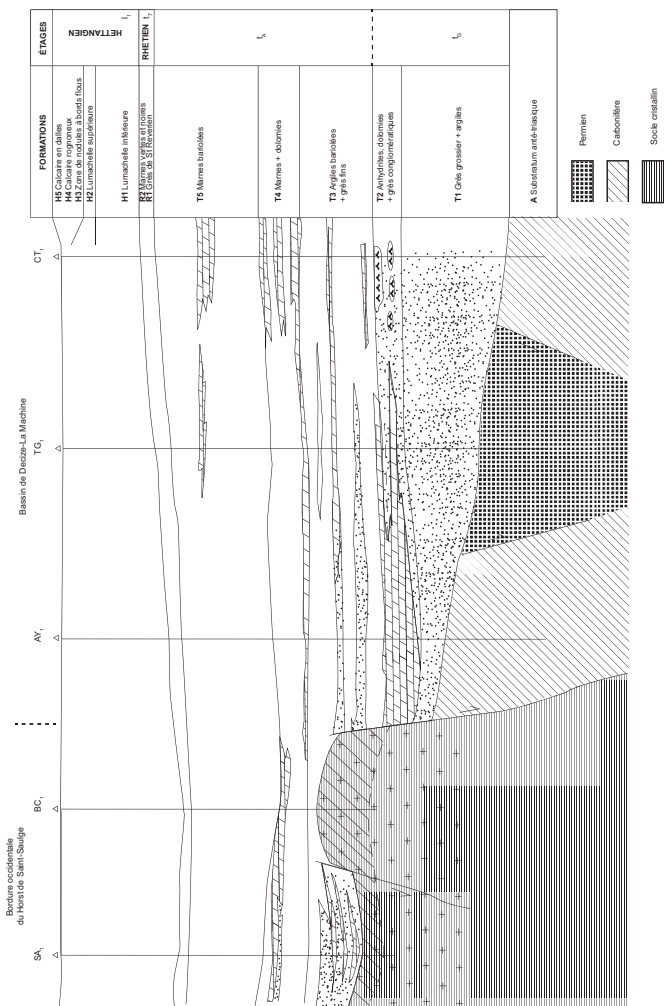


Fig. 9 - Coupe N-S, depuis l'Ouest du horst de Saint-Saulge (Saxi-Bourdon), jusqu'à la bordure sud-orientale (Champvert) du horst de La Machine (M. Bois, 1978)

grès arkosiques bariolés alternant avec des argiles rouges, un banc (1,50 m) de calcaire gréseux et dolomitique, très recristallisé, à géodes de quartz (« banc des Ponteaux »), coiffé par 3,50 m de grès argileux et argiles gréseuses bariolées, présentant localement un ciment dolomitique. Les marnes bariolées (tA) commencent au-dessus de ce dernier banc.

Finalement, en l'absence de bonne coupe, ces faciès sont surtout connus grâce aux données de sondage, à but minier (charbon ou minerais métalliques).

Dans le sondage carotté de Faye 2 (fig. 8), réalisé par les Houillères du Bassin de Blanzy, en 1954, dans le secteur le plus oriental de Decize (Verneuil) et dont la coupe a été reproduite par A. Lefavrais et R. Feys (1955), Y. Le Calvez *et al.* (1969) et L. Courel (1970), le Trias gréseux basal apparaît dilaté (29 m). Il débute par une arène granitique (grès arkosiques épais de 1,60 m), qui passe à des grès arkosiques (16 m) de couleur bariolée (lie-de-vin, vert, chocolat) et à galets de nature variée. Des imprégnations gypseuses locales y ont été relevées. Celles-ci se multiplient en tête de l'ensemble, où les grès arkosiques (11 m) s'enrichissent en gros rognons gypseux (faciès équivalent au « banc des Ponteaux »). Le gypse est aussi présent en remplissage secondaire de fissures.

Le Trias gréseux basal, reconnu par J. Bois (1978), en sondage, dans le secteur oriental du horst de La Machine, comprend un premier ensemble composé de grès grossiers conglomératiques et d'argiles bariolées, dont l'épaisseur augmente rapidement vers le Sud (fig. 9) : nulle dans le sondage de Billy-Chevannes (BC1), cette formation affiche 5,2 m dans le sondage d'Anlezy (AY1), 18,3 m à Thianges (TG1) et 26,9 m à Champvert (CT1). Au-dessus, la série terrigène s'enrichit d'un ciment dolomitique ou sulfaté (anhydrite), parfois siliceux, qui fait de cet ensemble un équivalent du « banc des Ponteaux » de L. de Launay (1888). Dans les sondages les plus méridionaux du transect (AY1, TG1 et CT1), cet ensemble est puissant de 6 à 8 m seulement.

Si les faciès gréseux basaux présentent un caractère plus franchement fluviatile, l'horizon terrigène et carbonaté sommital traduit des influences marines, confirmées par la présence de sulfates et de cristaux de sel gemme (donc on retrouve les moulages).

En l'absence de faune index, l'âge de cette unité n'est pas bien établi. Si les marnes bariolées ont été consensuellement attribuées au Keuper (âge de la transgression marine qui vient pour la première fois envahir le centre du Bassin parisien et sa marge sud, Mégrien, 1980b), les auteurs ont longtemps hésité sur l'âge des grès basaux, l'épisode carbonaté du « banc des Ponteaux », dans lequel nous avons relevé la présence de faune marine, pouvant être pour certains aussi bien corrélé avec la *dolomie de Beaumont* du Keuper moyen, ou encore, avec l'ensemble calcaire du Muschelkalk supérieur (Courel, 1970, 1973 ; *in* Mégrien éd., 1980a).

Au Sud-Ouest du bassin, la transgression du Keuper est caractérisée par le dépôt de deux séquences à dominante détritique (Sapin, 1967 ; Maget *in* Mégnien éd., 1980a). Il est possible de supposer que seule la plus supérieure (équivalente aux Marnes irisées supérieures) a été enregistrée à la marge sud du bassin. Cette hypothèse implique, pour la région de Decize, un âge Carnien élevé à Norien pour les grès et argiles bariolées situés en base du cortège transgressif triasique.

t_A. Marnes bariolées, à lits grésodolomitiques, localement gypsifères. L'ensemble médian du Trias du Nivernais constitue une unité très caractéristique, tant par la mollesse des reliefs qu'elle engendre que par la couleur à dominante rouge des faciès. L. Courel (*in* Mégnien éd., 1980a), la décrit comme un **ensemble argilo-dolomitique bariolé**, plus sableux à la base, plus dolomitique dans la partie médiane, plus marno-dolomitique au sommet. Il relève aussi la présence de niveaux gypsifères situés vers la base de cet ensemble.

À l'affleurement, cette unité lithostratigraphique affleure largement en talus sur la bordure orientale du horst de Saint-Saulge et au Sud de Beaumont-Sardolles, plus accessoirement vers Avril-sur-Loire et Fleury-sur-Loire. Elle couvre une large bande au Nord de Saint-Léger-des-Vignes et au Sud de La Machine, formant plateau. Malgré le caractère bariolé de ces marnes, la couleur brique à lie-de-vin domine.

À cause de la composition argilo-marneuse des faciès, les conditions d'observation à l'affleurement sont souvent médiocres.

Dans la coupe exposée à l'Est de la gare de Decize (X = 686,60 et Y = 205), L. Courel (1970) précise que les marnes bariolées sont épaisses d'au moins 30 m et renferment des horizons de grès en plaquettes perforés par des organismes. Cet auteur signale aussi que dans les anciennes carrières de la Tuilerie UCD (X = 687,45 et Y = 203,50), dans le secteur Decize – Vieille-Loire, les marnes bariolées apparaissent entrecoupées de passées plus gréseuses, à perforations, ripple-marks et pseudomorphoses de cristaux de sel. Des passées à ciment dolomitique ont été aussi relevées.

Au Nord du cimetière de Saint-Léger-des-Vignes (X = 685,60 ; Y = 2 205,47), les tranchées d'un lotissement en construction, ont montré la présence, au sein des marnes bariolées rouge-brique, de bancs de grès peu épais (0,10-0,20 m), à grain fin à moyen, propre, bien triés, à laminations. Ces corps lenticulaires (chenaux) de grès très quartzeux sont riches en mica (biotite et mica blanc) et présentent en base de banc des flute-casts et des figures de charge.

La présence, au moins locale, de couches de gypse intercalées dans les marnes bariolées constitue une caractéristique propre au bassin de Decize. Si

l'historique des anciennes carrières de gypse de la région occidentale du secteur de Saint-Léger-des-Vignes, Sougy-sur-Loire et Rosières nous est détaillé par la note de M. Pottier (1953), la coupe géologique des terrains traversés est malheureusement mal connue, en partie à cause de la fermeture très ancienne de ces carrières (entre 1900 et la fin de la seconde guerre mondiale). Cet auteur signale cependant que le gypse exploité formait des bancs peu épais (2 m maximum) et était extrait à une trentaine de mètres de profondeur, ce qui suggère que le gypse était plutôt positionné vers la base de l'unité marneuse. Même si la présence de gypse est constante dans cette unité, les niveaux gypsifères les plus épais et qui ont été préférentiellement exploités, se localisent à l'Ouest de Decize.

À la Ville-de-Lyon (X = 675,20 ; Y = 2 203,30), au Sud de Fleury-sur-Loire, le sommet des marnes bariolées est observable dans l'ancienne carrière de kaolin. Les marnes, visible sur 8 m, admettent vers la base des bancs gréseux arkosiques, fin à grossier, à galets mous et nombreuses bioturbations.

Dans le sondage de Charancy (localisé à l'Est de la concession de La Machine), T. Ebray (1858) décrit, sous 10 m de Quaternaire et 44 m de Lias, 21 m de marnes irisées coiffant 49 m de grès bigarrés. Dans le sondage du château de Vanzé (au Sud de précédent), le même auteur décrit, sous 7 m de Quaternaire et 46 m de Lias et Infralias, 43 m de marnes irisées et 20 m de grès bigarrés coiffant les terrains houillers.

Dans le sondage de Faye 2 (cité par L. Courel, 1970), l'unité marneuse médiane cumule plus de 41 m ; elle est constituée :

- à la base, d'une unité marneuse (13 m de marnes bariolées), un peu sableuse, grise à mauve, avec un horizon à ciment dolomitique observé vers le sommet de cet ensemble ;
- 22 m de marnes lie-de-vin, alternant avec des niveaux chocolat à rouge-brique ;
- au sommet, sous les grès rhétiens, 6 m de marnes brique à chocolat, chargées par endroits de petits graviers. Notons ici l'absence de couches de gypse.

Grâce aux sondages carottés et diagradiés réalisés par la SNEA(P) sur la bordure orientale du bassin de Decize (sondages d'Anlezy, AY1, de Thianges, TG1 et de Champvert, CT1), M. Bois (1978) a pu préciser l'organisation des dépôts de l'ensemble argilo-dolomitique bariolé médian distingué par L. Courel (*in* Mégnien éd., 1980a). M. Bois distingue une unité basale, d'une vingtaine de mètres d'épaisseur, composée d'argiles bariolées auxquelles sont associés des grès fins ou des silts à ciment dolomitique. Les détritiques, encore abondants dans le sondage d'Anlezy, diminuent en proportion vers le Sud. Au-dessus, M. Bois relève la présence de marnes à horizons dolomitiques (8 à 9 m). Tout au sommet, l'ensemble se termine par des marnes bariolées (23 à 26 m). Au total,

cet ensemble cumule environ 50-55 m de dépôt et ne présente pas de niveau gypseux conséquent.

Les marnes bariolées à évaporites ont été très précocement (Ebray, 1858) corrélées avec les marnes irisées du bassin de Lorraine rattachées au Keuper. Pour J. Ricour (1962), le faciès des marnes irisées à cassure conchoïdale, qui constitue un niveau continu à l'Ouest du Morvan, est caractéristique du Keuper « supérieur » (on dirait moyen maintenant). L. Courel (1970, 1973 et *in* Mégnien éd., 1980a) reprendra cette interprétation, proposant de faire de cet ensemble argilo-dolomitique bariolé, un équivalent des marnes irisées (inférieures ou supérieures ?) du Keuper moyen (le Rhétien rattaché au Trias devenant alors le Keuper supérieur).

Rt_A. Altérites de marnes bariolées, localement gypsifères. En surface, les terrains marneux bariolés du Trias localisés au Sud du horst de La Machine, sont très altérés sur quelques mètres d'épaisseur et parfois partiellement décolorés, bien que ce caractère ne soit pas systématique (on observe des teintes plus rouges aussi). Cette altération ménagée se manifeste principalement par une décarbonatation des marnes, remplacées par des argilites.

Ces faciès arment l'entablement triasique au Nord de Saint-Léger-des-Vignes, passant insensiblement à des formations de pente colluvionnées, très développées sur les rebords des talwegs qui entaillent ces plateaux. L'âge des processus à l'origine de ces phénomènes d'altération est très mal connu et encore incertain. Leur recouvrement, à l'affleurement, par les Sables et argiles du Bourbonnais (Pliocène) n'est que de peu d'aide pour contraindre ces processus, probablement polyphasés (Trias à Tertiaire).

t₇. Grès arkosiques et argiles kaoliniques (Rhétien). Sur la feuille de Decize, les grès et argiles du Rhétien présentent des caractéristiques faciologiques tranchées qui permettent de les distinguer des marnes bariolées basales (souvent rougeâtres) et des faciès hettangiens plus carbonatés sommitaux (alternances de calcaire dolomitique, d'argile verte et de grès lumachelliques). Ces caractères sont plus particulièrement affirmés dans la région de Decize, où de nombreuses carrières ont, par le passé, exploité la kaolinite pour usages en céramique (Butte de Vauzelles, Fleury-sur-Loire et Avril-sur-Loire) ; ces critères tendent cependant à se brouiller vers le Nord de la feuille et au Sud de la feuille de Saint-Saulge, où la série s'amincit et devient difficile à distinguer de l'Hettangien.

Quand elle est masquée par les formations superficielles, cette formation peut être identifiée sur le terrain grâce à la présence de petites résurgences entourées de joncs qui marquent le contact entre les grès rhétiens (perméables) et les argiles bariolées du Trias argileux sous-jacentes (imperméables). Le contact

basal des grès avec le Trias argileux peut être aussi signalé par le passage d'un sol coloré par les argiles rouges du Keuper à une terre sombre riche en sable.

Cette unité consiste en des grès quartzeux grossiers ou fins, granulométriquement homogènes, plus ou moins micacés (micas blanc, séricite), qui renferment des feldspaths (très souvent blanchis par altération), dont l'importance donne localement un caractère arkosique à la roche. Celle-ci, assez friable et poreuse (localement ce sont des sables), est souvent blanchâtre ou beige, à ciment riche en kaolinite. Localement, ce ciment peut être aussi calcaire. Dans certains secteurs, lorsque la roche est très quartzreuse (région de Poisson), elle prend un faciès saccharoïde typique et facilement reconnaissable.

Si cette unité se fait plus discrète dans la région d'Anlezy, dans la moitié sud de la feuille, cette unité affleure en sommet de falaise, sous les calcaires hettangiens et sinémuriens qui forment replat structural. On l'observe ainsi en bordure de la dépression, au Sud de Beaumont-Sardolles et à l'Ouest de Trois-Vèvres, dans la falaise de Vilcraie, au Nord-Est de Saint-Léger-des-Vignes et aussi, dans la falaise au Nord de Bussières. À l'affleurement, seuls les horizons gréseux peuvent être identifiés, les marnes vertes et noires qui les coiffent et que M. Bois (1978) rapporte aussi au Rhétien n'affleurent pas, ou très mal, le plus souvent masquées par les altérites.

Ainsi, au Sud de la feuille de Saint-Saulge, dans le sondage de Billy-Chevannes (BC1), M. Bois reconnaît 1,5 m de grès coiffés par 0,4 m de marnes. Vers le Sud, cette série se dilate légèrement : respectivement, 2,4 m, 3,3 m et 3,0 m de grès fin et entre 0,6 et 0,7 m de marnes, dans les sondages d'Anlezy (AY1), Thianges (TG1) et Champvert (CT1).

À Bussières, G. Prichonnet (1967) note que cette unité qui coiffe les argiles rouges diminue d'épaisseur par rapport à Decize, n'étant plus formée que par un seul banc de grès légèrement dolomitique. Dans la coupe de la route au-dessus du lavoir de Bussières (X = 688,75 ; Y = 2 210,30), les grès fins à débit en plaquettes affleurent en alternance avec des marnes altérées, ocre-jaune à verdâtre. Les grès fins, bien triés, renferment des cristaux de feldspath altéré et montrent la présence d'une faune marine appauvrie, constituée de rares petits foraminifères benthiques (*Ophthalmidium* sp., Trochamminidae ?). Aux Nolats (X = 689,60 ; Y = 2 212,50), à l'Est de Thianges, elle est représentée par un banc de grès à grain fin, très bien trié, à ciment siliceux et débit en plaquettes pluricentimétriques. Ces grès renferment une faune marine appauvrie : petits débris d'échinodermes et petits spécimens de foraminifères benthiques (*Trochammina* sp.), indiquant leur caractère marin.

Dans le transect des quatre sondages localisés à l'Est de Decize (Marcy 4, Faye 1 et Faye 2, Girodons) et corrélés par Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961), ces auteurs signalent que le Rhétien est épais de 4 à 13 m. Il

se compose de grès arkosiques à la base, qui passent à des alternances de grès plus fins et d'argiles et de marnes. Localement (Faye 1 et Girodons), les auteurs notent présence de débris ligniteux dans les marnes de la partie supérieure du Rhétien.

À l'Ouest du horst de La Machine, dans la falaise sous la ferme de Ménétou (Ouest de Trois-Vèvres), ces grès kaoliniques sont visibles sur environ 5 m d'épaisseur (sondage des Menetons, Prichonnet, 1967 et Grangeon *et al.*, 1968).

Ces faciès sont mieux connus dans la région de Decize et au Sud de la Loire, en raison de leur intérêt économique pour la fabrication de céramique et l'exploitation qui par le passé en a été faite. R. Mouterde (1953) signale ainsi la présence d'arkose kaolinique, attribuée au Rhétien et coiffée par l'Hettangien, à Decize, à l'Est de la gare (Vauzelles). D'après G. Prichonnet (1967), qui rapporte que ces grès arkosiques ont été exploités en galerie jusqu'en 1963, ces faciès, épais de 6 m, sont interstratifiés dans des argiles rouges généralement un peu plus sableuses, et vertes au contact des grès.

Au Sud de la Loire, ils ont autrefois été extraits à ciel ouvert au Sud d'Avril-sur-Loire (ferme de Champ-Père, X = 677,70 ; Y = 2 201,60) et exploités en galerie près de Fleury-sur-Loire.

La coupe des terrains donnée par cet auteur et revue par L. Courel (1970), pour la carrière d'Avril-sur-Loire, est la suivante (avec de haut en bas) :

- 4 à 5 m d'argiles bariolées, souvent lie-de-vin, à rognons dolomitiques et lits dolomitiques en plaquettes ; présence d'argiles rouges cargneulisées (Hettangien) ;
- 3 m de sables kaoliniques, plus ou moins feldspathiques et lits d'argile verte (Rhétien) ;
- > 4 m de sable en banc massif, sans litage apparent (Keuper).

Dans cette localité, les sables kaoliniques renferment des feldspaths kaolinisés emballés dans un ciment également plus ou moins kaolinique. Ils peuvent passer à des sables quartzeux ou du kaolin plus ou moins sableux. Le plus gros galet moyen atteint 1,5 cm de diamètre. À la partie supérieure, les sables sont intercalés dans des argiles vertes. Ils présentent des stratifications obliques soulignées par des galets mous d'argile verte.

D'après G. Prichonnet (1967), à Fleury-sur-Loire, les horizons kaoliniques se réduisent à deux niveaux sableux à gros quartz, emballés dans des argiles vertes (épaisseur 4 m ?). L. Courel (1970) indique qu'il a observé dans les exploitations, toujours en activité à l'époque, que les sables kaoliniques reposent par un contact abrupt sur les argiles rouges dolomitiques. La limite Keuper

moyen-Rhétien serait matérialisée par un niveau argileux épais de 30 cm, vert à la base, blanc et sableux au sommet. Au total, les sables kaoliniques sont épais de 4 mètres et renferment des passées d'argiles vertes. Les dépôts gréseux sont de type lenticulaire. On y trouve des passées de kaolin pur, également lenticulaires.

Dans la forêt, au Sud de la Ville-de-Lyon ($X = 675,77$; $Y = 2\ 202,30$), une tranchée en partie comblée et envahie par la végétation, matérialise l'emplacement d'une ancienne exploitation (celle-ci aurait cessé en 1918) de grès fins, à débit en dalles, à grains bien triés, autrefois destinés à la fabrication de meules. Le microfaciès, typique des faciès méridionaux du Rhétien, témoigne de la présence d'une forte proportion de feldspaths plus ou moins altérés (jusqu'à 25 % en proportion) expliquant l'intérêt économique de ces dépôts.

En conclusion, pour G. Prichonnet et L. Courel, les sables kaoliniques, localement grésifiés, forment un horizon repère au Sud de Decize, peu épais, mais continu latéralement, dont la puissance est estimée de 3 à 6 m.

Les grès se débitent en grandes dalles. Plus fréquemment, les bancs ont une épaisseur de quelques décimètres et présentent des figures de charges en base de banc pouvant évoquer des traces de bioturbations. On observe selon les plans d'observation des figures de rides de courants (longueur d'onde inférieure à 10 cm), ainsi que des fentes de dessiccation, en surface de certains bancs. Les grès remplissent le plus souvent des structures chenalisées qui expliquent le caractère lenticulaire et les stratifications entrecroisées qui s'y observent. Le caractère marin des grès à meules de la Ville-de-Lyon ($X = 675,77$; $Y = 2\ 202,30$) est attesté par le bon classement du matériel terrigène et la présence de débris d'échinodermes (certes rares).

À Thianges, au sein des marnes triasiques autrefois exploitées pour les tuileries, se trouvent des bancs de grès blanc à verdâtre dans lesquels T. Ebray (1858) aurait découvert *Avicula contorta* (en fait *Rhaetavicula contorta*). Cette découverte a été, cependant, très tôt contestée (Lefort, 1884, 1896) et, depuis, personne (comme le souligne Mouterde, 1953) n'a pu retrouver ce petit bivalve marqueur du Rhétien.

Néanmoins, depuis la publication de la carte géologique de Saint-Pierre (1888), les « sables kaoliniques » sont considérés comme rhétiens, même sans preuve paléontologique directe. La présence d'écailles de poissons est indiquée par R. Mouterde (1953) et L. Courel (1970), sans qu'on puisse en tirer pour autant un renseignement d'âge. L'étude palynologique réalisée par J. Doubinger, sur des échantillons des « Grès de Saint-Révérien » du sondage de Thianges (TG1), indique que les associations de spores et pollens relevées présentent des affinités avec celles du Rhétien des Alpes autrichiennes et allemandes (*in Bois*, 1978).

D'après L. Courel (1970), ces faciès peuvent être corrélés avec les « grès blonds » de Bourgogne et de Lorraine, caractérisés par la présence de feldspaths, généralement blanchis, et constitués de grès fins micacés alternant avec des marnes « schisteuses » noires à *Avicula contorta*, dont la faune est typique du Rhétien.

Jurassique

La transgression jurassique, esquissée au Trias supérieur, s'amplifie au Lias et se développe au Dogger et au Malm, ennoyant l'ensemble de la région et accumulant des dépôts marins qui constituent l'essentiel de la couverture mésozoïque à l'affleurement sur la feuille de Decize. Les affleurements de Lias sont plus particulièrement développés sur les bordures du horst de La Machine et au Sud de la Loire, le Dogger étant restreint au coin nord-ouest de la feuille. Sur cette feuille, les dépôts rapportés au Malm n'affleurent pas, profondément altérés et partiellement repris dans les argiles d'altération à chailles crétacées.

Lias

l1. Calcaire gréseux, calcaire oolitique et bioclastique à mollusques, calcaire micritique (Hettangien) ; accessoirement (au Nord de la feuille) grès fin lenticulaire à la base (Rhétien). L'Hettangien correspond à une nette avancée de la transgression marine mésozoïque, initiée au Rhétien, sur les massifs anciens et notamment sur la bordure occidentale du Morvan. Il est marquée par le caractère argilo-carbonaté des dépôts et un recul des influences terrigènes, dont ne subsistent encore que quelques manifestations éparses.

Cette unité affleure largement à la périphérie du horst de La Machine et dans le coin sud-ouest de la carte (région de Luthenay-Uxeloup) formant des surfaces structurales. Les faciès exposés en sommet de falaise sont souvent masqués par les formations superficielles.

La séquence classique de l'Hettangien de Bourgogne : « lumachelle » basale (calcaires lumachelliques riches en lamellibranches dont des cardinies) et « Foie de veau » (calcaires micritiques jaunâtres et marnes noires à ammonites dont *Schlotheimia angulata*, espèce indice de la zone à Angulata, dernière biozone de l'Hettangien), encore identifiable dans le secteur de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006) tend à disparaître vers le Sud, sur la feuille de Decize, où il est souvent difficile de reconnaître le faciès « Foie de veau ».

Si l'Hettangien constitue une longue bande d'affleurement, très faillée, à l'Est du horst de La Machine, pratiquement continue depuis le Nord de Chassy

jusqu'à Champvert, les conditions d'affleurement, souvent médiocres, ne permettent qu'un aperçu de la succession des faciès.

La coupe située au Sud-Est de Chassy (X = 686,95 ; Y = 2 16,8) et levée par R. Mousterde (1953), a montré la succession suivante (de haut en bas) :

- au sommet, du calcaire à gryphées gris-bleu foncé (Sinémurien) ;
- du calcaire cristallin, riche en encrines, radioles d'oursins, gastéropodes, avec un banc perforé (1 m) ;
- du calcaire marneux gris bleuté, à gastéropodes lamellibranches et encrines (3-4 m) ;
- un ensemble basal complexe constitué de calcaire marneux gris compact, de calcaire brun à sidérose, de calcaire caverneux, à intercalaires marneux ou argileux verts (20 m ?) ; enrichissement local de certains bancs en quartz et *Mytilus* ;
- plus bas, on trouve les marnes rouges, puis les grès assez grossiers du Trias.

Cet auteur a retrouvé la même succession, plus au Sud, près de Chouix (X = 688,9 ; Y = 214,6).

Un peu plus au Nord, à la Chapelle (X = 688,45 ; Y = 215,7), R. Mousterde relève l'intercalation de 2 ou 3 bancs de calcaire gris, à structure « pseudo-oolithique » ; ces faciès rappellent ceux exposés au Sud de Sougy-sur-Loire.

Notons en préalable que pour l'auteur, l'appellation « pseudo-oolithique » indique « une accumulation de fins débris d'origine organique, roulés, ayant l'apparence d'oolithes sans en avoir la structure concentrique caractéristique ; ceux-ci sont généralement enrobés d'une fine couche de calcite plus opaque ». Ces faciès réputés difficiles à distinguer, à l'œil nu ou à la loupe, des vrais calcaires oolithiques, sont souvent moins bien calibrés que les seconds.

Aujourd'hui, ces faciès à nucléus variés (fragments de fossiles, quartz,...) et fin cortex (même si la diagenèse est parfois effaçante du caractère concentrique de celui-ci), sont plutôt appelés oolithiques (ou oolitiques).

Au Sud de Thianges, dans la petite butte du Buisson de la Roche (X = 588,35 ; Y = 2 210,95), la base de la série hettangienne est exposée dans une ancienne carrière artisanale ; les faciès se composent de grès fins ocre-jaune à ciment carbonaté, à rares lamellibranches (huîtres plates), associés des argiles rougies par la présence de la faille voisine. Au sommet de la butte de Thianges (X = 688,35 ; Y = 2 212,55), le relief est coiffé par du calcaire micritique gréseux fin et ocre-jaune.

L'Hettangien du secteur oriental de la carte nous est mieux connu grâce aux sondages réalisés par la SNEA(P). Sur le flanc occidental du horst de Saint-Saulge, en sondage carotté et avec l'appui de diagraphies, M. Bois (1978) a pu subdiviser l'Hettangien en cinq membres : lumachelle inférieure, lumachelle supérieure, marnes à nodules à bords flous, calcaire rognoneux et enfin calcaire en dalles. Ce découpage rappelle la séquence classique de Bourgogne.

Sur le flanc oriental du horst de La Machine, les trois membres supérieurs ont tendance à se confondre en un seul et à s'amincir par rapport au Nord du transect. La « lumachelle inférieure » se présente comme un ensemble complexe composé d'une alternance d'argiles vertes et de calcaires dolomitiques à passées de calcaire à grands lamellibranches. Une fraction terrigène accessoire accompagne ces faciès (quartz). Dans cette région sud du transect, le sommet du membre est caractérisé par des dolomies à laminites algaires et parfois des structures « bird-eyes » et des fentes de dessiccation. La lumachelle supérieure comprend un ensemble complexe de calcaires microcristallin, bioclastique et localement graveleux, du calcaire silteux dolomitique, de la dolomie argileuse, de l'argile verte. La lumachelle inférieure est mieux développée (15,5 m dans AY1, 13,6 m dans TG1, 11,5 m dans CT1) que la lumachelle supérieure (entre 5,7 et 6,3 m). À Champvert (CT1), d'après M. Bois, la lumachelle supérieure est entièrement dolomitique. Dans l'Est du bassin de Decize, les faciès sommitaux marno-carbonatés ont fortement diminué d'épaisseur (5,6 m dans AY1 et 2,9 m dans CT1) ; ils comprennent des marnes noires à nodules de calcaire micritique à plages enrichies en bioclastes (entroques) ; ces faciès sont de plus en plus carbonatés vers le haut, avec des passées décimétriques de calcaire microcristallin bioclastique et graveleux. À Champvert, ces faciès passent à des argiles vertes et des faciès dolomitiques plus ou moins argileux.

Cette évolution latérale est confirmée par les sondages localisés à l'Est de Decize (fig. 1 et 10), dans lesquels Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961) rapportent que l'Hettangien cumule une vingtaine de mètres d'épaisseur et se compose, de bas en haut :

- de marnes vertes à rares passées calcaires ;
- de calcaires marneux et de marnes grises ou noires, souvent micacées. Vers la base, à Faye1, on reconnaît un lit de lumachelle à moules internes de bivalves (*Cardinia* et *Isocyprina* cf. *germani*) ;
- d'alternances de calcaires marneux et de marnes vertes, débutant par un banc dur de calcaire gréseux et dolomitique.

Ces faciès marquent un certain confinement des faciès et une tranche d'eau très peu profonde avec des indices d'émersion (Courel, *in* Mégnien éd., 1980a).

Dans le Nivernais méridional, au Sud de Nevers, on ne reconnaît plus la séquence bourguignonne, les faciès lumachelliques montant pratiquement jusqu'au sommet de la série hettangienne.

Dans la région occidentale du horst de La Machine, l'Hettangien affleure largement autour de Beaumont-Sardolles, dans les thalwegs (Le grand Lugues) ou encore en pied de cuesta, sous les calcaires sinémuriens et au-dessus des faciès principalement marneux du Keuper (au Sud de Beaumont-Sardolles). À l'affleurement, seuls les faciès lumachelliques grossiers sont faciles à reconnaître, au détriment des faciès argileux intercalés dans la série. L'ensemble des faciès représentatifs est cependant visible, près de la ferme des Perrins, au Sud de Limon (X = 679,55 ; Y = 2 217,70), où on observe l'alternance de calcaire lumachellique (packstone beige à mollusques), d'argile verte et d'oocalcarénite un peu gréseuse (grainstone à grain moyen, bien trié). En lame mince, la macrofaune apparaît brisée en bioclastes, roulée et micritisée à sa périphérie (action des cyanobactéries). Ce faciès grainstone montre en abondance des débris de mollusques bivalves, plus accessoirement de petits gastéropodes et aussi des débris d'échinodermes (échinidés et crinoïdes). L'association faunique comprend aussi de très rares foraminifères benthiques (*Ophtalmidium* sp.).

Dans la coupe de l'« Infralias » des anciennes carrières de Sougy-sur-Loire, décrite par T. Ebray (1858), l'Hettangien (considéré alors comme de l'infralias sommital, qui ne deviendra Hettangien qu'en 1864, Renevier) se compose (avec de haut en bas) de :

- calcaires à gryphées arquées et ammonites (Sinémurien) ;
- 0,40 m de calcaire à cerithes ;
- plusieurs petits bancs de calcaire argileux à bivalves ;
- petits bancs exploités comme pierre de taille, calcaires sub-lamellaires et lumachelliques à *Cardinies* (3 m) ;
- argile verte et calcaire caverneux (2 m) ;
- calcaire argileux à *Diadema teriale* ;
- argiles vertes et grès lumachelliques à *Mytilus*.

Dans cette coupe, l'auteur indique la présence de plusieurs niveaux perforés.

Un siècle plus tard, R. Mouterde (1953) a repris l'étude de cette coupe qui montre le sommet de l'Hettangien sous les calcaires à gryphées du Sinémurien (X = 679,70 ; Y = 206,00) ; il a reconnu de haut en bas :

- calcaire rognoneux à faune d'ammonites sinémuriennes ;
- 1 à 2 bancs (0,20 à 0,40 m) de calcaire à grain très fin, sans fossile et de calcaire à concentrations fossilifères irrégulières (nombreux gastéropodes, encrines) (équivalent du faciès « Foie de veau » ?) ;

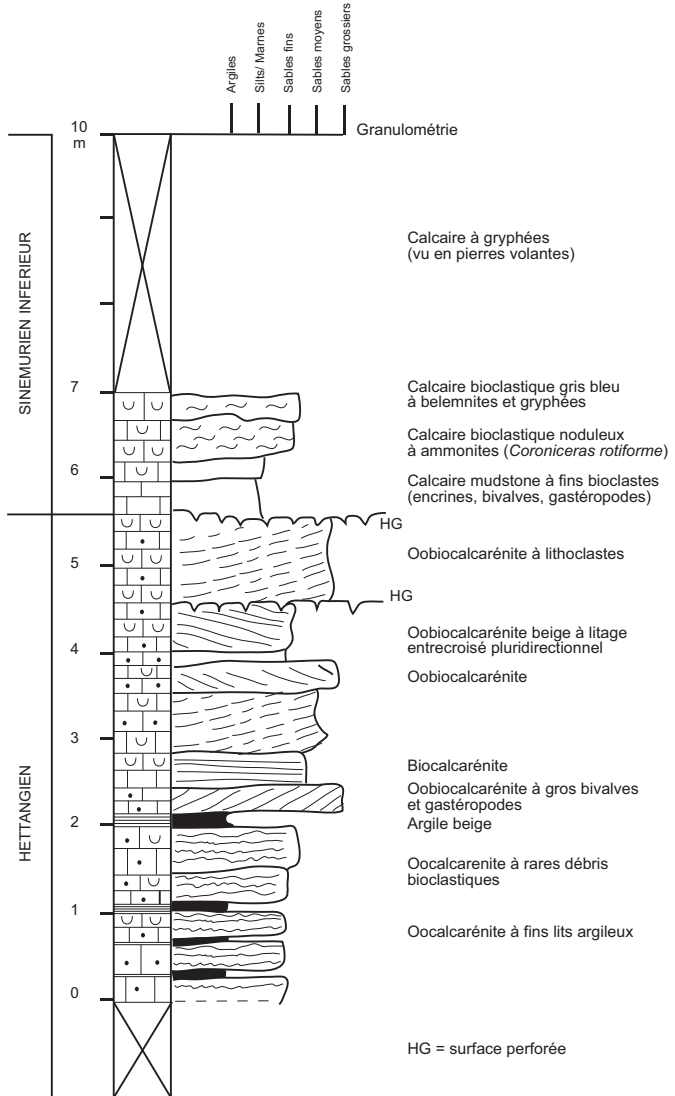


Fig. 11 - Coupe du passage Hettangien-Sinemurien dans une ancienne carrière proche de Sougy-sur-Loire

- surface perforée encroutée d'huîtres ;
- calcaire « pseudo-oolithique » (2,80 m), à nombreux débris roulés et débris de coquilles, exploité pour pierre de taille ; ces calcaires renferment une faible fraction de grains de quartz ;
- surface perforée ;
- calcaire identique au précédent (0,45 m) ;
- délit marneux riche en *Ostrea sublamellosa* ;
- surface perforée à *Ostrea sublamellosa* ;
- calcaire gris un peu marneux, « pseudo-oolithique », un peu quartzeux.

Un peu plus au Nord des anciennes carrières, dans le talus qui domine la route, d'après R. Mouterde, les calcaires « pseudo-oolithiques » s'observent sur 7 ou 8 m d'épaisseur.

La configuration actuelle de l'affleurement (X = 679,70 ; Y = 2 206,20) permet encore d'observer le sommet des dépôts hettangiens qui apparaissent composés de plus de 6 m de calcaires oolithiques à stratifications entrecroisées, surmontés abruptement par un fin lit marneux passant à un calcaire mudstone gris (0,30 m) ; ce dernier est coiffé par 5 m de calcaires wackestone à packstone à gryphées, pecten et huîtres (Sinémurien) (fig. 11).

Dans l'ancienne carrière (X = 680,23 ; Y = 2 203,95), localisée au Sud-Ouest de Tinte, et autrefois exploitée pour la fabrication de la chaux, on peut encore observer l'interface Hettangien-Sinémurien, marquée par la superposition abrupte d'un calcaire packstone gris-bleu, noduleux, à gryphées (Sinémurien) sur des oocalcarénites blanc-beige, à stratifications entrecroisées (Hettangien, visible sur 5 m).

Dans le coin sud-ouest de la carte, dans la carrière de Parenche (X = 669,70 ; Y = 2 201,50), les oocalcarénites bioclastiques du sommet de l'Hettangien sont coiffées par 1,50 m de marnes grises intercalées de fins bancs de calcaire micritique jaune. Ces marno-calcaires, que l'on peut rapprocher du faciès « Foie de veau », sont ravinés à leur toit et abruptement coiffés par du calcaire packstone gris-bleu à gastéropodes et lamellibranches, puis à gryphées, du Sinémurien.

En résumé, dans le secteur sud-occidental de la carte de Decize, les dépôts hettangiens s'organisent ainsi :

- au sommet, des calcaires oolithiques, gris clair, un peu gréseux ; à leur extrême sommet, on note parfois, la présence d'un petit niveau de calcaire micritique riche en mollusques et encrines ; ce niveau, plus épais à l'Ouest (Parenche), peut correspondre au faciès « Foie de veau », mais nettement plus réduit dans ce secteur ;

– la partie médiane et basale de la série hettangienne est caractérisée par des calcaires nettement plus argileux, alternant avec des argiles vertes. Quelques horizons oolitiques généralement riches en lamellibranches (*Mytilus*, *Ostrea*,...) et avec de plus rares oursins (*Diademopsis*), se reconnaissent encore. On note aussi la présence d'horizons enrichis en quartz terrigènes.

En conclusion, on attribuera l'organisation originale et variée des dépôts sur la feuille de Decize, au caractère marginal de la transgression hettangienne sur la bordure occidentale du Morvan.

On peut estimer l'épaisseur de l'Hettangien à l'Ouest d'Anlezy à une vingtaine de mètres, de même à Beaumont-Sardolles et à Sougy-sur-Loire. Le secteur où la série apparaît plus épaisse et atteint environ 25-30 m de puissance, est situé à l'Ouest du horst de La Machine : la Vallée de Druy-Parigny, la ferme de Chassigny et plus au Sud, à Dardault.

Ces observations de terrain s'accordent bien avec les données tirées de la carte des isopaques du Rhétien-Hettangien, à la bordure occidentale du Morvan, réalisée par M. Bois (1978), et qui montre un épaississement de l'Hettangien en direction de l'Ouest lié à une plus grande ouverture des faciès. Le même auteur rapporte la présence de spores et pollens relevés dans plusieurs échantillons du sondage TG1 de Thiange, et notamment la prédominance des *Classopollis* qui indique (Doubinguer et M.-C. Adloff, *in* Bois, 1978) un âge hettangien. Ces pollens et spores sont associés à du microplancton (Dinoflagellés), dont *Dapcodinium priscum* qui apparaît au Rhétien inférieur et atteindrait son développement maximum au Rhétien supérieur-Hettangien.

Probablement en raison du caractère relativement confiné des dépôts et de la quasi-disparition du faciès « Foie de veau », aucune ammonite n'a pu être trouvée dans le secteur de la carte de Decize.

Plus au Nord de la feuille, à Montapas (carte de Saint-Saulge), R. Mouterde (1953), a découvert, dans un calcaire cristallin gréseux riche en bioclastes roulés, une ammonite (*Alsatites supraspiratum* ?) rapportée à la sous-zone à Laqueus (*Alsatites laqueus* - Hettangien moyen). Encore plus au Nord-Est, dans la région de Corbigny, cet auteur rapporte la présence, dans les faciès marneux supérieurs, de *Schlotheimia angulata* (Hettangien supérieur). Dans la région de Saint-Revérien (feuille voisine de Prémery, Lablanche et Delfour, 1998), G. Lablanche signale, dans les calcaires « Foie de veau », une faune d'ammonites : *Schlotheimia angulata*, *Alsatites liasicus* et *A. delmasi*, qui indique l'Hettangien moyen à supérieur.

En conséquence de la réduction, voire la disparition, des faciès micritiques sommitaux (« Foie de veau ») à ammonites, la question reste ouverte quant à

l'âge précis des dépôts hettangiens de la feuille de Decize. Le développement des faciès oolitiques et biocalcarénitiques souligne le caractère diachrone de ceux-ci.

l2. Calcaire bioclastique gris-bleu, calcaire argileux, marnes à gryphées arquées (Sinémurien s.l.). En France, le Sinémurien *s.l.* comprend le Sinémurien *s.s.* (ou Sinémurien inférieur) et le Lotharingien (Sinémurien supérieur) (Mouterde et Tintant, *in* Mégnien éd., 1980a). En Bourgogne et dans le Nivernais, le Sinémurien *s.l.* débute par le Calcaire à gryphées arquées relayé à son sommet par des calcaires marneux plus riches en ammonites ; il a par le passé été exploité pour la fabrication de chaux.

Cette série est largement exposée sur les bordures occidentale et orientale du horst de La Machine où elle arme les plateaux. Elle est aussi bien exposée dans la côte au Sud de Luthenay-Uxeloup. Les meilleures coupes sont relevées en carrière ou en sondage.

La plus belle section observable sur la feuille de Decize est située dans l'ancienne carrière de Poisson (X = 689,30 et Y = 2 13,45), au Nord-Est de Thianges, où R. Mouterde (1953) en a dressé la coupe alors visible sur environ 6 m. Cet auteur reconnaît cinq horizons distincts, avec de haut en bas :

- calcaire gris bleuté (Banc 25b : 0,70 m), à délit marneux, et à accumulations locales de débris de coquilles ; présence de niveaux perforés ; faune diversifiée d'ammonites (*Arnioceras* sp.), de brachiopodes (*Rhynchonella* gr. *R. deffneri*, *Zeilleria* cor, *Spiriferina tumida*), de gryphées (*Gryphaea cymbium*) et d'encrines (*Pentacrinus tuberculatus*) ;
- calcaire bleu à gris clair (Banc 25a : 0,80 m), cristallin, à débris de coquilles (avec la même faune qu'au-dessus) ; à la base, présence de *Coroniceras* sp. de petite taille et de nombreuses Cardinies ;
- calcaire gris-bleu (Banc 24 : 1,50 m), cristallin, à débris de coquilles, en bancs épais intercalés de calcaire argileux, à *Arnioceras semicostatum*, *Coroniceras* sp. de petite taille, *Gryphaea arcuata* et à belemnites (*Belemnites acutus*) ;
- banc de calcaire bleu foncé (Banc 23 : 0,75 m), cristallin, à débris de coquilles et à *Euagassicerias sauzeanum*, *Arnioceras* cf. *jalcarie* ; calcaire argileux feuilleté à la base avec de nombreuses gryphées de grande taille (*Gryphaea arcuata*) ;
- calcaire gris-bleu compact (Banc 22 : 2 m), cristallin, à nombreux débris de coquilles, à *Coroniceras bucklandi*, *C.* cf. *sinemuriense*, *Arnioceras ceratitoides*, *Gryphaea arcuata* et *Spiriferina tumida*.

Pour R. Mouterde, les deux couches les plus supérieures sont d'âge Sinémurien supérieur (Lotharingien), les deux directement inférieures, du sommet du Sinémurien inférieur, zone à *Semicostatum*, et la couche la plus basale, de la base du Sinémurien inférieur, zone à *Bucklandi*.

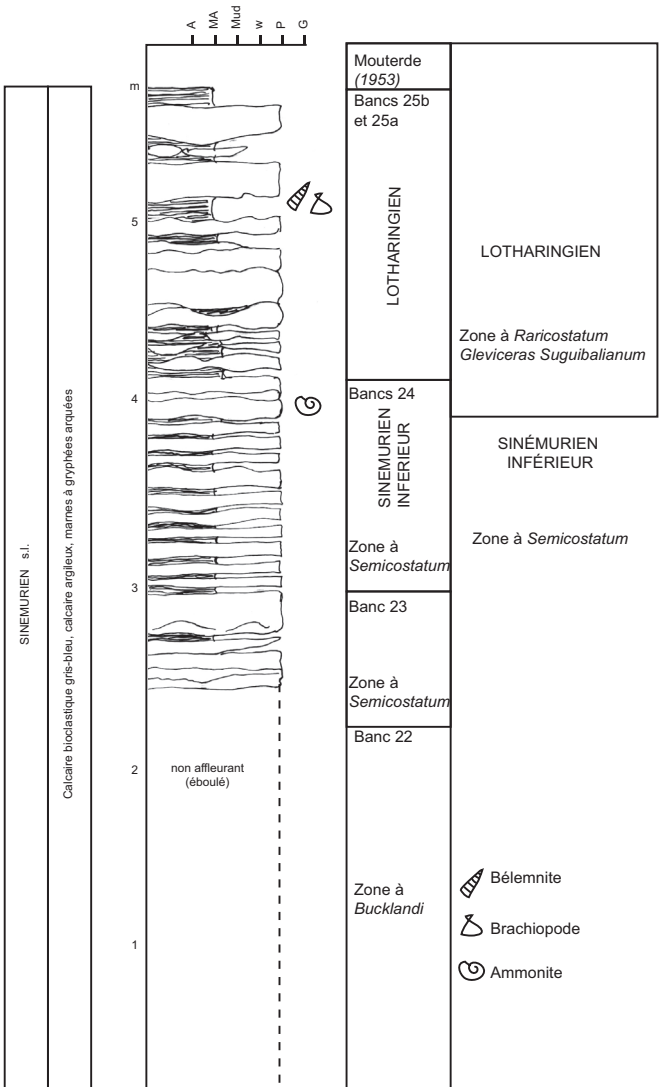


Fig. 12 - Coupe du Sinémurien de l'ancienne carrière de Poisson

Lors de la visite récente de la coupe (fig. 12) on a pu relever, en complément des faunes décrites par R. Mouterde, la présence de l'ammonite *Gleviceras subguibalianum* observée au sommet de l'ensemble 3 (banc 24) décrit par R. Mouterde ; cette découverte suggère de descendre un peu la limite Sinémurien inférieur/supérieur par rapport à la proposition initiale de R. Mouterde.

La partie la plus supérieure du Sinémurien *s.l.*, qui manque dans la coupe de Poisson, a été reconnu dans une ancienne carrière à l'Est de Decize (X = 688,70 ; Y = 203,80), où R. Mouterde y décrit une alternance de marne et de calcaire marneux (2,50 m) à *Echioceras raricostatum* (Zone à Raricostatum).

À l'Est de Decize, en sondage (fig. 10), (Le Calvez et Lefavrais-Raymond, 1961) le Sinémurien inférieur, est apparu d'épaisseur à peu près constante (5-6 m), composé de calcaire à gryphées (*G. arcuata*) et à bélemnites. *Arnioceras geometricum* a été trouvé à Faye 1. Le Sinémurien supérieur (Lotharingien), ici plus épais, cumule une quinzaine de mètres d'épaisseur. Ce sous-étage débute par 5 à 6 m de calcaire cristallin noduleux intercalé de marnes graveleuses, à *G. cymbium*. Il se poursuit par des marno-calcaires gris à fucoides, dont la base débute par une lumachelle à petits brachiopodes pyriteux. Ce niveau, épais d'une dizaine de mètres, renferme de plus nombreuses ammonites. *Echioceras* sp., *Deroceras* cf. *armatum* ont été collectées en sondage (Faye 2). La microfaune étudiée par ces auteurs est assez pauvre et principalement localisée dans le niveau supérieur. Elle se compose de : *Lingulina* sp., *Dentalina* sp., *Marginulina* gr. *prima*, *Cristellaria* sp. À ces formes calcaires, les auteurs ajoutent une espèce arénacée : *Verneuilinoides mauritii*.

Les sondages exécutés par la SNEA(P) (Bois, 1978) dans le bassin de Decize (AY1, TG1 et CT1) n'ont traversé que le Sinémurien *s.s.*, sur une épaisseur de 6 à 9 m.

Au-dessus d'une surface perforée qui coiffe l'Hettangien, les sondages ont rencontré du calcaire packstone gris-bleu intercalé de fins lits marneux coquilliers d'aspect onduleux (dit « turbulent »).

Près de Sougy, R. Mouterde rapporte que le Sinémurien *s.s.* débute par 1 m de calcaire marneux rognoneux à *Coroniceras rotiforme*, petits gastéropodes et nombreux Myaires, relayés par des calcaires gris-bleu, en bancs réguliers à surface ondulée et délits marneux et nombreuses *G. arcuata*. Dans cette région, ces faciès ont 4 à 5 m d'épaisseur. Ils renferment dans leur partie inférieure : *Arnioceras* cf. *ceratitoides*, *Coroniceras* gr. *bucklandi*, et dans leur partie supérieure : *Metarnioceras* sp., puis, *Arnioceras* aff. *jalcaries*, *A. miserabile*. Ces dernières formes indiquent le Sinémurien inférieur élevé, le Lotharingien ayant été enlevé par érosion.

À Parenche, le Sinémurien inférieur n'est visible que sur 4 m et le même auteur note que les ammonites y sont plus rares (à la base : *Coroniceras* sp. et au sommet : *Paramioceras* sp., *Coroniceras* sp.). Le front de taille actuel de la carrière (X = 669,75 ; Y = 2 201,45) de pierres de construction montre, à la base, deux gros bancs de calcaire massifs (0,40 m) à gouttières d'érosion, riches en macrofaune (très abondantes gryphées, petites ammonites, gastéropodes, gros bivalves fousseurs, pectens : *Entolium* sp., articles de crinoïdes, débris de brachiopodes) et avec une microfaune de foraminifères benthiques (Nodosariidae, *Dentalina* sp., *Reinholdella* sp., *Involutina liassica*) et d'ostracodes. Au-dessus (3 m), la série calcaire se fait plus alternante, s'organisant en bancs dm à pluri-dm, d'aspect noduleux et interlits marneux à forte concentration de gryphées. La macrofaune n'évolue guère verticalement, sauf la présence supplémentaire de quelques nautilus. Ces horizons correspondent au Sinémurien inférieur reconnu par R. Mouterde. En sommet du front de taille, la série se fait plus franchement alternante (1 m visible) avec l'intercalation de fins horizons calcaires et de vrais lits marneux. La macrofaune est surtout caractérisée par la présence de nombreuses encrines, de bélemnites et de plus rares ammonites. Elle pourrait correspondre au Lotharingien.

À l'Est de Decize, au Sud de Corcelles (X = 688,72 ; Y = 2 204,05), le Sinémurien est visible dans le front de taille d'une ancienne carrière. À la base, la série montre 2 m de calcaire noduleux en lits pluri-dm empilés, à sillons d'érosion, riches en macrofaune et notamment en gryphées. Ces calcaires à texture packstone-wackestone renferment une microfaune de petits foraminifères benthiques (*Nodosaria* sp., *Ichthyolaria* sp., *Dentalina* sp., *Lingulina* sp.) et aussi *Involutina liassica*. Au-dessus, la série devient plus nettement argileuse (alternances de marnes et de fins bancs calcaires à gryphées et rhynchonelles, visibles sur 2 m). Le microfaciès du calcaire wackestone montre un enrichissement en quantité et en diversité des petits foraminifères benthiques (formes à test hyalin et notamment les Nodosariidés), ainsi que la présence de quelques grains phosphatés (os ou dent). Alors que les calcaires basaux peuvent être rattachés au Sinémurien *s.s.*, le faciès marno-carbonaté sommital rappelle les faciès plus ouverts du Lotharingien.

On retrouve ce type de faciès ouvert, à petits foraminifères benthiques nombreux et diversifiés, notamment des Nodosariidés, dans les calcaires micritiques observés au sommet du plateau, au Nord de la ferme des Perrins (X = 679,43 ; Y = 2 217,75), où il a été reconnu : *Lenticulina* sp., *Lingulina* ? sp., *Dentalina* sp., *Ichthyolaria* sp., *Glomospira* sp., *Spirillina* ? sp., *Reinholdella margarita*, *Conorboides* ? sp. ou *Reinholdella* ? cf. *planiconvexa*. Ces faciès, également riches en microfaune diversifiée (débris d'échinoderme dont crinoïdes, débris de brachiopodes, de mollusques bivalves et gastéropodes, carapaces d'ostracodes, nucléus d'ammonite) renferment de la glauconie, indice du caractère transgressif de ces dépôts rapportés au Lotharingien.

Au total on constate que le Sinémurien *s.l.* apparaît complet en Nivernais, les ammonites caractérisant l'intervalle compris entre la zone à Bucklandi (sous-zone à Rotiforme) jusqu'à la zone à Raricostatum. Les faciès carbonatés (Calcaire à gryphées arquées) débordent sur la base du Lotharingien et affichent une épaisseur comprise entre 5 et une dizaine de mètres. Les marno-calcaires supérieurs à *Echioceras* (Lotharingien supérieur) sont épais de quelques mètres à une dizaine de mètres (Faye 1 et Faye 2).

Les marno-calcaires du Lotharingien, connus régionalement (Mouterde, Courel, *in* Mégnién éd., 1980a) pour être phosphatés (grains et nodules), marquent une pulsation transgressive qui vient provoquer l'ennoiement de la plate-forme du calcaire à gryphées. Le passage au Carixien apparaît progressif (Le Grand Lugues, X = 680,15 ; Y = 2 216,60) les faciès lotharingiens les plus sommitaux présentant déjà un faciès carixien (calcaire mudstone à abondantes bélemnites de taille variée et interbanes marneux réguliers) et une faune lotharingienne dont des gryphées (*Gryphaea mccullochi*, rhynchonelles).

3i. **Marnes et calcaire argileux à bélemnites (Carixien).** Avec le terme inférieur du Lias moyen (Carixien), la série liasique prend, à l'Ouest du Morvan, un caractère marneux prononcé qui explique la pauvreté des affleurements, souvent recouverts de prairies ou de bois. Ces faciès affleurent largement à l'Est du horst de La Machine et d'une façon plus modeste, au Sud de la Loire, à l'Est de Luthenay-Uxeloup. Aucune coupe naturelle n'existant, ces faciès sont le plus souvent identifiés sur la base de leur contenu faunistique, à la faveur de champs labourés où on peut trouver, en pierres volantes, de nombreux fossiles, notamment des ammonites.

De nombreux affleurements ont été relevés dans le région d'Anlezy (X = 689,05 ; Y = 2 218,45), au Sud de Nérondes (X = 691,00 ; Y = 2 218,55), à l'Est de la ferme du Gros Crêt (X = 690,85 ; Y = 2 218,00), montrant, en surface de champ, des marnes à ammonites (*Liparoceras* sp., *Lytoceras fimbriatum*, *Aegoceras* sp. *Protogrammoceras* sp. ?), abondants rostrés de bélemnites, des gros mollusques bivalves (*Plagiostoma*) et des nautilus. À Crécy-sur-Canne (X = 693,85 ; Y = 2 219,70), la faune d'ammonites s'enrichit de brachiopodes plats (*Zeilleria numismalis*).

Plus au Sud, à l'Ouest du château de Vanzé (X = 690,05 ; Y = 2 208,35), on retrouve, dans les champs cultivés, du calcaire micritique gris clair à nombreuses bélemnites et dans lequel on peut observer quelques grosses ammonites (*Lytoceras* sp.).

Dans un panneau effondré contre une faille, au Sud du taillis de Riego (X = 689,05 ; y = 2 206,05), à l'Est de Decize, on observe à nouveau le faciès de calcaire micritique argileux blanc à bélemnites, associé à une faune riche et diversifiée de mollusques, similaire à celle décrite ci-dessus.

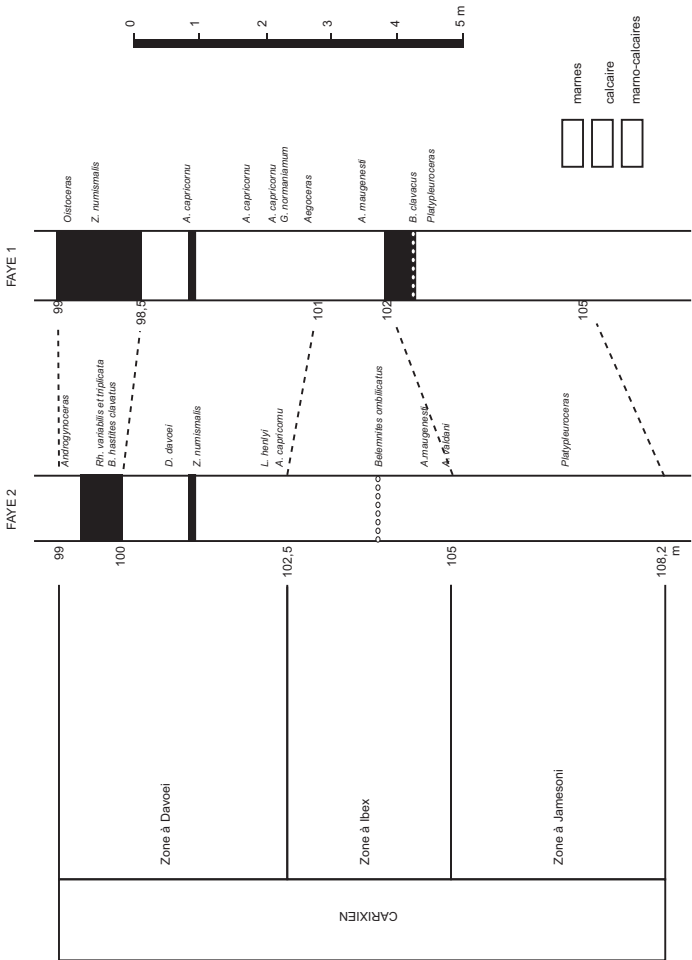


Fig. 13 - Coupes corrélées du Pliensbachien inférieur (Carixien) de 2 forages du secteur oriental de Decize (Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond, 1961)

Dans le coin sud-ouest de la feuille de Decize, sur le plateau, en face et à l'Est des Boulats (ferme de Pillot), les marno-calcaires du Carixien viennent coiffer les calcaires du Sinémurien. Au point (X = 671,92 ; Y = 2 203,30) le calcaire micritique a livré d'abondantes bélemnites et une empreinte d'ammonite. R. Mousterde (1953) signale dans le sondage de la forêt de Chabet (près d'Azy-le-Vif dans le coin nord-est de la feuille de Lurcy-Lévis) une puissance de 12 m pour le Carixien et de 40 m pour le Domérien.

Malgré la multiplication des affleurements, leur caractère ponctuel ne permet pas d'établir et de préciser la succession lithologique et faunistique du Carixien.

Encore une fois, c'est en sondage que ces faciès peuvent être le mieux étudiés. Le transect de deux sondages implantés à l'Est de Decize, étudié et publié par Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961), permet de reconnaître en détail la succession du Carixien de cette région (fig. 13). Épais d'une dizaine de mètres, d'après ces auteurs, les dépôts débutent par 3 à 4 m de calcaire marneux gris cendre, assez dur, à abondantes bélemnites. Dans le sondage Faye 2, quelques ammonites ont été trouvées, notamment *Platyleuroceras* sp. Ces faciès sont rapportés à la zone à Jamesoni. Viennent au-dessus 3 m d'alternances de calcaires et de marnes à *Acanthopleuroceras valdani* et *A. maugenesti*, coiffant à la partie inférieure une lumachelle à bélemnites. Ces faciès correspondent à la zone à Ibex. La zone à Davoei est la plus fossilifère et bien développée, passant à des marno-calcaires à *Aegoceras capricornus*, *A. cf. lataecosta*, *Lytoceras* sp. et à Faye 1, *Grammoceras normanianum*. Après un banc calcaire à *A. capricornus*, les calcaires sus-jacents ont livré des *Productylioceras davoei*.

Les marno-calcaires les plus sommitaux, riches en bélemnites (*Hastites clavatus*) et en rhynchonelles (*R. variabilis*, *R. triplicata*) ont aussi livré *Oistoceras* sp., *Androgynoceras* sp. et *Zeilleria numismalis*. Les auteurs rapportent que cet horizon supérieur est aussi le plus riche en foraminifères benthiques, dont l'association apparaît très diversifiée. Celle-ci, reconnue dans le sondage Faye 2, comprend notamment : des *Cristellaria (Planularia)* en particulier *P. ornata*, des *Dentalina*, des *Nodosaria*, des *Pseudonodosaria* et surtout des *Fronicularia*. Seules les *Involutina* représentent les foraminifères arénacés.

Au total, on constate que, dans cette région, le Carixien est complet (avec les trois zones à Jamesoni, Ibex et Davoei) mais relativement peu épais (une dizaine de mètres seulement).

En réponse à une accélération de la transgression esquissée au Lotharingien supérieur, le Carixien marque un net infléchissement des conditions de dépôt vers des faciès de milieu plus ouvert, circalittoraux.

l3s. **Marnes micacées grises (Domérien inférieur)**. L'évolution esquissée au Carixien se poursuit pendant le Domérien inférieur, avec l'installation pérenne d'une sédimentation à dominante argileuse. Il en résulte le dépôt d'une puissante série marneuse, monotone, donnant des reliefs mous sous les bancs résistants, en saillie, du Calcaire à gryphées géantes.

Cette unité lithostratigraphique affleure largement à l'Est du horst de La Machine, depuis Fâches jusqu'au Nord de Verneuil, et plus marginalement sur son flanc ouest, au Nord de Druy-Parigny.

Cet unité est très difficile à identifier et à caractériser à l'affleurement, principalement reconnue par son caractère argilo-marneux et sa position prise entre les marno-calcaires à ammonites du Carixien et le calcaire à gryphées géantes sus-jacent. Les ammonites sont souvent à l'état d'empreintes et très difficiles à trouver. L'épaisseur de ces dépôts est aussi difficile à préciser, en tous cas supérieure à 40 m. R. Mouterde (1953) signale dans le sondage de la forêt de Chabet (près d'Azy-le-Vif dans le coin nord-est de la feuille de Lurcy-Lévis) une puissance de 40 m pour le Domérien.

On peut observer ce faciès, à la sortie nord de Champvert (X = 689,45 ; Y = 2 206,28) où le talus de la route entaille les marnes et calcaires argileux domériens de couleur ocre-beige, qui montrent la présence de très rares bélemnites, mais sans ammonites. Généralement, le Domérien argileux n'affleure pas, masqué par des colluvions. Il constitue cependant de puissants talus entaillés par l'érosion et armés par le Calcaire à gryphées géantes, dans le coin nord-est de la feuille, au Nord de Verneuil, à l'Est de La Chapelle et au Sud de Fertrève.

Dans le sondage de Faye 2, Y. Le Calvez et A. Lefavrais-Raymond (1961) décrivent 50 m de marnes micacées grises à *Amaltheus margaritatus*. Ces ammonites, extrêmement abondantes à la base et d'assez grosse taille, se raréfient vers le haut. Elles sont associées à des bélemnites (*Hastites clavatus*). Dans les 10 premiers mètres, les auteurs relèvent la présence de fins bancs calcaires intercalés dans les marnes. Le Domérien de cette région est apparu à ces auteurs extrêmement pauvre en foraminifères benthiques, une grande partie de la microfaune pliësbachienne disparaissant à la fin du Carixien. De fait, l'observation des données à une échelle plus régionale, montre une nette continuité dans la répartition de la microfaune, entre le Carixien et le Domérien, son appauvrissement n'étant vraiment constaté qu'au Domérien supérieur.

D'après Y. Le Calvez *et al.* (1969), sur la bordure nord-ouest du Morvan (notamment dans le sondage Niv43 de Saint-Revérien, feuille de Prémery), les niveaux de base des marnes micacées (marnes noires peu indurées) ont livré l'ammonite *Amaltheus stokesi*, indicatrice d'un âge Domérien basal (Zone à *Margaritatus*, Sous-zone à *Stokesi*). *Amaltheus margaritatus* n'a été trouvée

qu'un peu plus haut dans la série, associée à des faciès d'argilite micacée indurées à nodules dolomitiques. En sommet de série, les auteurs notent la raréfaction de la macrofaune, conjointement avec l'intercalation de lentilles silto-sableuses. En conséquence, cet ensemble supérieur n'est pas précisément daté : Zone à *Margaritatus*, Sous-zones à *Subnodosus* et à *Gibbosus* ?

Les marnes micacées du Domérien inférieur indiquent une grande stabilité des conditions de dépôt et confirment la pérennité du paléomilieu circalittoral.

l3. Marnes et calcaires argileux indifférenciés (Pliensbachien). Quand il n'a pas été possible, en l'absence d'argument paléontologique, de distinguer les faciès marno-calcaires du Carixien, de ceux, marneux, du Domérien inférieur, ceux-ci ont été regroupés dans une unité compréhensive, notée l3.

l3s-4. Calcaire à gryphées géantes (Domérien supérieur-Toarcien basal). Le Calcaire à gryphées géantes reflète un épisode carbonaté singulier qui vient interrompre un long épisode de sédimentation marneuse initié au Domérien et réactivé au Toarcien. L'unité carbonatée constitue un niveau repère, puissant de quelques mètres seulement (5-6 m), qui forme un épaulement structural souvent bien visible dans le paysage. Cette unité affleure principalement à l'Est du horst de La Machine, dans la région d'Aubigny-le-Chétif et de Diennes-Aubigny, jusqu'au Nord de Verneuil.

À l'affleurement, dans les collines au Nord-Ouest de Diennes-Aubigny, près de la ferme le Couault (X = 693,90 ; Y = 2 215,40) et de la ferme Montcneau (X = 693,70 ; Y = 2 216,25), cette unité se présente sous forme de calcaire biocalcarénitique blanchâtre, riche en macrofaune : grandes bélemnites, gryphées géantes, pholadomyes, brachiopodes et plus rares ammonites. La macrofaune d'ammonites collectée en surface du champ a montré la présence de *Pleuroceras solare* (Zone à *Spinatum* du sommet du Domérien) et de *Dactylioceras commune* et de deux espèces d'*Harpoceras*, indicateurs du Toarcien inférieur (Zone à *Tenuicostatum*). À Champy (X = 689,65 ; Y = 2 215,35), la faune est particulièrement abondante et diversifiée, avec en complément des *Pleuroceras* sp. et un os de vertébré marin (une vertèbre d'Ichtyosaure).

Au Sud d'Aubigny-le-Chétif (X = 691,40 ; Y = 2 211,22), la biocalcarénite a montré une riche macrofaune : abondantes gros rostrés de bélemnites, gryphées géantes (*G. gigantea*), brachiopodes (rhynchonelles, dont *Quadratirhynchia* sp., térébratules, Zeillériidées), encrines, radioles d'oursins, fréquentes ammonites : *Pleuroceras spinatum*, *Dactylioceras tenuicostatum*, *D. commune*, *Harpoceras serpentinum* et *H. exaratum*. Cette association montre que le Calcaire à gryphées géantes couvre ici l'intervalle stratigraphique de la zone à *Spinatum* jusqu'à la zone à *Serpentinum*.

À la ferme de Virot (X = 692,30 ; Y = 2 208,37), au Nord-Ouest de Verneuil, on retrouve la même biocalcarénite riche en macrofaune (dont *Pleuroceras* sp.).

Dans le sondage Niv47 de Crux-la-ville (Sud de la feuille de Saint-Saulge), cette unité débute par un niveau à galets de calcaire marneux gris, épais de 3 m et perforé à son toit (Le Calvez *et al.*, 1969). Au-dessus, les calcaires deviennent bioclastiques et turbulents.

Pris dans un couloir très tectonisé, observé en contrebas du village, au Sud de Montgoublin (X = 681,20 ; Y = 2 219,47), le Calcaire à gryphées géantes présente ici un faciès de calcarénite grossière à abondantes entroques et riche en macrofaune : bivalves (dont des pectenidés), brachiopodes, bélemnites. En microfaciès, cette encrinite formée de l'accumulation d'articles de crinoïdes, renferme une riche microfaune de petits foraminifères benthiques : *Cornuspira orbicula*, *Marginulinopsis* sp., *Lenticulina* sp., *Dentalina* sp., *Nodosaria* sp., *Ichthyolaria* sp. et *Reinholdella* ? sp.

À l'Ouest du horst de La Machine, les affleurements sont plus restreints et géographiquement isolés. Le premier affleurement reconnu (X = 677,80 ; Y = 2 208,37) est coïncé au pied de la faille limitant le bloc sud-oriental soulevé sur lequel est bâti Druy-Parigny et armé par les terrains hettangien et sinémurien. Observée en pierre volante, la biocalcarénite grossière domérienne est associée à *Gryphaea gigantea*, de gros rostres de bélemnites, *Entolium lunare*, *Pseudopecten aequivalvi* et *Pleuroceras* sp. Un autre affleurement de cette unité a été reconnu, au Sud-Ouest de Trois-Vèvres (Les Biez, X = 681,50 ; Y = 2 212,05), pris dans un couloir de faille qui effondre la série mésozoïque contre le massif saxonien. Un dernier affleurement trouvé au Sud de la ferme de Sarrazin, dans la vallée de la Sardolles, a montré la présence de *Pseudopecten aequivalvis* et de *G. gigantea*.

Le Calcaire à gryphées géantes, typique de la Bourgogne, est corrélé avec le **Banc de Roc** connu en Basse-Normandie (Rioul *in* Mégnien éd., 1980a), et daté de la zone à Spinatum. Il marque une chute relative du niveau marin et un ralentissement de la subsidence, qui ont pour conséquence l'installation d'une plate-forme carbonatée à faible niveau d'énergie (faunes entières, non brisées). G. Lablanche *et al.* (1997) ont montré, sur la feuille de Prémery, que l'intervalle de dépôt de cette unité est plus large qu'initialement considéré, compris entre le sommet du Domérien inférieur, zone à Margaritatus, sous-zone à Gibbosus et le Toarcien basal, zone à Tenuicostatium. Il apparaît sur la feuille Decize que cette unité monte jusque dans la zone à Serpentinum (sommet du Toarcien inférieur), prouvant le caractère diachrone de ces faciès et pouvant expliquer l'absence des schistes carton localement remplacés par un horizon condensé calcaire, très peu épais (quelques centimètres).

l4. Marnes et argiles grises à rares horizons carbonatés à ammonites (Toarcien). Les marnes rapportées au Toarcien viennent ennoyer et recouvrir le Calcaire à gryphées géantes, formant des collines molles, souvent boisées, dans la région d'Aubigny-le-Chétif et de Diennes-Aubigny et aussi au Nord de Verneuil. À l'Ouest de Limon et au Sud d'Imphy, ces marnes sont exposées en pied de cuesta et constituent le substratum des calcaires bajociens. La série, puissante d'une centaine de mètres dans la région de Saint-Révérien (feuille Prémery, Lablanche et Delfour, 1998) s'amincit vers le Sud (60-80 m), sur la feuille de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006). En l'absence de sondage l'ayant traversé dans sa totalité, son épaisseur est très difficile à contraindre sur la feuille de Decize. Dans l'Est de la feuille, sa puissance dépasse la cinquantaine de mètres, la série étant amputée au sommet par une surface d'érosion post-jurassique. Dans l'Ouest de la feuille, seul le sommet du Toarcien est exposé, puissant d'une cinquantaine de mètres, sans qu'on connaisse l'épaisseur exacte des terrains en subsurface. Au Sud de Montgoublin, la puissance du Toarcien est estimée à une soixantaine de mètres d'épaisseur, ce dernier étant pris dans un panneau faillé.

Dans la région, classiquement, la série débute classiquement par des marnes feuilletées à débris et écailles de Poissons (« Schistes carton ») qui ont été très difficiles à identifier, tant à l'affleurement, qu'en sondage, sur la feuille de Decize. Ce type de faciès argileux à débit en plaquettes a cependant été reconnu, dans le lit de la Loire (X = 671,37 ; y = 2 212,35), au Sud-Ouest d'Imphy et dans le sondage n° 11, à l'Est de la ferme les Pessottes, au Sud de Montgoublin. Latéralement, à l'Est du horst de La Machine, ce faciès de « Schistes carton » disparaît, remplacé par un horizon condensé couvrant une large part du Toarcien inférieur.

Les niveaux marnaux sus-jacents, intercalés de fins bancs de calcaire micritique un peu oolitique, à perforations, ont été observés au Sud de Montgoublin, en pied de cuesta ; ces faciès ont montré une concentration de fossiles : ammonites, nautilus, bélemnites. La faune d'ammonite indique la zone à Bifrons (base du Toarcien moyen), avec : *Hildoceras bifrons* H. *bifrons quadratum*, *H. apertum*, *Harpoceras lassum*, *H. subplanatum*, *Dactyloceras* sp., *Peronoceras turriculatum*, *Maconiceras* sp., *Lytoceras cornucopia*.

En surface des calcaires à gryphées géantes, à l'Ouest d'Aubigny-le-Chétif (X = 691,40 ; Y = 2 213,15), on a retrouvé, en pied du Toarcien, un galet glissé dans la pente, composé d'une micrite grise à pellets et plus rares débris phosphatés. Ce faciès renferme des empreintes d'ammonite (*Harpoceras subplanatum*), indicatrices du Toarcien moyen.

Au Sud d'Aubigny-le-Chétif, un sondage à la tarière (S49 : X = 692,25 ; Y = 2 212,17) a permis de traverser cette même série sous 10 m d'argile, puis de marnes argileuses plastiques, à débris coquilliers. En-dessous, les marnes noires à

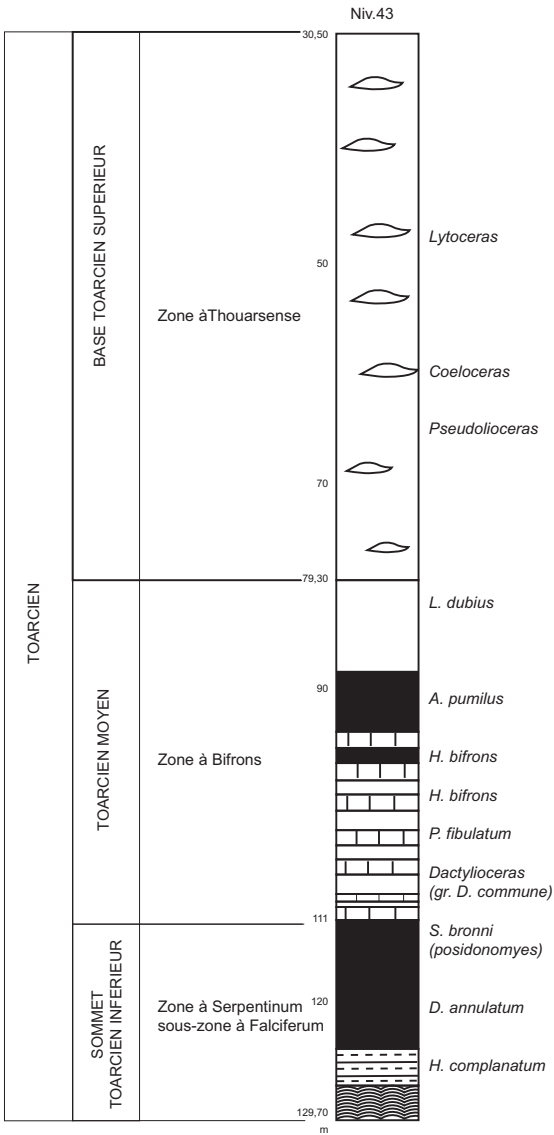


Fig. 14 - Coupe du Toarcien du sondage Niv 43 de Saint-Revérier (Y. Le Calvez et al., 1969)

petits bancs de calcaire micritique ont montré une concentration en macrofaune composée de bélemnites et d'ammonites typiques de la zone à Bifrons : *Hildoceras bifrons quadratum*, *H. apertum*, *Harpoceras* sp., *Peronoceras* sp. Cette faune est relevée ici, une vingtaine de mètres seulement au-dessus du toit du Calcaire à gryphées géantes (X = 681,45 ; Y = 2 211,20), impliquant la faible épaisseur du Toarcien inférieur, ce qui est confirmé par l'existence de l'horizon condensé (daté Toarcien inférieur) reconnu au sommet du Calcaire à gryphées géantes.

Au Sud de Diennes-Aubigny (X = 695,55 ; Y = 2 212,75), les marnes enrichies en carbonate ont aussi livré *Hildoceras bifrons*, associé à des bélemnites.

À la faveur du tracé de la déviation d'Imphy, dans un panneau faillé, l'extrême sommet du Toarcien, a été reconnu et échantillonné (X = 672,00 ; Y = 2 213,90). Les marnes grises toarciennes, placées au sommet de la série, directement sous la surface d'érosion qui marque la base des calcaires à entroques du Bajocien inférieur, ont livré une microfaune de foraminifères benthiques, assez pauvre, en raison, principalement, d'une certaine décarbonatation des faciès. D'après C. Bourdillon, cette microfaune est connue dans le Toarcien « moyen » de Bourgogne. L'association comprend : *Ammobaculites alaskensis*, *Ammobaculites* sp., *Proteonina* ? sp., *Trochommina* sp., *Lenticulina* sp.

Les parties moyenne et supérieure de la série toarcienne sont souvent mal exposées ou érodées sur la feuille de Decize et de ce fait mal connues.

Au Sud de la ferme de Bouy (X = 677,35 ; Y = 2 211,00), localisée au Sud-Est des Essarts, les faciès de calcaire argilo-silteux gris ont livré *Haugia variabilis* (espèce indice de la zone à Variabilis, sommet du Toarcien moyen), ainsi qu'un *Pseudogrammoceras bingmanni* (Zone à Thouarsense, sous-zone à Bingmanni, début du Toarcien supérieur).

Il n'a pas été relevé dans ce secteur d'horizon à concentrations d'oolites ferrugineuses, comme c'est le cas plus au Nord, à l'interface des feuilles de Saint-Saulge et de Prémery.

Alors que ceux-ci sont présents à l'Ouest de la Loire, dans la région de Chevenon et de Magny-Cours, à l'exemple de la feuille Saint-Saulge, il manque ici, les niveaux les plus sommitaux du Toarcien, tout l'intervalle stratigraphique compris entre la sous-zone à Insigne jusqu'à la sous-zone à Lugdunensis n'étant pas représenté.

Le sondage Niv43 de Saint-Révérien (feuille de Prémery), publié par Y. Le Calvez *et al.* (1969), apporte en complément une bonne illustration de la succession des terrains toarciens sur le flanc ouest du Morvan (fig. 14). Les

auteurs décrivent un premier ensemble correspondant à la zone à *Serpentinum*, sous-zone à *Falciferum*. Cet ensemble, épais de 4 à 5 m, correspond aux « schistes cartons ». Il est constitué de 1 m de marnes feuilletées à débris de poissons et à *Aptychus*, relayés par des marmo-calcaires. Il ne renferme pas de microfaune.

D'épaisseur voisine, viennent au-dessus des marnes à cassure conchoïdales à entroques et pauvres en macrofaune, et à microfaune rare. L'ensemble se termine par une dizaine de mètres de marnes noirâtres à abondants *Dactyloceras* et *Harpoceras* (*D. annulatum* et *H. complanatum*) et à nombreuses Lenticulines, *Citharina fallax*, *Vaginulina spuria*, *Palmula chicheryi*, *Nodosaria obscura* *N. fontinenensis* et de plus rares *Marginulinopsis*.

On constate ici encore l'absence de la zone basale du Toarcien (Z. à *Tenuicostatum*).

La zone à Bifrons débute par une quinzaine de marnes grumeleuses riches en Posidonomyes (*Steimannia bronni*) et intercalées de bancs calcaires à *Hildoceras bifrons* associés à *Dactyloceras* commune et des *Harpoceras* cf. *serpentinum*. Les quinze mètres supérieurs affichent un caractère de marnes noires et sont riches en *H. bifrons*. La microfaune de foraminifères benthiques diffère peu de celle du Toarcien inférieur, mais s'enrichit en espèces nouvelles : *Lenticulina helios*, *L. toarcense*, *Citharina longuemari*.

Au sommet, la série se termine par 50 m de marnes à lentilles sableuses, sans macrofaune et pauvre en microfaune. Les seules formes reconnues en sondage sont des *Pseudolioceras* sp., des *Haugia* sp. et des *Lytoceras* sp. Cette faune, d'âge imprécis, pourrait caractériser le passage Toarcien moyen à Toarcien supérieur (de la zone à *Variabilis* à la zone à *Thouarsense*) (Cariou et Hantzpergue, éd., Groupe Français d'Étude du Jurassique, 1997) et confirmer la lacune de la partie supérieure du Toarcien, comme l'a montré G. Lablanche, sur la feuille de Prémery.

D'après Y. Le Calvez *et al.* (1969), la microfaune du Toarcien supérieur du Nivernais est assez peu riche. Elle se compose surtout de Lenticulines, de Citharines et d'*Ammobaculites*.

Le Toarcien marque le retour à une sédimentation marneuse de milieu ouvert, circalittoral, qui fait suite à l'épisode de plate-forme carbonatée du Calcaire à gryphées géantes. Il débute, dans l'Ouest de la feuille Decize, par le faciès de « Schistes carton », qui se prolonge vers l'Ouest, sur la feuille de Sancoins (Clozier *et al.*, 1983), daté du Toarcien inférieur (Zone à *Serpentinum*). Cette unité est remplacée dans l'Est de la feuille Decize par un horizon condensé couvrant une large part du Toarcien inférieur (Zone à *Tenuicostatum* et Zone à *Serpentinum*). Le caractère plus hétérolithique des faciès sommitaux et les

structures associées (HCS, SCS) relevées à Sury (feuille de Saint-Saulge, Roger *et al.*, 2006) penchent en faveur de dépôts de tempêtes en milieu circalittoral (« Offshore » supérieur). Sur la feuille Decize, la partie la plus sommitale du Toarcien manque, érodée sous le Calcaire à entroques bajocien.

Dogger

j2a. **Calcaire à entroques (Bajocien inférieur)**. La formation du calcaire à entroques marque un brusque changement de faciès et l'inflexion vers des faciès plus carbonatés qui vont se développer au cours du Jurassique moyen (Dogger). Formant un ressaut morphologique, ces calcaires viennent abruptement coiffer les marnes et calcaires argileux toarciens, par l'intermédiaire d'une surface d'érosion.

Les affleurements de Bajocien inférieur sont situés dans le prolongement méridional du pays des Amognes, en bordure ouest du horst de La Machine, et de part et d'autre de la Loire entre Béard et Imphy.

Ces faciès, autrefois très utilisés comme pierre à bâtir ou comme matériau pour la fabrication de la chaux, peuvent être reconnus à la faveur d'anciennes carrières artisanales dont l'exploitation a maintenant cessé. Les fronts de taille, de quelques mètres de hauteur seulement, témoignent de l'épaisseur réduite de ces faciès (environ 5-10 m).

Ainsi de nombreuses petites carrières, malheureusement comblées la plupart du temps, se retrouvent dans les prés. Citons les carrières de la ferme de la Métairie à l'Est de Limon (X = 678,05 ; Y = 2 219,47), celle des Chevannes au Sud du Grand Vernay (X = 672,95 ; Y = 2 212,35), celle au Nord de Saint-Ouen à l'Ouest de la mairie (X = 673,10 ; Y = 2 210,35), sans oublier celles situées entre l'Atelier et la ferme de Jaugenay, en rive gauche de la Loire, juste en face du Grand Vernay (X = 669,10 ; Y = 2 211,95). Les travaux de la déviation d'Imphy (X = 672,00 ; Y = 2 213,90) offrent l'opportunité d'observer en talus le contact Toarcien-Bajocien.

Très peu puissante sur la feuille Saint-Saulge (5 m), cette unité se dilate sur la feuille Decize, doublant localement d'épaisseur (une dizaine de mètres dans la tranchée de la voie ferrée du Port-des-Bois (X = 672,55 ; Y = 2 210,80).

Alors que les faciès à polypiers reconnus plus au Nord par J-C. Perraudin (1971), dans le secteur de Lurcy-le-Bourg, n'ont pas été observés sur le périmètre de la feuille Decize, Thiry-Bastien (2002) a ici reconnu deux principaux faciès carbonatés :

– le premier, le plus représenté aussi bien verticalement que spatialement, consiste en une biocalcarénite grossière, de texture grainstone-packstone,

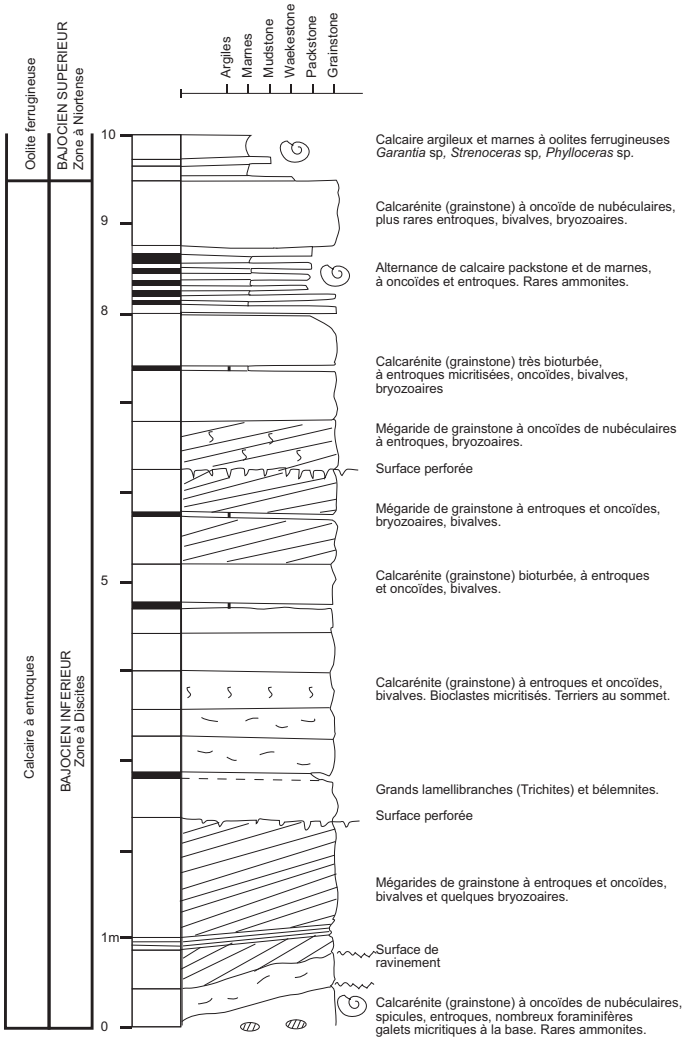


Fig. 15 - Coupe de la tranchée SNCF du Port-des-Bois
(d'après Barbin, 2000 et Perraudin, 1971)

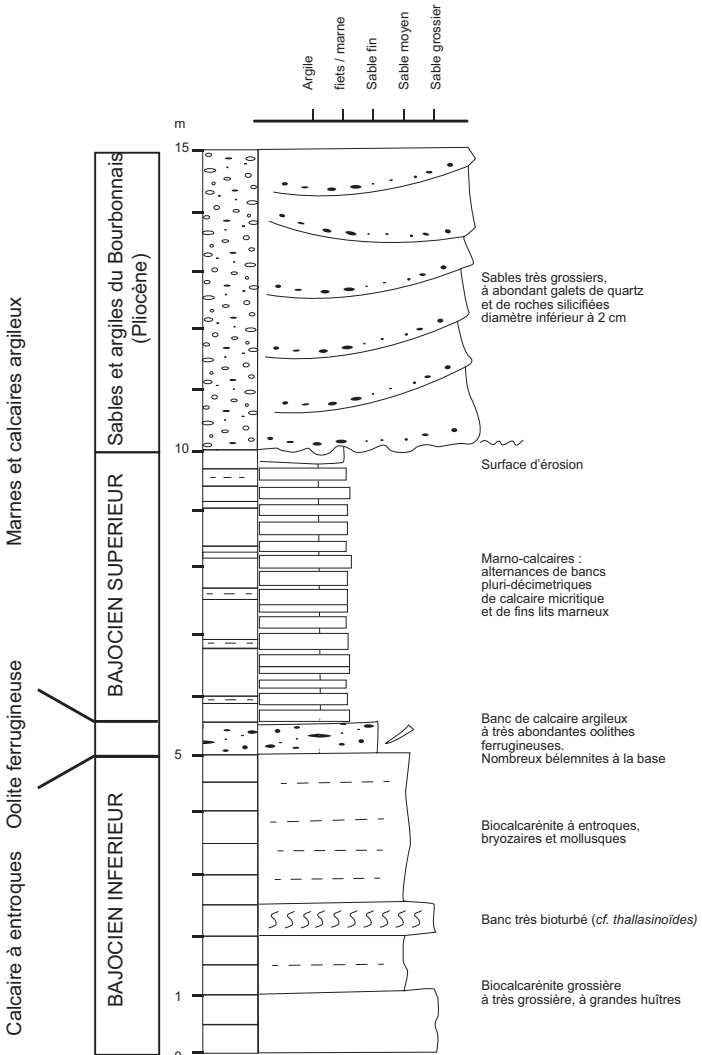


Fig. 16 - Coupe montrant le passage Bajocien inférieur/supérieur dans la falaise exposée au Sud de Chevenon (l'Atelier)

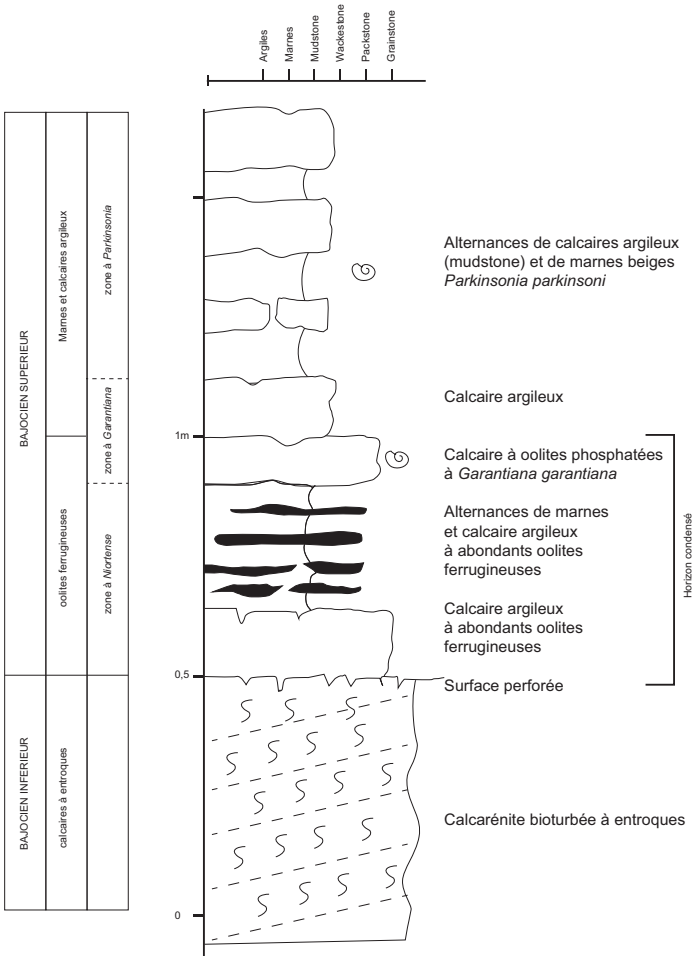


Fig. 17 - Détail de la coupe précédente (Sud Chevenon), centré sur l'horizon condensé

riche en entroques (encrinite à *Pentacrinus*, *Extracrinus*, *Isocrinus*) et plus accessoirement d'oncoïdes. Les autres bioclastes associés sont constitués de bryozoaires, de lamellibranches variés, ainsi que des serpules. La patine est beige-ocre, voire jaune, mais en cassure fraîche les entroques sont blanches prises dans un ciment calcaire gris-bleu et l'ensemble est parsemé de pores remplis d'ocre ;

– le second faciès, surtout observé au sommet de la formation, présente toujours une accumulation d'entroques et de débris de lamellibranches, auxquels s'associent des oncoïdes encroûtés par des nubéculaires, qui peuvent devenir prédominants.

La plus belle coupe relevée sur la feuille est exposée dans la tranchée de la voie ferrée du Port-des-Bois, où la série apparaît coiffée par un fin horizon à oolites ferrugineuses (Barbin, 2000 ; fig. 15).

Dans cette localité, la présence d'une faille voisine explique que la série est basculée vers l'Ouest d'une dizaine de degrés. Venant au-dessus des marnes toarciennes, la série calcaire montre l'empilement de bancs d'épaisseur métrique à inframétrique, le plus souvent sans joint marneux. Si certains de ces bancs apparaissent plans, d'autres présentent une structure chenalisée, caractérisée par des litages obliques. L'érosion superficielle des fronts de taille permet souvent de mettre en évidence le granoclassement des éléments figurés et la présence des plans de stratifications obliques liés à des mégarides à faible angle de progadation.

Cette série est caractérisée par la présence de plusieurs surfaces remarquables : surface d'érosion et surface perforée liée à un arrêt de sédimentation. Ces dernières sont bien exprimées dans la coupe du Port-des-Bois. Dans la coupe de la falaise exposée au Sud de l'Atelier et de Chevenon (X = 669,10 ; Y = 2 211,95), le calcaire à entroques est brutalement interrompu par une surface perforée, sous le niveau à oolites ferrugineuses (fig. 16 et 17).

Si la série est presque exclusivement calcarénitique, à texture grainstone, le degré variable de la bioturbation explique l'effacement des structures internes de certains bancs. Les microfaciès témoignent dans le détail, d'un banc à l'autre, d'une grande variabilité verticale (fig. 16) quant à la proportion des éléments figurés (entroques, oncoïdes, bioclastes de bivalves, de bryozoaires, foraminifères,...).

Un échantillon de calcarénite grossière à entroques (X = 678,10 ; Y = 2 219,95), prélevé au Nord-Ouest de Limon, a montré en lame mince, en plus d'une macrofaune brisée (débris d'échinodermes dont des articles de crinoïde et d'ophiure, débris roulés de bryozoaires, débris plus rares d'éponge calcaire et de serpules), la présence d'oncoïdes de nubéculaires (bioclaste encroûté par un

foraminifère agglutinant : *Nubecularia reicheli*) et d'une riche association de petits foraminifères benthiques : *Ammobaculites* sp., *Verneuilinoides mauritii*, *Ophthalmidium concentricum*, *O. caucasicum*, *O. cf. terquemi*, *Labalina* gr. *amphoroidale*, *Planinvoluta carinata*, *Tentilenticulina latens*, *Citharina* sp., *Trochammina* sp., ...

La variabilité verticale et latérale des faciès traduit, pour F. Barbin (2000), les modifications des environnements des dépôts, qui oscillent de l'offshore supérieur jusqu'au shoreface.

Il est très difficile de trouver de la macrofaune d'intérêt biostratigraphique dans ces calcaires. Si la présence de grands pectens peut être relevée localement, les ammonites sont excessivement rares dans ce type de faciès de haute énergie (calcarénite dominée par les marées en arrière d'une barrière, Thiry-Bastien 2002). Sur la base de quelques découvertes d'ammonites, J.-C. Perraudin (1971) et F. Barbin (2000) indiquent, pour ces calcaires à entroques, un âge compris dans l'intervalle stratigraphique allant de la zone à *Discites* jusqu'à la zone à Propinquans, voire à *Humphriesanum* (Bajocien inférieur). Comme pour la feuille Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), on constate ici encore, l'absence de l'Aalénien.

Notons aussi que le contact contrasté en termes de lithologie entre les calcaires bajociens et les argiles toarciennes (niveau perméable coiffant un niveau imperméable) favorise l'occurrence de nombreuses résurgences.

j2b1. Calcaire à oolites ferrugineuses à *Strenoceras niortense* (Bajocien inférieur terminal et Bajocien supérieur basal). Cet horizon marque le passage entre les calcaires à entroques et les marno-calcaires sus-jacents. Peu épais (de l'ordre du mètre), il a été ponctuellement reconnu sur la feuille Decize, en plusieurs localités, mais n'a été que très localement cartographié en tant qu'unité distincte. Il a été reconnu régionalement par R. Mouterde (1953) qui a décrit de nombreuses coupes où on observe le passage du calcaire à entroques au calcaire marneux sus-jacent par l'intermédiaire d'une fine couche de enrichie en oolithes ferrugineuses (dénommée par cet auteur « Oolithe ferrugineuse à *Strenoceras niortense* »).

Cet horizon peu épais, reconnu mais non cartographié en tant que tel, sur la feuille de Saint-Saulge, a été ici distingué sur celle de Decize. Il semble présenter une large répartition géographique, même s'il manque localement, par exemple au Bois des Commes (X = 672,00 ; Y = 2 213,90).

Dans la coupe de la falaise exposée au Sud de l'Atelier et de Chevenon (X = 669,10 ; Y = 2 211,95) (fig. 16 et 17), ce niveau, épais d'environ 0,50 m, repose directement sur la surface durcie et perforée installée au toit des calcaires à entroques bajociens. Il consiste en un premier horizon (épais de 15 cm) de

calcaire dur, gris, très riche en oolites ferrugineuses, malheureusement sans ammonite. Celui-ci est surmonté par des marnes (30 cm) grises à brunes, à oolites ferrugineuses, qui sont elles-mêmes coiffées par un petit banc (10 cm) de calcaire beige à gris-bleu, un peu bioclastique (*Garantia garantiana*) et à oolites phosphatées. Les marnes et calcaires argileux de l'unité à Parkinsoni se développent juste au dessus de cet horizon condensé.

Leur seul spécimen d'ammonite trouvée dans ce niveau condensé indique un âge Bajocien supérieur non basal (zone à *Garantiana*).

Dans la coupe de la tranchée de la ligne de chemin de fer du Port-des-Bois (X = 672,55 ; Y = 2 210,80) et au Nord des Essarts (X = 675,40 ; Y = 2 212,75), dans ce niveau condensé, seule a été reconnue la zone à *Niortense* (*Strenoceras niortense*).

À l'Ouest de Limon (X = 678,10 ; Y = 2 219,95), cette unité affleure en surface de champ, ayant livré une riche macrofaune emballée dans un calcaire argileux à oolites ferrugineuses. La macrofaune comprend des brachiopodes térébratules (*Monsardithyris ventricosa*), des huîtres (cf. *Lofa*), des grands bivalves, des gastéropodes (*Amberleya* sp.), quelques coraux solitaires côniques de petite taille et des petits nautilus. Elle a aussi livré les ammonites *Strenoceras niortense*, *Garantia garantiana* (à sections plus ou moins épaisses) et *G. minima*, indicateurs des zones à *Niortense* et *Garantiana* (Bajocien supérieur). En complément, ont été découverts *Strigoceras pseudostrigifer*, *Oppelia subcostata* et *Poecilomorphus cycloïdes* indicateurs de la zone à *Humphriesanum* (sommet du Bajocien inférieur).

J.-C. Perraudin (1971) qui a réalisé une étude biostratigraphique fine de ce niveau, dans la coupe de la gare de Saint-Benin-d'Azy, conclut en effet à la présence des zones à *Humphriesanum*, *Niortense* et *Garantiana* (sous-zones à *Dichotoma* et à *Subgaranti*) dans ce niveau condensé (Roger *et al.*, 2006).

La découverte récente, dans la coupe de la ferme de Charry sur la carte de Saint-Saulge (découverte postérieure à l'édition de la carte en 2006), de formes d'ammonites évoquant le genre *Emileia* (?) pourrait indiquer que ce niveau condensé débute, au moins localement, dès la zone à *Propinquans* (Bajocien inférieur non sommital).

Cet horizon condensé à oolites ferrugineuses, marque un approfondissement des milieux de dépôt (offshore inférieur à supérieur distal, Barbin, 2000), lié à un épisode transgressif.

j2b2. **Marnes et calcaire argileux (Bajocien supérieur).** Au-dessus des Calcaires à entroques bajociens se développe une puissante série marno-calcaire encadrée par deux minces horizons remarquables à oolites ferrugineuses et

riches en faune. L'unité condensée basale a été décrite dans le chapitre précédent. Les marnes et calcaires argileux qui la coiffent constitue une unité monotone relativement pauvre en faune, exposée dans un couloir positionné entre Imphy et le horst de La Machine.

À l'Est de Limon ($X = 680,20$; $Y = 2\,219,55$), cette série marno-calcaire, encadré par les deux horizons à oolites ferrugineuses, se développe sur une épaisseur de 20-25 m. Elle est aussi bien développée autour de la ferme de Jeugny ($X = 676,75$; $Y = 2\,215,20$), le long de la rivière Sardolle. La déviation de la ville d'Imphy les recoupe à la hauteur du bois des Commes ($X = 672,00$; $Y = 2\,213,90$) et des Grands Champs.

Elle se compose d'une alternance de bancs de calcaire argileux gris-jaune grumeleux, de 20 cm d'épaisseur en moyenne, séparés par des interlits de marnes, de 30 à 50 cm d'épaisseur. Le calcaire, de teinte gris-bleu clair, se débite en parallélipèdes dont le cortex s'altère facilement et prend une couleur ocre-beige.

La macrofaune y est très occasionnelle. On y a retrouvé l'ammonite *Parkinsonia parkinsoni* qui date ces niveaux de la zone à Parkinsoni (sous-zone à Acris et à Densicosta). Le sommet de la zone à Garantiana (sous-zone à Tetragona) est peut-être présent à la base de la série, mais aucun argument paléontologique n'en a encore apporté la preuve. Les faunes associées sont *Parkinsonia acris* et *P. rarecostata*. Le lamellibranche *Goniomya literata* s'avère être un bon marqueur de cette formation.

À leur sommet, ces marno-calcaires sont coiffés par un horizon plus carbonaté à oolites ferrugineuses formant l'unité qui sera décrite plus bas.

j2b-3a. Calcaire argileux perforé, marnes à oolites ferrugineuses et ammonites (Bajocien supérieur terminal à Bathonien inférieur).

Cette unité peu épaisse constitue un second niveau repère reconnu précocement (« Oolithe ferrugineuse bathonienne » de Mouterde, 1953), tant à cause de son faciès oolitique (oolites ferrugineuses), qu'en raison de sa concentration en macrofaune. Bien exprimée dans l'Ouest de la feuille de Saint-Saulge, notamment dans les Amognes (Roger *et al.*, 2006), cette unité trouve son prolongement méridional dans le coin nord-ouest de la feuille de Decize. Cet horizon peu épais, de l'ordre du mètre, forme souvent un petit ressaut morphologique au sommet des calcaires argileux et marnes bajociens. Il a été reconnu à la bordure ouest du horst de La Machine, selon une étroite bande d'affleurements, comprise entre La Fermeté – Montgoublin, au Nord, jusqu'à vers Sardolles, au Sud. Elle affleure largement dans la région de Thiernay, au Sud d'Imphy et dans la région de Saint-Ouen.

Quelques petits affleurements déconnectés de cette bande sont observés à la Vesvre (Sud-Ouest de Sauvigny-les-Bois) et à Rosange (X = 682,60 ; Y = 2 220,50, Nord de Lavault).

Au Nord des Essarts, à l'Est de Massenay (X = 675,50 ; Y = 2 212,85), cette unité se présente sous un faciès de calcaire micritique à rares piquants d'oursins et petits bivalves.

Cette unité, riche en macrofaune, abondante et diversifiée (voir plus bas), est constituée d'une alternance de fins bancs décimétriques de marnes et de calcaire argileux beige-ocre, enrichis en oolites ferrugineuses.

Cette unité qui comprend plusieurs surfaces durcies et perforées, correspond à un horizon de condensation des dépôts, indice d'une surface d'inondation maximale.

Cet horizon repère est particulièrement bien exprimé à l'Est de La Fermeté (X = 677,45 ; Y = 2 219,55) où il est constitué d'un calcaire micritique riche en oolites ferrugineuses et en macrofaune diversifiée, perforé à son toit. Malgré la qualité médiocre de l'affleurement, il semble que l'horizon intègre plusieurs couches limitées par des surfaces durcies perforées. Cet horizon a livré, à la base, de fréquents bivalves (cf. *Mytilus*, *Pholadomya* sp., des pectenidés) de grosses térébratules, un nautilé et des ammonites (*Parkinsonia pachypleura*, *Oxycerites* sp., *Oraniceras* sp.) (Zone à Parkinsoni, sous-zone à Bomfordi du Bajocien supérieur). Au sommet, il a été trouvé des térébratules naines, des oursins nains, des gastéropodes, ainsi que des ammonites : *Procerites* sp., *P. (Siemiradzka)* sp., *Morphoceras (Ebrayiceras)* sp., indicateurs d'un âge Bathonien inférieur (Zone à Zigzag).

Cet affleurement se prolonge vers le Sud-Ouest, à l'Ouest de Thiernay (X = 676,15 ; Y = 2 218,15), où il vient coiffer les calcaires argileux du Bajocien supérieur, marquant un épaulement morphologique net ; ici aussi, cet horizon apparait perforé à son toit, mais sans oolite ferrugineuse. La faune récoltée en surface du champ comprend des bivalves, un Nautilé et des ammonites : *Parkinsonia pachypleura*, *Parkinsonia* à côtes tendues et à divisions secondaires très hautes sur les flancs, *Planisphinctes tenuissimus*, *Oxycerites* sp., *Cadomites* sp., *Procerites* sp., *P. (Siemiradzka)* sp.

Au Sud-Ouest de Montgoublin (X = 680,30 ; Y = 2 220,00), la macrofaune a livré les ammonites : *Morphoceras* sp., *Morphoceras (Ebrayiceras)* sp., *Procerites (Siemiradzka)* sp., *Oxycerites nivernensis*.

En conclusion, sur la feuille Decize, cette unité condensée couvre l'intervalle depuis la zone à Parkinsoni, sous-zone à Bomfordi, du Bajocien supérieur, jusqu'à la zone à Zigzag, base du Bathonien inférieur. La base de la zone à

Aurigerus, reconnue par J.-H. Delance *et al.* (1979) et D. Zany *et al.* (1995) sur la feuille Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), n'a pas pu être identifiée ici.

j3b. Calcaire, calcaire argileux et marnes (Bathonien inférieur à moyen). Cette puissante série, principalement carbonatée, affleure dans le coin nord-ouest de la feuille, en rive droite de la Loire, à l'Ouest d'une ligne Limon-Béard. Très monotone, et difficile à subdiviser, cette série est encadrée par deux niveaux repères : à sa base l'horizon bajo-bathonien à oolites ferrugineuses (j2b-3a), à son sommet, l'horizon marneux à brachiopodes (j3c) qui marque le début du Bathonien supérieur. Cette unité, résistante à l'érosion forme des talus pentés, souvent mis en culture, et affiche une puissance, moindre que sur la feuille de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), néanmoins estimée à 45-50 m, à partir de mesures effectuées sur les profils exposés au Sud-Ouest de Sardolles (X = 676,75 ; Y = 2 214,70) et au Bouchot (à l'Est de Thiernay) (X = 867,85 ; Y = 2 218,30).

Elle consiste en une alternance de marnes et de bancs décimétriques de calcaires argileux gélifs, pauvres en éléments figurés, d'aspect crayeux et grumeuleux et de couleur gris-brun clair veiné d'ocre. Ces faciès micritiques affichent des marques de bioturbation et on note localement, au bord de la Loire en période d'étiage, quelques mètres en amont du pont d'Imphy, la présence de grands terriers horizontaux.

À l'affleurement, l'altération de ces faciès peut prêter à confusion avec les calcaires du Bajocien supérieur et du Bathonien supérieur. La rareté de la macrofaune (ammonites, brachiopodes, grandes phollades) et l'absence de niveaux repères rendent souvent délicates l'identification et la caractérisation de cette unité sur le terrain.

La base de cette unité affleure, à l'Ouest de Sauvigny-des-Bois (La Vesvres, X = 670,10 ; Y = 2 218,40), au-dessus du niveau repère bajo-bathonien à oolites ferrugineuses, sous la forme de calcaire micritique ocre-jaune un peu argileux à microfilaments, pauvre en macrofaune (*Pholadomya*) et fragments de grandes ammonites : *Procerites* sp.

Dans la région de Thiernay (X = 676,60 ; Y = 2 217,50), les premiers bancs de cette formation, placés au-dessus de l'horizon à oolites ferrugineuses, livrent de grosses *Procerites* sp., à côtes tendues et autres Perisphinctidae, ainsi que des *Wagnericeras* sp. qui indiquent la zone à Aurigerus.

Au Sud de Thiernay (X = 676,95 ; Y = 2 217,20), au-dessus de ces niveaux, les calcaires ont livré, à plusieurs horizons, une association variée de tullidés, non déterminée, et quelques rares bélemnites.

Les Tullitidae, dont *Tulites subcontractus*, puis les *Morrisiceras morrisi* sont les premiers témoins d'un âge Bathonien moyen (zone à *Subcontractus*, puis zone à *Morrisi*). À l'Ouest de Limon (X = 678,50 ; Y = 2 219,20), la macrofaune s'enrichit de deux espèces de *Bullatimorphites* sp. On retrouve ceux-ci au Nord de Curty (X = 671,55 ; Y = 2 217,80) associés des bivalves et des nautiles trapézoïformes.

À Sarrazin (X = 679,05 ; Y = 2 215,05), le Bathonien plutôt basal a montré en lame mince un microfaciès de calcaire packstone à pellets avec une très faible fraction silteuse (quartz et feldspath) et de fréquents foraminifères benthiques (*Trochammina* sp., *Textularia* sp., *Ophthalmidium* sp., *Labalina* cf. *occulta*, *L. rawiensis*, *L. gr. Amphoroidale*, *Bolivina liasica*) associés à quelques formes pélagiques (radiolaires Spumellaires, forme pélagique de mollusque bivalve à aspect de micro-filaments).

Ces faciès témoignent d'un milieu marin ouvert de type circalittoral. À l'exemple de la carte voisine de Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), les faciès rapportés à cette unité couvrent l'intervalle stratigraphique compris entre la zone à *Aurigerus* (Bathonien inférieur) et les zones à *Subcontractus* et *Morrisi* (Bathonien moyen).

j3c. Calcaire bioclastique, marnes à brachiopodes, marnes blanches (Bathonien supérieur). La série rapportée au Bathonien supérieur marque un net renouvellement des faciès avec le passage à des faciès variés et lithologiquement contrastés : calcaire et marnes à brachiopodes, marnes blanches pauvres en macrofaune, et biocalcarénite grossière à stratifications entrecroisées. Restreinte au coin nord-ouest de la feuille, dans le périmètre formé par les localités nord d'Imphy – Prye – Sauvigny-des-Bois, cette unité ne présente pas de coupe complète qui permette d'en apprécier avec précision son épaisseur totale. On peut cependant supposer, à l'exemple de la feuille de Saint-Saulge, que la série cumule une cinquantaine de mètres. Les horizons carbonatés, notamment le plus supérieur, sont les mieux exprimés à l'affleurement, les talus marneux étant le plus souvent couverts de colluvions et notamment de chailles, seulement exposés à la faveur de travaux d'excavation.

Régionalement, dans le Nivernais (cartes Nevers : Delance *et al.*, 1988 ; Prémercy : Lablanche et Delfour, 1998 ; et Saint-Saulge : Roger *et al.*, 2006), il a été reconnu que cette série peut être subdivisée selon trois principaux ensembles : un premier ensemble basal de calcaire argileux et marnes à brachiopodes (j3c1), un ensemble médian principalement marneux (j3c2), monotone et puissant, un ensemble sommital calcarénitique formant une barre déterminant un ressaut morphologique (j3c3). Ces trois ensembles ont été ici cartographiquement distingués.

j3c1. **Calcaire argileux et marnes à brachiopodes (Bathonien supérieur basal).** L'unité basale du Bathonien supérieur marque, par rapport aux calcaires du Bathonien moyen, un net infléchissement vers des faciès plus riches en argile. Elle forme un ensemble mal exprimé sur la feuille Decize, où les faciès marneux sont associés à des calcaires argileux à texture mudstone à wackestone, voire des calcaires bioclastiques à entroques. Ces derniers pouvant correspondre à l'horizon carbonaté biocalcarénitique sommital localement terminé par une surface perforée, et connu plus au Nord, sur la feuille Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006). Son organisation et son épaisseur sont mal précisés, cette dernière évaluée à quelques mètres seulement.

Ces faciès affleurent à l'Ouest de Sardolles (X = 676,75 ; Y = 2 214,70), en limite de bois, où ils ont montré un calcaire wackestone à mudstone, argileux, riche en petites rhynchonelles. Ce même type de faciès à accumulation oligospécifique de rhynchonelles, a été retrouvé, à l'Est d'Imphy, à l'Est de la butte de la Dienne (X = 673,80 ; Y = 2 216,10) et près de la ferme de Rancy (X = 672,95 ; Y = 2 215,70).

Au Sud des Essarts (X = 676,40 ; Y = 2 211,15), l'accumulation riche en petites rhynchonelles est emballée dans un faciès de biocalcarénite à entroques. On retrouve des marnes très riches en rhynchonelles, aux Hémeries, au Nord-Est des Essarts (X = 676,85 ; Y = 2 211,20) et au Nord de Curty (X = 671,95 ; Y = 2 217,30), enrichies en oursins (*Collyrites analis*).

À Sauvry (X = 675,90 ; Y = 2 209,85) ce niveau a livré une ammonite rapportée à *Hecticoceras* aff. *retrocostatum* (Zone à *Retrocostatum*, de la base du bathonien supérieur).

L'association de brachiopodes comprend *Rhynchonelloidella nivernensis*, *R. globosa*, et *R. curviradians*. Les deux premières espèces sont caractéristiques de l'association (2) définie par J.-P. Garcia *et al.* (1996), la dernière espèce étant rapportée à l'association (3) des mêmes auteurs. Alors que ces deux associations sont bien séparées en Nivernais, notamment sur la feuille de Saint-Saulge, celles-ci semblent ici s'empiler dans un niveau condensé. D'après J.-P. Garcia *et al.* (1996), l'association (2) marque la limite Bathonien moyen à supérieur (Zone à Hodsoni). L'association (3) est franchement d'âge Bathonien supérieur, à cheval sur les zones à *Retrocostatum* et *Discus*.

Sur la carte Decize, seule la zone à *Retrocostatum* a été caractérisée. On sait cependant que, plus au Nord, sur la feuille de Saint-Saulge, cette unité monte jusqu'à la zone à *Discus*.

De nouvelles observations réalisées dans la région de Saint-Éloi, au croisement des feuilles Nevers – Saint-Saulge – Sancoins – Decize, ont montré que cette association de brachiopodes a aussi livré les ammonites *Hecticoceras*

sp., *Protohecticoceras* sp., *Oxycerites* sp., *Oecotrautes* sp. et de nombreux oursins (*Collyrites analis*). Cet horizon attribué la zone à *Retrocostatum* vient directement surmonter les calcaires à *Tulitidea* diversifiés, *Morrisiceras* sp. et à grands nautilus, association caractérisant la zone à *Morrisi* et suggérant l'existence d'un hiatus (Zone à *Bremeri*).

j3c2. **Marnes blanches (Bathonien supérieur)**. Les marnes médianes, bien qu'épaisses (une quarantaine de mètres), n'affleurent généralement pas, toujours masquées par un enduit colluvionnaire. Elles déterminent cependant des talus vigoureux observés dans la région d'Imphy et de Sauvigny-des-Bois.

Dans la coupe levée au Nord d'Imphy (la Turlurette, X = 670,45 ; Y = 2 216,25) et rafraîchie par des travaux récents, ces faciès sont visibles sur une puissance voisine d'une dizaine de mètres. Les marnes blanches sont organisées en courtes séquences d'ordre métrique, chacune terminée par un petit horizon plus carbonaté coiffé par une discontinuité sédimentaire. En sommet de coupe, un fin banc marneux apparaît plus remarquable (0,50 m), enrichi en nombreux fossiles de petite taille : fréquents oncoïdes encroûtés, une térébratule, fréquentes petites rhynchonelles, des pholadomyas naines, des petits bivalves et des petites huîtres. Cette accumulation est interprétée comme un lag de tempête sédimenté en domaine offshore.

En lavage, les marnes, collectées au bas de la coupe ont livré, en plus de quelques spicules d'éponge et de fréquentes valves d'ostracodes (Pancrustacé), une très riche association de petits foraminifères benthiques et de plus rares spécimens de foraminifères planctoniques (« *Conoglobigerina* » *biapertura*, « *C* ». *solaperta*, *Globuligerina balakhmatovae*). L'association de foraminifères benthiques comprend : *Proteonina difflugiformis*, *Ammobaculites coprolithiformis*, *Verneuilinoides mauritii*, *Textularia agglutinans*, *Flabellamina althoffi*, *Trochammina* sp., *Ophthalmidium areniforle*, *O. kaptarenkoae*, *Lanalina* gr. *occulta*, *L. praecostata*, *Nubecularia reicheli*, *Archaeosepta platierensis*, *Nodosaria* sp., *Topalodiscorbis scutuliformis*, *T. paraspis*, *Discorbis* sp., *Lenticulina quenstedti*, *Citharina heteropleura*, *Lingulina dentaliniformis*, *L. nodosaria*, *Planularia* cf. *pseudocrepidula*, *Vaginulina serracostata*, *V. clathrata*, *Bolovina liasica*, *Saracenaria cornucopiae*, *Spirillina* sp., *Paalzowella* sp. (C. Bourdillon, ERADATA).

Un autre faciès marneux du Bathonien supérieur, prélevé près de Sauvigny-les-Bois (X = 671,00 ; Y = 2 218,60), dans un faciès de marnes blanches aussi organisées en séquences pluri-décimétriques à sommet plus carbonaté a montré la présence de grosses *Pholadomya bellona*, cependant très rares. Ce faciès a livré, en lavage, une riche microfaune de foraminifères : fréquents foraminifères benthiques (*Vaginulina serracostata*, *Lingulina dentaliniformis*, *L.* cf. *nodosaria*, *Nodosaria* sp., *Bolovina liasica*, *Discorbis paraspis*, *D. scutuliformis*, *Spirillina* sp., *Paalzowella* sp., *Lenticulina quenstedti*, *Dentalina*

sp.), de plus rares foraminifères planctoniques (*Oberthauserella parocula*, « *Conoglobigerina* » *biapertura*, « *C* ». *trilocula*, *Globuligerina* aff. *dagestanica*), associés à de fréquents ostracodes, quelques spicules d'éponge, quelques débris d'échinoderme et de fins débris de mollusque bivalve à fine coquille.

Ces faciès marneux sont interprétés comme des faciès d'offshore inférieur.

Cette unité n'est pas directement datée, son âge Bathonien supérieur est dérivé de l'âge du toit des calcaires sous-jacents à *Clydoniceras discus* (feuille Saint-Saulge) et de l'âge de la formation carbonatée sus-jacente aussi à *Clydoniceras discus*.

j3c3. **Oobiocalcarénite à bryozoaires et brachiopodes (Bathonien supérieur).** L'unité sommitale du Bathonien supérieur est la mieux exprimée à l'affleurement, formant un ressaut morphologique sous les marnes calloviennes. Puissante d'une dizaine de mètres, cette unité affleure en sommet de falaise, au Nord-Ouest de la Turlurette (X = 669,60 ; Y = 2 217,00) où le faciès se présente sous forme d'une biocalcarénite grossière, à texture grainstone et à entroques. Au Sud du château de Marigny (X = 670,30 ; Y = 2 216,50), les faciès localisés à la transition avec les marnes blanches, sont moins bien triés et présentent une matrice ; ils sont constitués d'une biocalcarénite ocre-jaune, à texture packstone, à fréquents brachiopodes (térébratules et rhynchonelles : dont *Goniorhynchia maxima*). Cet assemblage correspond à l'association (4) de Garcia *et al.*, 1996) datée de la zone à *Discus*.

À l'Ouest de Prye (X = 673,30 ; Y = 2 217,00), un échantillon de la calcarénite a été prélevé dans la barre carbonatée sommitale. En lame mince, la biocalcarénite montre une accumulation (grainstone) de bioclastes roulés entourés d'une fine couche micritique (cortoïdes). Quelques petits oncoïdes algaires et oncoïdes encroûtés par des foraminifères nubéculaires complètent la liste des éléments figurés. La macrofaune brisée comprend d'abondants débris d'échinoderme (dont des échinidé, crinoïde, ophiure et de possible astérie), des débris de bryozoaires, de brachiopodes, de mollusque bivalve à coquille costulée, de petits gastéropodes, de colonie d'annélides polychètes. D'assez rares foraminifères benthiques complètent l'association : *Nubecularia reicheli*, *Protopenneroplis striata*, *Lenticulina* sp., *Vaginulina* sp., *Flabellamina althoffi*, *Ammobaculites* sp.

On retrouve ces faciès calcarénitiques dans la région de Sauvigny-des-Bois (X = 671,05 ; Y = 2 218,90 et X = 671,00 ; Y = 2 218,40), qui ont livré à la base, au contact avec les marnes blanches, des oursins : *nucleolites* sp., des brachiopodes : *Goniorhynchia maxima*, *Kutchirhynchia obsolata*, accompagnés de l'ammonite *Clydoniceras discus*.

Un autre échantillon de grainstone prélevé à Sauvigny-les-Bois (X = 671,30 ; Y = 2 219,40) a montré une composition d'oobioalcalcarénite, où se cotoient vraies oolites à nucléus bioclastique, cortoïdes, oncoïdes et pellets. La macrofaune brisée y apparaît toujours aussi diversifiée montrant en complément un fragment de corail. En lame mince, la microfaune de foraminifères benthiques y est plus pauvre et comprend : *Nubecularia reicheli*, *N. alligata*, *Lenticulina* sp., *Flabellamina* sp., des Nodosariidae.

Au Nord-Est du Bouchot (X = 678,40 ; Y = 2 217,30 et X = 678,80 ; Y = 2 217,45) (fig. 18), une ancienne carrière permet d'observer ces faciès calcarénitiques grossiers au sein desquels il est possible de distinguer trois ensembles :

- à la base, biocalcarénite à entroques et à bryozoaires, montrant plusieurs niveaux perforés ;
- un ensemble médian où alternent biocalcarénite et marnes, avec de gros bryozoaires branchus ;
- les vrais faciès oolitiques ne se développent qu'au sommet de la coupe, montrant une évolution verticale vers des faciès.

Cette unité, à faciès de haute énergie (shoreface), enregistre une séquence globalement progredante.

Elle est souvent difficile à dater, la macrofaune étant très brisée et de ce fait non déterminable. La découverte d'une ammonite, à la transition avec les marnes blanches sous-jacentes, contraint l'âge de cette unité rapporté à la zone à *Discus* (sommet du Bathonien supérieur).

j4a-b. Marnes et calcaire argileux à oursins (Pierre de Nevers) (Callovien inférieur à moyen). À la bordure méridionale du bassin de Paris, sur les feuilles de Saint-Saulge et de Decize, le sommet du Dogger et le Malm sont pratiquement absents à l'affleurement, ayant été profondément altérés et partiellement repris dans les argiles d'altération à chailles attribuées au Crétacé inférieur (Roger *et al.*, 2006). En conséquence, le Callovien constitue, sur la feuille Decize, le terme stratigraphique jurassique le plus élevé ayant été préservé, les terrains rapportés au Malm manquant complètement. Les dépôts calloviens sont géographiquement restreints au coin nord-ouest de la feuille Decize, dans le secteur le plus effondré, à la bordure occidentale du horst de La Machine. Ceux-ci affleurent très mal, nappés par les argiles à chailles post-jurassiques, dans des secteurs largement couverts de forêts. Ces dépôts n'offrent pas de coupe véritable permettant de reconnaître l'organisation de la série et notamment la base plus marneuse de la série et le passage Bathonien-Callovien. Seuls quelques petits affleurements dispersés ont pu être reconnus, montrant presque exclusivement des faciès carbonatés monotones.

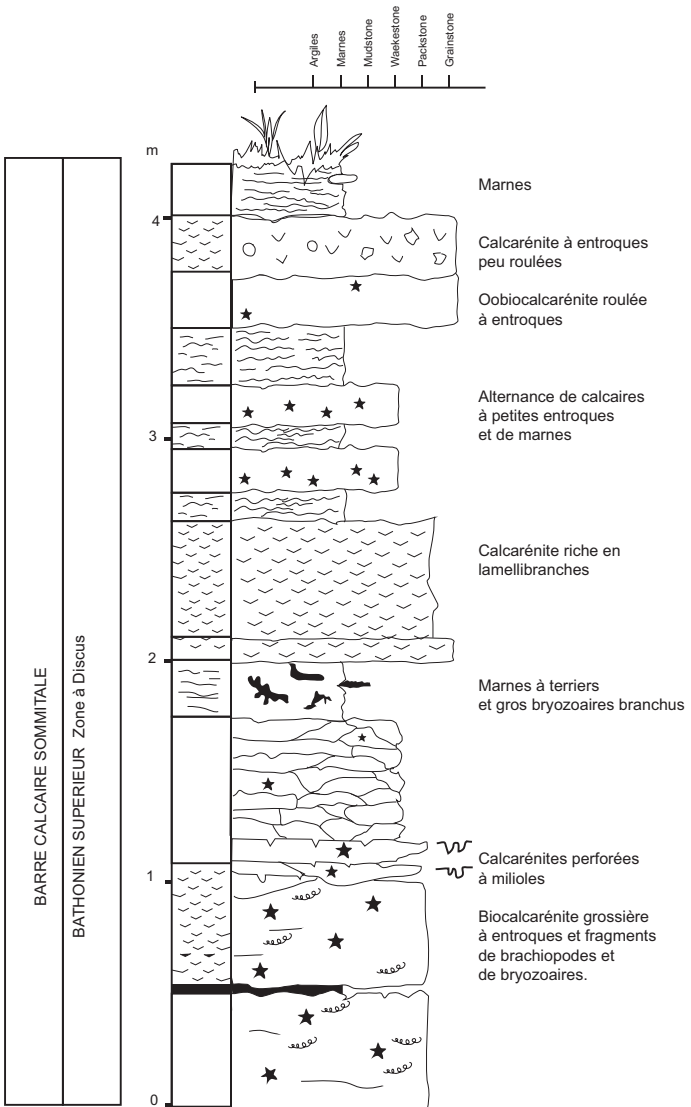


Fig. 18 - Coupe de la barre calcaire sommitale du Bathonien supérieur, dans la carrière du Bois de Limon, près du Bouchot

Au-dessus des calcarénites bathoniennes qui forment un ressaut morphologique, la série callovienne débute classiquement (voir feuilles Nevers et Saint-Saulge) par des marnes blanches, souvent difficiles à observer et qui n'ont été reconnues que dans un seul point de la carte, en bordure de bois, au Nord de Sauvigny-des-Bois (X = 671,600 ; Y = 2 220,250). Dans cette localité, ces faciès ont livré de grandes térébratules allongées (*Ornithella (Digonella) marcoui*), des *Eudesia*, des coraux rameux, des bivalves fouisseurs (*Pholadomya*), des pectenidés et une ammonite : *Macrocephalites gracilis*, espèce indice de la zone à *Gracilis* (Callovien inférieur). Ici, la biozone la plus basale du Callovien n'a pas été identifiée. Ces faciès pourraient être équivalents en âge à ceux exposés à l'Est de Saint-Benin-d'Azy, qui, décrits par J.-H. Delance *et al.* (1979), et qui ont montré, sous les altérites à chailles, des calcaires grenus riches en faune, datés du Callovien inférieur (Zone à *Gracilis*, Sous-zone à *Koenigi*).

Sur la feuille Decize, généralement, seuls les faciès carbonatés du Callovien qui viennent en couverture des marnes, sont observables. Les affleurements, très dispersés, ne présentent qu'une partie réduite de la série, et les roches souvent exposées en falaise. Ces dépôts se présentent sous la forme d'un calcaire micritique un peu argileux qui, dans la région de Nevers (Delance *et al.*, 1988), est connu sous l'appellation de « Pierre de Nevers ». Ce matériau a été, par le passé, et malgré son caractère gélif, largement utilisé comme pierre de taille.

Plusieurs affleurements permettent d'illustrer ce faciès. Le premier, localisé dans une ancienne carrière, au Nord-Est du château de Prye (X = 675,05 ; Y = 2 217,05) a montré du calcaire micritique à rares entroques, pholades et *Erymnoceras coronatum*, espèce indice du sommet du Callovien moyen. Dans le même secteur de Prye, le propriétaire du terrain a collecté plusieurs ammonites : *Erymnoceras* sp., *Proplanulites* sp.

Dans une ancienne carrière artisanale (X = 670,35 ; Y = 2 216,60) localisée au Nord d'Imphy, qui a exploité par le passé le calcaire micritique silicifié du Callovien, les dépôts montrent une organisation en courtes séquences marno-calcaires et la présence de nombreux oursins (*Collyrites elliptica*), associés à une térébratule, une *Pholadomya* et un gastéropode.

D'anciennes carrières localisées au Nord-Ouest de Sauvigny-des-Bois (X = 670,10 ; Y = 2 219,95) et dans le bois du Mont Dessend, au Sud de Charbonnières (X = 668,75 ; Y = 2 217,85) (fig. 19) montrent l'organisation des dépôts en bancs métriques ou infra-métriques, assez bien réglés, caractérisés par une grande monotonie des faciès : calcaire marneux jaune, grumeleux, à chailles en place, avec des oursins (*Collyrites elliptica*) et quelques ammonites (*Erymnoceras* sp., et une empreinte évoquant des *Reineckeidae*).

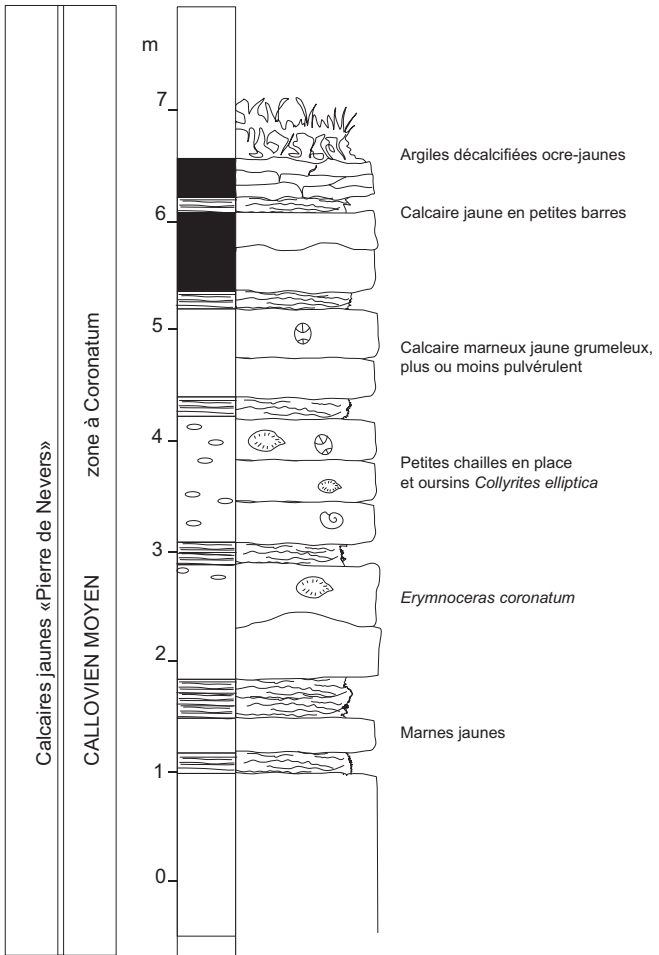


Fig. 19 - Coupe du Callovien exposé en carrière dans le Bois du Mont Dessend

Dans un affleurement relevé au Sud-Est du Bouchot ($X = 6\ 787,70$; $Y = 2\ 216,30$), dans un faciès de calcaire micritique beige silicifié, associé à des marnes ocre-brun, le microfaciès présente une texture wackestone-packstone et de nombreux spicules d'éponge siliceuse associés à des petits fragments d'échinodermes et de fréquents foraminifères benthiques (*Trochammina* sp., *Verneuilinoides* sp., *Textularia* sp., *Nubecularia reicheli*, *Ophthalmidium* sp., *Labalina costata*, Spirillinidae).

Un autre échantillon du calcaire callovien, exposé au Sud-Est des Grappes ($X = 675,90$; $Y = 2\ 216,00$) présente un faciès similaire de biomicrite à spongiaires, secondairement silicifiée. En lame mince, le microfaciès ressemble au précédent échantillon : faciès à texture wackestone à packstone, avec, en complément des nombreux spicules d'éponge siliceuse, quelques débris de mollusque bivalve costulé, quelques rares débris d'échinodermes et de fréquents foraminifères benthiques (*Trochammina* sp., *Verneuilinoides* cf. *mauritii*, *Textularia* sp., *Lenticulina* sp., Nodosariidae).

On retrouve ce faciès de biomicrite à spongiaires dans un dernier échantillon collecté près de Le Mont de Prye ($X = 675,25$; $Y = 2\ 216,60$) qui a aussi montré la présence d'une association de foraminifères benthiques à (*Trochammina* sp., *Verneuilinoides* sp., *Textularia* sp., *Labalina costata*, *Ophthalmidium* cf. *kaptarenkoae*, *Vaginulina* sp., *Lenticulina* sp., Nodosariidae).

Les dépôts ont montré qu'ils se plaçaient dans un intervalle stratigraphique compris entre la zone à Gracilis (Callovien inférieur) et la zone à Coronatum (Callovien moyen). Sur la feuille de Nevers (Delance *et al.*, 1988), les auteurs de la carte ont relevé une abondante macrofaune, dont des ammonites qui ont permis de dater la « Pierre de Nevers » du Callovien moyen (zones à Jason et zone à Coronatum) et de la base du Callovien supérieur (zone à Athleta, sous-zone à Trezeense). En l'absence de Malm sus-jacent, il n'est pas sûr que sur la feuille Decize, la série callovienne monte stratigraphiquement aussi haut, son sommet étant nettement décoiffé, altéré sous les chailles crétacées ou ayant été postérieurement érodé au Cénozoïque.

Crétacé

Les dépôts marins du Crétacé affleurent au Nord-Ouest du département de la Nièvre, en bord de Loire, formant une bande exposée à Cosne-sur-Loire et qui est recouverte au-delà par le Cénozoïque, en direction du centre du bassin de Paris. Érodés vers le Sud-Est, peu de témoins attestent, sur le périmètre de la feuille Decize, de leur extension plus méridionale. Ces témoins sont constitués de quelques rares faciès résiduels, souvent silicifiés, retrouvés en sommet de buttes, coiffant le Jurassique.

R1. Argile limoneuse d'altération développée aux dépens des formations marneuses du Lias (R1? : supposé) (Crétacé inférieur).

Ces altérites ont principalement été reconnues dans la partie nord-est de la feuille, dans la continuité de celles repérées sur la feuille Saint-Saulge sur le flanc oriental du horst de Saint-Saulge et à sa terminaison sud. Elles recouvrent les terrains marneux du Lias et sont constituées par une couverture limono-argileuse de couleur claire, sans élément figuré autre que quelques granules d'oxyde ferromanganique infracentimétriques. Ces faciès, identifiés précocement (cartes Saint-Pierre et Nevers à 1/80 000), ont le plus souvent, par le passé, été considérés comme des limons quaternaires provenant de la décalcification en place du Lias.

Elles affleurent médiocrement dans les forêts ou les prairies du Fuy et de Petit Crécy à l'extrémité nord-est de la feuille Decize, ainsi qu'au Centre-Ouest de la feuille, au Sud des Bordes, Passençay et Godiot et dans les Grands Bois et les Usages de Druy, quelques kilomètres plus au Sud. Les conditions d'affleurement étant très médiocres, la présence de sols assez argileux, collants et hydromorphes et l'absence de chailles signalent l'existence de ces altérites. Géométriquement situés au-dessus des terrains du Lias, la présence de ces faciès est également supposée au Sud-Est de La Machine, dans une zone encore plus pauvre en affleurements, allongée selon un axe N-S, longue de 4 km et localisée entre Champvert et Bussières.

Ces altérites ont été traversées à l'occasion de plusieurs forages, permettant d'en préciser les faciès : la couverture limoneuse beige clair ne dépasse souvent pas 5 à 10 m d'épaisseur et présente un passage progressif avec les marnes du substratum liasique. L'évolution verticale observée se marque par une décarbonatation et une décoloration progressive des faciès du substratum : ainsi, les faciès marneux sous-jacents, de couleur sombre (gris à noirâtre) sont-ils progressivement remplacés par des argilites non carbonatées, de couleur claire (blanchâtre, verdâtre, ocre-jaune), très plastiques, à fréquents granules ferrugineux (surtout vers le sommet). La décarbonatation des faciès limoneux d'altération explique qu'ils ont été autrefois exploités (surtout ceux du Toarcien) pour la fabrication de terres cuites.

Quatre échantillons, prélevés dans un forage réalisé sur la feuille Saint-Saulge et traversant ces altérites, ont été analysés en Diffraction des Rayons X (DRX) sur roche totale et sur fraction argileuse, afin de caractériser plus précisément les caractéristiques du profil d'altération. Ce sondage a traversé successivement :

- une argile ocre-jaune à blanchâtre, à sable quartzeux et rares dragées de quartz, sur 1,5 m ;
- une argile blanchâtre à ocre, de plus en plus blanche vers le bas, de 1,5 à 7,5 m de profondeur ;
- une argile blanchâtre à lamines silto-micacées, jusqu'à 9,5 m ;

- des marnes silto-micacées, d'abord grises de 9,5 à 10,5 m, puis gris bleuté, avec de rares petits lits de calcaire silteux noir, jusqu'à 13,5 m ;
- enfin des marnes à lamines silto-micacées gris-bleu, jusqu'à 19,5 m.

Les analyses DRX montrent un enrichissement vers le haut en kaolinite, goethite et en quartz, au détriment des vermiculites et interstratifiés ; la calcite n'apparaît que vers 10 m de profondeur et en pied de sondage. La proportion de kaolinite s'enrichit vers le haut, constituant 2/3 de la fraction argileuse de la roche-mère, et passe à une proportion de 3/4, au sommet du sondage.

Ces altérites ont été le plus généralement considérées comme d'âge récent (limons attribués au Quaternaire sur le 1/80 000 des feuilles Nevers et Saint-Pierre et sur la carte Prémery à 1/50 000, limons d'âge pliocène sur la feuille Corbigny à 1/50 000). Elles témoignent d'un processus de décarbonatation qui s'apparente à celui enregistré par les calcaires du Dogger et du Malm, dans l'Ouest de la feuille, et qui serait, au moins pour partie, daté du Crétacé inférieur (Thiry *et al.*, 2005, 2006 ; Roger *et al.*, 2006). Il est fort probable également que les profils d'altération sur Lias aient pu être tronqués au sommet par l'érosion liée à la transgression albienne (conglomérat albien), ou encore les différentes phases d'érosion du Cénozoïque.

Rj. Argile d'altération à chailles (silicites) développée sur les calcaires du Dogger et du Malm (Rj? : supposé) (Crétacé inférieur).

Les altérites à chailles, appelées argiles à silicites sur certaines feuilles voisines, présentent une large répartition régionale en Nivernais, exposées en couronnement des buttes jurassiques maintenant largement occupées par des forêts et bois, en raison de leur caractère peu propice aux cultures. Le plus souvent, comme J.-C. Ménot *et al.* (1998) le soulignent dans la notice de la feuille La Charité-sur-Loire, ces faciès sont installés sur le Callovien ou l'Oxfordien ; sur la feuille Decize, ils viennent en couronnement des faciès du Bathonien et du Bajocien, voire du Toarcien à l'Est.

Les affleurements de ces altérites sont très médiocres sur la feuille Decize : essentiellement des talus et fossés de chemins forestiers, et des taupinières ou chablis dans les bois et d'anciennes minières dont on distingue les formes en creux, mais qui sont couvertes de végétation. Localement très puissantes, ces altérites peuvent coiffer sur 20 à 40, voire 50 m d'épaisseur, les buttes de Jurassique, au Nord-Ouest de la feuille ; on les observe :

- au Nord de l'Ixeure, dans les forêts domaniales des Amognes et de Sardolle-Cigogne et les bois de Cigogne, Prye, Petaud, les Usages d'Imphy et le bois de Landre (sous les silcrètes et altérites à meulières, cf. *infra*) ;
- entre l'Ixeure et le ruisseau des Perrins, les bois des Rouches, de Limon et des Fous ;

- entre le ruisseau des Perrins et la Sardolle, tous les bois de la Jarnosse, Monjean jusqu'à celui de Chiffort ;
- au Sud de l'Xeure et de la Sardolle et à l'Est de la Loire, les bois Boulat, de Riat, les Usages de Vernay, les 2/3 ouest de la forêt domaniale de Sardolles-Cigogne, et une bande d'environ 1,5 km de largeur entre les Montmigny-les Goulaines et la RN81 (château de Chevret), passant par les Essarts et le bois de Tronçay.

Ces altérites sont également présentes au Nord-Est et à l'Est de la feuille, présentant des épaisseurs voisines de 20 à 30, voire 40 m ; dans cette région, elles reposent sous le conglomérat résiduel albien (cf. *infra*) ; on les observe, du Nord vers le Sud : dans la butte de Beurenault, le bois des Boulats, le bois de Diennes, la butte d'Aubigny-le-Chétif, le bois des Couardes, dans la moitié ouest du bois d'Avril, dans les 2/3 nord de la forêt de Vanzé.

Les chailles, très différentes des silex de la craie, se composent de blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques anguleux ou en miches de calcaire fortement silicifié ; en lame mince, on peut souvent retrouver le faciès précurseur (ancienne micrite à foraminifères planctoniques et spicules d'éponge ou biocalcarénite). De nombreux oursins silicifiés (*Collyrites elliptica*), de plus rares ammonites et d'autres mollusques silicifiés, accompagnent ces faciès qui apparaissent emballés dans des argiles silteuses à dominante kaolinique et de couleur beige, ocre à rougeâtre. Les coupes permettant l'observation de ces profils d'altération sont plutôt rares, les chailles étant généralement colluvionnées (faciès CRj) en contre-bas dans les champs labourés, au pied des buttes couvertes de forêts. Un tel profil, recoupé par la tranchée de la D978, est exposé sur la feuille Saint-Saulge, à environs 3 km au Nord de la feuille Decize, au-dessus du Callovien, dans la tranchée du bois de Billy, à l'Est de Saint-Benin-d'Azy (X = 683,525 ; Y = 2 223,200). On peut y observer plus de 10 m d'accumulation de blocs silicifiés (parmi lesquels on reconnaît des calcaires à spicules de spongiaires du Callovien) emballés dans une matrice argilo-silteuse ocre-jaune.

Une deuxième coupe levée sur la feuille Saint-Saulge, en montant le profil, dans le bois Devant à 3 km au Nord-Ouest de Saint-Benin-des-Bois (entre X = 679,280 ; Y = 2 236,800 et X = 679,110 ; Y = 2 237,440) expose au-dessus des calcaires du Bathonien supérieur :

- entre 405 et 410 m d'altitude, la base du profil d'altérites à chailles, à matrice argileuse ocre, avec des chailles souvent en miches de taille inférieure à 40 cm, granuleuses (fines calcarénites silicifiées), de teinte grise, parfois rayées (zonées), très peu, à non altérées. Elles présentent un faciès similaire aux silicites grises et zonées étudiées par J.-M. Baele (2003) dans le bassin de Mons ;
- vers 420 m, la matrice reste identique, et les chailles sont comparables aux précédentes, mais un peu plus oxydées (beiges à liséré ocre en surface) ;

– vers 425 m et jusqu’au sommet de la butte, la matrice est identique, et les chailles apparaissent encore plus oxydées, franchement ocre, avec en surface des petits golfes de corrosion centimétriques où l’oxydation pénètre (poudre rouille) ; d’autres sont rouge brique, rutilantes ou à bandes roses. Des graviers d’oxyhydroxydes de fer, irréguliers et émoussés, inférieurs à 5 cm, accompagnent les chailles, souvent recouvertes par un enduit noir ;

– au sommet de la butte, affleure très mal une argile silteuse verdâtre, qui peut être assimilée à une relique de dépôts albiens fins (hypothèse restant à confirmer).

Ce profil apparaît épais (environ 20 à 25 m de puissance) et très évolué au sommet ; il s’est probablement développé sur des calcaires intensément silicifiés à l’origine par des processus d’épigénie siliceuse.

Une troisième coupe levée sur la feuille Saint-Saulge, en montant dans le bois de Bona (entre $X = 680,660$; $Y = 2\,231,615$ et $X = 679,950$; $Y = 2\,232,350$), montre la même évolution, avec, au-dessus des calcaires perforés du Bathonien supérieur, à la base du profil, les premières chailles grises granuleuses < 30 cm, dont certaines recèlent encore des reliques calcaires beiges au cœur. Là aussi, la matrice reste ocre, et s’enrichit en graviers d’oxyhydroxydes de fer, et les chailles sont de plus en plus altérées et oxydées vers le haut. Le sommet de la butte, exposé immédiatement à l’Ouest, culmine à 437 m d’altitude, et la base du profil en place se situe probablement aux alentours de 400 m, ce qui donne une épaisseur d’environ 35 à 40 m. Les derniers bancs de calcaire affleurent vers 375 m.

Cette succession de faciès de chailles de plus en plus oxydés en montant dans le profil d’altération a également été observée systématiquement sur la feuille Decize, où cependant on note une plus nette prépondérance des parties sommitales des profils. En effet, les faciès y apparaissent très oxydés et les graviers de minerai de fer présents en abondance, à l’instar des faciès plus évolués reconnus à l’Ouest de la feuille Saint-Saulge (grands bois de Sauvage, forêts domaniales de Guérigny, des Amognes, etc.). Sur Decize, les chailles, particulièrement oxydées, présentent très souvent des golfes et des cupules de corrosion, plus ou moins remplis d’oxyde de fer. Les grosses dalles et miches de calcaire jurassique silicifié originelles sont oxydées, et intensément transformées par les processus d’altération météorique. Elles se débitent souvent en éléments à faces concaves de 5 à 15 cm (décrites et photographiées dans Thiry *et al.*, 2005). Sur la feuille Decize, dans la forêt domaniale des Amognes et les bois de Prye et de Cigogne, de nombreux *Collyrites elliptica* résiduels et oxydés ont également été trouvés au sommet des altérites à chailles, et même une grosse chaille oxydée de 40 x 10 cm pétrie d’une quinzaine de ces oursins silicifiés. Elles sont également très souvent altérées (cachalonnées) et dissoutes au sommet des profils, s’écrasant en poudre sous le coup de marteau, sauf là où des silcrètes couronnent ces profils. Dans ce dernier cas, elles sont oxydées et ocre-miel à rouges à cœur, et leur resilicification les rend très difficiles à casser.

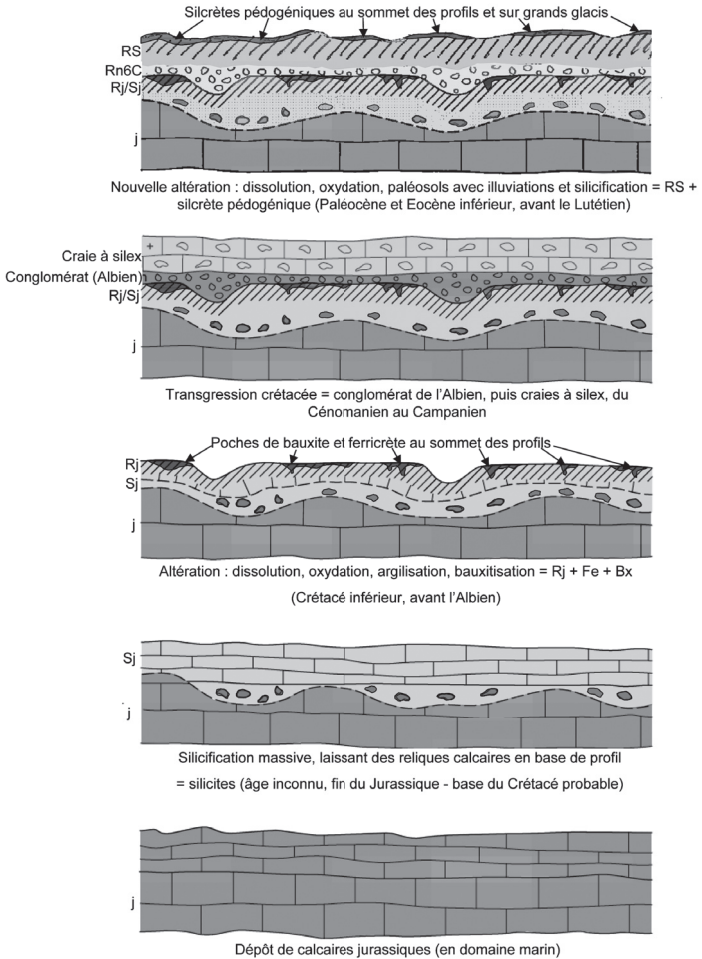


Fig. 20 - Évolution des paléoaltérations du Nivernais après le Jurassique : silicification des calcaires jurassiques, altération lessivante au Crétacé inférieur, transgression albienne, dépôt de la craie, altération donnant les RS et silicification donnant les silcrètes, avant les premiers calcaires lacustres du Lutétien (modifié d'après Roger *et al.*, 2006)

Ces altérites à chailles suggèrent l'exercice de plusieurs types de processus : silicification du substratum jurassique, décarbonatation, lessivage et altération/oxydation des chailles, ce qui implique que leurs conditions de genèse sont complexes et probablement polyphasées (fig. 20).

L'épigénie siliceuse, qui a formé les chailles à partir des calcaires jurassiques, est probablement comparable à celle ayant engendré les silicites du bassin de Mons (Baele, 2003) en milieu côtier, dans un contexte géochimique particulier (progression d'un front redox dans les sédiments). En l'absence d'une étude approfondie qui viendrait conforter ou non cette hypothèse, on peut néanmoins envisager deux périodes favorables à la mise en place d'un tel processus : soit lors de l'émergence fini-tithonienne, soit au tout début du Crétacé, à l'aube du long épisode continental enregistré régionalement et lié au bombement lithosphérique accompagnant l'épaulement du rift de Gascogne (Thiry *et al.*, 2006).

La décarbonatation des marnes et calcaires jurassiques et l'altération/oxydation des chailles ont eu lieu ultérieurement à cette première phase de silicification (fig. 20). En raison de la longue et récurrente histoire continentale de la région, depuis au moins le début du Crétacé, il est difficile de faire la part de chacun des processus qui se sont enchaînés, plusieurs épisodes d'altération (au début du Crétacé, au Paléogène inférieur : pendant la période rapportée au « Sidérolitique ») étant enregistrés, chacun se superposant aux précédents.

Notons que les gisements de minerai de fer « sidérolithique » du Nivernais (de Grossouvre, 1886) qui ont, par le passé, donné lieu à des exploitations destinées à la métallurgie du fer, sont associés à ces faciès. Ils se présentent sous forme de poches au sein des altérites à chailles, et ont été retrouvés tant à leur sommet (« mine chaude » = débris de cuirasse latéritique), qu'à leur base, près du contact avec le substratum carbonaté (« mine froide »). Nombre de ces minières sont encore visibles sur la feuille Decize dispersées dans les forêts domaniales des Amognes et de Sardolle-Cigogne et les bois de Prye, Cigogne, Petaud, Landres, Limon, des Rouches, de la Jarnosse, etc...

Les nodules et concrétions d'oxyde de fer sont constitués de goéthite et hématite et sont la plupart du temps associés à des pisolites pouvant atteindre 1 à 2 cm, et de rares débris de cuirasse ferralitique, centimétriques, le tout étant emballé dans une matrice argileuse rouge à ocre. Les plus gros nodules et concrétions (jusqu'à 10 cm) ont été trouvés associés à des graviers centimétriques de chaille très oxydés et d'aspect scoriacé sur les flancs et au bord d'anciennes minières dans le bois qui occupe le sommet de la petite butte à l'Ouest immédiat du hameau de Prye, les bois à l'Ouest de la Fermeté (bois de Prye, Landre et Petaud), les bois de Limon et la Jarnosse, les bois autour des Essarts (au Nord de la ferme de Verrières notamment). Il est possible que ces faciès aient également été exploités dans les bois de Riat et de Chiffort, mais les traces de minières sont beaucoup plus ténues.

L'origine du fer dans ces gisements d'oxydes exploités autrefois peut être facilement trouvée dans les roches-mères de ces altérites, particulièrement les couches à oolithes ferrugineuses du Bajocien, Bathonien, Callovien et Oxfordien. Les marnes et calcaires argileux ont quant à eux fourni les éléments de la matrice argileuse, voire l'alumine nécessaire à produire la bauxite (cf. *infra*). Les couches argilo-marneuses riches en pyrite fine disséminée (horizons anoxiques, déposés en contexte réducteur) ou en fossiles pyritisés ont également pu fournir du fer et engendrer de l'acide sulfurique lors de l'oxydation de la pyrite, exacerbant ainsi les processus de dissolution des carbonates et de transformation des minéraux argileux vers des kaolinites pures.

L'âge de ces altérites à chailles et minerais de fer est discuté dans le paragraphe suivant.

B. Bauxite et/ou Ferricrète silicifiée (Crétacé inférieur). À l'Est d'Imphy, sur la petite butte culminant à 231 m qui porte la ferme de Linière, affeure sur 3 à 4 m, un faciès très particulier, bariolé ocre, lie-de-vin et blanchâtre, et couronnant le profil d'altérites à chailles. Il est constitué d'éléments de chailles entières et irrégulières, altérées et très oxydées, de 5 à 30 cm, et de nodules et pisolites d'oxyde de fer, inférieurs à 5 cm, le tout emballé dans une matrice blanche indurée mais non carbonatée. Le débit de cette cuirasse « sidérolithique » est planaire au sommet, avec néanmoins quelques fentes verticales également. Des illuviations sont très nettes dans les fentes et forment des coiffes au-dessus des chailles ; la cuirasse s'enrichit également en pisolites vers le haut.

Ce faciès a été repéré en d'autres endroits de la feuille Decize, mais les affleurements sont là encore de piètre qualité. Notons par exemple quelques dalles de cette cuirasse « sidérolithique » sub en place, ou extraites d'anciennes minières au Nord de la Chaluère, aux confins des bois de Prye et Landre, géométriquement sous les altérites à meulières. D'autres dalles et blocs ont également été trouvés sub en place au sommet des altérites à chailles au Nord du bois de Riat (Sud-Ouest de la ferme des Grappes). Des blocs isolés sont aussi visibles dans les bois de part et d'autre de la Sardolle, au Sud-Ouest de Chiffort et près de la route qui joint le village de Sardolles au Mont de Prye. Enfin de nombreux blocs provenant du bois de Chiffort ont été utilisés pour construire les murs entourant les jardins de quelques propriétés du hameau de Chiffort. De gros blocs et dalles y montrent des faciès noduleux à colonnaires, des fentes, trous et tubulures blanchis (traces de racines probables), des chailles oxydées présentant des coiffes de teinte mastic (oxydes de titane probables). Les oursins silicifiés oxydés résiduels sont communs dans ces blocs.

Ce faciès évoque un paléosol au sommet d'un profil latéritique, ou plus précisément une cuirasse ferralitique, de type bauxitique ou bien une cuirasse latéritique ferrugineuse silicifiée secondairement. Cette cuirasse de Linière avait

déjà été repérée par les auteurs de la feuille Saint-Pierre à 1/80 000, attribuée au « Sidérolithique » et calée dans l'Éocène, *ie* corrélatrice des gisements de minerai de fer « sidérolithique » du Nivernais (de Grossouvre, 1886).

Régionalement, ces faciès à minerai de fer et cuirasse latéritiques rapportés au « Sidérolithique » présentent une grande extension, puisque, sur le périmètre des feuilles Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006), La Charité-sur-Loire (Ménot *et al.*, 1998) et Prémery (Lablanche et Delfour, 1998), ces auteurs signalent, au sommet des buttes, la présence de poches rubéfiées, à granules et graviers d'oxyde de fer pris dans les argiles à chailles.

Or des formations rouges bauxitiques (pouvant contenir jusqu'à 15 % de gibbsite) ont également été découvertes associées à ces altérites, lors des levés de la feuille Saint-Saulge, et à la limite entre les feuilles Prémery et La Charité-sur-Loire. Elles ont été étudiées dans les bois de Sauvage au Nord-Ouest immédiat de la feuille Saint-Saulge, et sont décrites en détail par M. Thiry *et al.* (2005) (fig. 21).

Du fait que le minerai de fer et les formations sidérolithiques étaient supposés recouvrir les calcaires lacustres éo-oligocènes et être repris en clastes dans les Sables et argiles du Bourbonnais, ceux-ci ont longtemps été attribués au Mio-Pliocène, déjà dans les travaux des auteurs des feuilles à 1/80 000, mais aussi dans les travaux plus récents issus des levés à 1/50 000 (feuilles La Charité-sur-Loire et Prémery). Il est indéniable que les relations stratigraphiques ne sont souvent pas claires, de nombreux contacts se calant sur des failles.

Cependant, cette attribution stratigraphique s'avère démentie par les observations réalisées au cours des levés des feuilles Saint-Saulge et Decize ; en effet :

– sur plusieurs buttes, les argiles à chailles très évoluées et à poches de minerai de fer sont couronnées par un conglomérat résiduel à galets de chailles très oxydées, graviers de minerai de fer émoussés, dragées de quartz comportant des lentilles sableuses ou des blocs de grès roux (cf. *infra*) ;

– parmi certaines de ces buttes, le conglomérat est lui-même recouvert par des altérites à silex résiduels et/ou des oursins silicifiés, datés du Cénomaniens à Campanien inférieur (cf. *infra*).

Le conglomérat à galets de chailles et dragées de quartz est attribué à l'Albien, connu régionalement sur la feuille Prémery par des blocs de grès résiduels (Lablanche et Delfour, 1998) et également retrouvés sur la feuille Saint-Saulge. Le fait que ce faciès conglomératique remanie les graviers d'oxyhydroxydes de fer et les chailles très oxydées des altérites sous-jacentes implique nécessairement l'antériorité de ces dernières (fig. 20). Nous détenons là un argument majeur pour dater ces profils d'altération d'un intervalle

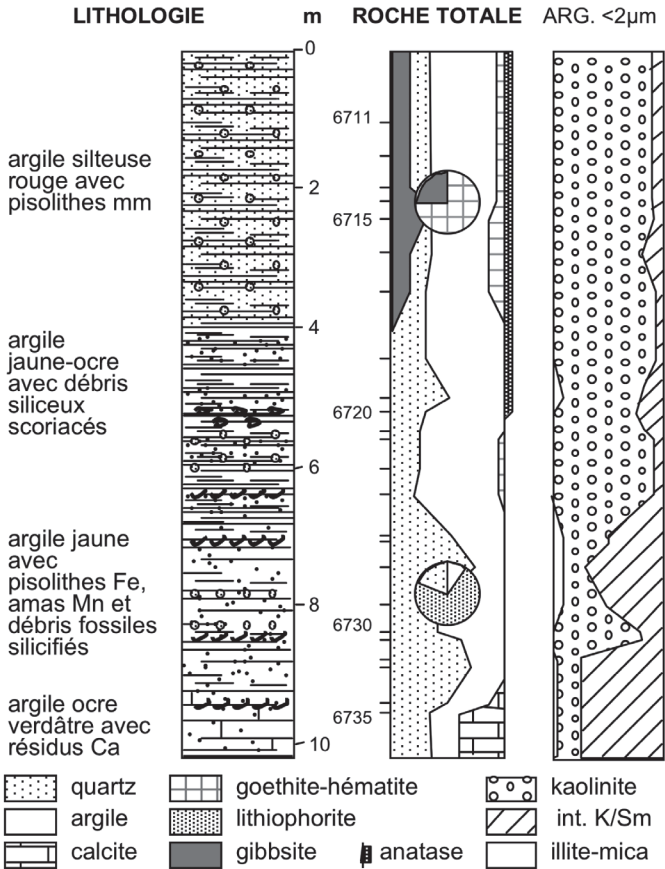


Fig. 21 - Lithologie et minéralogie des altérites à chailles avec minéral de fer et gibbsite dans le sondage à la tarière S2 (Grands Bois de Sauvage, Beaumont-la-Ferrière, Nord-Ouest de la feuille Saint-Saulge, Thiry *et al.*, 2005)

stratigraphique antérieur à l'Albien et postérieur au Tithonien, dernier étage du Jurassique présentant régionalement des dépôts marins. En conséquence, les altérites à chailles du Nivernais et les gisements de minerai de fer associés peuvent être attribués au Crétacé inférieur, sans toutefois pouvoir être en mesure de préciser plus finement leur âge.

Contrairement à d'autres régions comme l'Ardenne (Yans, 2003), la Lorraine (Théveniaut *et al.*, 2007), le Fossé du Cher (Théveniaut *in* Quesnel *et al.*, 2009), les coupes du Lembron (Thiry *et al.*, 2006 ; Ricordel, 2007), les cuirasses latéritiques et minerais de fer « sidérolithiques » du Nivernais, et surtout les formations rouges à gibbsite, n'ont jamais pu être datés par paléomagnétisme, malgré plusieurs tentatives de ce type. Les causes en sont probablement imputables à des phénomènes de retrait-gonflement dus aux fortes teneurs en argile. Sur les feuilles Saint-Saulge, Decize et les alentours, l'étroite relation de ces formations « sidérolithiques » ferrugineuses et plus ou moins riches en gibbsite avec les argiles à chailles, permet de les attribuer au Crétacé inférieur, les rendant ainsi corrélatives des bauxites du Sud de la France et de nombreux paléosols sidérolithiques datés ces dernières années (Thiry *et al.*, 2005, 2006 ; Ricordel, 2007).

Rn6C. Conglomérat marin à galets et graviers de chailles oxydées, dragées de quartz (Albien résiduel). Ce conglomérat résiduel d'origine marine, constitué de galets et graviers émoussés de chailles, quartz et minerai de fer, et dont l'âge albien a été mis en évidence sur la feuille Saint-Saulge voisine, a été retrouvé sur la feuille Decize. Les affleurements sont toutefois ici de très mauvaise qualité : essentiellement des labours, des talus et fossés de chemins, et des taupinières ou chablis dans les bois.

Ce conglomérat affleure à l'Est de la feuille, dans la même position qu'il occupe plus au Nord au sommet de la butte de Grond (entre 290 et 311 m) sur la feuille Saint-Saulge (Roger *et al.*, 2006). Sont ainsi couronnées par cette unité sédimentaire résiduelle les buttes au Sud de Fertrèves (Beaurenault, culminant à 293 m, Sud de Brioux et bois des Boulats, culminant entre 300 et 311 m), au Sud-Ouest de Diennes-Aubigny (bois de Diennes, culminant entre 260 et 265 m), ainsi que la butte allongée depuis Aubigny-le-Chétif jusqu'au Crot de l'Ombre (Aubigny-le-Chétif, le Troncin, Avril-les-Loups, l'Huilerie, le Crot de l'Ombre, culminant entre 285 m au Nord et 265 m au Sud). L'altitude de la surface d'érosion sur laquelle repose ce conglomérat varie du Nord au Sud, probablement en relation avec une ou des déformations tectoniques. Il semblerait ainsi que le bâti soit constitué de plusieurs compartiments découpés par des failles (qui décalent également les formations jurassiques sous-jacentes). Au sein de ces lanières, le conglomérat semble souligner des surfaces d'érosion soulevées au Nord et pentées vers le Sud.

Le matériel de ce conglomérat est constitué de galets très roulés et graviers très émoussés de chailles oxydées, présentant de nombreuses guillochures et traces de choc en coups d'ongle. Leur taille est généralement inférieure à 20 cm, mais peut atteindre localement 30 cm. Les graviers de chailles inférieurs à 10 cm sont émoussés, et souvent plus oxydés, mais ils sont moins roulés que les gros éléments. La nature lithologique de ces galets et graviers émoussés est extrêmement constante : chailles oxydées à très oxydées (ocre-miel à rouge lie-de-vin) pour les gros éléments. On y trouve aussi des nodules et graviers de minerai de fer émoussés de taille inférieure à 2 cm et quelques rares dragées de quartz de taille inférieure à 3 cm. La matrice, résiduelle également, est de nature variable : sable fin limoneux à argileux, limon argileux à sableux, argile plus ou moins silteuse, la teinte en est beige à ocre.

Ce conglomérat est remanié en contrebas des buttes qui le portent, constituant des colluvions sur les pentes. Ces colluvions se distinguent de l'unité en place par la présence de galets et graviers de chailles oxydés souvent cassés. Elles n'ont pas été représentées sur la carte, car elles sont très peu épaisses (moins de 50 cm en général).

Sur la feuille Decize, ce conglomérat recouvre systématiquement les argiles à chailles et est recouvert par des silex résiduels uniquement à Beaurenault (cf. *infra*). Nulle part n'ont été vus des silcrètes pédogénétiques formés aux dépens de ce conglomérat albien résiduel sur la feuille Decize. Sur la feuille Saint-Saulge au Nord, il est recouvert par des altérites à silex et oursins silicifiés crétacés résiduels en de plus nombreux endroits : butte de Grond, bois de Vastrasse et de Saint-Benin, bois des Méliers et il est affecté par les silcrètes pédogénétiques dans le bois des Méliers (Thiry *et al.*, 2005 ; Roger *et al.*, 2006).

Pour les auteurs de la feuille Nevers à 1/80 000, ces dépôts conglomératiques, qui forment un jalon parmi d'autres, trouvent leur source dans un ancien fleuve originaire du Haut-Nivernais que l'on peut suivre vers le Nord-Ouest. Ces auteurs attribuent ces faciès au « Ludien » (Priabonien), à un épisode post-dépôt des Marnes et calcaires lacustres du Nivernais. Or nulle part sur les feuilles Decize et Saint-Saulge, ce conglomérat n'a pu être observé au-dessus des calcaires et marnes lacustres paléogènes (cf. *infra*). Sur des éditions plus anciennes, ces dépôts étaient attribués au Sparnacien. Les résidus de Crétacé supérieur marin, coiffant les buttes de Grond, Beaurenault, bois de Vastrasse, bois de Saint-Benin et bois des Méliers découverts au cours des levés des feuilles Saint-Saulge et Decize, apportent des arguments stratigraphiques majeurs pour caler ce conglomérat (Thiry *et al.*, 2005 ; Roger *et al.*, 2006). Ils permettent en effet de l'attribuer à la transgression albienne et de démontrer la présence de deux profils d'altération superposés : altérites à chailles en dessous, très oxydées, et antérieures, altérites à silex au-dessus, peu à non oxydées, et postérieures (fig. 20).

Ce conglomérat est semblable à celui repéré sur la feuille Saint-Saulge, sauf qu'aucune lentille sableuse n'a pu être mise en évidence sur Decize, à cause probablement des mauvaises conditions d'affleurement. Les éléments du socle paléozoïque n'ont pas pu être mis en évidence sur Decize non plus, alors qu'on en trouvait au bois de Grond et dans le bois des Mèliers sur Saint-Saulge. Or sur la feuille Decize, ce conglomérat albien résiduel se situe à environ 5 km du horst de La Machine. Il est possible d'avancer l'hypothèse que ce horst était encore recouvert par le Trias et le Lias lors de l'arrivée de la mer albienne.

CÉNOZOÏQUE

Paléocène-Éocène inférieur

$\frac{RCs}{R_j}$. **Altérite de Crétacé supérieur : sable fin à moyen résiduel sur l'argile d'altération à chailles (silicites) du Crétacé inférieur (Paléocène-Éocène inférieur)**. Des sables fins à moyens silto-argileux passant à des limons finement sableux beige-ocre, accompagnés de pisolites et graviers centimétriques très émoussés d'oxyhydroxydes de fer, et de rares grains de quartz millimétriques très roulés, recouvrent les altérites à chailles au Nord-Ouest de la feuille Decize. Trouvés dans les bois de Forges et des Grands Boulats, dans les fossés et talus des chemins forestiers et plusieurs chablis, ils sont en continuité directe avec les affleurements repérés au Sud-Ouest de la feuille Saint-Saulge. Aucun indice n'a permis de préciser leur âge, si ce n'est l'oursin silicifié de Chabrolat, d'âge coniacien – santonien, (détermination Saucède *in* Roger *et al.*, 2006) trouvé dans une tranchée temporaire peu profonde au sein de ces sablons (X = 670,210 ; Y = 2 221,380) sur la feuille Saint-Saulge.

Sur Decize, les affleurements, même médiocres, sont plus riches en informations dans le bois des Grands Boulats. Un premier chablis au centre du bois a livré du sable fin à moyen de teinte beige, avec des grains de quartz bien émoussés et quelques graviers très émoussés d'oxyde de fer centimétriques. Plusieurs gros chablis ont livré au Nord-Est du même bois du minerai de fer en grains (granules de 1 à 7 mm) et en graviers très émoussés inférieurs à 4 cm, quelques éléments concrétionnés de grains de quartz millimétriques émoussés et de minerai de fer (grès roux albiens probables), une dragée de quartz de 3 cm et des graviers très émoussés de chailles très oxydées et épuisées, inférieurs à 7 cm (une atteignant 15 cm), le tout dans une matrice finement sableuse rougeâtre à ocre-rousse, localement plus argileuse. Ce matériel repose sur les altérites à chailles comme au Sud-Ouest de la feuille Saint-Saulge et constitue probablement le mélange de vestiges albiens et cénomaniens.

En l'absence de forages de reconnaissance ou de recherches plus approfondies, on ne peut qu'émettre l'hypothèse qu'il s'agit probablement de

Crétacé supérieur altéré dont le faciès originel était finement sableux et silteux (tuffeaux ?).

RS. Altérite à silex crétacés (Paléocène-Éocène inférieur). Lors des levers de la feuille Saint-Saulge immédiatement au Nord de celle de Decize (Roger *et al.*, 2006), plusieurs oursins silicifiés et silex résiduels ont été découverts dans les profils d'altérites à silex coiffant le conglomérat de base albien à dragées de quartz et galets de chailles oxydées. Ces oursins et silex ont été datés dans l'intervalle Cénomaniens – Campanien inférieur, et rapportés à des faciès de craie. Les foraminifères présents dans les silex indiquent un milieu de dépôt originel circalittoral à épibathyal (Bourdillon *in* Roger *et al.*, 2006). Ils attestent de la présence de la mer avec une tranche d'eau non négligeable jusque tard dans le Crétacé supérieur.

Sur Decize, malgré des recherches attentives, seuls deux affleurements ont livré des silex :

– le premier, au Nord-Est de la feuille, sur le replat au sommet de la butte de Beurenault, à environ 6 km au Sud de la butte de Grond (feuille Saint-Saulge) où un silex d'âge turonien supérieur à coniacien et un oursin silicifié (*Micraster*) avaient été trouvés (Roger *et al.*, 2006) ;

– le second, au Nord-Ouest de la feuille, sur le replat au sommet de la butte de Dienne, à 3 km au Nord-Est d'Imphy, isolé parmi les dalles résiduelles de meulière. La microfaune identifiable est très rare dans tous les silex étudiés car très recristallisée. Seules les espèces de foraminifères aux tests les plus massifs ont été conservées, formes qui ne sont pas forcément les plus intéressantes pour des calages biostratigraphiques précis. Et comme en complément les ornements y sont presque totalement dissoutes, les déterminations spécifiques sont complexes voire impossibles. Toutefois, grâce à la présence de quelques moules internes ayant pu être identifiés, une attribution Campano-Maastrichtien est proposée. La présence de Campanien terminal ou de Maastrichtien inférieur est même probable (C. Bourdillon, ERADATA, 2010). Il est toutefois très difficile de déduire une biozonation fine des analyses de microfossiles aussi rares et aussi mal préservés, la distinction entre le Campanien supérieur et le Maastrichtien inférieur restant impossible.

En outre, deux lambeaux de résidus à silex ont été prospectés dans le cadre du lever de la feuille Decize un peu plus au Nord, afin de vérifier l'âge des silex et d'élargir le nombre de témoins de l'extension du domaine marin au Crétacé supérieur. La butte de Sainte-Colombe-des-Bois et l'affleurement de La Celle-sur-Nièvre (feuille la Charité-sur-Loire) ont ainsi livré des silex d'âge Santonien élevé à Campano-Maastrichtien et Campano-Maastrichtien respectivement (C. Bourdillon, ERADATA, 2010). Ces témoins confirment les découvertes faites au cours des levers des feuilles Saint-Saulge et Decize.

Les altérites à silex crétacés ont probablement existé plus largement sur la feuille Decize, mais elles auraient été plus intensément érodées que sur la feuille Saint-Saulge, où elles sont conservées localement sur plusieurs mètres, grâce à de grandes poches karstiques, mais aussi souvent piégées dans des dièdres de failles ou encore préservées dans les silcrètes pédogéniques. Les altérites à silex crétacés sont également bien moins développées en épaisseur et en extension dans le Nivernais qu'au Nord-Ouest ou au Sud du bassin de Paris (Quesnel, 1997 ; Thiry et Simon-Coinçon, 1996 ; Quesnel *et al.*, 2007) ou même dans les côtes chalonaises ou mâconnaises (Collenot, 1876 ; Martin, 1876 ; Rat, 1968 ; Quesnel, données inédites). À notre connaissance, mis à part quelques silex résiduels d'âge turonien moyen récoltés au Nord de la feuille Prémery (Lablanche et Delfour, 1998), et les témoins de Sainte-Colombe et de La Celle-sur-Nièvre, elles étaient passées totalement inaperçues jusqu'ici dans le Nivernais, en général, et sur les feuilles Saint-Saulge et Decize, en particulier.

La présence de ces altérites à silex en Nivernais au-dessus des conglomérats albiens résiduels à galets de chailles oxydées implique que les altérites à chailles sont antérieures et ont été submergées par la mer de la craie, au Crétacé supérieur (fig. 20), mer dont les dépôts ont été à leur tour profondément altérés pendant le Paléogène inférieur et finalement conservés à l'état de lambeaux résiduels à la faveur de leur silicification ultérieure (fig. 22 ; modifiée d'après Thiry *et al.*, 2006).

Ces données sont également cohérentes avec les résultats des analyses thermochronologiques par trace de fission dans les apatites réalisées sur les granites du Morvan et du Nord du Massif central, voisins du Nivernais respectivement à l'Est et à l'Ouest. Ces travaux indiquent en effet un paléorecouvrement sédimentaire (craie probable) d'environ 1 000 m sur le Morvan (Barbarand, 2003 ; Barbarand *et al.*, 2004) et 800 m sur le plateau d'Aigurande (granite de Vesdun, Barbarand *in* Quesnel *et al.*, 2009).

e3-4. Silcrète pédogénique (Éocène inférieur).

e3-4
Rj : Silcrète pédogénique sur argile d'altération à chailles (silicites) du Crétacé inférieur (Éocène inférieur). Ces silicifications n'ont été repérés qu'au Nord-Ouest de la feuille Decize, au-dessus et aux dépens des altérites à chailles, de leurs paléosols ferrallitiques ou de sédiments crétacés (albiens résiduels supposés). Contrairement à la feuille Saint-Saulge, aucun affleurement de silcrète n'a été trouvé à l'Est de Decize. Malgré des affleurements de pierre qualité là encore, les silcrètes couvrent de plus vastes surfaces, mais présentent des faciès moins variés que sur la feuille Saint-Saulge.

Le plus bel affleurement se trouve au Sud de la Sardolle, en bordure de la petite route entre le village de Sardolles et le Mont de Prye, depuis un petit front de carrière (rafraîchi lors des levers en avril 2009) dont la base se situe à environ

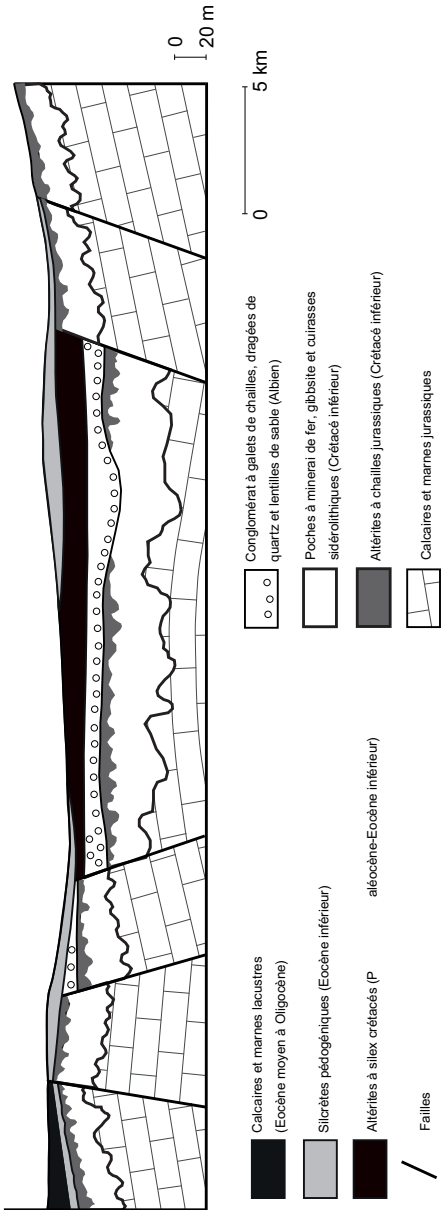


Fig.22 - Schéma des relations stratigraphiques entre les différentes paléaltérites et formations résiduelles du Sud-Est du bassin de Paris (Nivernais). Le conglomérat à galets de chailles présent sous les altérites à silix montre que les altérites à chailles se sont formées avant la transgression albienne. Les silicrètes pédologiques ont permis la préservation des altérites à silix et scellent le jeu des failles ayant mis au contact localement les altérites à chailles, le conglomérat albien résiduel et les altérites à silix

205 m, jusqu'au sommet de la butte à environ 225 m. Le petit front de taille en bas expose sur 4 m de hauteur un profil silicifié d'altérites à chailles jurassiques formé de 4 bancs subcontinus en place de chailles de 10 à 35 cm d'épaisseur, très oxydées et blanchies sur les bords (cortex d'altération), le banc de base étant plus épais. Ces bancs sont séparés par une matrice ocre-rousse à écru-beige, d'aspect argileux, plus ou moins cimentée en lentilles de 5 m de largeur pour 1 m de hauteur. De nombreux oursins silicifiés résiduels sont présents dans les bancs de chailles et dans la matrice, en dehors des bancs. La texture de ces lentilles est noduleuse, semblable à celle d'un calcrète, mais ne fait pas effervescence à l'acide chlorydrique. Le matériel des lentilles est plus ou moins cohésif, cimenté par un matériel blanc-écru, probablement siliceux (opale ?). Ces lentilles présentent un débit colonnaire et leur sommet est arrondi. Des fentes subverticales et planes horizontales à courbes sont en outre présentes au sein du profil, de même que des nodules rouges nombreux (empâtés dans le matériel blanc siliceux supposé) et des illuviations très nettes.

Ces différents éléments indiquent en premier lieu une altération d'origine supergène, avec dissolution des carbonates initialement présents entre les bancs de chailles, et formation d'altérites à chailles comparables à toutes celles du Nivernais attribuées au Crétacé inférieur (cf. *supra*). Les roches mères originelles étaient probablement des marnes, et la dissolution a simplement induit un tassement du profil sur place, sans démantèlement des bancs de chailles. Le débit colonnaire des lentilles, les fentes, nodules et illuviations évoquent une structuration d'origine pédologique, mais cette dernière est interstratifiée entre les bancs de chailles oxydées préservés en place, ce qui peut paraître paradoxal, les structures pédologiques effaçant généralement les structures originelles des roches. Pour expliquer la genèse de cette paléoaltération singulière, on peut invoquer une percolation de fluides météoriques dans le profil d'altérites à chailles préexistant, amenant les particules fines et induisant leur illuviation dans les pores et les fentes, tandis que la silice (issue de la dissolution des chailles à l'amont) a précipité sous forme de gel lors de la saturation des fluides par évaporation.

En outre, au sommet de la butte, vers 220 à 225 m, culminent des dalles et blocs de silcrète en place, comportant :

- une matrice silicifiée ocre-miel à mastic, et des nodules intraformationnels ;
- des graviers anguleux peu émoussés de chailles jurassiques très oxydées ;
- des concrétions d'oxyde de fer, inférieures à 7 cm ;
- des nodules et pisolites d'oxyde de fer, inférieurs à 2 cm ;
- des fentes et tubules tapissés de silice blanchâtre.

Ces silcrètes montrent un débit colonnaire (sommet arrondi), des fentes, des illuviations, des coiffes sur les chailles, graviers et nodules, et des traces tubulaires avec halo blanchi (traces de racines ?). En outre, on trouve des

éléments de chailles et graviers avec coiffes et les silcrètes sont de plus en plus noduleux en montant sur la butte.

Il s'agit là d'un silcrète d'origine pédologique, qui complète vers le haut la coupe exposée en contrebas de 205 à 210 m avec les lentilles silicifiées. Le sommet du silcrète est plus noduleux, il se démantèle chimiquement de façon progressive, comme dans les silcrètes pédogéniques classiquement décrits (Thiry, 1999). La totalité du profil silicifié atteint ici quasiment 20 m, ampleur rarement décrite pour ce type de paléosols siliceux en Europe.

De tels silcrètes pédogéniques formés aux dépens des altérites à chailles et minerais de fer « sidérolithiques » et à débit colonnaire à noduleux (faciès sommitaux) arment également l'interfluve étroit entre l'Ixeure et le château de Curty. Ils ont été retrouvés à proximité au sommet des bois de Chiffort et de Riat (au Sud des Grappes), de part et d'autre du compartiment affaissé rempli de formations lacustres éocène supérieur à oligocène. Les dalles et blocs y sont résiduels et les nodules siliceux et éléments de chailles avec coiffes ne sont pas rares dans les chablis. On en retrouve encore, mais les dalles sont plus sporadiques, au sommet de la butte à l'Ouest de Prye, du bois de la Jamosse et en forêt domaniale de Sardolle-Cigogne. Ils sont enfin présents sous les altérites à meulière des bois de Landre et des Usages d'Imphy.

Ces faciès de silcrètes pédologiques formés sur les altérites à chailles et minerais de fer sont peu présents sur la feuille Saint-Saulge. Les silcrètes qui y sont décrits (Thiry *et al.*, 2005) sont de plusieurs types :

- grès quartzites lustrés, presque entièrement dépourvus d'éléments de chailles ou de silex, avec nombreuses illuviations siliceuses, riches en oxydes de titane ;
- silcrètes colonnaires, à grains de quartz arrondis et corrodés flottant dans une matrice siliceuse à illuviations emboîtées, dragées de quartz souvent accumulées dans les fentes illuviées ;
- brèches de silex crétacés éclatés, avec matrice gréseuse gris-beige à mastic, illuviations et coiffes sur les silex ;
- brèches comparables mais comportant des chailles jurassiques et des silex crétacés.

Il apparaît ainsi à l'échelle du Nivernais que les paléosols siliceux ont affecté les matériaux à disposition sur la paléosurface continentale « éocène » en cours de façonnement (fig. 22) : les altérites à chailles, plus ou moins riches en minerais de fer et gibbsite, le conglomérat albien résiduel à dragées de quartz et galets de chailles oxydées, les altérites à silex, et un mélange des trois faciès. La paléosurface concernée s'est donc élaborée après une ou plusieurs déformations, mettant à l'affleurement ces différentes paléoaltérites et sédiments meubles. Son façonnement n'a pu commencer qu'après la genèse des altérites à silex (Paléocène probable), et s'est accompagné d'une intense érosion physique et

chimique. Les silcrètes pédogéniques qui la marquent sont localement scellés par des altérites à meulière, ces dernières résultant de l'altération des formations lacustres. Ces calcaires et marnes lacustres se sont donc déposés au-dessus et postérieurement à la formation de ces silcrètes pédogéniques, lors de l'affaissement du bâti structural, les lacs envahissant des cuvettes dans des paysages aux reliefs bien plus faibles. Les premiers calcaires lacustres du Nivernais étant d'âge Lutétien (cf. *infra*), il en résulte que ces silcrètes pédogéniques se sont formés avant le Lutétien, et sont probablement d'âge Éocène inférieur, comme en de nombreux autres secteurs du bassin de Paris et de ses bordures (Beauce, Chartrain, Gâtinais, Sancerrois, confins de la Brie et de la Champagne, Remarde, Touraine et Blésois, Anjou, Bretagne...Auge mosellane, etc.).

β. Basalte doléritique en dyke (Paléocène-Éocène). La présence de petits pointements volcaniques anté-oligocènes recoupant les formations mésozoïques, dans le domaine péri-alpin (Wyns, 1999) et notamment au Sud du bassin de Paris (feuille Charolles, Donzeau *et al.*, 2006) est maintenant bien établie.

Un seul affleurement de ce type a été relevé sur le périmètre de la feuille Decize, au Nord-Ouest de Champvert (X = 688,95 ; Y = 2 205,55), dans un secteur constitué par un substratum sinémurien. Il consiste en un petit épandage de blocs de basalte *s.l.*, dispersés en surface du champ, et pouvant correspondre à un neck ou un dyke.

Cet affleurement découvert dans le cadre du levé de la carte a donné lieu à l'étude pétrographique d'un échantillon, étude réalisée par P. Nehlig (BRGM). La roche montre une texture microlitique porphyrique. Les phénocristaux (20 % de la roche) sont essentiellement constitués de plagioclases automorphes (2 mm long) et zonés avec une bordure albitique et un cœur séricitisé et accessoirement de clinopyroxènes plus ou moins altérés. Le liant est constitué par une mésostase à très abondants microlites de plagioclases, des oxydes ferro-titanés et des éléments rouille correspondant à d'anciennes olivines iddingsitisées. La texture est celle d'une roche hypovolcanique, compatible avec une mise en place sous forme de neck ou dyke.

Par analogie avec d'autres basaltes reconnus dans la partie nord-est du Massif central, on peut attribuer à ce basalte un âge Paléocène-Éocène.

Éocène moyen-supérieur à Miocène

En contrecoups de la relaxation des contraintes imposées par l'Orogenèse alpine, plusieurs petits bassins subsidents vont s'ouvrir dès la fin de l'Éocène moyen et jusqu'au début du Miocène. Cette tectonique

distensive signe la fin de la grande période d'émersion paléogène (marquée par la formation d'altérites) et se traduit par l'enneigement des zones les plus effondrées, où se dépose une sédimentation marno-carbonatée, d'affinité lacustre en Nivernais et dans les Limagnes. Ce processus est manifestement polyphasé puisque la compilation régionale des datations obtenues pour les bassins tertiaires indique une large palette d'âge :

- Lutétien : marnes et calcaires lacustres du Sauvage (Lablanche et Delfour, 1998 ; feuille Prémery) ;
- « Ludien » (Priabonien) : marnes et calcaires lacustres du Nivernais (Dagincourt *et al.*, 1888 ; feuille Saint-Pierre) ; l'âge de ces dépôts peut être étendu au Rupélien (Delance *et al.*, 1988 ; feuille Nevers),
- « Stampien » (Rupélien) (Dagincourt *et al.*, 1888 ; feuille Saint-Pierre) ;
- Oligocène supérieur (Chattien) : Miocène inférieur (Aquitaniens) (Clozier *et al.*, 1982 ; feuille Dornes).

Ces dépôts présentent dans la moitié nord-ouest de la feuille de Decize, un caractère marginal et, fortement érodés, ont été conservés dans des structures souvent peu étendues, postérieurement effondrées. Au Sud et à l'Est de Decize, les dépôts marno-carbonatés tertiaires prennent de l'extension et dessinent un vaste bassin effondré (Nord et Est du « bassin de Moulins », Clozier *et al.*, 1982), particulièrement bien exposé sur les feuilles de Dornes, Fours et Bourbon-Lancy. Seuls les termes les plus supérieurs de la série tertiaire, donc les plus récents, sont connus à l'affleurement. Ce bassin a postérieurement été comblé par les Sables et argiles du Bourbonnais qui forment la couverture des marnes et calcaires lacustres.

Suivant l'usage, nous avons distingué cartographiquement ces deux types de dépôt : les premiers, les plus anciens : (Lutétien)-Priabonien-Rupélien (e7-g1), observés en couverture des terrains jurassiques et les seconds, plus récents : Oligocène supérieur à Aquitaniens (g2-m1), développés au sommet de la série tertiaire, au Sud-Est de la feuille. Il n'est pas exclu, en l'absence de datations précises, que l'âge de ces deux unités lithostratigraphiques se superpose partiellement.

e7-g1. Marnes et calcaires lacustres du Nivernais (Priabonien à Rupélien). Les faciès rapportés à la Formation des Marnes et calcaires lacustres du Nivernais se présentent sous forme de petits affleurements discontinus, pris dans des lanières tectoniques effondrées, en contact par faille avec les dépôts jurassiques. Ils viennent en couverture des terrains jurassiques. À l'affleurement, seuls les faciès carbonatés, les plus résistants à l'érosion, sont observables, principalement quand ils sont recouverts par des travaux d'aménagement.

Ils affleurent ainsi dans un panneau effondré (Forge) localisé dans le coin nord-ouest de la feuille, à l'intersection des feuilles Nevers – Saint-Saulge –

Decize – Sancoins. On peut observer ces faciès, coincés à l'Est contre le Callovien, au Sud de Charbonnières (X = 668,70 ; Y = 2 218,40), entaillés par le tracé de la RN79. Les calcaires affleurent sur une puissance de 3 m, montrant un faciès micritique blanc, mal stratifié, présentant des encroûtements algaires, des traces de racines et de rares empreintes de gastéropodes. Ces calcaires sont abruptement limités à leur sommet par une surface d'érosion sur laquelle sont plaqués des sables quartzeux rouille-brun rapportés aux Sables et argiles du Bourbonnais. Le calcaire est meuliérisé à son toit et a été affecté par des processus karstiques, dont on retrouve la trace sous forme d'un conduit karstique à remplissage par le sable sus-jacent, associant quelques pisolithes ferrugineux.

Au Sud-Ouest de la feuille, ces faciès constituent le substratum des Sables et argiles du Bourbonnais dans le panneau effondré des Bruyères Radon. S'ils n'affleurent pas sur la feuille de Decize, on peut cependant les observer sur la feuille voisine de Sancoins, au Sud de Saint-Parize-le-Châtel. Ces dépôts comblent un fossé effondré, limité par deux failles subméridiennes (NNE-SSW), la faille de Saint-Parize-le-Châtel, à l'Ouest et la faille de Luthenay-Uxeloup, à l'Est. Le fossé se prolonge au Sud dans la forêt de Chabet (feuille Lurcy-Lévis). Les faciès exposés en bord de vallon, au Sud du moulin de Cougny (Clozier *et al.*, 1982) ont montré une succession faite de calcaires à Limnées surmontés par des marnes vertes à gros quartz. Les dépôts calcaires interceptés en sondage sur la feuille Lurcy-Lévis (Fleury *et al.*, 1989) n'ont fourni aucun fossile.

On retrouve encore ces faciès, sur le flanc occidental du horst de La Machine, dans deux lanières tectoniques, l'une centrée sur La Fermeté – Le Port-des-Bois et l'autre localisée au Nord de Béard. Dans le panneau le plus oriental, les calcaires lacustres affleurent au sommet des buttes, venant en couverture des terrains bajociens, bathoniens ou calloviens (notamment à Prye), fortement structurés. En surface de champ, au Sud-Est d'Imphy, près de la ferme les Perdriats (X = 675,05 ; Y = 2 213,45), ou encore de celle de Chez Dureau (X = 673,95 ; Y = 2 211,90), les calcaires présentent souvent des silicifications.

Ces faciès arment la côte au Nord de Béard sous les Sables et argiles du Bourbonnais qui coiffent la butte. Dans la côte, le calcaire micritique montre un faciès vacuolaire avec des horizons silicifiés. Les auteurs de la carte de Saint-Pierre y ont trouvé des oogones de charophytes (*Chara* sp.) associés à des gastéropodes d'eau douce (Limnées et Planorbes). Dans le cadre du levé de la carte, les calcaires micritiques observés au Sud-Est de Béard (X = 676,15 ; Y = 2 207,10) ont livré de fréquents petits gastéropodes : Planorbes et Potamides.

Plus au Nord (X = 676,05 ; Y = 2 207,25), dans la tranchée de la route, plus haut stratigraphiquement, les faciès affichent un caractère plus marneux blanc verdâtre, avant de redevenir calcaires, avec des silicifications, en sommet de série.

On assimilera à cette unité lithostratigraphique les dépôts marmo-calcaires, accessoirement sableux, exposés dans le coin nord-est de la feuille, au Sud de Ferrière, et rapportés à l'unité notée *e-g* sur la feuille voisine de Fours (Delfour *et al.*, 1992). Ces faciès résiduels, exposés en sommet de plateau, épais au maximum d'une dizaine de mètres, viennent directement transgresser le substratum liasique. Interprétés comme des dépôts lacustres, ces faciès n'ont pas pu être datés.

Les auteurs de la notice de la feuille Saint-Pierre citent la présence, à Béard, d'une riche association de gastéropodes (*Limnaea ostrogallina*, *L. durandi*, *Planorbis praelandonensis*, *Pl. goniobasis* et *Pl. vasseuri*) à laquelle ils attribuent un âge « ludien » (Priabonien).

Cet âge est cohérent avec celui des dépôts lacustres décrits dans le bassin de Coulevre par R. Fleury (Fleury *et al.*, 1989 ; feuille Lurcy-Lévis). Ceux-ci ont en effet montré, à la base de la série, des marmo-calcaires avec une riche faune de gastéropodes et aussi des charophytes, tous d'affinité « ludienne » (Ludien supérieur), qui passent vers le haut à des calcaires à gastéropodes (dont *Potamides lamarki*) et charophytes typiques du « Stampien » inférieur.

Malgré la pauvreté des datations recueillies sur la feuille de Decize, il semble donc justifié d'attribuer à ces faciès lacustres un âge Priabonien à Rupélien.

g2m1. Sables argileux, argiles et marnes vertes à blanches, calcaire gréseux (Chattien à Aquitanien). Ces faciès affleurent largement au sud, sud-est et est de Decize, en plateau, sous les Sables et argiles du Bourbonnais, dans un secteur effondré traversé par la Loire et son affluent la rivière Aron. Ils constituent la terminaison nord-ouest des dépôts marmo-carbonatés largement exposés sur les feuilles de Dornes, Fours et Bourbon-Lancy.

Ces faciès, à dominante marmo-calcaire, arment la côte qui domine en rive droite, l'Aron (région de Champvert et Verneuil) et la Loire (région du Village de Brain et Devay).

Ils sont limités vers le Nord-Ouest par un réseau de grands accidents qui effondrent la série méridionale tertiaire. Le caractère marmo-carbonaté des dépôts rend difficile l'observation à l'affleurement des faciès plus argileux. En surface de champ, seuls les faciès de calcaire blanc, parfois silicifiés, sont exposés.

Au Nord-Est de Verneuil (Le Barbier), la série tertiaire est puissante (plus de 60 m), affleurant dans les flancs et au sommet des buttes (altitude 225 m) sous un faciès marmo-calcaire, un peu sableux, où on reconnaît des bancs de calcaire blanc. Dans le même secteur, la base de la série a été recoupée en sondage (S97ter), depuis le fond de vallée, sur une puissance de 17 m. Les faciès

affichent un caractère terrigène où les sables quartzo-feldspathiques dominent, avec un grain fin à grossier et une matrice argileuse non carbonatée. Ces faciès recoupés seulement en sondage, n'affleurent pas sur la feuille de Decize où ils constituent la semelle terrigène des marno-calcaires précédents. J. Delfour *et al.* (1992) notent leur développement à l'Est de Cercy-la-Tour, en bordure du socle (feuille Fours).

Les travaux de reconnaissance réalisés en 1981, dans la région de Devay, pour la recherche de charbon, ont permis de reconnaître cette série. Recoupés au moyen de plusieurs sondages carottés, sur une puissance voisine d'une centaine de mètres (90 m dans le sondage DYA, Bois *et al.*, 1982 ; X = 692,715 ; Y = 2 201,800), ces dépôts apparaissent monotones (fig. 23) principalement marneux, plus riches en fraction sableuse à la base, plus pauvre en terrigènes et plus carbonatés au sommet. Ils coiffent une petite semelle argileuse (12 m) remaniant des galets siliceux (quartzite) et enrichie en produits d'altération remaniés (gravillons ferrugineux noirs) ; cette semelle vient reposer directement sur la série liasique (Domérien inférieur argileux) tronquée à son sommet.

Ces dépôts fluvio-lacustres à lacustres n'ont pas livré de faune index. Cependant, sur la base de la découverte, déjà ancienne (XIX^e siècle), de débris de mammifères (*Anthracotherium*, *Acerotherium* et *Cainotherium*) trouvés à Brain, près de Decize, les auteurs de la notice de la feuille de Saint-Pierre ont attribué à ces dépôts un âge « Stampien ». S'appuyant sur des considérations régionales, les mêmes auteurs suggèrent un âge aquitainien pour les marno-calcaires de la région de Verneuil.

Depuis le levé des feuilles à 1/50 000 de Dornes (Clozier *et al.*, 1982), Bourbon-Lancy (Delfour *et al.*, 1990) et Fours (Delfour *et al.*, 1992), ces travaux ont permis de mieux préciser l'âge de ces dépôts. Par comparaison avec le bassin de Moulins où la série lacustre tertiaire, puissante et bien étudiée, couvre l'intervalle Priabonien-Aquitainien, et aussi grâce à quelques arguments tirés d'études palynologiques, L. Clozier attribue à ces dépôts fluvio-lacustres un âge Oligocène supérieur (Chattien) à Miocène inférieur (Aquitainien).

SM. **Altérite à meulière** (*SM*? : **Altérite à meulière supposée**).

$\frac{SM_{e3-4}}{R_j}$. **Altérite à meulière sur silcrète pédogénique sur argile d'altération à chailles (silicites) du Crétacé inférieur.**

$\frac{SM}{R_j}$. **Altérite à meulière sur argile d'altération à chailles (silicites) du Crétacé inférieur.**

▲*RM*. **Bloc de Meulière résiduelle développée aux dépens des calcaires lacustres éocènes.** Ces altérites développées au dépens des calcaires et marnes lacustres, étaient jusqu'ici très peu reconnues en Nivernais ;

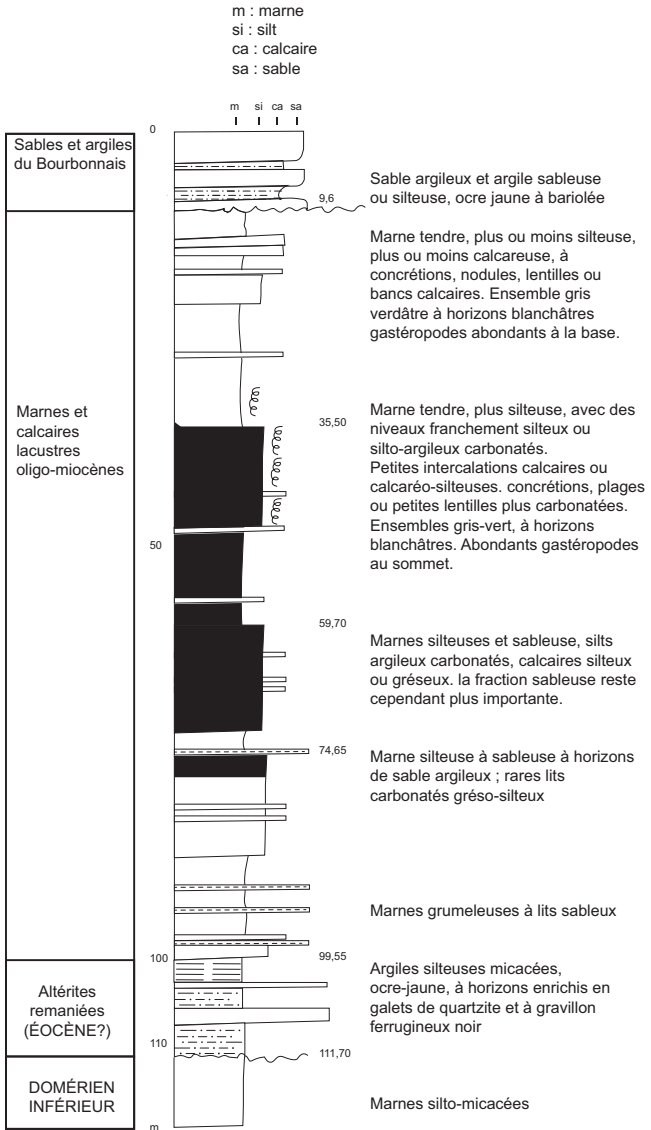


Fig. 23 - Log de la série tertiaire du sondage DYA de Devay
(Bois *et al.*, 1982)

elles affleurent sous forme de dalles plurimétriques et blocs résiduels inframétriques dans une matrice argileuse, au sommet de plusieurs plateaux et buttes de la feuille Decize. Malgré la piètre qualité des affleurements, elles couvrent des surfaces non négligeables :

– dans le coin nord-ouest de la feuille, en continuité avec celles décelées sur la feuille Saint-Saulge, au sommet de marnes et calcaires lacustres éocènes-oligocènes, et sous les Sables et argiles du Bourbonnais ;

– au Sud du ruisseau du Magny (et de Sauvigny-les-Bois) dans les bois du Mont Dessend, au-dessus des altérites à chailles jurassiques et en partie sous les Sables et argiles du Bourbonnais ;

– dans les bois des Usages d’Imphy et de Landre, sur deux plateaux séparés par failles et allongés en NNE-SSW, au-dessus des profils très évolués d’altérites à chailles, couronnés par les minerais de fer et les silcrètes pédologiques ;

– sur une bande longue d’environ 8 km, entre la Fermeté et le port des Bois-Saint-Ouen-sur-Loire, orientée N-S à NNE-SSW et séparée des compartiments voisins par failles, au-dessus des calcaires et marnes lacustres éocènes-oligocènes et sous les Sables et argiles du Bourbonnais dans une large zone centrale, et débordant sur les altérites à chailles au Nord et au Sud ;

– sur une bande orientée NNE-SSW entre les Goulaines et Béard, au-dessus des calcaires et marnes lacustres éocènes-oligocènes, et sous les Sables et argiles du Bourbonnais dans le bois de Béard, entre les Chaluères, les Usages et Sauvry ;

– au Sud-Est de la feuille, dans le compartiment effondré par failles au Nord immédiat de la Loire, sous les Sables et argiles du Bourbonnais et au-dessus des calcaires et marnes lacustres oligo-miocènes, dans les bois au Nord de Champvert, une partie de la forêt de Vanzé, le tiers oriental des bois d’Avril, les buttes de part et d’autre du ruisseau de la Senelle.

Les faciès des meulières observés y sont variables :

– calcaires lacustres (micritiques) silicifiés en masse et de teinte blanc écru à beige (meulière compacte), présentant parfois des petits trous inférieurs à 5 mm (oogones de charophytes dissoutes ?), des traces de racines et radicules noires, voire des moules externes de gastéropodes ;

– meulières à pâte compacte et débit planaire, écru-beige à ocre-miel, indiquant un processus de silicification par des nappes phréatiques dans des zones basses des paysages ;

– meulières cavernieuses, souvent de teinte ocre-miel à beige rosé, présentant des illuviations et plusieurs phases de silicification, des cavités diversement « persillées » et tapissées d’argile rouge et d’oxydes ferro-manganiques, rarement par de petites concrétions d’oxydes de Mn noirs, indiquant des processus de dissolution et reprécipitation de la silice.



Fig. 24 - Carte d'affleurement des Sables et argiles du Bourbonnais et réseau fluviatile actuel (compilation des données de la Carte géologique de la France à 1/50 000)

La matrice qui emballe les meulière est la plupart du temps argileuse et plastique, souvent bariolée (beige-gris clair à ocre-rouge-brique), indiquant des paléosols de type pseudogley, parfois gris-vert à kaki dans les faciès moins oxydés. Elle est souvent enrichie en silt, sable fin ou sable à grain grossier provenant des Sables et argiles du Bourbonnais sus-jacents.

Ces faciès d'altérites à meulière sont similaires à celles étudiées dans le bassin de Paris (Ménillet, 1993).

Les meulière résultent d'abord de la silicification (épigénie siliceuse) des calcaires lacustres éocènes à miocènes. Secondairement, des processus complexes de dissolution des carbonates et de dissolution-reprécipitation de la silice ont engendré les altérites à meulière. La matrice argileuse provient de l'insoluble des roches mères lacustres, et notamment des marnes. Au sommet des profils, une part de la matrice de ces altérites provient des Sables et argiles du Bourbonnais, formation meuble sous la couverture perméable de laquelle a opéré l'altération. Ces observations suggèrent que les altérites à meulière se sont formées après le dépôt des Sables et argiles du Bourbonnais, soit après le Pliocène supérieur. Toutefois, des clastes de meulière bien roulés ont été observés à la base de certaines unités graveleuses résiduelles des Sables et argiles du Bourbonnais sur la feuille Decize, indiquant que l'altération des formations lacustres antérieures avait pu commencer avant le dépôt de ces sédiments fluvio-lacustres.

Pliocène

FL. Formation des Sables et argiles du Bourbonnais : sables grossiers, sables argileux et argiles sableuses (Pliocène supérieur).

FL FL FL FL
RtA, Ri, Rj et *SM*. **Formation des Sables et argiles du Bourbonnais sur substrat identifié.** Connus initialement sous l'appellation de « Sables à cailloux du Bourbonnais » (de Launay, 1923), ces dépôts ont été renommés par A. (de) Grossouvre (1886) en « Sables et argiles du Bourbonnais », dont l'appellation a ensuite été reprise par les auteurs de la feuille de Saint-Pierre (1888). Cette formation terrigène couvre un vaste secteur comprenant les Limagnes (Limagnes d'Auvergne et Limagne bourbonnaise), la Sologne bourbonnaise et les confins méridionaux du Berry et du Nivernais (Fossé de la Loire, à l'amont de La Charité-sur-Loire) (Tourenq, 1989) (fig. 24). Venant coiffer les dépôts lacustres fini-paléogènes, cette formation a été précocement attribuée au Mio-Pliocène. Reconnue d'affinité continentale, elle présente une organisation complexe et des faciès variés, depuis des graviers et des sables graveleux jusqu'à des argiles. Ces dépôts sont disposés en nappes perchées par rapport aux principaux cours d'eau actuels (Allier et Loire).

Avec l'appui de sondages, les levés des cartes géologiques réalisés dans le début des années 1980, ont montré le caractère fluvio-lacustre de ces dépôts et leur organisation selon deux séquences sédimentaires granodécroissantes formées de plusieurs formations distinguées sur une base lithostratigraphique. Dans la notice de la feuille Dornes, L. Clozier (Clozier *et al.*, 1982 ; Clozier et Gros, 1985) en propose la coupe synthétique, au sein de laquelle il reconnaît, de haut en bas :

- des argiles sommitales ;
- des sables grossiers quartzo-feldspathiques, à galets, passant à des sables argileux alternant avec des argiles ;
- une série fine composée de sables fins, silts et argiles ;
- une formation sableuse basale, à galets.

Sur la feuille Decize, qui jouxte par le Sud la feuille Dornes, ces dépôts sont cantonnés au coin sud-ouest de la feuille et à sa bordure sud, en rive gauche de la Loire et aussi de son affluent l'Aron.

Dans l'Ouest de la feuille, les reliefs sont peu vigoureux (culminant un peu au-dessus de 200 m d'altitude) et empâtés par des épandages sableux d'épaisseur variable (au moins 5 m de puissance). La toponymie reflète le caractère sableux des sols, à l'exemple des Bruyères Radon. En sondage, on a pu observer que sous une fine couche d'argile sableuse d'altération, ces dépôts sont composés de sables quartzo-feldspathiques et argileux, plutôt grossiers, avec une fraction variable de petits galets (diamètre inférieur à 2 cm) de quartz, grès et silex. Ils se raccordent vers l'Ouest aux « Sables et argiles de Saint-Parize » de la feuille de Sancoins (Clozier *et al.*, 1983) et viennent coiffer des dépôts triasico-liasiques, notamment visibles dans la vallée incisée de la rivière la Colâtre. La forte structuration de la région, marquée par le horst de Neuville-lès-Decize et sa bordure septentrionale effondrée, peut expliquer le caractère localement résiduel de ces sables et leur forte variation latérale de puissance.

À l'Est d'Avril-sur-Loire et au Sud de la rivière Aron, ces épandages sableux forment des plateaux et sont relevés à des altitudes de 210-230 m, dominant le cours actuel de la Loire et de l'Aron de plus de 30 m. Par rapport à leur extension occidentale, ils s'épaississent vers le Sud-Est de la carte, là où ils viennent recouvrir le soubassement argilo-calcaire fini-Paléogène, participant ainsi au comblement des fossés tertiaires effondrés. Plusieurs sondages creusés jusqu'au toit des marnes lacustres les ont traversés, montrant que leur puissance peut atteindre 10-15 m (Sud du château de Marcy, ferme Bourgeon), exceptionnellement une vingtaine de mètres (au Sud-Est des Arbelats). Ces faciès témoignent d'une grande variabilité verticale, passant de faciès conglomératiques fins (à galets de quartz et silex d'un diamètre inférieur à 3 cm), à des sables, souvent grossiers, entrecoupés d'horizons argileux plastiques. Ils dessinent au total une séquence granodécroissante, sablo-

conglomératique à la base, de plus en plus argileuse, vers le haut (S149 : X = 695,90 ; Y = 2 203,60). La fraction sableuse a montré une composition quartzofeldspathique, les galets, une composition siliceuse (silex et quartz). Les argiles sont plastiques et de couleur généralement grise. Deux échantillons de bois carbonisé ont été trouvés dans les sables basaux (sondage S144 du bois de Faye : X = 689,25 ; Y = 2 202,70 et sondage S148 de la ferme de la Foire de Brain : X = 693,75 ; Y = 2 204,00).

Au Nord de la rivière Aron, dans le sondage 102 du bois de Vanzé, un niveau argileux noir (quelques décimètres d'épaisseur) riche en matière organique vient entrecouper les sables argileux grossiers.

La coupe idéalisée des Sables et argiles du Bourbonnais a été définie par L. Clozier (Clozier *et al.*, 1982) et ensuite finalisée par J. Tourenq (1989). Trois ensembles principaux ont été ainsi reconnus, dessinant deux séquences principales granodécroissantes :

- les Sables supérieurs : sables plus ou moins argileux, fins à très grossiers, généralement sans galet ;
- les Argiles noires : niveau repère formé de silts et d'argiles silteuses versicolores, avec un niveau à débris de bois fossiles ;
- les Sables inférieurs : sables grossiers à fins, à cordons de galets de quartz et de silex.

Comme sur la feuille Fours (Delfour *et al.*, 1992), les faciès exposés sur la feuille Decize sont rapportés à la séquence basale des Sables et argiles du Bourbonnais.

Les Sables inférieurs et supérieurs sont interprétés comme d'origine fluviale et dessinent deux chenaux principaux correspondant à une paléo-Allier et une paléo-Loire (Tourenq, 1989). Alors que cet auteur pensait que le horst de Neuville-les-Decize avait pu jouer un rôle de barrière, il apparaît que la paléo-Loire a aussi développé un bras, au Nord-Est et au Nord du horst, proche du tracé actuel de la Loire et passant par Decize. Les argiles médianes sont rapportées à un épisode lacustre.

Ces dépôts terrigènes, pendant longtemps non datés, ont été attribués, tantôt au Miocène, tantôt au Pliocène. Cette formation ne sera que tardivement datée par R. Clocchiatti et J. Tourenq (1971), sur la base de la découverte de quartz de ponces d'origine mont-dorienne dont les éruptions sont datées du Pliocène moyen à supérieur. Plus tard, l'étude systématique du cortège de minéraux lourds et des quartz d'origine volcanique présents dans les Sables et argiles du Bourbonnais et leur comparaison avec ceux des ponces et laves du Mont-Dore (Tourenq, 1986, 1989) a permis d'encadrer l'âge des premiers, qui est compris entre environ 3,07 et 1,94 Ma. L'étude palynologique des Sables inférieurs et

des Argiles noires (étudiés par Chateaufort et Farjanel, BRGM ; voir Clozier *et al.*, 1982 ; Tourenq, 1989) a permis d'établir leur âge Pliocène supérieur (Reuvérien terminal à Prétiglien).

L. Clozier et Y. Gros (1985) ont montré que les Sables et argiles du Bourbonnais ont été mis en place à la faveur d'un épisode distensif, d'âge Pliocène supérieur, lié à un relâchement momentané des contraintes imposées par la compression alpine.

Quaternaire

Formations colluvionnées

Ch5. Colluvions de versant, alimentées par les grès et argilites stéphaniens. Localement sur les bordures des zones d'affleurement du Stéphaniens, au Nord, au Sud et à l'Ouest de La Machine, des formations colluvionnées argilo-sableuses gris-beige, d'extension limitée, apparaissent sur les flancs de buttes en bordure des talwegs.

Cr2. Colluvions de versant, alimentées par les argiles gréseuses saxoniennes. Les formations argilo-gréseuses du Saxonien forment de larges zones colluvionnées au Sud et à l'Ouest de La Machine (secteurs des domaines de Faye, de Varennes et Grillot) ainsi que dans la partie nord du horst (secteurs du bois de Thianges et du bois de l'Armenay).

Ces colluvions nappent les bordures et les flancs des talwegs depuis les zones de relief, et peuvent déborder ponctuellement sur les formations stéphaniennes qu'elles dominent topographiquement au Nord de La Machine.

CtG. Colluvions de versant, alimentées par les grès et argiles bariolées triasiques. En bordure ouest du horst de La Machine, au niveau du domaine de Varenne, le Trias qui se trouve en position topographique plus élevée que le Saxonien, alimente des colluvions argilo-sableuses gris vert déversées vers l'Est en direction du horst, qui se mélangent au Saxonien en bas de pente.

CtA. Colluvions de versant, alimentées par les marnes bariolées triasiques. Sur la bordure est du horst, aux environs de La Tuilerie et de Germignon, à l'Ouest de Thianges, c'est la configuration inverse à la précédente que l'on rencontre : le Trias marneux surélevé en bordure du horst alimente en direction de l'Est de larges zones colluvionnées au relief particulièrement mou.

Crj. Colluvions de versant, alimentées par les argiles à chailles du Crétacé inférieur. Les colluvions résultant de la remobilisation sur pente des

faciès d'argiles à chailles couronnant les reliefs jurassiques ont été figurées sur la carte. Souvent exposées en contrebas des forêts, celles-ci viennent recouvrir le haut des pentes et masquer le substratum marno-calcaire bathono-callovien dans le Nord-Ouest de la feuille (bois de Limon). Ces dépôts sont souvent superficiels, épais de quelques décimètres seulement ; ils remanient des faciès calcaires jurassiques (Dogger, Malm) silicifiés, d'où l'abondance des oursins calloviens (*Collyrites elliptica*) qu'on y observe.

$\frac{Crj}{Rj}$ **Colluvions de versant, alimentées par les argiles à chailles sur argiles d'altération à chailles (silicites), développées sur les calcaires du Dogger et du Malm.** Dans l'Est de la feuille, les altérites à chailles qui coiffent le Dogger (supposé car non visible) et le Lias, sont abondamment remaniées sur les pentes des buttes et plateaux qu'elles couronnent, en raison de la profonde altération des faciès du Jurassique moyen et surtout supérieur. Elles correspondent aux faciès figurés sous la notation LC : limons et argiles à chailles, sur la feuille voisine de Fours (Delfour *et al.*, 1992). L'épaisseur de ces colluvions et formations de versant est métrique à pluridécamétrique, mais précisément difficile à apprécier, en l'absence d'affleurements ou de sondages. Le critère essentiel d'identification de ces faciès est la présence de chailles oxydées cassées ; en complément, ces dépôts, composés d'une matrice argilo-silteuse et de clastes de chailles, dont la taille diminue vers la base des versants, se présentent localement sous forme de couches laminées frustes parallèles à la pente.

Formations alluviales et dépôts associés

Le réseau hydrographique de la feuille Decize est dominé par la présence du lit de la Loire, qui traverse la feuille selon un tracé oblique, les eaux s'écoulant du Sud-Est vers le Nord-Ouest, en direction de Nevers. Le dénivelé d'altitude entre ces deux points extrêmes, distants de 25 km, est faible, d'une quinzaine de mètres seulement (189 m au Sud-Est, environ 175 m au Nord-Ouest).

Le fleuve est alimenté par un réseau secondaire d'affluents qui s'écoulent de part et d'autre du horst de Decize-La Machine, vers l'WSW sur son flanc ouest, vers le Sud en direction de la rivière Aron, sur son flanc est. Ce réseau est contraint dans son tracé par l'intense fracturation du massif ; il est parfois marqué par un tracé en baïonnette, indice d'une fracturation des terrains selon des directions conjuguées.

Le système de terrasses fluviatiles perchées n'est bien exprimé que sur les berges de la Loire ; ailleurs, il est moins marqué et difficile à reconnaître sur une base purement altimétrique.

L'étagement des terrasses de la Loire permet de distinguer quatre nappes alluviales emboîtées, définies sur une base altimétrique : des plus élevées et les

plus anciennes (Fw) aux plus basses et récentes (Fy) ; le lit mineur du fleuve a été associé avec cette dernière (Fy-z).

F-C. Alluvions et colluvions des fonds de vallons et bas de versants.

Les parties les plus amont du réseau hydrographique, les fonds de vallons et les bas de versants, sont occupées par un mélange d'alluvions et de colluvions, présentes en proportion variable. Ces dépôts sont mal triés et se composent de sable et de galets associés à des chailles glissées sur pente. La lithologie des galets reflète la nature des formations traversées qui les alimentent.

Fw. Alluvions des terrasses fluviales très anciennes : galets, graviers et sables à chailles. Les terrasses alluviales les plus élevées dominent le lit actuel du fleuve d'une vingtaine de mètres. Elles constituent, en rive gauche de la Loire, un liseré discontinu que l'on suit depuis le périmètre de la feuille Dornes jusqu'à l'Est de Luthenay-Uxeloup. Ces terrasses perchées entaillent les Sables et argiles du Bourbonnais et s'établissent à des altitudes comprises entre environ 215 et 200 m. Cette nappe alluviale est constituée de sables et de galets remaniés de la Formation des Sables et argiles du Bourbonnais. Au Sud-Ouest de Saint-Maurice (X = 684,10 ; Y = 2 201,60), les galets atteignent un diamètre maximal de 15 cm, montrant une composition variée : quartz, chailles, granite rose, orthose, ... Plus au Sud, sur le périmètre de la feuille Dornes (Clozier *et al.*, 1982), il est indiqué que ces dépôts sont épais de 5 à 6 m ; dans cette localité, ils sont surmontés par des sables fins limoneux probablement largement colluvionnés.

Fx. Alluvions des terrasses fluviales anciennes : galets, graviers et sables à chailles. Les terrasses alluviales intermédiaires dominent d'une dizaine de mètres le lit actuel du fleuve. Elles s'étagent à des altitudes comprises entre 200 et 190 m et sont principalement relevées en rive gauche du fleuve. Au Sud-Est de Saint-Maurice (X = 688,00 ; Y = 2 201,30), cette nappe alluviale montre une composition sablo-graveleuse, sans matrice argileuse. Le matériel, très grossier, renferme une fraction lithique constituée de galets pluri-cm de quartz laiteux, de quartzite, de chailles et de granite rose.

Fy-z, Fy. Alluvions subactuelles à actuelles des rivières : sables graveleux. La plus basse nappe alluviale occupe le lit mineur de la Loire et de ses affluents. Elle a été associée dans la notation compréhensive Fy-z à la plaine inondable submergée lors des périodes de crues. Les matériaux qui la composent sont souvent exploités en ballastière pour la production de granulats. Ces faciès meubles, sans matrice argileuse, sont constitués de sables graveleux, principalement siliceux (quartz, chailles), plus accessoirement silicatés (feldspaths, débris de granite). Dans la carrière de Saint-Ouen, exploitée par l'entreprise Lafarge, les sondages ont traversé cette nappe alluviale sur une dizaine de mètres d'épaisseur, avant d'atteindre le substratum argileux jurassique (Toarcien ?).

Localement (Baugy, au Sud-Ouest de Decize, X = 681,20 ; Y = 2 203,05) la terrasse subactuelle Fy, dont l'altitude s'établit entre quelques mètres à environ 5 m au-dessus du lit actuel du fleuve, a été distinguée.

FORMATIONS ANTHROPIQUES

X. Terrils des mines de charbon et remblais. Les déblais stériles, composés de schistes et de grés plus ou moins grossiers, générés par l'exploitation de la mine de charbon de La Machine constituent des terrils qui couvrent une superficie appréciable (plus d'une centaine d'hectares au Sud de la ville et sur le carreau de l'ancien puits Henri Paul), et ont été représentés sur la carte.

Ces terrils ont dans l'ensemble été remodelés sur place pour des aménagements divers (zones de loisirs, usine de compostage) et du reboisement ou encore ont servi de source de matériaux pour remblais.

X1. Déchetterie. Les dépôts anthropiques accumulés dans la déchetterie récemment implantée à l'Est d'Imphy (Linière) ont été cartographiés sous cette notation.

CONDITIONS DE FORMATION DES ENTITÉS GÉOLOGIQUES

PALÉOZOÏQUE

Socle varisque

Sur le territoire de la feuille Decize, le socle varisque anté-Carbonifère n'est représenté à l'affleurement que par l'extrémité septentrionale du horst de Neuville-lès-Decize dont la majeure partie se trouve sur le territoire de la feuille Dornes (Clozier *et al.*, 1982). Ce horst est constitué de roches métamorphiques recoupées par de petits massifs granitiques et par des filons de lamprophyre. D'après la carte géologique de la France au millionième - 6^e édition (Chantraine *et al.*, 1996) les roches métamorphiques de ce horst se rattachent à l'Unité Supérieure des Gneiss (USG), qui dans l'empilement des unités litho-structurales du Massif central surmonte l'Unité Inférieure des Gneiss (UIG), elle-même située au-dessus de l'Unité Para-autochtone des Micaschistes (UPM). L'histoire polyphasée de la Chaîne varisque est décrite plus loin, dans le chapitre « synthèse géodynamique régionale ».

L'USG est l'unité métamorphique du Massif central qui contient le plus de témoins du métamorphisme de haute pression - moyenne température (HP-MT) datant de la période éovarisque (-435 à -410 Ma), au Silurien ; ces témoins sont

des reliques de granulites et surtout d'éclogites qui sont localement abondantes, dans le Limousin notamment, et dont quelques affleurements sont connus dans le Morvan et le Charollais. Au Dévonien inférieur à moyen (-410 à -375 Ma) l'exhumation des roches métamorphiques éovariques s'accompagne d'une diminution de pression conduisant entre autres à une anatexie précoce, qui est probablement à l'origine des migmatites du horst de Neuville-lès-Decize. Dans ce dernier, le gradient d'anatexie est croissant du Sud vers le Nord, de sorte que sur la feuille Decize se trouvent essentiellement des diatexites c'est-à-dire des faciès proches de granitoïdes. En outre, le seul affleurement inventorié est constitué d'une diatexite leucocrate dans laquelle se trouvent quelques vacuoles, probablement dus à un début d'épisyénitisation, processus hydrothermal se traduisant par la dissolution de cristaux de quartz.

Le caractère très alumineux des migmatites du horst de Neuville-lès-Decize et des gneiss associés laisse supposer que ces roches métamorphiques dérivent de roches sédimentaires détritiques de types grauwackes et/ou pélites dont l'âge de dépôt est encore mal connu actuellement : Protérozoïque supérieur à Paléozoïque inférieur ?

Bassins carbonifères et permien

La formation des bassins paléozoïques de la région de Decize s'inscrit dans celle de l'ensemble des nombreux bassins de même âge du Nord du Massif central (bassins de Blanzay – Le Creusot, Bert-Montcombroux, Autun-Épinac) et de ceux de l'extrémité nord du sillon houiller (bassins de Noyant et l'Aumance), dont ils constituent le prolongement.

Dès le Carbonifère inférieur (Westphalien), des dépôts détritiques continentaux à couches de charbon de l'Assise des Girodons, prennent place selon un alignement N-S dans la région de Devay, sans que l'on puisse retracer l'extension initiale des bassins correspondants (Grangeon, Feys et Greber, 1968, voir l'extension connue du Westphalien dans le schéma structural de la carte géologique).

Avec la phase tectonique asturienne, qui déforme le bassin et les formations du Westphalien de l'Assise des Girodons et provoque son érosion, se forment à nouveau au Stéphanien moyen des bassins d'effondrement dans lesquels s'accumulent les conglomérats de l'Assise de Verneuil, que l'on retrouve à la fois dans le horst de La Machine et au Sud-Est de celui-ci, avec, dans la région de Devay une remontée du socle entre les deux secteurs.

Toujours au Stéphanien moyen, l'Assise productive de La Machine qui succède à l'Assise de Verneuil correspond à des dépôts en milieu lacustre, dans lequel les niveaux phytogènes qui formeront les couches de charbon prennent

place sur les bordures, sans que l'on puisse reconstituer la forme et l'étendue précise du système limnique, qui semble atteindre une grande extension en dehors de la zone affleurante du horst de La Machine.

Au Stéphalien supérieur, la cuvette fluvio-lacustre continue à fonctionner en subsidence, et l'aire de dépôt se déplace dans l'ensemble vers l'Ouest, à l'aplomb de la région de Devay, où les couches de lignite de l'Assise des Varioux forment une nouvelle série productive, que l'on ne retrouve pas au niveau du horst de La Machine, faisant déjà probablement office de zone haute (Grangeon, Feys et Greber, 1968).

Comme dans les bassins voisins d'Autun et de Blanzly – Le Creusot, l'Autunien fluvio-lacustre succède plus ou moins en continuité au Stéphalien, mais déborde ensuite largement l'aire de dépôt de celui-ci. Il peut être initialement en concordance apparente sur le Stéphalien, en se décalant ensuite vers l'Ouest, mais peut aussi reposer par endroit directement sur le socle, comme dans la partie nord du horst de La Machine, où le Stéphalien n'existe pas. Ceci indique l'existence d'une structure haute, bordant le bassin stéphalien au Nord, qui a fonctionné ensuite comme une fosse subsidente, dans laquelle se sont déposés et ont été préservés les dépôts de l'Autunien.

Au Saxonien, une érosion de l'ensemble des reliefs du socle et des bassins autuno-stéphaliens, exondés et probablement soumis à une intense altération latéritique, se traduit, sur une large surface pénéplanée, par le dépôt de sédiments détritiques grossiers grésio-argileux rouges, qui seront ensuite en partie remaniés par la transgression triasique.

MÉSOZOÏQUE ET CÉNOZOÏQUE

Le Mésozoïque marque l'individualisation et l'expansion maximale du bassin de Paris. La région couverte par la feuille Decize, localisée à la bordure sud-est du bassin de Paris, va enregistrer son histoire, même si sa position marginale implique quelques spécificités toutes régionales.

Du Trias au Crétacé supérieur, son histoire sera principalement marine, même si elle est interrompue par l'épisode émergatif du Crétacé inférieur. Au Cénozoïque, la sédimentation marine, limitée au cœur du bassin de Paris, n'atteint pas le secteur nivernais qui subit une longue phase de continentalisation (Paléocène – Éocène inférieur) responsable de la genèse d'altérites et de silcrètes pédogénétiques. La phase distensive Éocène moyen – Oligocène sera responsable du dépôt de calcaires lacustres confinés à des structures effondrées (grabens).

Localisée à la bordure sud-est du bassin de Paris et à la bordure ouest du Morvan, la feuille Decize a été décapée de ses terrains les plus récents, ce qui

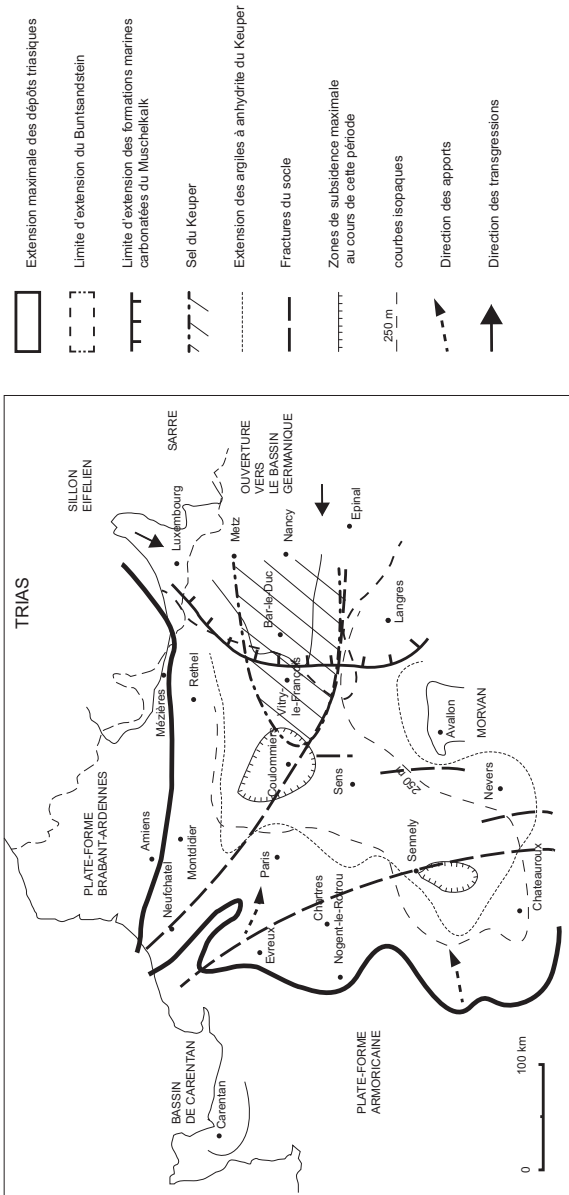


Fig. 25 - Extension des dépôts triasiques à l'échelle du bassin de Paris (Mégnién, 1980)

explique que la stratigraphie des terrains mésozoïques de couverture exposés ne couvre, pour l'essentiel, que l'intervalle compris entre le Trias supérieur et le Callovien moyen. L'enregistrement des terrains créacés est encore plus lacunaire, ceux-ci restant très marginaux sur la feuille Decize. Au Cénozoïque, l'enregistrement sédimentaire se limite à l'intervalle Éocène supérieur – Miocène inférieur et aussi au Pliocène supérieur (sillon de la Loire et ses principaux affluents).

Au Mésozoïque, à l'échelle du bassin de Paris, neuf cycles stratigraphiques transgressifs-régressifs majeurs ont été identifiés (Robin *et al.*, 2000). Sur la feuille Decize, en raison des hiatus et surtout des lacunes d'érosion, seuls cinq de ces cycles sont identifiables, et seuls les trois premiers sont bien exprimés :

- le cycle Carnien *p.p.* Toarcien ;
- le cycle Aalénien-Bathonien inférieur ;
- le cycle Bathonien moyen-Oxfordien, incomplet à son sommet sur la feuille de Decize ;
- après une lacune du cycle Oxfordien supérieur-Aptien, le cycle Albien-Cénomaniens est mal exprimé sur la feuille Decize, seulement connu par ses faciès d'altération et des oursins résiduels ;
- l'intervalle Turonien-Sénonien, non caractérisé en terme de cycle, est attesté par la présence de silex et d'oursins résiduels (Turonien à Campanien inférieur) conservés dans les altérites et les silcrètes ou encore remaniés dans les dépôts continentaux cénozoïques (feuille Saint-Saulge, Roger *et al.*, 2006).

La continentalisation de la région, au Cénozoïque, ne permet plus d'appréhender l'organisation séquentielle des dépôts ; on reconnaît cependant :

- après une lacune d'une grande partie du Paléogène, liée à la continentalisation du secteur, l'intervalle Priabonien-Miocène basal est principalement exprimé par des dépôts lacustres ;
- le Pliocène atteste de la mise en place d'une sédimentation continentale limitée au graben de la Loire et de ses principaux affluents (Tourenq, 1989).

Initiée par l'ouverture de la Téthys ligure (Robin *et al.*, 2000) qui crée un régime subsident dans le bassin de Paris, la transgression triasique n'atteint la région nivernaise qu'au Trias supérieur. La transgression du Keuper déborde très largement la Lorraine, où la mer s'était jusqu'alors cantonnée au Muschelkalk, et envahit pour la première fois le centre de la plate-forme parisienne jusqu'au Nord du Massif central, en contournant le Morvan (fig. 25 ; Mégrien, 1980b).

Le premier épisode transgressif marin remanie les altérites installées sur le socle granitique de Saint-Saulge et dépose, en contexte paralique (Bois *et al.*, 1980) la dolomie de base (Assise de Chitry), souvent secondairement silicifiée et enrichie en minéralisations. L'assise de Chitry manque au Sud du horst de

Saint-Saulge, sur la feuille Decize ; ici, le substratum paléozoïque (socle et couverture sédimentaire), fortement structuré, est aussi progressivement ennoyé par la mer, la sédimentation carbonatée, s'y faisant cependant plus discrète (Banc des Ponteaux), venant cimenter les dépôts terrigènes qui viennent combler la paléotopographie héritée.

Le second épisode transgressif triasique vient plus largement ennoyer la région, installant un environnement de plaine côtière dans lequel se déposent les Marnes bariolées ; la région de Decize, probablement plus subsidente, est caractérisée par l'existence d'un chapelet de petits bassins évaporitiques, qui sont le site d'une sédimentation évaporitique sulfatée (gypse).

Les grès du Rhétien marquent le vrai début de la sédimentation marine jurassique, expliquant leur attribution ancienne à l'Infralias. Grossiers et enrichis en fins lamellibranches, au Nord du Nivernais (Grès de Saint-Révérien sur la feuille de Premery, Lablanche et Delfour, 1998), ces dépôts s'amincissent et s'affinent dans la région de Decize (Bois, 1978) où ils montrent un enrichissement en kaolinite.

Le caractère marin des dépôts continue à s'affirmer à l'Hettangien avec l'installation pérenne de la mer ouverte. En Nivernais, on reconnaît la séquence classique de l'Hettangien : calcaires lumachelliques entrecoupés d'horizons marneux à la base (Lumachelle), relayés par des calcaires micritiques à faune de petits mollusques (faciès Foie de veau). Sur la feuille Decize, l'absence de faune indice (notamment d'ammonite) ne permet pas de dater précisément les dépôts qui se terminent généralement par une surface durcie (Le Calvez *et al.*, 1969). L'épaississement des dépôts hettangiens (Le Calvez *et al.*, 1969), à la bordure occidentale du Morvan, en direction de l'Ouest, indique une accélération de l'accommodation au passage Trias-Lias.

Au Sinémurien inférieur, les calcaires à gryphées arquées (*Gryphaea arcuata*) traduisent une homogénéisation des faciès marins (installation d'une plateforme carbonatée), qui viennent complètement ennoyer le socle du Morvan. Les dépôts lotharingiens, plus marneux, plutôt condensés et à ammonites phosphatées, marquent un nouveau maximum d'inondation et une inflexion vers des dépôts plus ouverts à dominante marneuse.

Une nouvelle séquence de dépôt débute avec les calcaires argileux du Carixien (représenté par ses trois zones d'ammonites et une certaine condensation des dépôts), riches en ammonites ; celle-ci se poursuit avec le dépôt des marnes micacées domériennes (Domérien inférieur). Ces faciès et leur enchaînement attestent d'un approfondissement progressif des dépôts alors que les calcaires à gryphées géantes (Domérien supérieur à Toarcien basal, voir Lablanche *et al.*, 1997) du sommet de la séquence, marquent une chute relative du niveau marin et une diminution de l'accommodation.

Au Toarcien, un nouvel approfondissement s'opère, accompagné d'une forte subsidence, qui se marque par le dépôt de marnes (maximum d'inondation du cycle Trias supérieur – Lias, à la base du Toarcien moyen, dans la zone à Bifrons) de plate-forme externe, à faciès « offshore », qui forme une puissante série (près de 100 m de puissance). Aucun affleurement ni sondage n'a pu permettre de vérifier, sur la feuille Decize, la présence des schistes carton, qui existent cependant plus au Nord, sous forme d'un horizon condensé (Le Calvez *et al.*, 1969 ; Lablanche *et al.*, 1997). Cette unité s'enrichit progressivement vers le haut en terrigène et aussi, localement, en oolites ferrugineuses. Sur la feuille, les termes stratigraphiques les plus élevés du Toarcien n'ont pas été retrouvés (Perraudin, 1971), suggérant une lacune d'érosion anté-Dogger (plutôt qu'un non-dépôt), liée au grand événement géodynamique qui souligne la coupure Lias-Dogger et que certains attribuent à la phase de rifting téthysien (Durllet *et al.*, 1997), d'autres, au bombement pré-rift de la mer du Nord (Robin *et al.*, 2000).

Avec le Dogger, la sédimentation carbonatée de plate-forme reprend ses droits. Alors que l'Aalénien semble absent (Perraudin, 1971), la série débute par le dépôt des calcaires à entroques du Bajocien inférieur qui viennent abruptement surmonter les marnes du Toarcien. Ces dépôts carbonatés sont coiffés par un horizon condensé à oolites ferrugineuses et riche en ammonites (Zone à Niortense de la base du Bajocien supérieur), qui marque une première inondation et l'approfondissement rapide du milieu. Venant au-dessus, les marnes et calcaires argileux du Bajocien supérieur sont témoins de l'ennoiement de la plate-forme bourguignonne. Épaisse d'une vingtaine de mètres, au Sud de la feuille de Saint-Saulge et sur celle de Decize, cette unité marno-carbonatée tend à se pincer vers le Nord, sur la feuille de Prémery (Lablanche et Delfour, 1998), où elle se résume à un horizon condensé. Cette série se raccorde vers l'Ouest au « sillon marneux » de la Loire (Perraudin, 1971 ; Zany *et al.*, 1995).

Au passage Bajocien supérieur-Bathonien inférieur, l'approfondissement du milieu marin (Zany *et al.*, 1995) se marque, sur la feuille, par un second niveau condensé à oolites ferrugineuses (Zone à Parkinsoni-Sous-zone à Bomfordi jusqu'à la Zone à Zigzag), très riche en ammonites, alors que plus à l'Ouest, dans le sillon de la Loire, la sédimentation marneuse s'épanouit. Très rapidement, mais cependant progressivement, pendant l'intervalle Bathonien inférieur à moyen, les faciès marneux sont relayés par des calcaires plus ou moins argileux, à faciès de plate-forme externe, à pholadomyes et autres mollusques, mais aussi relativement pauvres en ammonites.

Au cours du Bathonien supérieur, la sédimentation affiche un caractère moins monotone, plus rythmé (empilement de deux séquences à base argileuse et sommet carbonaté), ce qui permet de distinguer deux corps carbonatés calcarénitiques, le premier bioclastique, le second franchement oolitique et plus grossier, entrecoupés d'un horizon marneux très puissant.

Ces deux corps constituent des prolongements occidentaux, en domaine plus distal, des faciès de l'Oolithe blanche de Bourgogne.

Avec le Callovien (inférieur à moyen), la plate-forme bourguignonne atteint son extension maximale (Delance *et al.*, 1979 ; Garcia *et al.*, 1996) et les dépôts carbonatés (calcaires argileux de la Pierre de Nevers) viennent prograder sur les faciès plus externes du sillon de la Loire.

Malgré le caractère très lacunaire de nos informations concernant le Malm, dû au manque d'affleurement et aussi à sa profonde altération post-jurassique, il est probable que la lacune du sommet du Callovien qui se prolonge jusqu'à l'Oxfordien est ici enregistrée et que la sédimentation marine n'a repris qu'à l'Oxfordien moyen. Malgré l'absence de témoins directs, il reste incontestable que la série marine fini-jurassique s'est déposée, dans cette région, pour preuve les calcaires silicifiés de l'Oxfordien-Tithonien retrouvés dans les chailles qui coiffent les reliefs jurassiques (feuille Saint-Saulge, Roger *et al.*, 2006).

L'émersion fini-jurassique, liée à la déformation néo-cimmérienne (Robin *et al.*, 2000), se prolonge pendant une grande partie du Crétacé inférieur et s'accompagne d'une intense érosion des formations antérieures et d'une altération très importante du bâti jurassique (altérites à chailles).

La reconquête marine de cette région ne s'opère probablement pas avant l'Albien, mettant en place une sédimentation terrigène, qui remanie une partie des altérites et formations antérieures, y compris les éléments du socle cristallin du horst de Saint-Saulge. Les formations crayeuses cénomaniennes à campaniennes, dont seuls quelques témoins à oursins silicifiés et silex à foraminifères planctoniques subsistent, marquent le dernier épisode marin crétacé enregistré.

L'émersion fini-crétacée, en relation avec la collision pyrénéo-alpine (Ziegler, 1988 ; Wyns, 1991 ; Quesnel, 1997), soumet la région à l'émersion et la série mésozoïque à une profonde altération, qui se surimpose à celle de l'épisode du Crétacé inférieur (Thiry *et al.*, 2005). Une phase de déformation importante et exprimée par des failles et mouvements verticaux, est soulignée par une importante surface d'érosion entre la fin du Crétacé et le début des silcrètes de l'Éocène inférieur (fig. 22). Ces silcrètes pédogéniques affectent en effet les altérites à chailles du Crétacé inférieur et leurs minerais de fer sidérolithiques exhumés de leur couverture crétacée, les conglomérats albiens et les altérites à silex. Ces silcrètes sont antérieurs aux premiers calcaires lacustres du Nivernais, d'âge lutétien (Éocène moyen).

Le volcanisme basique alcalin anté-oligocène, qui se traduit par de rares pointements (necks ou dykes), pourrait être relié au flambage lithosphérique, conséquence de la déformation alpine.

La distension fini-Éocène à Oligocène, responsable de l'ouverture des grands rifts nord-européens, s'accompagne sur la feuille Decize, du dépôt de calcaires et d'argiles d'affinité lacustre.

Au Pliocène, les Sables et argiles du Bourbonnais attestent de la mise en place d'une sédimentation continentale marquée par les dépôts fluviaux qui viennent combler le graben de la Loire et à ses principaux affluents (Tourenq, 1986, 1989).

PALÉOALTÉRATIONS

La reconnaissance des différents faciès d'altérites sur les feuilles Saint-Saulge et Decize permet de distinguer cinq phases d'altération successives en Nivernais.

L'ouverture de la Téthys est probablement précédée par des bombements lithosphériques sur lesquels le socle hercynien a été profondément altéré (Wyns *et al.*, 2003), donnant des arènes lessivées classiques, et aussi des altérites particulières (albitisation : voir Schmitt, 1986). Le Morvan et le bâti hercynien de Saint-Saulge et Decize n'ont pas fait exception. La surface d'altération triasique y est jalonnée par des altérites épaisses et évoluées et aussi des albitisations du socle hercynien (horst de Saint-Saulge).

L'émersion fini-jurassique, liée à la déformation néo-cimmérienne (Robin *et al.*, 2000), se prolonge pendant une grande partie du Crétacé inférieur. Elle serait due au bombement accompagnant l'épaulement nord du rift de Gascogne (Wyns, 1999 ; Wyns *et al.*, 2003 ; Thiry *et al.*, 2006) et s'accompagne d'une intense altération du bâti jurassique, dont témoignent les argiles à chailles, les gisements de fer sidérolithique et des formations rouges à bauxite étudiées à proximité immédiate (Thiry *et al.*, 2005). Un puissant manteau d'altérites à chailles s'est formé après le retrait de la mer au Tithonien par altération des formations jurassiques silicifiées. Localement, cette altération a conduit à la formation de véritables cuirasses latéritiques et profils bauxitiques à gibbsite, avec pisolithes, nodules, larges illuviations, etc. C'est à cette phase d'altération qu'il faut vraisemblablement rattacher les gisements de fer sidérolithique et les croûtes et pisolites de fer accumulés au contact du substratum calcaire (de Grossouvre, 1886). En l'absence d'indice de sédiments crétacés inférieurs dans ce secteur, cette phase d'altération s'est probablement poursuivie pendant toute la durée du Crétacé inférieur.

La mer ne revint envahir le Nivernais qu'à l'Albien. Il faut imputer à cette transgression les conglomérats à galets de chailles et les grès à grains de quartz grossiers reconnus sous les formations à silex. Les dépôts marins du Crétacé supérieur sont attestés par des oursins silicifiés ou des silex résiduels datés du

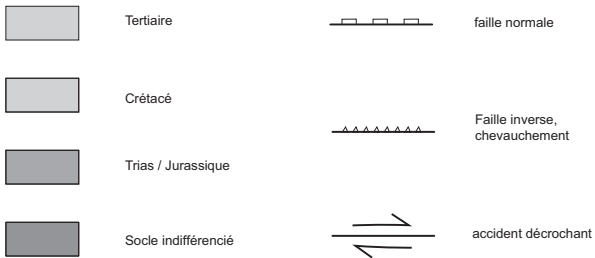


Fig. 26 - Cadre structural et géologique du Sud du bassin de Paris et du Nord-Est du Massif central (d'après Chantraine *et al.*, 2003)

Cénomaniens, du Turonien, du Coniacien, du Santonien et les plus jeunes connus actuellement consistent en des silex résiduels datés du Campanien inférieur. Cette couverture crayeuse a pu être épaisse en Nivernais, les données de thermochronologie par analyse des traces de fission dans les apatites des granites indiquant un paléorecouvrement sédimentaire (craie probable) d'environ 1 000 m sur le Morvan (Barbarand, 2003, Barbarand *et al.*, 2004) et 800 m sur le plateau d'Aigurande (granite de Vesdun, Barbarand *in* Quesnel *et al.*, 2009) au Crétacé supérieur, et un début de leur dénudation à partir de 65 Ma.

Une troisième phase d'altération lessivante est à l'origine de la formation des altérites à silex. Cette phase d'altération s'est développée dès l'exondation de la région au Campanien moyen, voire au Maastrichtien (cf. *supra*) et s'est vraisemblablement poursuivie jusqu'au début du Tertiaire. Les calcaires jurassiques continuaient aussi à être altérés là où la couverture crétacée faisait défaut ou avait déjà été altérée et/ou érodée.

L'empreinte du Paléogène inférieur est marquée par les silicifications qui affectent les paléaltérites (argiles à chailles, ferricrètes, conglomérats et sables albiens, argiles à silex, ...) formant des dalles siliceuses qui actuellement couronnent les reliefs. Ces silicifications présentent les caractères micromorphologiques et géochimiques des silicifications de l'Éocène interstratifiées dans la série tertiaire sur les marges du bassin et sont de ce fait rapportées à cette période (Éocène inférieur, *ie* avant le Lutétien).

Enfin au Néogène, en ambiance érosive intense, probablement liée à la surrection du bâti structural au front de l'orogène alpin, les dépôts lacustres de l'Éocène moyen à Miocène sont altérés, formant les argiles à meulière, sur des profils bien moins puissants que tous leurs prédécesseurs, mais néanmoins présents sur une surface non négligeable sur la feuille Decize.

FRACTURATION

Le Nivernais, localisé au Sud-Est du bassin de Paris, est situé à la charnière entre le Bloc armoricain, à l'Ouest, et le Bloc bourguignon, à l'Est. La limite entre ces deux domaines correspond à un couloir de grandes structures décrochantes qui affectent le socle du Bassin parisien et s'alignent selon une direction subméridienne ; les principales de ces structures sont représentées par, d'Ouest en Est : les failles de Sennely et du Cher, à l'Ouest, la faille de Sancerre – Sancoins – La Guerche (faille de la Loire) qui relaye le grand décrochement senestre du Sillon houiller et, enfin, la faille de Saint-Martin-de-Bossenay qui trouve sa prolongation méridionale dans le horst de Saint-Saulge et le horst de La Machine – Decize (fig. 26). Ce couloir détermine une zone de fragilité, dont les accidents rejoueront plusieurs fois au cours du Mésozoïque-Cénozoïque : notamment, au Bathonien supérieur, avec la création du « Sillon

marneux » (Mégnyen, 1980b) et aussi plus tard, en conséquence de l'épisode distensif fini-Paléogène, avec la création du « fossé ou sillon de la Loire » (Debrand-Passard *et al.*, 1992) et sa réactivation au Pliocène.

La feuille Decize présente une intense fracturation, en grandes lanières NNE-SSW, recoupées par des accidents transverses, NE-SW et plus accessoirement NW-SE. Le horst de La Machine en constitue la structure la plus remarquable. Sur le flanc occidental du horst, les dépôts mésozoïques, eux aussi fortement structurés, s'ouvrent sur le fossé de la Loire. À l'Est du horst, les dépôts triasico-liasiques viennent mordre sur la bordure occidentale du Morvan.

Le réseau hydrographique a largement hérité de la structuration de la feuille.

HORST DE NEUVILLE-LÈS-DECIZE

Le horst de Neuville-lès-Decize est limité par des failles de direction N20-30°E et plus accessoirement N50-60°E. Cette structuration, d'acquisition récente, réutilise largement les structures tectoniques anciennes (Bergerat, 1984), notamment celles acquises lors de la phase hercynienne.

La sédimentation triasique qui vient directement transgresser le socle varisque et les bassins paléozoïques, témoigne déjà de l'existence d'un relief, présent à l'aube du Mésozoïque.

Sa configuration actuelle, en point haut, est à rechercher dans le jeu de failles anciennes exercé dans le cadre tectonique fini-tertiaire lié à l'orogénèse alpine.

HORST DE LA MACHINE ET BASSINS PALÉOZOÏQUES

Le gisement houiller de Decize se trouve dans le prolongement du grand sillon houiller du Massif central. Il se manifeste par un système complexe de failles qui met à l'affleurement les terrains stéphanien et saxonien, et délimite les bassins paléozoïques sous la couverture mésozoïque.

La fracturation du bassin de Decize s'organise autour de directions N20-30°E, N110-120°E et accessoirement N50-60°E (Gros, 1981 ; Castaing, 1983 ; Bonijoly et Castaing, 1984).

La sédimentation westphalienne puis stéphanienne, syntectonique, se met en place dans un contexte de décrochements tardi-hercyniens liés à des systèmes de compression N-S (Westphalien et Stéphanien moyen) utilisant

les failles N20-30°E (Gélard et Vallé, 1983 ; Gélard *et al.*, 1986 ; Vallé *et al.*, 1988).

À partir de l'Autunien, le régime tectonique s'inverse, dans un système de distension N-S, permettant le développement des bassins autuniens, débordant largement les bassins carbonifères, selon le système des failles d'orientation N50-60° E.

La sédimentation saxonnienne qui se met en place sur une surface pénéplanée recouvrant l'ensemble des bassins paléozoïques ne paraît pas liée directement à la fracturation paléozoïque.

Il est probable qu'un paléorelief existait déjà au niveau du horst de La Machine lors de la transgression triasique, ce qui préfigure la configuration actuelle du horst et la mise à l'affleurement des terrains paléozoïques.

La structuration définitive du horst de La Machine est d'acquisition récente, liée au rejeu des failles anciennes N20-30°E et N110-120° E dans le cadre tectonique compressif alpin du Miocène, qui provoque localement des chevauchements de faible amplitude, comme ceux du Stéphanien sur l'Autunien au Nord du bassin carbonifère de La Machine.

COUVERTURE MÉSOZOÏQUE

La couverture mésozoïque est traversée par un réseau dense d'accidents, dont les principaux déterminent des lanières tectoniques de direction subméridienne (NNE-SSW) :

– sur le flanc ouest du horst de La Machine – Decize, les lanières tectoniques (larges de quelques kilomètres seulement : 2 à 5 km) sont de plus en plus effondrées, d'Est en Ouest, en direction du fossé de la Loire : la lanière la plus orientale, celle de Beaumont-Sardolles – Druy-Parigny, va en s'élargissant vers le Sud et apparaît armée par des terrains triasico-liasiques. Située à sa bordure occidentale, encore plus effondrée que la précédente, la lanière des Essarts montre à l'affleurement une série bajo-bathonienne. Le couloir le plus occidental (Imphy), toujours plus effondré, est armé par les terrains bathoniens et calloviens ;

– sur le flanc est du horst, une zone tectonique complexe vient border le horst, constituée de terrains triasico-liasiques (Lias inférieur). Le secteur le plus oriental de la feuille apparaît encore plus effondré, armé par les dépôts du Lias supérieur (Pliensbachien, Toarcien).

Ces structures, parallèles aux grabens fini-paléogènes (lanière de la Fermeté), sont manifestement du même âge que ces derniers, datés de la fin de l'Éocène et de l'Oligocène.

Cette structuration récente ne doit cependant pas masquer les structures varisques anciennes qui ont pu rejouer, suite à l'inversion du contexte tectonique. En effet, suite à l'épisode compressif stéphanien lié à l'orogène hercynien, plusieurs épisodes distensifs vont s'enchaîner (Blès *et al.*, 1989) jusqu'à ce que la compression pyrénienne (fini-Crétacé) fasse sentir ses effets. Ces événements sont principalement reconnus : au Trias, au cours du Jurassique inférieur et moyen et au Jurassique supérieur-Crétacé.

Les plus anciennes de ces structures, notamment celles liées au Sillon houiller et au grand décrochement senestre qu'il constitue, ont probablement rejoué au Trias supérieur (Keuper), expliquant les importantes différences de subsidence (Bois, 1978) et la variation des faciès constatés entre la région du horst de Saint-Saulge et le bassin de Decize, où se forme un chapelet de bassins évaporitiques.

L'inondation liasique a plutôt tendance à estomper les déformations syn-sédimentaire de courte longueur d'onde (Gely et Lorenz, 2006, 2009). Après l'épisode tectonique méso-cimmérien, au Jurassique moyen, le contexte distensif se réoriente selon une direction WNW-ESE conduisant à l'ouverture du sillon marneux bajo-bathonien, calé sur le cours actuel de la Loire (Mégnién, 1980b).

Une nouvelle réorientation des contraintes, est enregistrée au Jurassique supérieur/Crétacé (Blès *et al.*, 1989), conduisant à une distension orientée N-S, responsable de structures orientées E-W.

Avec la phase pyrénéenne qui commence à s'exercer à la fin du Crétacé, les contraintes s'inversent et deviennent compressives, s'exerçant selon un axe N-S.

En raison de la grande pauvreté des dépôts de cet âge, cette déformation est difficile à reconnaître, d'autant que cette phase tectonique ne semble pas avoir engendré de nouvelles structures (Blès *et al.*, 1989), mais ayant simplement réactivé les plus anciennes.

GRABENS FINI-PALÉOGÈNES ET NÉOGÈNES

À partir de l'Éocène moyen, jusqu'à au moins l'Oligocène, la région de Decize, comme toute l'Europe de l'Ouest, enregistre une phase de déformation distensive (ouverture E-W) responsable du découpage tectonique de la couverture mésozoïque selon des lanières structurales grossièrement orientées N-S. Plusieurs bassins d'effondrement vont ainsi se créer, enregistrant la sédimentation de dépôts fluvio-lacustres : le secteur de Forge dans le coin nord-ouest de la feuille, la lanière structurale de la Fermeté – le Port-des-Bois, le bloc effondré de Béard, le secteur sud-est de la carte couvrant l'interfluve entre l'Aron et la Loire. Ces effondrements sont contemporains de ceux à l'origine des

Limagnes et du fossé alsacien et ont également commencé à se combler dès le Lutétien.

Au Pliocène supérieur (Clozier et Gros, 1985) une nouvelle pulsation distensive liée à un relâchement des contraintes imposées par la compression alpine, réactive les accidents de directions NNE-SSW et ENE-WSW et la subsidence, qui vont permettre le dépôt des Sables et argiles du Bourbonnais.

Le soulèvement et la mise à l'affleurement que l'on observe actuellement du socle et de la couverture paléozoïque dans quelques structures localisées (horst de Neuville-lès-Decize, horst de La Machine – Decize), sont d'acquisition récente ; ils sont la marque du rejeu d'accidents anciens lié à des processus tectoniques tardifs (flambage, bombement lithosphérique de l'arc alpin ? Wyns, 1999) mis en œuvre lors de l'orogénèse alpine.

SYNTHÈSE GÉODYNAMIQUE RÉGIONALE

ÉVÉNEMENTS ANTÉ-VARISQUES

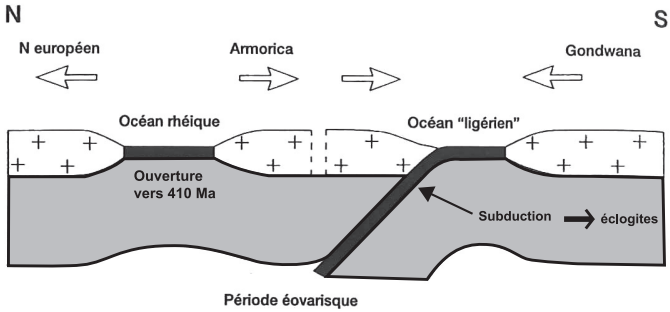
Ils sont mal connus actuellement. Les protolites des roches métamorphiques du Massif central correspondent à un ensemble de roches sédimentaires, volcaniques et plutoniques dont l'âge de mise en place pourrait s'échelonner du Protérozoïque supérieur - pour les dépôts sédimentaires les plus anciens - au Silurien.

OROGENÈSE VARISQUE (OU HERCYNIENNE)

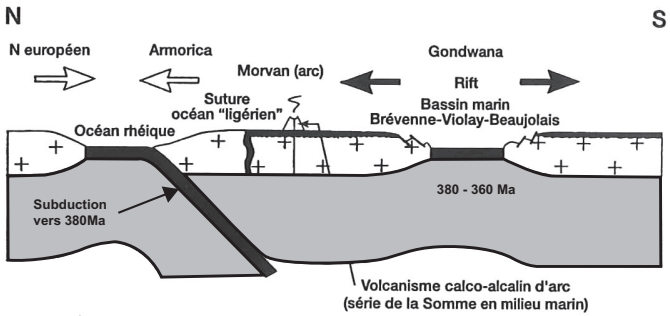
Le socle varisque du Nord-Est du Massif central appartient à la zone moldanubienne de la Chaîne varisque européenne et se rattache, corrélativement, à la partie nord du Gondwana. P. Ledru *et al.* (1989) ont proposé pour l'orogénèse varisque un modèle monocyclique divisé en trois périodes nocycliques doit être reconsidéré en ce qui concerne la période médiovarisque, très complexe, comme le soulignent des auteurs tels que M. Faure *et al.* (1997, 2005).

• **La période éovarisque** (Silurien océanique et continentale, se traduisant par un métamorphisme de haute pression (18-20 kb) et de moyenne température (650-750 °C), à l'origine de granulites et d'éclogites dont quelques reliques plus ou moins amphibolitisées sont connues dans le Morvan, au sein de l'Unité Supérieure des Gneiss.

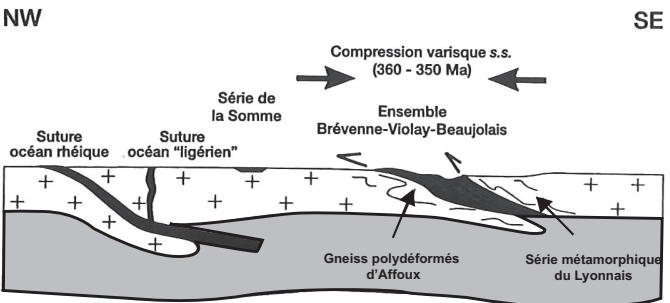
• **La période médiovarisque** (Dévonien inférieur à Tournaisien ; -410 à -345 Ma) est plus complexe et se subdivise dans le modèle de M. Faure *et al.* (2005) en deux phases tectono-métamorphiques (Leloix, 1998) :



a - Silurien à Dévonien inférieur



b - Dévonien moyen à supérieur



c - Tournaisien

Fig. 27 - Modèle d'évolution géodynamique du Nord-Est du Massif central, du Silurien au Tournaisien (d'après C. Leloix, 1998)

– **phase tectono-métamorphique D1 (-410 à -375 Ma)**. Au Dévonien inférieur à moyen a lieu l'exhumation des roches métamorphiques de HP-MT éovariques, avec une diminution de pression conduisant à la rétromorphose des éclogites dans le faciès amphibolite et à une anatexie précoce synchrone de la mise en place de nappes à vergence sud-ouest. Cette première phase d'anatexie varisque est bien caractérisée et calée par radiochronologie dans le Lyonnais, où elle est datée à 384 ± 16 Ma (Duthou *et al.*, 1994), le Limousin et le Rouergue où les âges radiométriques sont analogues : 375 ± 6 Ma et 383 ± 5 Ma pour les migmatites développées aux dépens des orthogneiss du Thaurion (méthode Rb-Sr sur roches totales ; Duthou, 1977) et de Meuzac (U-Pb sur zircon ; Pin et Peucat, 1986) respectivement. C'est probablement à cette anatexie précoce que se rattachent les migmatites du horst de Neuville-lès-Decize ;

– **phase tectono-métamorphique D2 (-360 à -350 Ma)**. D'après M. Faure *et al.* (1997, 2005) ce n'est qu'à la fin du Dévonien (360 Ma), que débute la compression varisque proprement dite, accompagnée d'un métamorphisme synfolial barrowien de moyenne pression et de moyenne température (MP-MT) : 7-10 kb et 600-700 °C dans l'Unité Supérieure des Gneiss, 8-10 kb et 550-600°C dans l'Unité Inférieure des Gneiss.

• **La période néovarisque** se subdivise, pour le Massif central pris dans son ensemble (Ledru *et al.*, 1989), en des stades 1 (-350 à -320 Ma) et 2 (-320 à -280 Ma) qui correspondent :

- le premier à un épaissement crustal dû à la réactivation de la collision avec des chevauchements et de grands décrochements crustaux ;
- le deuxième à un amincissement crustal et à une extension conduisant à l'effondrement de la chaîne.

Au cours de cette période, les roches métamorphiques subissent localement une ou plusieurs anatexie(s) conduisant à la genèse de divers types de granites, mésocrates à leucocrates, qui sont soit subautochtones par rapport aux roches métamorphiques dans le cas de dômes anatectiques comme celui du Velay-Forez, soit franchement intrusifs dans les roches métamorphiques environnantes avec parfois un développement de rétromorphoses ou d'un métamorphisme de contact dans cet encaissant métamorphique.

Sur la carte géologique de la France au millionième - 6^e édition ; c'est à cette période néovarisque qu'est rattaché le massif de monzogranite à biotite de Neuville-lès-Decize. Ce monzogranite présente des analogies avec celui du massif de Montmarault, situé au Sud-Ouest de Moulins (Allier), limité à l'Est par le Sillon houiller et d'âge namurien : 321 ± 2 Ma d'après une datation par la méthode U-Th-Pb à la microsonde électronique sur monazite (Joly, 2007) (fig. 27).

Au Westphalien terminal un raccourcissement N-S s'installe et se poursuit au cours de tout le Stéphanien. Pendant cette période, la direction de raccourcissement maximum horizontale tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre : N-S à la fin du Westphalien et au Stéphanien inférieur et moyen, elle devient NW-SE à la transition entre Stéphanien moyen et supérieur puis E-W au Stéphanien supérieur (Bonijoly et Castaing, 1984 ; Blès *et al.*, 1989). La compression N-S se traduit par un système de cisaillements conjugués à jeu dextre sur les failles de direction N140-170° et à jeu senestre sur les accidents de direction N10° à N50° et donc en particulier sur les failles majeures, de direction proche de SW-NE.

Cette déformation réactive de grandes failles comme le Sillon Houiller et son prolongement dans le secteur de Decize. Ces failles décrochantes n'étant pas rectilignes, des bassins en « trans-tension » peuvent se former aux endroits où elles présentent des inflexions ; ce modèle (Crowell, 1974) explique la formation des bassins carbonifères :

- au Westphalien, un bassin étroit allongé N-S, actuellement reconnu sous couverture au niveau de la région de Devay ;
- au Stéphanien, un bassin plus largement étalé entre deux failles méridiennes sub-parallèles ; celui-ci recueille, au niveau du horst de La Machine et des extensions sous couverture de Devay et de Lucenay vers le Sud-Est, les produits de l'érosion des reliefs environnants ainsi qu'une abondante accumulation de dépôts phytogènes (matière organique d'origine ligneuse), dans laquelle peuvent s'intercaler des cendres produites par des émissions d'origine volcanique.

Au Stéphanien supérieur, un raccourcissement NW-SE puis E-W se traduit par un rejeu des grands accidents de bordure du bassin stéphanien, et par l'apparition de zones hautes limitées par des failles d'orientation générale N100°, qui provoquent probablement l'érosion d'une partie des formations carbonifères antérieures, avant la mise en place de la sédimentation autunienne.

Au Stéphanien également, une activité magmatique acide, subvolcanique à volcanique, se traduit par la mise en place d'une part de filons de microgranites, localement abondants dans le Morvan, et, d'autre part, de la caldeira de Blismes-Montreuil, en bordure occidentale du Morvan. Cette activité magmatique qui se poursuivra jusqu'au Saxonien, est en partie à l'origine du matériel détritique grossier contenu dans les sédiments continentaux paléozoïques du bassin de Decize – La Machine.

À l'Autunien une distension N-S, reconnue dans celui de l'Aumance à l'extrémité nord du Sillon Houiller (Paquette, 1980 ; Gros, 1981) et dans le bassin d'Autun (Marteau, 1983), est contrôlée par les failles bordières qui jouent en failles normales à cette époque. Elle provoque l'apparition d'une fracturation N60 à N100, avec des failles synsédimentaires dans les formations permienues

et le basculement de blocs structuraux dans l'ensemble du bassin paléozoïque, ce qui explique les discordances de l'Autunien sur le Stéphaniens, la formation d'une « fosse permienne » dans la partie nord du horst, puis la discordance du Saxonien sur l'Autunien, ainsi que les variations d'épaisseur des différentes formations permienes.

La phase saalienne, qui marque la fin de l'orogénèse varisque, accentue les pendages des couches et le basculement des panneaux structuraux, mais l'inversion des contraintes ne provoque pas de dépôts détritiques grossiers épais au Saxonien, comme c'est le cas dans les bassins d'Autun et de Blanzay – Le Creusot.

Le remplissage détritique du bassin de Decize – La Machine se fait donc par saccades, avec des alternances de décharges grossières et d'accumulation de sédiments fins et de dépôts phytogènes, jusqu'à son comblement et l'arrêt de la subsidence.

Il faut mentionner que la période fini-varisque est également marquée, dans la majeure partie du Massif central, par la mise en place de filons de lamprophyres issus de magmas basiques à intermédiaires, d'affinité alcaline potassique plus ou moins nette. Ces lamprophyres sont datés à 290-295 Ma par la méthode Rb-Sr dans le Limousin (Leroy et Sonet, 1976 ; Chalier *et al.*, 1994) et à 292 Ma par la méthode K-Ar dans le forage GPF de Sancerre-Couy (Hottin et Calvez, 1988), c'est-à-dire de l'Autunien inférieur.

ÉVÉNEMENTS MÉSO-CÉNOZOÏQUES

Le *cycle alpin* qui va durer jusqu'à l'Actuel, vient, dès le début du Mésozoïque, prendre le relais des processus géodynamiques liés à l'orogénèse varisque. Il est marqué par la naissance du bassin de Paris et l'ouverture progressive de l'océan téthysien alpin, puis sa fermeture lors de la surrection alpine. Pendant cet intervalle de temps, les dépôts du bassin de Paris enregistrent plusieurs discontinuités reflètes des phases tectoniques liées à des événements tectoniques globaux.

Phase éo-cimmérienne

La phase éo-cimmérienne, datée de la base du Norien, est due à un changement dans le régime des contraintes intraplaques en réponse à la fermeture du bassin arrière-arc de la mer Noire (Ziegler, 1990 ; Guillocheau *et al.*, 2000). La discordance qui en découle (« early Cimmerian unconformity » de Ziegler), marque le véritable début du cycle alpin. Cette phase signe l'acte de naissance du bassin de Paris et témoigne du début de l'extension téthysienne (Robin, 1997). L'accélération de la transgression est datée du Rhétien-Hettangien, dans le bassin de Paris. Elle traduit un léger changement dans le

déplacement des masses continentales au moment de l'éclatement de la Pangée (Guillocheau *et al.*, 2000). Le Toarcién correspond à une période de forte subsidence régionale. Le maximum d'inondation de ce cycle de dépôt est relevé au sommet des schistes cartons toarciens. La fin du cycle Carnien-Toarcién est marquée par la phase tectonique mi-cimmérienne.

Phase méso-cimmérienne

La discordance aalénienne (« mid-Cimmerian unconformity » de Ziegler, 1990) traduit le changement du cadre paléogéographique et du modèle de subsidence de l'Europe de l'Ouest, ceux-ci enregistrant ainsi le stade précoce du bombement thermique en mer du Nord centrale et une nouvelle étape du rifting téthysien (Guillocheau *et al.*, 2000).

Cette discordance marque une importante étape dans l'évolution de la Pangée : faisant suite au rifting triasico-liasique, elle traduit l'éclatement de la Pangée en trois masses continentales (Laurasia, Ouest et Est Gondwana) et l'ouverture de l'Océan atlantique central.

La régression fini-aalénienne est probablement la conséquence de cet événement mi-cimmérien. Ce dernier introduit un changement paléogéographique majeur marqué par l'installation de vastes plate-formes carbonatées. Pour F. Guillocheau (1991), le maximum d'inondation du Cycle Aalénien-Bathonien correspond au dépôt des Marnes à *Ostrea acuminata*, à la base du Bajocien supérieur (Zone à Niotense). À la bordure ouest de la plate-forme bourguignonne, dans le Sillon marneux, ce maximum serait plus tardif, daté du Bathonien inférieur (Zone à Zigzag) (Robin, 1997).

Le cycle de dépôt Callovien-Tithonien marque un changement du régime des contraintes dû à une accélération de l'ouverture de l'Atlantique centrale (Guillocheau, 1991). Les dépôts témoignent, pendant le Callovien-Oxfordien inférieur, de l'installation d'une plate-forme progradante, qui passe ensuite à une plate-forme aggradante (Kimméridgien-Berriasien) (Robin, 1997).

Phase tardi-cimmérienne

La phase tectonique tardi-cimmérienne (« late Cimmerian unconformity » de Ziegler, 1990) se situe à la limite Jurassique-Crétacé. Elle est la conséquence du bombement thermique pré-rift et de l'évolution de l'épaulement nord-est du rift du Golfe de Gascogne pendant le Crétacé inférieur (Guillocheau *et al.*, 2000).

Elle se traduit par l'émersion complète du bassin de Paris, émersion qui commence, localement, dès la fin du Jurassique supérieur.

Au Crétacé inférieur, le bombement lithosphérique lié à l'épaulement nord du rift de Gascogne (Wyns *et al.*, 2003) est accompagné d'une érosion importante et de l'installation de profils d'altérations très épais et évolués, en contexte continental (Thiry *et al.*, 2006), de la bordure sud-est du bassin de Paris (Decize notamment).

Phase autrichienne

La phase autrichienne (« Austrian phase »), datée de la fin de l'Aptien, marque la fin du rifting de l'Atlantique nord et le début de l'accrétion océanique dans le Golfe de Gascogne (Guillocheau *et al.*, 2000), la première légèrement antérieure à la seconde. Suite à cette phase, à partir de l'Albo-Cénomaniens, les ondulations lithosphériques sont résorbées et les zones précédemment continentalisées, à nouveau envahies par la mer dont l'emprise va perdurer jusqu'au Crétacé supérieur (Wyns, 1999).

Quelques formations résiduelles témoignent de la reprise de la sédimentation marine sur les feuilles Saint-Saulge et Decize, notamment des sables glauconieux attribués à l'Albien (l'inondation maximum est située au Cénomaniens) et des oursins silicifiés et silex résiduels du Cénomaniens au Campanien inférieur.

Phase sub-hercynienne

À partir du Coniacien, la convergence Afrique/Eurasie installe un régime compressif N-S (début de l'orogénèse pyrénéenne) (« Subhercynian phase », Ziegler, 1990 ; Guillocheau *et al.*, 2000). Elle marque le début de la subduction dans les Alpes (flysch à Helminthoïdes) qui entraîne des déformations grandes longueur d'onde favorisant l'inondation du bassin de Paris (mer de la Craie).

La présence, sur la feuille Decize, d'altérites à silex formées sur d'anciennes craies à foraminifères planctoniques turono-coniaciens indique clairement l'existence de dépôts marins symptomatiques de la mer de la craie, qui ont été par la suite érodées et/ou altérées lors de la continentalisation de cette portion du bassin de Paris, dès la fin du Crétacé.

Phase laramienne

Amorcée au Coniacien, cette phase de déformation (« Laramide phase ») induit, au début du Tertiaire, un flambage lithosphérique (Wyns, 1999) et des rejeux d'accidents anciens, qui entraînent l'émergence et consécutivement l'altération, de la région localisée au Sud du bassin de Paris, pendant le Paléocène et l'Éocène inférieur.

Elle s'accompagne d'un volcanisme péri-alpin, de nature alcaline et d'âge Paléocène à Éocène supérieur dont on retrouve un témoin (non daté) sur la

feuille Decize. Ce volcanisme coïncide avec les antiformes lithosphériques liées au flambage en période de raccourcissement (Wyns, 1999).

Événement Priabonien – Oligocène

À partir de l'Éocène moyen et pendant l'Oligocène, le différentiel du taux d'expansion océanique entre l'Atlantique nord et l'Atlantique central entraîne, en contexte de convergence nord-sud, une extension généralisée de la plaque européenne (Wyns, 1999). Cet épisode tectonique est responsable du développement des grands rifts nord-européens que sont la Bresse, les Limagnes et la plaine d'Alsace, pour ne citer que les structures présentes sur le territoire métropolitain (Bergerat et Geysant, 1980).

Il se traduit par la résorption du flambage et l'abaissement tectonique de la surface du sol qui provoque l'arrêt des altérations et l'enneigement des zones les plus effondrées, où se dépose une sédimentation marno-carbonatée, d'affinité fluvio-lacustre en Nivernais.

Événements au Mio-Pliocène

Au Miocène, le contexte géodynamique s'inverse, marqué par le blocage de la subduction au niveau des Alpes internes et la collision entre la plaque africaine (promontoire italien) et la plaque indo-européenne (collision alpine). Cette dernière induit dans l'avant-pays de nouvelles ondulations lithosphériques en relation avec un nouveau flambage de la plaque européenne et la continentalisation du bassin de Paris.

Toujours dominée, au Pliocène, par un contexte de collision, la plaque ouest-européenne est caractérisée par des déformations impliquant la réactivation des « fossés oligocènes » du Sud-Est du bassin de Paris (Limagne, fossé de la Loire), et faisant de ceux-ci des pièges pour les sédiments fluviaux des Sables et argiles du Bourbonnais, dont une partie des éléments remaniés sont originaires du Mont-Dore. Ces fleuves, à écoulement vers le Nord, apparaissent canalisés dans un couloir correspondant aux failles de Sennely, de la Loire et de Saint-Martin-de-Bossenay ; ils préfigurent les cours d'eau actuels de l'Allier et de la Loire.

APPORTS DU LEVÉ DE LA FEUILLE À 1/50 000 DECIZE

DOMAINE PALÉOZOÏQUE

Le levé des formations du Paléozoïque du horst de Decize – La Machine et l'interprétation des données de sondages ont permis de montrer essentiellement l'extension du bassin houiller stéphanien, avec l'existence des conglomérats de l'Assise de Verneuil à sa base et l'existence du Stéphanien supérieur de l'Assise des Varioux dans la partie est du bassin.

Les rapports du Stéphanien avec l'Autunien non affleurant sont apparus complexes, celui-ci recouvrant les formations stéphanienues au Sud et au Sud-Est du horst, mais reposant directement sur le socle dans la partie nord de ce dernier.

Le Saxonien apparaît localement discordant sur le Stéphanien au Nord de La Machine, mais repose par ailleurs, en discordance, sur l'Autunien.

DOMAINE MÉSOZOÏQUE ET CÉNOZOÏQUE

Si les grands ensembles du Trias-Lias-Dogger étaient reconnus dans la précédente édition de la carte à 1/80 000, les récents levés ont permis de préciser l'extension des faciès et plus particulièrement du Pliensbachien, subdivisé en trois unités cartographiques, du Bajocien, découpé en deux unités et du Bathonien supérieur, en deux ensembles. Le caractère diachrone du Calcaire à gryphées géantes a été confirmé, son âge élargi à la zone à *Serpentinum*. Le Toarciens inférieur est apparu complet (zone à *Tenuicostatium* et zone à *Serpentinum*), sous un faciès d'horizon condensé calcaire, très peu épais (quelques centimètres d'épaisseur).

Ces travaux ont aussi permis de constater que la région cartographiée est beaucoup plus tectonisée (tectonique cassante) qu'il n'y paraît sur la carte à 1/80 000 ; une partie du travail de terrain a donc consisté à reconnaître le tracé des failles et à contraindre leur jeu, aidé en cela par plusieurs niveaux marqueurs, souvent peu épais et au faciès très caractéristique (le Calcaire à gryphées géantes fini-Domérien, le niveau à oolites ferrugineuses du passage Bajocien supérieur-Bathonien inférieur, les deux niveaux calcarénitiques du Bathonien supérieur).

La découverte de plusieurs silex résiduels et oursins silicifiés du Crétacé supérieur au cours des levés de la feuille Saint-Saulge voisine, confirmés sur celle de Decize, et surtout leurs relations stratigraphiques avec les argiles à chailles et les gisements de fer sidérolithique, ont permis de caler l'âge de ces altérites. Elles sont d'âge Crétacé inférieur et non Paléogène, voire Néogène, comme cela est rapporté dans les notices de certaines des feuilles voisines. Cet âge ne peut cependant pas être précisé plus avant. En effet, si l'on admet que la sédimentation marine jurassique s'est poursuivie jusqu'au Tithonien, à l'exemple du bassin de Paris, cette altération est postérieure au Tithonien. En complément, le remaniement dans le conglomérat de base de la transgression albienne des chailles très oxydées et des pisolites et amas ferrugineux, accompagnés d'éléments du socle et du Trias, atteste de l'antériorité de ces altérites par rapport à l'Albien.

La découverte de silex et oursins silicifiés du Cénomaniens à Campanien inférieur sur les feuilles Saint-Saulge et Decize a aussi permis de préciser

l'ampleur de la transgression crétacée supérieure dans la région et d'affiner les contours de la mer de la craie, avec un bassin de Paris en connexion avec la Thélys, le Nivernais et le Morvan immergés, comme déjà souligné par P. Rat (1968) dans une remarquable synthèse.

Les silcrètes pédogéniques étaient jusqu'alors inconnus dans ce secteur avant les levés des feuilles Saint-Saulge et Decize. Leur présence offre un jalon de choix entre ceux du Sud du bassin de Paris (par exemple en Sancerrois, Thiry et Simon-Coinçon, 1996) et ceux repérés dans le Massif central au sommet des affleurements classiques du Sidérolithique sur la bordure ouest du fossé du Cher (feuilles Châteaumeillant, Hérisson et Montluçon), et dans le Lembron (feuilles Saint-Germain-Lembron et Besse-en-Chandesse).

La présence d'altérites à meulière était très peu soupçonnée dans la région également, seuls les calcaires et marnes lacustres ayant été signalés. Anecdотiques sur la feuille Saint-Saulge, elles sont plus étendues sur la feuille Decize, et malgré la piètre qualité des affleurements, leur présence s'avère inféodée aux « lanières » de calcaires lacustres dans les compartiments effondrés. Localement, les calcaires lacustres ont même entièrement disparu par altération et seules les meulière permettent de témoigner de leur présence passée et de montrer que les lacs éocènes à oligocènes ont recouvert les profils d'altérites à chailles plus ou moins riches en minerai de fer et bauxite, et silcrétisés ou non.

GÉOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT

RESSOURCES EN EAU

Cadre géographique et géologique

La feuille Decize est entièrement située dans le bassin de la Loire. Elle est traversée par celle-ci, globalement suivant une diagonale Sud-Est/Nord-Ouest. Sur la feuille, la Loire ne reçoit que de faibles affluents sauf l'Aron qui se jette dans la Loire à Decize en rive droite.

L'ensemble de la feuille occupe une zone assez mollement vallonnée constituée essentiellement de formations sédimentaires mésozoïques, cénozoïques et plio-quaternaires affectées de failles orientées NNE-SSW dans la moitié ouest et N-S dans la moitié est. Ce système de failles fait remonter, au centre de la feuille, le horst de La Machine, occupé par des formations houillères d'âge stéphanien, en grande partie recouvertes par du Trias.

La Loire entre sur la feuille au Sud-Est, à l'altitude de 189 m et en sort au Nord-Ouest à l'altitude de 177 m, point le plus bas de la feuille. Le point le plus

élevé de la feuille est à 352 m d'altitude, sur la commune de Limon près du bord nord de la feuille ; il est situé sur des formations résiduelles recouvrant des calcaires du Dogger.

Les réservoirs aquifères présents sur la feuille sont peu étendus et, en général, peu productifs du fait :

- de la nature assez argileuse des formations mésozoïques, cénozoïques et plio-quaternaires et
- du compartimentage par les grandes failles.

La seule ressource en eau souterraine importante est celle contenue dans les alluvions récentes de la Loire.

Climatologie et hydrologie

Climatologie

Il n'y a pas de postes pluviométriques à longues séries de mesures sur la feuille Decize. Les précipitations peuvent y être évaluées par quatre postes pluviométriques situés à son voisinage, Prémery au Nord, Nevers à l'Ouest, Villeneuve-sur-Allier (Allier) au Sud et Cronat (Saône-et-Loire) au Sud-Est. Sur la période 1951-1980, les hauteurs moyennes annuelles des précipitations à ces quatre postes ont été de :

- 909,8 mm à Prémery ;
- 802,0 mm à Nevers (station complète de la météorologie nationale) ;
- 722,5 mm à Villeneuve-sur-Allier (moyenne 1952-1980) ;
- 804,9 mm à Cronat.

Des données fournies par ces quatre postes, on peut conclure que les précipitations moyennes annuelles sur la feuille sont comprises entre 750 et 850 mm.

Ces quatre postes connaissent une répartition saisonnière des précipitations à peu près identique. Elle est de type océanique atténuée, c'est-à-dire que les quatre saisons sont arrosées d'une manière à peu près égale. On note seulement un minimum pluviométrique en avril et, pour la saison la plus arrosée, c'est de peu, soit l'automne, soit l'hiver.

Il n'y a pas de station complète de la météorologie nationale sur la feuille Decize. La température moyenne annuelle (période 1951-1980) sur la feuille peut être évaluée par la station complète de la météorologie nationale de Nevers (Marzy) à 176 m d'altitude et située à 10 km seulement au Nord-Ouest de la

feuille : elle y est de 10,3 °C. On peut alors prendre raisonnablement comme température moyenne annuelle sur la feuille, la valeur de 10 °C.

Hydrologie

Il n'y a pas, sur la feuille Decize, de bassin versant de cours d'eau contrôlé par station de jaugeage. La station de jaugeage de l'Aron à Verneuil contrôle un bassin versant qui s'étend presque entièrement hors de la feuille.

On donne cependant ci-dessous des données sur les débits :

- de la Loire car celle-ci et ses alluvions occupent une place importante sur la feuille :
- la Loire à Gilly-sur-Loire (Saône-et-Loire), à 35 km à l'amont de la feuille,
- la Loire à Nevers, à quelques kilomètres l'aval de la feuille ;
- de l'Aron à Verneuil, cette station étant située sur la feuille, dans son coin sud-est.

Ces trois stations sont gérées par le Service de Bassin Loire-Bretagne (SBLB) d'Orléans, service dépendant de la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) Centre. Le tableau 2 présenté ci-dessous, donne les principales caractéristiques de leur régime, à savoir :

- la surface du bassin versant (BV) ;
- la période de calcul des moyennes ;
- le débit moyen annuel ;
- le débit moyen mensuel le plus faible de l'année ;
- et la valeur du rapport du débit moyen mensuel le plus faible de l'année sur le débit moyen annuel.

Nom de la station de mesures	Surface du BV (km ²)	Période de mesure	Q moyen annuel en m ³ /s (en l/s/km ²)	Q moyen mensuel le plus faible de l'année en m ³ /s (en l/s/km ²)	Rapport du Q mensuel le plus faible sur le Q annuel
Loire à Gilly-sur-Loire	13 037	1970-1994 sauf 1988 (24 ans)	144 (11,05)	43,7 (août) (3,35)	0,30
Loire à Nevers	17 570	1955-1994 (40 ans)	186 (10,58)	51,9 (août) (2,95)	0,28
Aron à Verneuil	1 465	1970-1994 sauf 1992 et 1993 (23 ans)	19,9 (13,58)	3,18 (septembre) (2,17)	0,16

Tabl. 2 - Stations de jaugeage sur cours d'eau concernant la feuille Decize

Ressources en eau

Ressources en eau des formations paléozoïques

Les formations paléozoïques sur la feuille Decize n'affleurent que dans le horst de La Machine. L'hydrogéologie de ces formations plissées et constituées de schistes avec niveaux de grès, s'apparente à celle des zones de socle cristallin, quoique avec quelques différences.

Dans toutes les zones de socle, les ressources en eau sont essentiellement liées aux altérations de surface ou de faible profondeur, qui développent des produits à porosité d'interstices, et aux zones de fractures, jusqu'à des profondeurs qui peuvent être importantes. Ces fractures, en général en charge, jouent le rôle de drains pour les eaux contenues dans les altérites sus-jacentes. Les ressources sont peu liées à la nature lithologique des formations. Mais, alors que l'altération des roches de socle cristallin donne naissance à un manteau d'altérites de nature sableuse (arène), l'altération des roches de nature schisteuse donnent des altérites essentiellement argileuses, donc très peu perméables, et leurs ressources en eau souterraine sont donc pratiquement nulles.

Les ressources en eau souterraine des formations paléozoïques de la feuille Decize seront donc faibles et liées, non pas au manteau d'altérites mais à des niveaux plus profonds correspondant, soit à des fractures, soit à des niveaux plus gréseux. Par ailleurs, comme dans toutes zones de formations peu perméables, la surface piézométrique reste proche de la surface en suivant la topographie et donnant des sources nombreuses mais de faible débit dans tous les fonds de vallons (sources, sourcins, suintements, zones marécageuses).

Des sondages de reconnaissance réalisés en 1975 pour un projet de bâtiments à La Machine donnent des éléments représentatifs de l'hydrogéologie des formations schisteuses. Quatre sondages de reconnaissance (S1 à S4), de 8 m de profondeur, sauf un de 15 m, ont été faits sur le site (dossier BSS 549 3X 0008). La formation totalement altérée en produits argileux, parfois un peu sableux, se rencontre de la surface jusqu'à 2,25 à 3,10 m de profondeur ; au-delà, on trouve la formation peu altérée constituée de schistes avec quelques niveaux de grès. Les premières venues d'eau se rencontrent à la base de la formation argileuse, c'est-à-dire au toit des schistes peu altérés mais le niveau piézométrique s'établit toujours à environ 1 m au-dessus, c'est-à-dire que la nappe est captive sous les altérites argileuses. Le niveau piézométrique, sur le site de ce chantier, se trouve à faible profondeur sous la surface, entre 0,90 et 1,85 m, et il y a, en contrebas, un exutoire sous forme d'une petite source.

Économiquement, cette ressource ne présente pas un grand intérêt.

Ressources en eau des formations mésozoïques, cénozoïques et plio-quaternaires

La couverture sédimentaire mésozoïque, cénozoïque et plio-quaternaire est composée de formations variées (argile, marne, grès, roches carbonatées, sables et graviers). Elle s'étend du Trias au Plio-quaternaire.

Les formations perméables, susceptibles de contenir des ressources en eau souterraine, sont, de bas en haut :

- les grès et, éventuellement, les dolomies du Trias, formations qui reposent directement sur les formations paléozoïques ;
- quelques niveaux calcaires dans le Lias, notamment le calcaire à Gryphées du Sinémurien, le Lias étant par ailleurs essentiellement marneux ;
- les niveaux calcaires du Dogger qui alternent avec des niveaux marneux ;
- les niveaux calcaires du Cénozoïque qui se trouvent au sein d'une série essentiellement marneuse ;
- les « Sables et argiles du Bourbonnais », d'âge plio-quaternaire qui, en rive gauche de la Loire, recouvrent d'un manteau presque continu toutes les autres formations.

Compte tenu de la puissance relativement faible des niveaux susceptibles d'être aquifères comparés à l'importance des niveaux marneux et, compte tenu aussi, comme signalé plus haut, des failles qui compartimentent la série, les ressources aquifères de ces formations sont peu importantes sur la feuille de Decize et, corrélativement, les renseignements disponibles, notamment en BSS, sont peu nombreux. Elles sont vraisemblablement plus importantes dans le quart nord-ouest de la feuille où les formations du Dogger affleurent sur de plus grandes surfaces.

On peut simplement noter un forage de recherche d'eau industrielle à Decize, usine de céramique du faubourg Saint-Privé, réalisé en 1989 et d'une profondeur de 44 m (indice BSS : 549 7X 0051). Il capte le Trias. Il a traversé, sous des alluvions sableuses (de 1 à 12 m), les formations du Trias composées de grès et argiles grises de 12 à 17 m puis de sables argileux de 17 à 42 m et enfin d'argiles rouges de 42 à 44 m. Il est cimenté de la surface 17 m et crépiné de 17 à 44 m. Le débit, lors des travaux, a été vraisemblablement de 25 m³/h. Le Trias atteint ici appartient au horst de Decize-La Machine. Concernant le Trias, on peut aussi signaler une ancienne exploitation de gypse située à environ 1 500 m au Sud du bourg de Fleury-sur-Loire au lieu-dit « le Lieu Bardot » et qui dû être abandonnée du fait de venues d'eau ascendantes importantes (rapport d'hydrogéologue agréé : J.-C. Ménot, 17 décembre 1993 et dossier BSS 0549 6X 0013) : ce fait indique que des ressources aquifères existent, sans pour autant renseigner sur leur importance, dans les niveaux sous-jacents au gypse, donc vraisemblablement les grès plus ou moins argileux ou à ciment plus ou moins carbonaté.

Les autres données concernent des sources, ainsi :

- les sources du hameau de la Bussière à Champvert, captées pour AEP (indice BSS : 549 7X 0045 et 0050) : il s'agit de 4 sources dont deux sont captées ; le débit de chacune de ces 4 sources, mesuré à l'étiage était compris entre 2,2 et 7,5 l/mn ; ces sources sortent, semble-t-il, des grès blancs de la base du Rhétien (les deux plus hautes sourcent vraisemblablement au toit d'un niveau peu perméable affleurant et les deux plus basses par blocage contre les marnes du Lias abaissée par failles) ;
- la source de Villar à Fleury-sur-Loire (indice BSS : 549 5X 0015) : l'eau source à la base d'un niveau calcaire massif considéré dans le dossier BSS comme d'âge ludien reposant sur des marnes blanches considérées aussi comme d'âge ludien ; la résistivité de l'eau a été mesurée à 2 257 ohm.cm à 18 °C et la dureté à 22,8° français ; le dossier signale que le débit est suffisant pour alimenter la ferme voisine mais ne donne pas de valeur.

L'inventaire des phénomènes karstiques du département de la Nièvre (Chabert et Couturaud, 1986) a montré que les niveaux calcaires sont très souvent karstifiés, non seulement ceux du Dogger mais aussi ceux, pourtant peu épais, situés au sein du Lias marneux (voir la notice de la feuille Saint-Saulge, jointive au Nord, de celle de Decize, Roger *et al.*, 2006).

Par ailleurs, dans les zones d'affleurement du Dogger, qui sont assez étendues dans le quart nord-ouest de la feuille, celui-ci, comme c'est le cas habituel dans le Nivernais, est surmonté d'une couverture d'argiles à chailles de plusieurs mètres d'épaisseur. Ceci donne naissance à des phénomènes caractéristiques des plateaux nivernais, à savoir, des effondrements karstiques dans les niveaux calcaires enfouis qui se transmettent jusqu'à la surface où ils provoquent des dolines profondes, voire des gouffres, dans la couverture d'argiles à chailles. Ces creux en formation argileuse peuvent dépasser 6 m de profondeur et sont fréquents dans certains secteurs (voir la notice de la feuille de Saint-Saulge, jointive au Nord, de celle de Decize, Roger *et al.*, 2006). De tels effondrements peuvent se produire actuellement ce qui témoigne de l'évolution actuelle du karst sous-jacent. Ces cuvettes en formations superficielles surmontant des calcaires karstifiés constituent souvent aussi des pertes pour des ruisseaux.

Sur la feuille Decize, l'inventaire des phénomènes karstiques du département de la Nièvre référencé ci-dessus, donne comme phénomènes inventoriés :

- sur la commune de La Fermeté, les pertes de Vaux : après un parcours en surface de 200 m, un ruisseau se perd dans les calcaires du Bathonien supérieur (par forte pluie, cette perte n'absorbe pas tout le débit) ;
- encore sur la commune de La Fermeté, le gouffre de Rancy : ce gouffre s'est formé en 1985, dans les calcaires du Bathonien inférieur ; un niveau d'eau est observable au fond, à environ 6 m sous la surface ; une source se trouve à 600 m

au Nord-Ouest de ce gouffre et qui est vraisemblablement un exutoire de cette nappe ;

– sur la commune de Limon, la source des Perrins : cette source est pérenne ; en période de crue, une part de son débit provient d'un entonnoir encombré de blocs et situé à une vingtaine de mètres de la source ; 500 m en amont de la source, un ruisseau venant du hameau du Grand Lugue se perd de manière diffuse dans un pré.

Ces phénomènes karstiques indiquent pour tous les niveaux calcaires, une ressource vulnérable.

Concernant les « Sables et argiles du Bourbonnais », ceux-ci, du fait de leur position sur la feuille Decize, seulement en plateau, essentiellement au Sud de la Loire et de l'Aron (les formations sous-jacentes affleurent sur les versants ou en fond de vallons : Trias, Lias ou Cénozoïque), ne sont vraisemblablement noyés que sur des épaisseurs limitées si bien que leurs ressources en eau souterraine sont dans l'ensemble probablement peu importantes. Ceci n'exclut cependant pas des surépaisseurs du fait de possibles gouttières préexistantes dans le substratum cénozoïque comme cela a été rencontré sur la feuille jointive au Sud de Dornes.

Ressources en eau des alluvions

Les seuls cours d'eau importants sur la feuille sont l'Aron et surtout, la Loire. Les alluvions récentes de la Loire renferment la principale ressource en eau souterraine de la feuille.

La nappe des alluvions récentes de la Loire est exploitée pour l'eau potable en cinq champs captant qui alimentent des syndicats de communes, de l'amont vers l'aval :

1 - *Les captages de Decize* (indices BSS : 549 7X 0039, 0047 et 0048) : plusieurs puits de 8 à 10 m de profondeur implantés le long de la Loire en rive droite, à la sortie sud de la ville ; le débit de ces puits ayant diminué et la consommation ayant augmenté, ces puits ont été abandonnés et remplacés par de nouveaux puits, toujours en rive droite, d'abord au Gué du Loup (puits n° 7 : indice BSS : 549 7X 0039) puis au Sud-Est de la Saulaie, dans la vallée de la Vieille Loire (puits n° 8 et 9 : indices BSS : 549 7X 0047 et 0048) ; dans toute cette zone, c'est-à-dire au Sud de la ville entre la Loire vive et la Vieille Loire, les sondages de reconnaissance et les ouvrages eux-mêmes ont montré la coupe type suivante :

- de 0 à 1 m ou 1,50 m : limons et argile plus ou moins sableuse,
- de 1 ou 1,5 m à 10 ou 12 m : sables et graviers, parfois avec quelques galets au-delà des formations du Trias (argiles bariolées).

Le niveau statique de l'eau y est compris, hors crues de la Loire, entre 2 et 3 m sous la surface ; les essais sur le site du Gué du Loup ont donné jusqu'à un débit de 140 m³/h avec un rabattement stabilisé de 4,15 m (septembre 1975) ; les puits les plus récentes (les puits 8 et 9), lors des essais, ont montré des débits spécifiques de 25 m³/h/m de rabattement et des débits critiques d'environ 65 m³/h.

2 - *Le puits de captage du SIAEP de Druy-Parigny à Sougy-sur-Loire* (indice BSS : 0549 6X 0026), en rive droite, situé à environ 1 500 m à l'Ouest du hameau de Tinte : les recherches d'eau entreprises par le SIAEP dans les alluvions récentes de la Loire à quelques centaines de mètres de ce puits entre 1959 et 1964 (sondages d'indices BSS 549 6X 0001, 0002 et 0003) ont montré des épaisseurs totales d'alluvions comprises entre 5 et 11 m, alluvions composées, en surface d'argiles plus ou moins sableuses sur des épaisseurs comprises entre 0 et 3 m puis, en dessous, jusqu'au substratum, de sables et graviers ; le substratum des alluvions est ici le Trias ou l'Infra-Lias ; les niveaux statiques, hors crues de la Loire, sont compris entre 1,50 et 5,40 m sous la surface ; les pompages d'essai pratiqués sur ces forages ont donné des débits allant jusqu'à 108 m³/h avec un rabattement stabilisé à 2,45 m, soit un débit spécifique de 44 m³/h/m de rabattement.

3 - *Le puits de captages du SIAEP de Luthenay-Fleury à Fleury-sur-Loire* (indice BSS : 549 6X 0013) en rive gauche, situé à environ 1 km à l'Ouest du bourg de Fleury-sur-Loire : les sondages de reconnaissances réalisés sur le site ont montré des épaisseurs totales d'alluvions atteignant jusqu'à 14 m ; leur substratum est constitué de calcaires ; la nature des alluvions (succession lithologique) est semblable à celles du site de Sougy-sur-Loire ; les eaux de ce puits sont peu minéralisées, légèrement agressives et montrent une teneur en fer de 0,4 mg/l ; on a signalé, depuis 1991, de fortes teneurs en sulfate dans l'eau de ce puits, jusqu'à 240 mg/l en novembre 1992 ; elles étaient dues au déversement aux abords du puits des eaux de l'ancienne carrière de gypse mentionnées ci-dessus pour le Trias ; depuis, le problème semble avoir été résolu.

4 - *Le puits de captage du SIAEP Allier-Nivernais à Luthenay-Uxeloup* (indice BSS : 549 5X 0029), en rive gauche à 80 m de la berge du fleuve : ce puits, d'un diamètre de 3 m, est profond de 13 m ; il est pourvu d'une margelle qui s'élève à 4 m au-dessus du sol ; les alluvions sont sableuses et graveleuses dès la surface et ce jusqu'à leur base à 12 m de profondeur ; le substratum, recoupé de 12 à 13 m, est constitué de marnes grises (vraisemblablement du Lias) ; le niveau statique de l'eau, par rapport au sol est, en basses eaux, à environ 3 m de profondeur et, le 6 juin 1992, il était à 2,40 m de profondeur ; les pompages d'essai de juin 1992 ont permis d'évaluer à 90 m³/h le débit critique de l'ouvrage ; l'eau est assez peu minéralisée - résidu sec à 500 °C : 186 mg/l.

5 - Les deux puits de captage du SIAEP Imphy-Sauvigny-les-Bois à Imphy (indice BSS : 0549 1X 0002 et 0017), en rive droite, à 60 m environ de la berge du lit vif d'étiage du fleuve : les deux puits ont un diamètre extérieur de 3,30 m et une profondeur par rapport au sol de 9,74 pour le puits P1 et de 10,18 m pour le puits P2 ; tous les deux sont surmontés d'une margelle qui s'élève au-dessus du sol de 2,36 m et 2,42 m ; les forages de reconnaissance réalisés en octobre 1960 ont rencontré les marnes du Lias, substratum des alluvions, à 10,60 et 10,80 m sous la surface, les alluvions recoupées au-dessus étant constituées de sables plus ou moins graveleux avec parfois des galets ; les pompages d'essai réalisés en septembre 1999 ont donné, sur le P1, un rabattement de 0,78 m pour un débit de 73 m³/h et sur le P2, un rabattement de 0,97 m pour un débit de 96 m³/h ; le 21 septembre 1999, les niveaux statiques de l'eau par rapport au sol étaient de 5,17 m sous la surface au P1 et de 4,86 sous la surface au P2.

Eaux thermo-minérales

Il existe une source thermo-minérale sur la feuille Decize : c'est la source de Saint-Aré à Decize (indice BSS : 549 7X 0028 ; identification DRIRE : 058_095_001). Elle se trouve en rive gauche de la Loire, à 2 km au Sud de la vieille ville de Decize. Cette source a été exploitée pour embouteillage (arrêté ministériel du 20/2/1914, renouvelé le 19/8/1952), Société des Eaux minérales de Decize. La production de cols a été de 16 276 en 1961. L'exploitation a cessé en 1971.

Le captage est constitué d'un puits de 2 m de diamètre et d'une profondeur d'origine de 12,75 m (profondeur mesurée à 7,40 m seulement en 1988). C'est un puits artésien. Le débit semble très variable ; le débit moyen est de 4,6 l/mn mais le nombre de mesures n'est pas indiqué. L'eau est très minéralisée et de nature chlorurée-sodique et calco-sulfatée ; une analyse de 1950 donne pour les principaux éléments :

- résidu sec à 105 °C : 6 062 mg/l ;
- calcium Ca⁺⁺ : 576 mg/l ;
- sodium Na⁺ : 1 311 mg/l ;
- hydrogénocarbonates HCO³⁻ : 950 mg/l ;
- chlorures Cl⁻ : 643 mg/l ;
- sulfates SO⁴⁻ : 2 854 mg/l.

La température de son eau est basse : 12,5 °C le 24/10/1979 et 10,7 °C le 28/11/1988.

Cette eau provient des formations du Trias, ce qui lui donne sa minéralisation mais, compte tenu de sa basse température, son origine est peu profonde. Sur le site, le Trias n'affleure pas mais est très probablement à faible profondeur (il

affleure sur la rive opposée de la Loire). Par ailleurs, la source se place vraisemblablement sur une faille.

RESSOURCES MINÉRALES, SUBSTANCES UTILES, CARRIÈRES

Alors que dans les époques les plus reculées, c'est la Loire qui a surtout servi de moyen de transport, le développement de l'industrialisation, au XIX^e siècle, dans la région de Decize, a entraîné l'amélioration des voies navigables (création du canal latéral à la Loire et du canal du Nivernais achevés en 1839) et favorisé l'ouverture de la ligne de chemin de fer Nevers-Chagny, terminée au milieu du siècle.

Ces grands travaux ont largement facilité l'exploitation des ressources minérales locales et leur transport.

Historiquement, les ressources en **charbon** du Stéphaniens de la région de La Machine ont fait l'objet de recherches et d'exploitations menées dès les XV-XVI^e siècles, mais qui ne se sont développées de façon industrielle qu'à partir des années 1830. Le houiller productif est constitué par l'Assise de La Machine, dans lequel les mineurs ont distingués plusieurs faisceaux houillers, disposés du Sud vers le Nord : le faisceau des Meules, le faisceau des Blards, le faisceau des Crots, le faisceau du Mur (Grangeon *et al.*, 1968).

De nombreux propriétaires se sont succédés au cours du temps, jusqu'au dernier, les Houillères du bassin de Blanzay, jusqu'à la fermeture de la concession de La Machine, en 1974.

Exploitées depuis le XV^e siècle, puis surtout à partir de 1690, les houillères appartiennent à différents propriétaires : à la fin du XV^e siècle, trois grands propriétaires se partageaient les gisements de charbon : les comtes puis ducs de Nevers, le prieuré de Saint-Pierre-de-Decize (les revenus de ce prieuré sont affectés en 1623 à l'entretien du couvent des Minimes de Decize) et le seigneur des Ecotz. Il s'agissait alors d'une exploitation à flanc de coteaux, ciel ouvert ou par trous (« crot »).

Au cours du XVIII^e siècle, les exploitants se sont succédé. En 1776, M. Pinet s'associe avec M. Gounot pour affermer au duc de Nevers les exploitations de charbon sous la forêt des Glénons. Ils exploitaient déjà les gisements situés sous la forêt des Minimes et ceux de la propriété des Écots. Un arrêt du 13 mai 1780 leur concède le droit d'exploiter les mines de toute la région. L'installation d'une verrerie en 1785 à Decize par Perrier et de Saint-James donna un élan à l'exploitation du charbon, mais l'entreprise fit faillite en 1778. Pendant la Révolution, les mines sont placées sous séquestre puis mises en adjudication.

Le décret n° 46-1570 du 28 juin 1946 créant les Houillères du bassin de Blanzy organise le transfert des biens des Houillères de Decize appartenant à la société Schneider et Cie.

La fermeture du bassin est évoquée à partir de 1966, malgré d'importantes campagnes de sondages. Les houillères sont finalement fermées définitivement le 1^{er} août 1974. La concession de Decize est renoncée par arrêté du 18 mai 2004.

La production de charbon à l'ère industrielle a été de l'ordre de 20 Mt (Debriette, 2001). L'extraction de la houille a apporté une source d'énergie, alternative au bois, et permis le développement de nombreuses activités industrielles (forges, fours à plâtre, tuileries, usines de produits céramiques, verreries,...) exploitant les ressources minérales locales.

Connu aussi précocement, dès la fin du XVIII^e siècle, le **gypse** de la région de Decize a été longtemps exploité de façon artisanale et cuit sur place au moyen de fours à bois rudimentaires (Pottier, 1953) afin d'en produire du plâtre. Les carrières creusées (en galeries) dans le Trias de la région de Decize (Marnes bariolées) couvraient alors les deux rives de la Loire : en rive gauche, le secteur de la Ville-de-Lyon (commune d'Avril-sur-Loire) et en rive droite, le secteur compris entre Sougy-sur-Loire (anciennes carrières souterraines du Manège-la Cerise-Rosières) et Saint-Léger-des-Vignes (ancienne carrière souterraine et usine à plâtre des Raimbaults, ancienne carrière au Sud des Valettes, toutes fermées au début du XX^e siècle - vers 1914). D'après ce même auteur, le caractère artisanal de ces exploitations a pris un tour industriel à la fin du XIX^e siècle, le maximum de production (17 000 tonnes) étant atteint vers les années 1920-1924.

Début 1953, les mines de Sougy et de Rosières, dont l'exploitation avait cessé en 1946, étaient noyées, marquant la fin de cette activité extractive.

Les sables kaoliniques du Rhétien étaient encore exploités à Fleury-sur-Loire et à Avril-sur-Loire, au début des années 70. Cette activité, maintenant abandonnée, destinait le **kaolin**, exploité en galeries et produit par lavage et décantation, à la fabrication de la porcelaine de Nevers.

Les **argiles** kaoliniques colorées moins nobles, mais à qualités plastiques, contenues dans les terrains argileux du Trias, du Saxonien et du Lias (Domérien-Toarcien), ont servi pour la fabrication de produits de terre cuite et de carreaux céramiques (notamment les faciès décarbonatés du Lias après altération supergène).

La plus importante a été la production des céramiques de Decize, produisant des carreaux de haute qualité, qui a cessé son activité au milieu des années 1990.

Seule une petite production artisanale subsiste de nos jours, alimentée par la carrière située au Nord du domaine des Pierres en bordure du bois des Fréty dans la partie sud du horst.

La carte de Decize compte par ailleurs plusieurs anciennes tuileries, dont on retrouve encore trace dans la toponymie, même quand les bâtiments ont disparu.

La présence de nombreux fours à chaux, aujourd'hui largement ruinés, atteste de l'utilisation déjà ancienne de certains calcaires pour la production de **chaux** à usage de construction ou agricole : calcaires de l'Hettangien et du Sinémurien (Ouest de Vanzé ; Tinte, au Sud de Sougy-sur-Loire ; Mortier, au Sud-Est de Béard), calcaires du Domérien supérieur (Villevelle au Nord de Verneuil), calcaires à entroques du Bajocien inférieur (Le Pautray, au Sud-Est d'Imphy).

Tous les calcaires, en général, ont aussi servi comme **Pierre de construction (moellon), pierre ornementale ou à défaut à usage d'empierrement**. Plusieurs anciennes carrières ont exploité les calcaires oolithiques de l'Hettangien pour sa dureté et sa capacité à être taillé (Parenche dans le coin sud-ouest de la feuille ; Tinte, au Sud de Sougy-sur-Loire ; le Buisson de la Roche, au Nord de Bussières) ; le Sinémurien a aussi donné lieu à exploitation en carrières (Poisson, au Nord-Est de Thianges ; la Garenne, au Sud d'Avril-sur-Loire pour la fabrication de moules). Les calcaires du Jurassique moyen ont aussi beaucoup été sollicités comme matériaux de construction ou d'ornement. Ainsi, les calcaires à entroques du Bajocien inférieur ont souvent été réservés à des usages nobles d'ornementation (le Port-des-Bois, au Nord de Sougy-sur-Loire ; l'Atelier, au Sud de Chévenon). Les faciès oolithiques du sommet du Bathonien ont aussi été utilisés par le passé. Toutes ces carrières sont maintenant abandonnées.

Une ancienne carrière localisée près du lieu-dit la Ville-de-Lyon, aurait permis de produire de façon artisanale, des meules réalisées à partir des couches de grès quartzeux fins et bien triés du Rhétien.

Les schistes exposés en terrils et issus de l'ancienne exploitation du charbon de La Machine constituent une ressource de matériaux de remblai et éventuellement de couche de chaussée (DRIRE, 2009).

Les matériaux alluvionnaires extraits du lit de la Loire constituent aujourd'hui la principale activité extractive de la région et aussi la principale source de granulats. Les matériaux extraits en carrière sont meubles et constitués de sables graveleux, principalement siliceux, plus accessoirement silicatés (feldspaths, débris de granite), favorables à leur usage pour la fabrication des bétons hydrauliques.

GÎTES ET INDICES MINÉRAUX

La sidérurgie, productrice de la fonte à usage des forges, est une activité très ancienne, bien développée dans le Nivernais (Robin, 1983), mais dont il ne reste que peu de témoins sur la feuille de Decize. Pour cette industrie, la source du fer était le plus souvent locale, liée à l'exploitation des horizons altérés et rubéfiés localement présents au sommet des profils d'altération épais affectant le Jurassique moyen ou supérieur. Le minerai de fer, autrefois appelé « sidérolithique » (de Grossouvre, 1886), se présente sous forme de poches observées au sein des argiles à chailles, maintenant imputées à l'émersion post-tithonienne (Crétacé inférieur) (Thiry *et al.*, 2005).

Les carrières d'extraction restent limitées à quelques anciennes fouilles et minières maintenant perdues dans les forêts. Le haut-fourneau de Druy (lieu-dit le Fourneau sur le ruisseau Gravot), qui a fonctionné au début du XIX^e siècle, a trouvé une partie de sa ressource en minerai de fer dans les bois de Limon, au Nord de la feuille et aussi près de Saint-Ouen-sur-Loire (Robin, 1983). Plusieurs lieux-dits comme « la Petite Forge » indiquent la présence d'anciennes forges alimentées par les minières présentes à proximité. La forêt des Amognes, les bois de Sardolles, de Cigogne, de Prye, et ceux de la Jarnosse (au Sud des bois de Limon) ont aussi été source intermittente de minerai pour plusieurs haut-fourneaux (celui d'Azy, celui de Cigogne notamment).

La présence, sur la bordure occidentale du Morvan, de minéralisations a justifié les recherches de galène et de blende menés par sondage par le BRGM entre 1955 et 1965 (Lefavrais et Lhégu, 1964 ; Lhégu, 1966). La SNEA(P) a repris un peu plus tard (Bois, 1978) l'étude par sondages carottés du Trias-base du Lias de cette région sans mettre en évidence de minéralisation d'intérêt économique.

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DES SONDAGES CITÉS DANS LE TEXTE

Nom du sondage	Coordonnées Lambert	
	X	Y
Menotons	680,500	212,600
Bois de Thianges	685,200	213,550
Trois Vèvres (Moriots)	683,550	212,850
Rozière	682,600	205,700
Germancy	685,100	201,600
Bois de Vanzé	690,600	208,200
Moulin de Verneuil	692,800	207,150
Girodons	693,150	203,450
Devay 1	693,000	201,575
Devay 2	693,025	200,825
Devay 3	692,025	201,275
Taillefer	691,550	202,750
Varioux 1	692,850	202,325
Varioux 2	692,700	202,850
Faye 1	694,700	203,400
Faye 2	695,000	205,450
Marcy 1	691,800	204,700
Marcy 2	692,500	205,500
Marcy 3	692,800	204,800
Marcy 4	693,600	204,200
Saint-Reverien Niv 43	688,300	246,450
Rouy Niv 50	692,500	225,100
Saxi-Bourdon SA1	687,750	229,400
Billy Chevannes BC1	686,900	224,900
Anlezy AY1	687,700	219,600
Thianges TG1	689,300	213,700
Champvert CT1	689,800	207,600

ITINÉRAIRES GÉOLOGIQUES

Les itinéraires proposés (fig. 28) invitent à la découverte des sites jugés les mieux exposés et les plus représentatifs des différentes formations représentées sur la feuille Decize. Les conditions d'observation sont celles qui prévalaient lors des levés entre 2002 et 2009.

En préalable, il importe de rappeler que :

- les carrières, bois et champs étant des propriétés privées, leur accès est donc soumis à une autorisation préalable du propriétaire ;
- la visite d'une carrière présente toujours des dangers et des risques d'accident (chutes de pierres, éboulements, risques de blessures ou de contaminations du fait de matériaux ou de produits, industriels ou non, qui peuvent y avoir été déversés) ; soyez prudents et circonspects ;
- si vous en avez l'autorisation, avant de pénétrer dans un pré enclos, assurez vous de l'absence d'animaux domestiques, qui peuvent éventuellement être dangereux (vaches, chevaux, ânes, moutons).

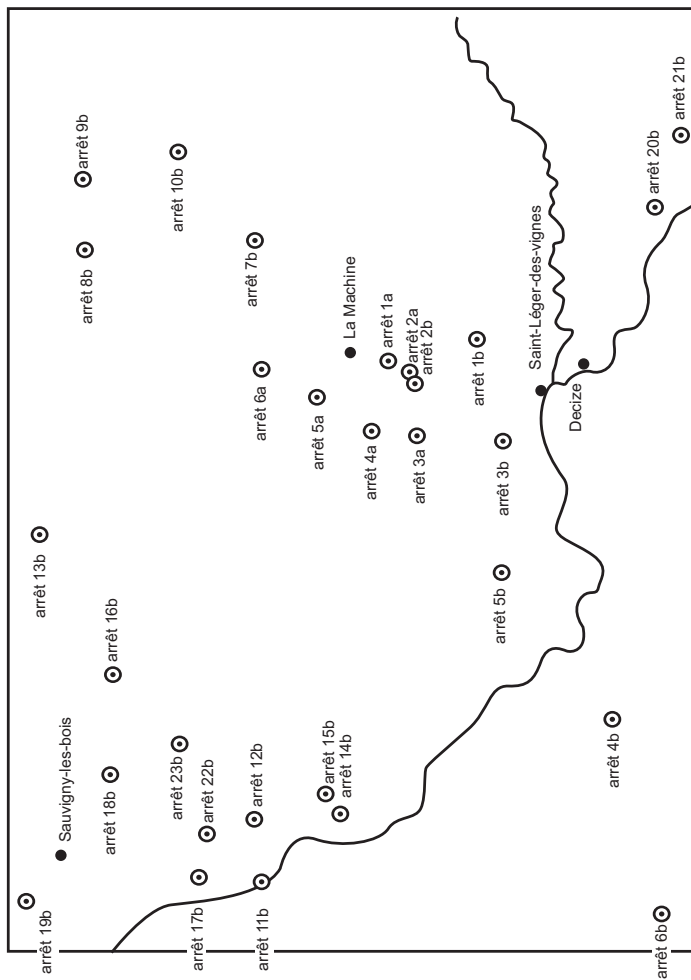


Fig. 28 - Itinéraire géologique de la carte de Decize. Carte de localisation des arrêts proposés

Terrains paléozoïques du horst de La Machine

Le Paléozoïque supérieur (Stéphanien-Saxonien) du horst de La Machine n'affleure dans de relatives bonnes conditions que dans de petites carrières, pour la plupart abandonnées, ou encore le long de talus routiers.

1a - Immédiatement au Sud de La Machine, en prenant la RD34 vers Decize, des conglomérats rubéfiés du Saxonien, à galets de rhyolites, affleurent dans le talus de la route, côté gauche, juste après la scierie.

2a - Environ 400 m plus loin, puis en prenant vers la droite, une piste peu praticable en voiture, mène à l'ancien domaine de l'Ouche Margot : on peut y observer des niveaux d'argilites rouges à passées conglomératiques avec galets de rhyolite, mal lités et à faible pendage, assez représentatifs de la sédimentation saxonnienne.

3a - À 2 km environ au Sud de La Machine sur la RD34, prendre à droite la petite route menant vers le Domaine Guyon puis le Domaine des Pierres. Au niveau de cette ferme, prendre à droite vers le Domaine du Faye : après être descendu de 600 m environ dans la vallée, on peut accéder à gauche de la route dans une carrière ouverte dans les argilites gréseuses du Saxonien, exploitée épisodiquement par l'entreprise « Céramiques Industries ». On y observe la présence de niveaux nettement rubéfiés et d'autres décolorés (photo).

Au sommet de cette carrière, la présence de galets de quartz et de silex pourrait être attribuée à une très ancienne terrasse alluviale résiduelle.

4a - En passant le Domaine du Faye, dans des terrains rouges du Saxonien, une piste mène vers le Nord jusqu'à l'ancien puits Henri Paul : en remontant sur la butte des Mandrilles après l'étang du Faye, se trouve une petite carrière ouverte dans les grés beiges du Stéphanien altéré, qui a probablement servi pour fournir des matériaux de construction. Les terrils du puits Henri Paul forment un petit escarpement le long de la piste, peu praticable par temps de pluie, qui aboutit sur le RD9 au niveau du Pavillon des Bois.

5a - En prenant sur la droite la RD9 vers La Machine, puis la première route à gauche, passant devant l'étang Neuf vers la cité Sainte-Eudoxie. Avant d'arriver à celle-ci, se trouve en contrebas de la route une ancienne petite carrière ouverte dans les grés et siltites ocres à filets charbonneux du Stéphanien, qui permet de recueillir des échantillons de flore stéphanienne (Cordaites essentiellement).

6a - Après avoir traversé la cité Sainte-Eudoxie jusqu'au lieu-dit les Riblets, prendre à gauche vers les Fromageots, et à nouveau à gauche une piste vers le bois de Thianges, qui mène à environ 500 m à une ancienne carrière d'argile

pour céramiques ouverte dans le Saxonien, qui permet, en fonction de la végétation, d'observer sur 5 m environ des argiles plus ou moins gréseuses bariolées.

Les autres petites carrières ouvertes dans le Stéphanien (Fond Judas au Sud-Est de La Machine) ou dans le Saxonien (La Pouillaterie au Nord-Est de l'agglomération) sont peu accessibles et envahies par la végétation.

Les unités représentatives de la couverture méso-cénozoïque affleurent de part et d'autre du horst de Decize-La Machine.

Dans le Trias, au Sud de La Machine et en rive gauche de la Loire

1b - Dans le Sud de la feuille de Decize, les faciès terrigènes basaux du Trias (Grès et argiles bariolés) s'enrichissent à leur sommet en ciment carbonaté et sulfaté. Ces faciès sont connus sous l'appellation « banc des Ponteaux » qui tirent leur nom du ruisseau des Ponteaux, qui s'écoule, au Nord-Est de Saint-Léger-des-Vignes, en direction du ruisseau de Fond Judas, qui se jette à son tour dans la rivière Aron, à l'Est de l'usine Kléber-Colombes. On accède au ruisseau depuis la ferme de la Corne Cassin. Les grès sont visibles sur 2 m environ, dans une petite falaise dominant le ruisseau. Ils sont coiffés par les marnes bariolées rouges à morphologie molle.

2b - Le même faciès est encore visible, au Sud de Machine. Au Sud de la ville, quitter la D34 et prendre la piste qui descend, vers l'Ouest, en direction de l'Ouche Margot. La descente présente la succession triasique : grès basaux, à ciment carbonaté et microfaune marine, coiffés par les marnes bariolés à faciès Keuper.

3b - Les faciès gypseux, autrefois exploités au sein des marnes bariolées du Keuper, ne sont pas visibles à l'affleurement. Les exploitations de gypse sont toutes fermées depuis longtemps et n'existent plus que sous forme de ruines industrielles. On retrouve encore trace d'amas à cristaux de gypse dans les anciennes exploitations proches de la ferme des Raimbaults, au Nord-Ouest des Valettes.

4b - Le Rhétien a aussi fait, autrefois, l'objet d'exploitations. Celles-ci sont toutes fermées. On pourra cependant visiter le front de taille de l'ancienne carrière de la Ville-de-Lyon, au Sud de Fleury-sur-Loire. L'accès se fait depuis la D116, que l'on quitte près du hameau le Bouilleton.

Dans le Lias

5b - L'Hettangien affleure largement sur la feuille de Decize, malheureusement sans offrir de coupe naturelle observable. Celles-ci n'existent qu'à la faveur d'anciennes carrières aujourd'hui abandonnées et souvent difficiles d'accès. Le front de taille d'une de ces anciennes carrières est observable au bord de la route N79 qui relie Saint-Léger-des-Vignes à Béard, au Sud de Sougy-sur-Loire. Le Sinémurien basal est observable en pierres volantes dans les labours du champ au-dessus.

6b - Le contact Hettangien – Sinémurien est également observable dans l'ancienne carrière de Parenche, accessible par la D13 depuis les Bruyères-Radon, dans le coin sud-ouest de la feuille.

7b - Le Sinémurien est également très bien exprimé sur la feuille de Decize, mais n'offre que très peu de coupes naturelles. On l'observe dans de très bonnes conditions dans l'ancienne carrière de Poisson, localisée au Sud-Est d'Anlezy et à l'Est de Thianges.

8b - Le Carixien est plus difficile à reconnaître à l'affleurement en raison du caractère marno-carbonaté de ses faciès. Ceux-ci sont visibles en base de talus, au carrefour des routes D34 et D18, à la sortie nord d'Anlezy.

9b - Si les terrains carixiens ne sont généralement pas directement observables, on retrouve par contre souvent, en pierres volantes, dans les champs labourés, des empreintes (moules internes) de grosses ammonites et des belemnites. Ces faunes peuvent être récoltées à l'Est d'Anlezy, autour des fermes de Gros Crêt et de Petit Crêt.

10b - Le Domérien inférieur argileux n'est pas mieux exprimé donnant des morphologies molles occupées par des cultures. On pourra observer le sommet de la série domérienne, dans la butte témoin de la ferme la Garenne, au Nord d'Aubigny-le-Chétif. Dans cette localité, les horizons carbonatés armés par le Calcaire à gryphées géantes, viennent coiffer la butte et former surface structurale. On trouve une riche macrofaune (ammonites, grandes bélemnites, gryphées géantes, pectenidés, brachiopodes, ...) visible en pierres volantes dans les champs autour de la ferme.

11b - Bien que très épais, le Toarcien, caractérisé par des faciès marneux, est aussi très difficile à observer. Sa base est visible, en été, sur les bords de la Loire, au lieu-dit les Plauts, au Sud-Ouest d'Imphy, sous forme de marnes sombres feuilletées (faciès des Schistes cartons) arrachées au lit du fleuve et abandonnées en surface des îles au milieu de la Loire. Avec un peu de chance, on peut y retrouver des empreintes de *Dactyloceras*.

12b - À l'Est du Grand-Vernay (Sud d'Imphy), sur la route D206, à hauteur de la ferme Bouloux, on observe les rares lits calcaires intercalés dans les marnes toarciennes, présentant des faciès à septarias.

13b - Dans les champs labourés, en contrebas, au Sud Montgoublin (route D9), les horizons marno-carbonatés du Toarcien moyen affleurent, montrant un horizon carbonaté remarquable par sa richesse en fossiles : la macrofaune bien conservée et non brisée comprend des ammonites (*Hildoceras*), des nautilus et des bélemnites.

Dans le Dogger, au Nord-Ouest de la feuille

14b - Le Bajocien inférieur à faciès de Calcaire à entroques s'observe depuis le pont enjambant la ligne ferrovière, à la sortie sud-ouest du Port-des-Bois (Sud d'Imphy, accès par la route N79). La dangerosité de la voie ferrée liée à l'étroitesse de la tranchée ferrovière, déconseille d'y descendre sans autorisation, toutes les observations pouvant se réaliser depuis le pont. La tranchée présente un empilement de bancs calcaires dont la coupe réalisée par F. Barbin (2000) a été reprise, plus haut, dans la notice.

15b - Le sommet de cette unité est visible en plein champ, au Nord du précédent village, près du lieu-dit Moulin à vent. Coiffant le calcaire à entroques, le Bajocien supérieur se compose d'un calcaire à oolites ferrugineuses et quelques ammonites telles *Strenoceras niortensis* et des coraux.

16b - On peut observer le passage Bajocien-Bathonien au Nord et au Sud de Thiernay (Nord-Est d'Imphy), notamment, près de la ferme des Senots. Le calcaire, très bioclastique, riche en macrofaune, s'observe en pierres volantes, dans les champs. On y trouve une riche association de céphalopodes (ammonites et nautilus), de brachiopodes, de bivalves et de plus rares échinidés. Ces niveaux condensés marquent un épisode d'inondation et couvrent plusieurs biozones : Zone à Parkinsoni, Sous-zone à Bomfordi (Bajocien supérieur terminal), zone à Zigzag, Sous-zone à Macrescens et base de la Zone à Aurigerus (Bathonien inférieur).

17b - Les calcaires du Bathonien inférieur à moyen sont peu remarquables, constitués de calcaires plus ou moins argileux dans lesquels les ammonites sont rares. Ces faciès sont observables, dans le bourg d'Imphy, en face de l'École André Dubois, sous la terminaison ouest de la butte du Chaillou, dans une petite falaise dominant un parking privé. À défaut, la base de cette série est observable à l'Ouest de la ville, au débouché de la rivière l'Ixeure dans la Loire.

18b - Les calcaires oolitiques grossiers, à stratifications entrecroisées, du sommet du Bathonien supérieur sont interceptés à plusieurs endroits par la route

goudronnée D172, qui contourne la butte de Prye, en direction de la Fermeté, et à l'Ouest du château de Prye.

19b - Plusieurs anciennes carrières montrent le calcaire micritique à spicules du Callovien, dans le bois de Forges, au Nord-Ouest de Sauvigny-les-bois, en face de la ferme les Traînes.

Dans les terrains cénozoïques

20b - Les dépôts marno-calcaires du Priabonien-Oligocène sont visibles dans les falaises qui dominent, en rive droite, la Loire, dans le coin sud-est de la carte. On peut notamment observer ces faciès lacustres au Sud-Est du château de Devay.

21b - Les Sables et argiles du Bourbonnais, d'âge pliocène, constituent les épandages les plus superficiels au Sud-Est de Decize, venant coiffer les dépôts marno-carbonatés sous-jacents. On pourra observer ces faciès au sommet de la côte qui domine la Loire, dans la région de Devay.

Les paléaltérites

22b - Une belle dalle de « Sidérolithique » affeure en bordure et sous la ferme de Linière à l'Est d'Imphy. On en retrouve des éléments sporadiques, au sommet des buttes et plateaux, dans les forêts couvertes d'altérites à chailles, ainsi que des éléments de minerai de fer (pisolites et nodules pouvant atteindre la taille du poing), en bordure des minières abandonnées (petites dépressions elliptiques plurimétriques à pluridécamétriques, profondes de 3 à 10 m au maximum).

23b - De part et d'autre de la lanière tectonique à remplissage de calcaire lacustre, les zones du bois de Chiffort, au Nord et au Sud de la Sardolle, et du bois de Riat (au Sud des Grappes) offrent les plus beaux affleurements de silcrète pédogénique, formé aux dépens des altérites à chailles, depuis la base du profil silicifié avec les bancs de chailles encore en place, jusqu'aux blocs à débit colonnaire avec illuviations et coiffes.

Les affleurements les plus significatifs d'altérites à meulière de la feuille Decize sont :

- les dalles dans les bois de Landres et dans le talus de la D18 à l'Est des Plottes près de la Villa Cossaye (Sauvigny-les-Bois) ;
- les dalles qui coiffent et arment la butte de la Dienne ;
- les dalles retirées des travaux de fondation de hangars agricoles de la ferme du Pautray ;

- la partie ouest du Mont de Prye (talus de la D18), et quelques dalles dans les prés du hameau des Brosses ;
- les dalles dans le bois entre Béard et Sauvy ;
- dans le coin sud-est, entre le Barbier et Verneuil, et à la faveur des coteaux taillés dans les Calcaires et marnes lacustres au Nord immédiat de la Loire, près de Saint-Gervais.

Les autres affleurements d'altérites à chailles, à silex, à meulrières, de cuirasse sidérolithique et de silcrètes pédogéniques cartographiés sur la feuille Decize sont de trop piètre qualité (dalles et blocs isolés) et bien souvent perdus au milieu des bois pour être dignes d'intérêt. L'ouverture de tranchée ou de nouvelles routes permettra, probablement, d'en découvrir de nouveaux.

BIBLIOGRAPHIE

- BAELE J.-M. (2003) - Genèses de la silicite et de la microbialite turoniennes de Saint-Denis (bord occidental du bassin de Mons – Belgique). Thèse de Doctorat en Géologie appliquée, Faculté Polytechnique de Mons.
- BARBARAND J. (2003) - Apatite fission-track thermochronology in Western Europe: search for weathered/eroded cover rocks on the Hercynian basement (method, results, limitations and perspectives). *Géologie de la France*, 1, p. 91-94.
- BARBARAND J., QUESNEL F., CARTER A. (2004) - Combining paleoweathering surfaces and apatite fission-track data to reconstruct surface evolution of sedimentary basin borders. Proceedings of the 10th International Conference on Fission Track Dating and Thermochronology, p. 9-13, août 2004, Amsterdam, Pays-Bas.
- BARBIN F. (2000) - Analyses sédimentologique, diagénétique et séquentielle des calcaires aaléno-bajociens de Bourgogne occidentale : tentative de reconstitution paléogéographique. *Mém. DEA*, Université de Dijon, 50 p., Inédit.
- BERGERAT F. (1984) - La fracturation nivernaise : influences bourguignonne et centralienne sur la structuration du Nivernais. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 31, n° 4, p. 27-31.
- BERGERAT F., GEYSSANT J. (1980) - La fracturation tertiaire de l'Europe du Nord : résultat de la collision Afrique-Europe. *C. R. Acad. Sci Paris*, 290, (D), p. 1551-1524.
- BERTERA J.B.E., EBRAY T., BEGUYER DE CHANCOURTOIS A. (1862) - Carte géologique du département de la Nièvre, échelle 1/120 000, Nevers.
- BLES J.-L., BONJOLY D., CASTAING C., GROS Y. (1989) - Successive post-Variscan stress fields in the French Massif Central and its borders (Western European plate): comparison with geodynamic data. *Tectonophysics*, 169, p. 79-111.

- BONIJOLY D., CASTAING C. (1984) - Fracturation et genèse des bassins stéphanien du Massif central français en régime compressif. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. CIII, p. 187-199.
- BOIS M. (1978) - La base de la transgression mésozoïque sur la bordure ouest et est du Morvan (corrélations par diagraphies, étude sédimentologique, minéralisations associées). Thèse 3^e cycle, Dijon, 284 p., 22 pl. h.-t.
- BOIS M., COUREL L., COUSTAU R. (1980) - Des lagunes paraliques à la base de la transgression mésozoïque : cas de la dolomie de base de la bordure du morvan. *Bull. C. Rech. Expl. Elf-Aquitaine*, 4., p. 81-97.
- BOIS J., MARITON N.-D., RÉMOND C. (1982) - Inventaire des ressources nationales de charbon. Gisement de Decize – Devay. Rapport de fin de sondage. Sondage Devay A (DYA). Rapport BRGM 82 SGN 431 BOU.
- CASTAING C. (1983) - Inventaire des ressources nationales de charbon. Gîtologie prévisionnelle des charbons. Recherche de bassins houillers sous la couverture sédimentaire du Massif central septentrional. Rapport BRGM 83 SGN 085 GEO.
- CHABERT C., COUTURAUD A. (1986) - La Nièvre des grottes et des rivières souterraines. La Camosine, Nevers.
- CHALIER M., VIRLOGEUX D., DUTHOU J.-L. (1994) - Les lamprophyres du district aurifère de Saint-Yrieix (Limousin, Massif central français). Âge Rb/Sr autunien et relations chronologiques avec le dépôt de l'or. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 319, série II, p. 1511-1518.
- CHANTRAINE J., AUTRAN A., CAVELIER C. et coll. (1996) - Carte géologique de la France à l'échelle du millionième, 6^e édition. BRGM, Orléans.
- CLOCHIATTI R., TOURENQ J. (1971) - Présence de quartz des ponces du Mont-Dore, d'âge pliocène, dans les argiles sableuses du Bourbonnais. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 273, p. 2453-2455.
- CLOZIER L., DEBRAND-PASSARD S., DELANCE J.-H., DESPREZ N., LORENZ C., LORENZ J. (1983) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Sancoins (548). Orléans : BRGM. Notice explicative, 37 p.
- CLOZIER L., GROS Y. (1985) - Présence de failles normales dans les Sables et argiles du Bourbonnais d'âge pliocène supérieur (Nord du Massif central). Essai d'interprétation. *Géologie de la France*, BRGM, n° 4, p. 395-398.
- CLOZIER L., TURLAND M., BELKESSA R. (1982) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Dornes (575). Orléans : BRGM. Notice explicative, 51 p.
- COLLENOT (1876) - Sur les argiles à silex de la côte chalonaise. *Bull. Soc. Géol. France*, 3, IV, p 656.
- COUCHOT J.-P., LHÉGHU J., PAQUIER J., (1966) - Résultats d'ensemble de la prospection de la couverture secondaire du Morvan et du Charolais. Rapport BRGM, DRDM 66 A 4.

- COUREL L. (1970) - Trias et Rhétien des bordures nord et est du Massif central français. Modalités de la transgression mésozoïque. Thèse, Dijon, 3 vol.
- COUREL L. (1973) - Modalités de la transgression mésozoïque : Trias et Rhétien des bordures nord et est du Massif central français. *Mém. Soc. Géol. France*, n° 118, p. 1-152, pl. I à VIII.
- CROWELL J.-C. (1974) - Origin of Late Cenozoic basins in California. W.R. Dickinson (Ed) *Tectonic and sedimentation*. SEPM., spec. Publ. 224 : p. 190-204.
- DAGINCOURT E., DE LAUNAY L., BUSQUET M. (1888, réed. 1941) - Carte géol. France (1/80 000), feuille Saint-Pierre (135), Orléans : BRGM. Notice explicative, 6 p.
- DEBRAND-PASSARD S., GROS Y., LABLANCHE G., MÉNOT J.-C. avec la collaboration de CLOZIER L., TOURENQ J. (1992) - Âge, genèse et évolution du fossé de la Loire : nouvelle approche stratigraphique, morphologique et structurale. *Bull. inf. géol. bassin Paris*, vol. 29, n° 4, p. 63-74.
- DELANCE J.-H., LABLANCHE G., CLOZIER L. (1988) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Nevers (521). Orléans : BRGM. Notice explicative, 55 p.
- DELANCE J.-H., LAURIN B., MARCHAND D. (1979) - Observations sur la stratigraphie du Bathonien et du Callovien inférieur dans la région de Saint-Benin-d'Azy (Nièvre). *Bull. sc. Bourg.*, t. 32, fasc. 2, p. 71-95.
- DELFOUR J. (1989) - Données lithostratigraphiques et géochimiques sur le Dévono-Dinantien de la partie sud du faisceau du Morvan (Nord-Est du Massif central français). *Géologie de la France*, n° 4, p. 9-77.
- DELFOUR J., CLOZIER L., ALABOUVETTE B., CORNET J., MERCIER-BATARD F. (1992) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Fours (550). Orléans : BRGM. Notice explicative, 83 p.
- DELFOUR J., CLOZIER L., CARRAT H.-G., CORNET J., LEFAVRAIS-RAYMOND A. (1990) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Bourbon-Lancy (576). Orléans : BRGM. Notice explicative, 109 p.
- DONSIMONI M. (1983) - Inventaire des ressources nationales de charbon. Gisement de Decize-Devay (Nièvre). Rapport de fin de campagne de reconnaissance (1981-1982-1983). Synthèse géologique et géophysique. Rapport BRGM 83 SGN 801 GEO.
- DONSIMONI M. (1988) - Inventaire des ressources nationales de charbon. Le gisement de Lucenay-lès-Aix (Nièvre). Essai de synthèse géologique d'après les sondages récents (1981-1986). Volume 1. Rapport BRGM 87 SGN 652 GEO.
- DONZEAU M., GAUDRY F., CHÈVREMONT P., STUSSI J.-M (2006) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Charolles (623). Orléans : BRGM. Notice explicative, 199 p.
- DRIRE (2009) - Schéma départemental des carrières de la Nièvre.

- DURLET C., JACQUIN T., FLOQUET M. (1997) - Tectonique synsédimentaire distensive dans les calcaires aaléno-bajociens du Seuil de Bourgogne (France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 324, série IIa, p. 1001-1008.
- DURLET C., THIERRY J. (2000) - Modalités séquentielles de la transgression aaléno-bajocienne sur le Sud-Est du Bassin parisien. *Bull. Soc. géol. Fr.*, n° 3, p. 327-339.
- DUTHOU J.-L. (1977) - Chronologie Rb-Sr et géochimie des granitoïdes d'un segment de la chaîne varisque, relations avec le métamorphisme : le Nord-Limousin (Massif central français). Thèse État. *Annales scien. Univ. Clermont II*, n° 63 ; fasc. 30, série Géologie et Minéralogie, 294 p., 84 fig.
- DUTHOU J.-L., CHENENOY M., GAY M. (1994) - Âge Rb-Sr Dévonien moyen des migmatites à cordiérite du Lyonnais (Massif central français). *C. R. Acad. Sci.*, série II 319, p. 791-796.
- EBRAY T. (1858) - Études géologiques sur le département de la Nièvre. Paris : Baillièrre, 372 p., 25 pl.
- FABRE J., FEYS R., GREBER C. (1953) - Observations de surface aux Trois-Vèvres au Nord-Ouest du puits des Lacets - Flore du puits des Moriots - Rapport BRGG A 519-9.
- FAURE M., LELOIX C., ROIG J.-Y. (1997) - L'évolution polycyclique de la chaîne hercynienne. *Bull. Soc. géol. France*, t. 168, n° 6, p. 695-705.
- FAURE M., BÉ MÉZÈME E., DUGUET M., CARTIER C., TALBOT J.-Y. (2005) - Paleozoic tectonic evolution of medio-Europa from the example of the French Massif Central and Massif Armoricaïn. *J. of the Virtual Explorer*, Electronic Edition, Vol. 19, Paper 5, 26 p.
- FEYS R. (1947) - Recherche du prolongement du terrain houiller de Decize (Nièvre). Explorations effectuées de 1838 à 1946. Archives BRGM A97-3, 57 p.
- FEYS R. (1961) - Le Permien inférieur (Autunien) dans le bassin carbonifère et permien de Decize - BRGM - GEO 654.
- FEYS R., GREBER C. (1954a) - Sondages de Germancy, Sainte-Eudoxie, la Moquerie. Rapport préliminaire - BRGGM - A 6123.
- FEYS R., GREBER C. (1954b) - Sondage de Trois-Vèvres (ou des Moriots). Rapport BRGGM - A 85412.
- FEYS R., GREBER C. (1955) - Sondage du bois de Thianges. Rapport BRGGM - A 69212.
- FEYS R., GREBER C. (1955) - Observations sur la présence de Westphalien dans la Nièvre. Orientations nouvelles à donner aux recherches. Rapport BRGGM - A 81411.
- FEYS R., GREBER C. (1956) - L'Autunien du Nivernais. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 243, p. 1642-1644.

- FLEURY R., LABLANCHE G., LEFAVRAIS-RAYMOND A., GROS Y., MATHIS V., BELKESSA R. (1989) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Lurcy-Lévis (574). Orléans : BRGM. Notice explicative, 39 p.
- GARCIA J.-P., LAURIN B., SAMBET G. (1996) - Les associations de brachiopodes du Jurassique moyen du bassin de Paris : une échelle biochronologique ponctuée de niveaux-repères pour la contrainte des corrélations séquentielles à haute résolution. *Bull. Soc. géol. France*, t. 167, n° 3, p. 435-451.
- GAUDRY F., NEIGE P. (2002) - Biostratigraphie et ammonites du Toarcien (Jurassique inférieur) du Charollais et du Brionnais (Bourgogne, France). *Bull. sci. Bourg.*, 50, fasc. 1, p. 25-39.
- GÉLARD J.-P., VALLÉ B. (1983) - Faille inverse syndiagénétique dans le Stéphanien B de Montceau-les-Mines et autres indicateurs compressifs élémentaires : place dans l'interprétation du remplissage. *Mém. géol. Univ. Dijon*, 7, p. 83-86.
- GÉLARD J.-P., CASTAING C., BONIJOLY D., GROLIER J. (1986) - Structure et dynamique de quelques bassins houillers limniques du Massif central, *Mém. Soc. Géol. Fr., Nouv. Ser.*, 149, p. 57-72.
- GELY J.-P., LORENZ J. (2006) - Le Lias et le Dogger du Sud du Bassin parisien (France) : rôle de la tectonique syn-sédimentaire et reconstitutions paléogéographiques à l'échelle de la biozone d'ammonite. *Geobios*, 39, p. 631-649.
- GELY J.-P., LORENZ J. (2009) - Événements majeurs dans le Jurassique du Sud du Bassin parisien. *Bull. inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 46, n° 1, p. 27-44.
- GRANGEON M., GREBER C. (1954) - Sondage de Germancy (Nièvre). Rapport BRGGM 696.
- GRANGEON M., FEYS R., GREBER C. (1955) - Découverte de Westphalien par sondage en bordure du Morvan (Nièvre). *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 243, p. 1642-1644.
- GRANGEON M. (1957) - Sondage de l'étang du Faye (Nièvre). Document Houillères du bassin de Blanzay, BRGGM non référencé.
- GRANGEON M., FEYS R., GREBER C. (1968) - Géologie profonde de la région de Decize. Essai de synthèse d'après les sondages récents. *Bull. BRGM*, sect. 1, n° 1, p. 43-108, 8 pl.
- GROS Y. (1981) - La fracturation de la bordure nord du Massif central (région des horsts de La Machine, Neuville, Saint-Pierre-le-Moutier). Étude géométrique, cinématique et chronologique. Rapport BRGM 81 SGN 859 GEO.
- GROUPE FRANÇAIS D'ÉTUDE DU JURASSIQUE (1997) - Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parallèles et distributions des invertébrés et microfossiles. Cariou E. & Hantzpergue P. (Coord.). *Bull. C. Rech. Explor. Prod.*, Mém. 17, 440 p., 6 fig., 79 tab., 42 pl.

- GROSSOUVRE A. (de) (1886) - Étude sur les gisements de fer du centre de la France. *Ann. Mines*, (8), t. 10, p 311-418.
- GROSSOUVRE A. (de), BUSQUET, LAUNAY L. (de) (1894) - Carte géol. France (1/80 000), feuille Nevers (123), Orléans : BRGM. Notice explicative, 6 p.
- GUILLOCHEAU F. (1991) - Mise en évidence de grands cycles transgression-régression d'origine tectonique dans les sédiments mésozoïques du bassin de Paris. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, p. 1587-1593.
- GUILLOCHEAU F., ROBIN C., ALLEMAND P., BOURQUIN S., BRAULT N., DROMART G., FRIEDENBERG R., GARCIA J.-P., GAULIER J.-M., GAUMET F., GROSDOY B., HANOT F., LE STRAT P., METTRAUX M., NALPAS T., PRIJAC C., RIGOLLET C., SERRANO O., VAIRON J., GRANDJEAN G., (2000) - Mesozoic geodynamic evolution of the Paris Basin: 3D stratigraphic constraints. *Geodinamica Acta*, 13, p. 198-246.
- HOTTIN A.-M., CALVEZ Y. (1988) - Résultats analytiques sur quelques minéraux du forage de Sancerre-Couy. *Doc. BRGM*, Orléans, 137, p. 225-234.
- JOLY A. (2007) - Relations plutons et discontinuités lithosphériques. Approche pluridisciplinaire de la mise en place de plutons granitiques le long du Sillon Houiller (Massif central français). Apports des études de terrain et des données gravimétriques, magnétiques et ASM pour des modélisations 3D. Thèse Univ. d'Orléans, 307 p.
- LABLANCHE G., DELFOUR J. (1998) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Prémery (495). Orléans : BRGM. Notice explicative par G. Lablanche, J. Delfour (1998), 98 p.
- LABLANCHE G., LEFAVRAIS-RAYMOND A., DELANCE J.-H. (1997) - Le Domérien et le Toarcien basal au Nord du horst de Saint-Saulge (Nièvre). *Géologie de la France*, n° 2, p. 51-54.
- LAUNAY L. (de) (1923) - Études sur le Plateau Central. Notes sur le terrain tertiaire de la Limagne bourbonnaise. *Bull. Serv. Cart. Géol. Fr.*, XXVI, n° 133, p. 38-49.
- LEDRU P., LARDEAUX J.-M., SANTALLIER D., AUTRAN A., QUÉNARDEL J.-M., FLOCH J.-P., MAILLET N., MARCHAND J., PLOQUIN A. (1989) - Où sont les nappes dans le Massif central français ? *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), t. V, n° 3, p. 605-618.
- LE CALVEZ Y., LEFAVRAIS-RAYMOND A. (1961) - Lias des sondages de la bordure du Morvan. *In* : Colloque sur le Lias français. *Mém. BRGM*, n° 4, p. 503-534, 5 tab., 2 pl.
- LE CALVEZ Y., LEFAVRAIS-RAYMOND A., LHÉGU J. (1969) - Le Morvan et le détroit morvano-vosgien au Trias et au Lias. *Bull. BRGM* (2), 1, 4, p. 1-22.
- LEFAVRAIS A., FEYS R. (1955) - Sondage de Faye 2. Rapport BRGM n° A752.

- LEFAVRAIS A., LHÉGU J. (1964) - Les résultats stratigraphiques et paléogéographiques des sondages effectués dans le Nivernais (campagne 1962-1963). Rapport BRGM-DRMM 64 A46, 99 p.
- LEFAVRAIS-RAYMOND A., LHÉGU J., RENAUD L., SCOLARI G. (1965) - Contribution à l'étude géologique et métallogénique du Nivernais septentrional. *Bull. BRGM*, n° 2, p. 1-22, 11 fig.
- LEFORT F. (1884) - Mémoire sur la formation du kaolin dans la Nièvre. Nevers, Vallières, in 8°.
- LEFORT F. (1896) - Failles et géogénie d'après les découvertes faites dans le Nivernais. Paris, H. le Soulier, 259 p.
- LELOIX C. (1998) - Arguments pour une évolution polycyclique de la chaîne hercynienne. Structure des unités dévono-dinantiennes du Nord-Est du Massif central (Brévenne-Bourbonnais-Morvan). Thèse, Univ. d'Orléans, 233 p. + annexes.
- LEROY J., SONET J. (1976) - Contribution à l'étude géochronologique des filons de lamprophyres recoupant le granite à deux micas de Saint-Sylvestre (Massif central français). *C. R. Acad. Sci., Paris*, 283, série D, p. 1477-1480.
- LHÉGU J. (1966) - Étude d'échantillons minéralisés de la bordure du Morvan. Étude BRGM n° M2574/239.
- MARTEAU P. (1983) - Le bassin permo-carbonifère d'Autun. Stratigraphie, sédimentologie et aspect structuraux. *Doc. BRGM*, n° 64, 198 p., 54 fig., 19 tab., 5 pl.
- MARTIN J. (1876) - Sur les argiles à silex de la Côte Chalonnaise. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (3), t. IV, p. 653.
- MAZET P. (1958) - Recherche par sondage (Houillères du bassin de Blanzy, exploitation de Decize). Document H.B.B. Archives BRGM B 1506, 57 p.
- MÉGNIEU C. (éd.) (1980a) - Synthèse géologique du bassin de Paris, *Mém. BRGM*, n° 101, 102, 103.
- MÉGNIEU C. (1980b) - Tectonogenèse du bassin de Paris : étapes de l'évolution du bassin. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XXII, p. 669-680.
- MÉNILLET F. (1993) - Les meulièreS du Bassin parisien (France) et les faciès associés. Rôle des altérations supergènes néogènes et quaternaire ancien dans leur genèse. Thèse de Doctorat Es Science, 1988. Strasbourg : *Doc. BRGM*, 222, 425 p.
- MÉNOT J.-C., DEBRAND-PASSARD S., CLOZIER L., OROS Y. (1998) - Carte géol. France (1/50 000), feuille La Charité-sur-Loire (494). Orléans : BRGM. Notice explicative, 107 p.
- MOUTERDE R. (1953) - Études sur le Lias et le Bajocien des bordures nord et nord-est du Massif central français (thèse 1951). *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 236, 460 p., 14 pl., 7 tab.

- PAQUETTE Y. (1980) - Le bassin autunien de l'Aumance (Alier). Sédimentologie et tectonique syndiagénétique. Thèse 3^e cycle, Univ. Dijon, 227 p.
- PERRAUDIN J.-C. (1971) - Études géologiques sur le Nivernais, les formations bajociennes, les limites du Bathonien. Thèse 3^e cycle, Orléans, 172 p., 58 fig., 19 tab., 12 ann.
- PIN C., PEUCAT J.-J. (1986) - Âge des épisodes de métamorphisme paléozoïques dans le Massif central et le Massif armoricain. *Bull. Soc. Fr., Paris*, 8, IV, p. 13-20.
- POTTIER (1953) - Fin d'une industrie extractive nivernaise : abandon de l'exploitation du gypse de la région de Decize. *Société d'histoire naturelle de la Nièvre*.
- PRICHONNET G. (1967) - Étude sédimentologique et interprétation paléogéographique du Permo-Trias sur la bordure nord du Massif central. Thèse, Univ. Bordeaux, 3 vol.
- QUESNEL F. (1997) - Cartographie numérique en géologie de surface - Application aux altérites à silex de l'Ouest du bassin de Paris. Thèse Doctorat Géologie, Univ. Rouen, *Documents du BRGM*, 263, 268 p. et 160 p. d'annexes.
- QUESNEL F., BOURDILLON C., & coll. (2007) - Résidus à silex de l'Ouest du bassin de Paris (Normandie et Perche), du terrain à la typologie des faciès, biostratigraphie des silex résiduels, cartographie numérique, modélisation géométrique, évolution des profils d'altération sur le Crétacé supérieur. Livret Guide d'excursion, 2007, *Publications ASF*, 61, 88 p.
- QUESNEL.F., PROST.A.E., LABLANCHE.G., THIRY.M., SIMON COÏNÇON.R., THÉVENIAUT H., MAGET P., BARBARAND J., CRIBELLIER C. (2009) - Notice explicative de la feuille Châteaumeillant (n° 595), Carte géologique de la France à 1/50 000, Orléans : Éditions BRGM, 139 p.
- RAT P. (1968) - Sur le comportement du futur seuil de Bourgogne au Crétacé. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, sér. 7, 10, p. 393-402.
- RICORDEL C. (2007) - Datations par paléomagnétisme des paléoaltérations du Massif central et de ses bordures : implications géodynamiques. Thèse de 3^e cycle. ENSMP, Paris, 172 p.
- RICOUR J. (1962) - Contribution à une révision du Trias français. Thèse Univ. Paris et *Mém. Serv. Carte géol.*, 471 p., 122 fig., 24 pl., 8 pl. h.t.
- ROBIN C. (1997) - Mesure stratigraphique de la déformation : application à l'évolution jurassique du bassin de Paris. Thèse Doctorat. Univ. Rennes 1 et *Mém. Géosciences-Rennes*, 77, 293 p.
- ROBIN C., GUILLOCHEAU F., ALLEMAND P., BOURQUIN S., DROMART G., GAULIER J.M., PRIJAC C. (2000) - Échelles de temps et d'espace du contrôle tectonique d'un bassin flexural intracratonique : le bassin de Paris. *Bull. Soc. géol. France*, t. 171, n° 2, p. 181-196.

- ROBIN R. (1983) - Forges et forgerons du Berry et du Nivernais. Éd. de l'Université et de l'enseignement moderne.
- ROGER J., DELFOUR, QUESNEL F., BONIJOLY D., JAUFFRET D., MARCHAND D., GAUDRY F. (2006) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint-Saulge (522). Orléans : BRGM. Notice explicative, 136 p.
- SAPIN S. (1967) - Principaux résultats géologiques des travaux d'exploration réalisés par la Société nationale des pétroles d'Aquitaine dans le Sud-Ouest du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, IX, p. 327-354.
- SCHMITT J.-M. (1986) - Albitisation triasique, hydrothermalisme jurassique et altération supergène récente : métallogénie des gisements uranifères du Rouergue. Thèse doct. État, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 243 p.
- THÉVENIAUT H., QUESNEL F., WYNS R., HUGUES G. (2007) - Paleomagnetic dating of the "Borne de Fer" ferricrete (NE France): Lower Cretaceous continental weathering. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 253, p. 271-279.
- THIRY-BASTIEN P. (2002) - Stratigraphie séquentielle des calcaires bajociens de l'Est de la France (Jura - bassin de Paris). Thèse Univ. Claude Bernard-Lyon 1, 411 p.
- THIRY M. (1981) - Sédimentation continentale et altérations associées : calcitisations, ferruginisations et silicifications. Les Argiles Plastiques du Sparnacien du bassin de Paris. Thèse État Sciences, *Mém. Sci. Géol.*, 64, Strasbourg, 173 p.
- THIRY M. (1999) - Diversity of continental silicification features : examples from the Cenozoic deposits in the Paris Basin and neighbouring basement. In *Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related continental deposits*, Thiry M. & Simon-Coinçon R. Editors, *IAS Spec. Publ.* 27, Blackwell Science, p. 87-127.
- THIRY M., QUESNEL F., YANS J., WYNS R., VERGARI A., THÉVENIAUT H., SIMON-COINÇON R., MOREAU M., GIOT D., DUPUIS C., BRUXELLES L., BARBARAND J., BAELE J.-M. (2006) - Continental France and Belgium during the Early Cretaceous: paleoweatherings and paleolandforms. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 177, 3, p. 155-175.
- THIRY M., SIMON-COINÇON R. (1996) - Tertiary silcretes in Southern Paris Basin. *Catena*, 26, p. 1-26.
- THIRY M., SIMON-COINÇON R., QUESNEL F., WYNS R. (2005) - Altération bauxitique associée aux argiles à chailles sur la bordure sud-est du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 176, 2, p. 199-214.
- TOURENQ J. (1986) - Étude sédimentologique des alluvions de la Loire et de l'Allier, des sources au confluent. Les minéraux lourds des roches des bassins versants. BRGM, Orléans. Document n° 108, 108 p.

- TOURENQ J. (1989) - Les Sables et argiles du Bourbonnais (Massif central, France). Une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur. Étude minéralogique, sédimentologique et stratigraphique. Thèse Doct. État, Univ. P. et M. Curie (Paris VI) et *Doc. BRGM*, 174, 333 p.
- VALLE B., COUREL L., GÉLARD J.-P. (1988) - Les marqueurs de la tectonique synsédimentaire et syndiagénétique dans le bassin stéphanien à régime cisailant de Blanzay-Montceau (Massif central France). *Bull. Soc. Géol. France* (8), t. IV, n° 4, p. 529-540.
- WYNS R. (1991) - Évolution tectonique du bâti armoricain oriental au Cénozoïque d'après l'analyse des paléosurfaces continentales et des formations géologiques associées. *Géologie de la France*, 3, p. 11-42.
- WYNS R. (1999) - Contraintes géologiques et géomorphologiques à l'histoire de la mobilité verticale de la lithosphère continentale en Europe de l'ouest depuis le Crétacé : relations avec la genèse des grabens et du volcanisme tertiaires. In : Nehlig P., Coord., Colloque « Volcanismes, sédimentations et tectoniques cénozoïques périalpins », Aurillac, sept. 1999. *Doc. BRGM*, 291, p. 46-47.
- WYNS R., QUESNEL F., SIMON-COINÇON R., GUILLOCHEAU F., LACQUEMENT F. (2003) - Major weathering in France related to lithospheric deformation. *Géologie de la France*, 1, p. 79-87.
- YANS J. (2003) - Chronologie des sédiments kaoliniques à faciès wealdiens (Barrémien moyen Albien supérieur ; bassin de Mons) et de la saprolite polyphasée (Crétacé inférieur et Miocène inférieur) de la Haute-Lesse (Belgique). Implications géodynamiques et paléoclimatiques. Thèse de doctorat inédite, Faculté Polytechnique de Mons & Université de Paris-Sud Orsay, 316 p.
- YAPAUDJIAN A. (1957) - Essai de caractérisation pétrographique des sédiments triasiques, permien et stéphanien du bassin de Decize (Nièvre). Document BRGM non référencé.
- ZANY D., MANGOLD C., MARCHAND D., TREHOUR M. (1995) - Biostratigraphie et stratigraphie séquentielle du Bajocien supérieur-Bathonien inférieur dans le Nivernais. *Géologie de la France*, n° 1, p. 47-61, 7 fig., 2 pl. photos.
- ZIEGLER P.A. (1988) - Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. *AAPG Memoir*, 43, 198 p.
- ZIEGLER P.A. (1990) - Geological Atlas of Western and Central Europe (2 ed.). Shell Int. Petrol. Mij. B.V., dist. by *Geol. Soc. Publ. House Bath.*, 239 p.

DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES PARUS

Carte géologique du département de la Nièvre à 1/120 000 (1862), par J.B.E. Bertera et T. Ebray.

Cartes géologiques de la France à 1/250 000

Feuille *Chalon-sur-Saône* (1987), par J.C. Chiron, R. Fleury, Y. Kerrien.

Feuille *Dijon* (1989), par P. Rat *et al.*

Cartes géologiques de la France à 1/80 000

Feuille *Saint-Pierre* (1888), 2^e édition en 1941, par E. Dagincourt, L. de Launay et M. Busquet.

Feuille *Nevers* (1894), 2^e édition en 1969, par A. de Grossouvre, M. Busquet et L. de Launay.

Cartes géologiques de la France à 1/50 000

Feuille *Dornes* (1982), par L. Clozier, M. Turland, R. Belkassa.

Feuille *Sancoins* (1983), par L. Clozier, S. Debrand-Passard, J.H. Delance, N. Desprez, C. Lorenz, J. Lorenz.

Feuille *Nevers* (1988), par S. Debrand-Passard, Y. Gros, J. Cornet, C. Martins, C. Vautrelle, M. Gratier.

Feuille *Lurcy-Lévis* (1989), par R. Fleury, G. Lablanche, A. Lefavrais-Raymond, Y. Gros, V. Mathis, R. Belkassa.

Feuille *Bourbon-Lancy* (1990), par J. Delfour, L. Clozier, H.G. Carrat, J. Cornet, A. Lefavrais-Raymond.

Feuille *Fours* (1992), par J. Delfour, L. Clozier, B. Alabouvette, J. Cornet, F. Mercier-Batard.

Feuille *Prémery* (1998), par G. Lablanche, J. Delfour.

Feuille *Saint-Saulge* (2006), par J. Roger, J. Delfour, F. Quesnel, D. Bonijoly, D. Jauffret, D. Marchand, F. Gaudry.

Feuille *Charolles* (2006) par M. Donzeau, F. Gaudry, P. Chèvremont, J.-M. Stussi.

Carte géologique de la France à 1/1 000 000

Par J. Chantraine, A. Autran, C. Cavelier et coll. *et al.*, 1996 (6^e édition) et 2003 (6^e édition révisée).

Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000

Feuille *Strasbourg* (1982), coordination J. Méloux.

Carte des ressources minérales du Massif central à 1/1 000 000 (1979), par A. Emberger et J.J. Perichaud.

À VISITER

Musée de la Mine à La Machine. Celui-ci permet de découvrir l'architecture industrielle et les technologies liées à une ancienne mine de charbon et aussi d'observer la reconstitution d'une galerie de mine.

AUTEURS

La participation des auteurs à la rédaction de cette notice est la suivante :

- introduction, fracturation, synthèse géodynamique régionale, substances utiles, gîtes minéraux, documentation complémentaire : J. Roger, P. Marteau, F. Quesnel ;
- socle varisque : Ph. Chèvremont ;
- formations paléozoïques : P. Marteau ;
- formations mésozoïques : J. Roger, F. Gaudry ;
- formations cénozoïques et paléoaltérites : F. Quesnel, J. Roger ;
- formations alluviales et dépôts quaternaires associés : J. Roger ;
- hydrogéologie : D. Jauffret.

ANNEXE

La carte et la notice de la feuille Decize sont accompagnées d'un CD-Rom regroupant l'ensemble de la base de données synthétisée. Ces données sont géoréférencées et interrogeables avec Google Earth. Les données concernant la feuille Saint-Saulge complètent la base livrée.