

BULLETIN D'INFORMATION DES GEOLOGUES DU
P BASSIN DE
P A R I S S



TRIMESTRIEL
Volume 57 - N° 4



DÉCEMBRE 2020

NOUVELLES INSTRUCTIONS AUX AUTEURS (mises à jour en septembre 2020)

Le *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris* publie en français (ou éventuellement en anglais pour les auteurs non-francophones) :

- des *articles originaux* de référence, d'intérêt général ou régional traitant de la géologie du Bassin parisien et/ou de ses marges, ou de tout autre bassin sédimentaire susceptible d'intéresser nos lecteurs ;
- de *courtes notes* accompagnant souvent des comptes rendus d'excursion ;
- des *comptes rendus d'excursions* ;
- des *notices nécrologiques* ;
- des *analyses d'ouvrages* ;
- des *informations générales* pouvant intéresser les lecteurs ;
- des comptes rendus de réunions de l'AGBP (sous la rubrique « *vie associative* »).

Chaque manuscrit soumis est examiné par les rédacteurs, ainsi que par un des / ou plusieurs conseillers éditoriaux qui en font eux-mêmes la lecture critique ou en confient ce soin à des rapporteurs extérieurs. Ces derniers restent anonymes, sauf s'ils désirent que leur nom soit communiqué à l'auteur.

Les opinions émises par les auteurs dans leurs articles n'engagent que leur propre responsabilité.

Les délais de parution (entre la date d'acceptation du manuscrit et la publication de l'article) sont de l'ordre de 3 à 6 mois.

Présentation des manuscrits

Ils doivent comprendre dans l'ordre suivant (tout en Times New Roman 12):

1. le titre en français, en majuscules, centré, en gras ;
2. le titre en anglais, en majuscules, en italique, centré, en gras ;
3. les noms des auteurs précédés de leur(s) prénom(s) en entier ;
4. un bref résumé informatif, de 200 mots au plus, en français ;
5. la liste de mots-clés (7 au maximum), en français ;
6. un bref résumé informatif, de 200 mots au plus, en anglais, en italique ;
7. la liste de mots-clés (7 au maximum), en anglais, en italique ;
8. en note infrapaginale de la première page, l'organisme d'appartenance des auteurs et/ ou leur adresse et leur courriel ;
9. le texte de l'article non justifié à droite ;

Les sections et sous-sections ne doivent pas être numérotées, mais marquées par des titres **hiérarchisés** en gras, majuscules, italiques etc. suivant le modèle ci-dessous :

DONNÉES NOUVELLES SUR LE FAISCEAU BISONTIN

L'avant-pays et les Avants-Monts

Le pli et la faille d'Auxon

10. les remerciements éventuels ;
11. la liste des références classées par ordre alphabétique des noms des auteurs. Une référence doit citer si possible un ouvrage publié. Éviter les rapports internes ou mémoires de 2^e cycle, sauf si ils sont consultables en ligne ou en bibliothèque (et dans ce cas indiquer où). Dans le cas d'une référence à un site Web ou à une revue en ligne, la date de consultation du site doit être indiquée, ainsi que son adresse URL. Quelques exemples :

HANOT F., BERGERAT F., GÉLY J.-P., PORCHIER J.-C. et VICELLI J. (2015) - La géologie du front occidental de la Grande Guerre des Flandres à la Champagne. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 52, 3, 27-44.

LECOINTRE G. (1947) - La Touraine. In *Géologie de la France*, Herman éd., 250 p.

BYLEDBAL A. (2014) - Un patrimoine caché : l'héritage de la guerre des mines à Arras. *In Situ*, Revue des patrimoines [En ligne], 25 | 2014, mis en ligne le 10 décembre 2014, consulté le 18 décembre 2015. URL : <http://insitu.revues.org/11466> ; doi : 10.4000/insitu.11466.

MINGUELY B. (2007) - Caractérisation géométrique 3-D de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque et du substratum varisque dans le Nord de la France : apports des données de sondages et des données géophysiques. Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 230 p.

L'appel des références dans le texte se fait de la façon suivante: (Amédéo et Robaszynski, 2003 ; Bignot *et al.*, 1997 ; Lecointre, 1947) ou « d'après Martin (2001) » ou encore « Bignot *et al.* (1997) ont décrit ». Tout appel d'auteur dans le texte doit être référencé dans la bibliographie et tout titre contenu dans la bibliographie doit être appelé dans le texte.

12. La légende des tableaux et des figures, fournie en français et en anglais (en italique pour la partie en anglais).

Quelques autres remarques :

Les capitales sont accentuées. Ne pas abuser des majuscules. Elles sont utilisées avec beaucoup de modération dans la langue française.

Les points cardinaux employés comme adjectif : en toutes lettres et minuscules (la rive sud, pendage nord) ; comme substantif pour désigner une direction en toutes lettres et minuscules (à 1 km au nord de Lille) ; désignant une partie de l'espace (région, pays) avec une majuscule (les habitants du Nord de la France). Pour les directions, on peut écrire N-S, E-W, WNW-ESE etc. ou N110°-120°.

Nombres : un intervalle, sans point, entre les centaines et les milliers : 1 243 m. Ecrire 20 cm, 250 m, 3 km (utiliser les normes du système international d'unités : <http://www.metrologie-francaise.fr/fr/si/unites-mesure.asp>).

Signes : la première fois qu'ils apparaissent, ils sont précédés de leur développement et ensuite seul le sigle est utilisé. Exemple : Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Références des cartes géologiques : adopter « carte à 1/50 000 ».

Écrire XVIII^e et XIX^e siècles. Écrire : 1^{er}, 2^e (pas 2^{ème}), 2nd, 3^e etc.

Les citations seront entre guillemets et les mots étrangers en italique. Les notes infrapaginales devront, dans la mesure du possible, être évitées.

Illustrations

Prévoir un lettrage pouvant supporter une réduction. Indiquer l'orientation et l'échelle. Les tableaux et les figures doivent être fournis avec une bonne définition et ne pas être « collés » dans le texte. Ils doivent être appelés dans l'ordre logique de numérotation dans le texte et de la façon suivante: (fig. 1) ou (figs 2 et 3).

Soumission

Les auteurs doivent envoyer, par voie électronique, leur texte (en format WORD) et leurs figures (en format JPEG ou TIFF - un fichier par figure -) aux adresses suivantes : isabelle.veltz@free.fr et r.wyns@free.fr

Tout manuscrit non conforme aux règles ci-dessus sera retourné aux auteurs pour mise aux normes avant toute lecture.

Toutes les « normes » ne pouvant être indiquées sur cette page, les auteurs peuvent utilement feuilleter les derniers numéros du *Bulletin*, regarder comment les articles se présentent et éventuellement poser des questions aux rédacteurs s'ils n'y trouvent pas de réponse à leur(s) question(s).

Photographie de couverture :

Panorama sur la partie sud des Vosges cristallines, vu vers le sud depuis la Roche des Bioquets (nord de La Petite Bresse, carte géologique Munster). Les sommets plats correspondent à la paléosurface antétriasique.

Panorama on the southern part of the crystalline Vosges, seen towards the south from Roche des Bioquets (north of La Petite Bresse, geological map of Munster). The flat tops correspond to the antetriasian paleosurface.

BULLETIN D'INFORMATION DES GÉOLOGUES DU BASSIN DE PARIS

2020 - Volume 57 - N° 4 - Décembre
Publication trimestrielle

Cotisation et abonnement (2020)

Membres ordinaires

Cotisation seule :	20 €
Cotisation + abonnement papier	62 €
Cotisation + abonnement en ligne	50 €

Personnes morales

Cotisation seule:	40 €
Cotisation + abonnement papier :	124 €
Cotisation + abonnement en ligne	100 €

Pour tout abonnement au bulletin « papier » le bulletin en ligne est offert aux membres de l'AGBP

Non-membres

Abonnement papier seul :	84 €
--------------------------	------

Rédaction et Administration
Tour 56-55, E5 - 4 place Jussieu
F-75252 PARIS Cedex 05
SIRET 328 440 664 00014 Code APE 221 E
IBAN FR41 2004 1000 0107 7174 1E02 092
CCP 07717 41E 020 PARIS

www.agbp.fr
secretariat.agbp@gmail.com

RÉDACTION DU BULLETIN

Rédacteurs	Isabelle VELTZ Robert WYNS
Conseillers éditoriaux	Pascal BARRIER Jean-Paul DEROIN Jean-Pierre GÉLY Daniel OBERT

BUREAU ET CONSEIL DE L'ASSOCIATION

Président	Yann SAMSON
2 nd Vice-Président	Didier Merle
Secrétaires	Laurence LE CALLONNEC Marie-José ROULET
Trésoriers	Jean-Pierre GÉLY Michel LEBLANC
Conseillers	Pascal BARRIER Jean-Paul BAUT Françoise BERGERAT Jean-Pierre COLBEAUX Vincent FARION Patrick GAVIGLIO Jean LABOURGUIGNE Lise LEROUX Jacqueline LORENZ Jean-Jacques MACAIRE Didier MERLE Elisabeth NICOT Nicole SANTARELLI Christophe RIGOLLET Yannick VAUTIER Isabelle VELTZ

LE PÉ DE JOJO À LOUDUN DANS LA VIENNE (SUD-OUEST DU BASSIN PARISIEN) : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE. PRINCIPAUX RÉSULTATS ET PERSPECTIVES

THE PÉ DE JOJO IN LOUDUN IN VIENNE DEPARTMENT (SOUTHWEST OF THE PARIS BASIN): GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL STUDY. MAIN RESULTS AND PROSPECTS

par Didier PONCET¹ et Emmanuel MENS²

Résumé

Situé à 3 km au nord de Loudun (Vienne, Nouvelle-Aquitaine), le Pé de Jojo forme un éperon légèrement bombé, embroussaillé et boisé, culminant à 97 m NGF, qui fait saillie à la bordure d'un bas-plateau établi sur les calcaires et les marnes de l'Oxfordien. Ce qui fait la singularité mais aussi la complexité du site, c'est l'abondance de blocs et de dalles de grès silico-ferrugineux, de taille variable (jusqu'à une vingtaine de m³), dispersés sur son versant sud-ouest, dont la pente moyenne avoisine 20 %. Ces grès, isométriques ou hétérométriques, sont issus de la silicification en masse de dépôts sablo-graveleux d'âge cénomanien à l'Éocène moyen-supérieur. Mis en relief sur le rebord du plateau calcaire lors de l'installation du réseau hydrographique actuel, ils ont formé un escarpement de quelques mètres de hauteur qui a été démantelé par l'érosion : en se détachant, des blocs et des dalles ont été entraînés vers le bas du talus par solifluxion des marnes oxfordiennes gorgées d'eau lors des épisodes froids et humides du Plio-Quaternaire. Toutefois, certains blocs, fichés dans le sol à la verticale, montrent des microformes d'érosion dites postmégolithiques (vasques, rainures). De même, une grande dalle, grosso modo triangulaire, posée à plat, expose une extrémité rétrécie, aménagée par enlèvement d'éclats. De telles observations démontrent que les grès éocènes ont été utilisés par l'Homme au Néolithique pour ériger in situ des pierres dressées.

Mots-clés : grès, Éocène, microforme d'érosion, pierre dressée, Néolithique.

Abstract

Located 3 km north from Loudun (Vienne department, New Aquitaine region), the Pé de Jojo is a slightly rounded spur, overgrown and wooded, peaking at 97 m NGF and protruding at the edge of a low plateau established on Oxfordian limestones and marls. The singularity and the complexity of the site resides in the abundance of blocks and slabs of silico-ferruginous sandstone, of various size (up to around 20 m³), scattered on its southwest side, with an average slope of about 20 %. These sandstones are isometric or heterometric. They come from the mass silicification of gravelly and sandy Cenomanian deposits from Middle to Late Eocene. Elevated on the edge of the limestone plateau during the installation of the current hydrographic network, they formed a few meters high steepness which was dismantled by erosion. As they fell away, blocks and slabs were dragged down the slope by the solifluxion of waterlogged Oxfordian marls due to the cold and wet Plio-Quaternary episodes.

(1) Communauté de communes du Thouarsais – Pôle Aménagement durable du territoire – 7, rue Anne Desrays – 79100 Thouars (didier.poncet@thouars-communaute.fr).

(2) ANR MONUMEN – Université de Toulouse II-Jean Jaurès – Laboratoire TRACES – UMR 5608 – Maison de la recherche – 5, allée Antonio Machado – 31058 Toulouse cedex 9 (emmanuel.mens@univ-tlse2.fr).

However, few blocks, vertically driven into the ground, show so-called postmegalithic erosion microforms (bowls, grooves). Similarly, a large slab, roughly triangular, laid flat, exposes a narrowed end, arranged by the removal of splinters. Such observations demonstrate that Eocene sandstones were utilized by Man in the Neolithic period to erect in situ standing stones.

Keywords: sandstone, Eocene, erosion microform, standing stone, Neolithic period.

Le Pé de Jojo (Lat. 47° 02' 04,18" N ; Long. 0° 05' 44,07" E), dénomination contemporaine de *Podium Jovis* (Bouzon, *circa* 1955), littéralement Puy de Jupiter, est situé à 3 km au nord de Loudun, chef-lieu de canton du département de la Vienne, en région Nouvelle-Aquitaine (fig. 1). Ce site, dont le nom est construit à partir de « pé », variante régionale de « peu » ou de « puy » désignant une petite colline isolée (Gauthier, 1996), couvre près de 7 ha en marge de l'aérodrome de Bellevue. Son altitude atteint 97 m NGF. Une maison de maître y a été construite en 1875 et un sentier de randonnée pédestre y a été balisé dans les années 1999-2000. Enfin, un ancien chemin rural – dit chemin d'Epesne [Épennes] à Loudun sur le plan cadastral parcellaire de l'ex-commune de Véniers en date de 1838 – le contourne par le sud-ouest.

La singularité du site qui en fait la complexité est inhérente à la présence de nombreux blocs de grès siliceux ou silico-ferrugineux. De taille variable (de quelques dm³ à une douzaine de m³ voire plus), les uns constituent des affleurements, les autres, manifestement déplacés, l'ont été de manière naturelle ou attestent une (ou des) activité(s) d'origine anthropique. Ce type de roche constituant la matière première de la plupart des dolmens conservés dans le nord du Poitou (Poncet et Mens, 2020 ; Poncet *et al.*, à paraître), une étude a donc été menée pour vérifier l'hypothèse envisagée lors de la réalisation de l'inventaire des mégalithes de la Vienne (Pautreau et Mataro i Pladelasala, 1996) selon laquelle certains blocs correspondraient à des monolithes (menhir renversé ? dolmen en ruine ?).

LE SITE ET SON CONTEXTE

Bas-plateau jurassique et collines crétacées

Au cœur du « *pays de la craie* » (Pitié, 1962), Loudun est la ville-centre d'un territoire rural à vocation agricole (céréales, oléagineux, vignes) qui s'étend aux confins du Poitou, de la Touraine

et de l'Anjou : le Loudunais. Du point de vue géologique, le Loudunais se rattache à la bordure sud-ouest du Bassin parisien (Alcaydé et Joubert, 1987a ; Alcaydé *et al.*, 1989a ; Joubert *et al.*, 2000a). Il est principalement occupé par des terrains du Crétacé supérieur (Cénomaniens à Sénoniens) qui composent une série reposant en discordance sur les marnes et les calcaires de l'Oxfordien (Jurassique supérieur), localement recouverte par des altérites argilo-sableuses et des silcrètes rapportées à l'Éocène (fig. 2).

Dans la région de Loudun, le Jurassique supérieur et le Crétacé supérieur définissent deux unités géographiques contrastées (Alcaydé *et al.*, 1989a). Ce sont (fig. 3) :

- au nord-est, un bas-plateau calcaire. Il correspond à une vaste surface plane de près de 110 km² dont l'altitude décroît régulièrement du sud-ouest vers le nord-est, de 100-110 m NGF à 60-70 m NGF. Il est établi sur les assises oxfordiennes regroupant deux faciès, des marnes et des calcaires argileux à la base, des calcaires à intercalations argileuses au sommet. À l'est de Basses, il est recoupé par le Négron qui s'y est encaissé d'une quinzaine de mètres et, vers le sud-ouest, il est interrompu par la vallée d'un petit cours d'eau semi-permanent, affluent du Martiel. À ce niveau, le talus, de direction moyenne N125, est fortement déclive (le dénivelé entre le rebord du plateau et le talweg est proche de 25 à 30 m, ce qui se traduit par une pente de l'ordre de 20 %). Son profil est irrégulier car des replats étroits (quelques mètres de large), parallèles aux courbes de niveaux, y ont été créés ;

- au sud-ouest, des collines crayeuses. Elles sont développées dans les dépôts du Turonien (Craie à Inocérames, « *Tuffeau Blanc* » et « *Tuffeau Jaune* » ou sables quartzeux) auxquels succèdent éventuellement les sables quartzeux et les argiles sableuses du Sénonien. Elles s'élèvent à 110-120 m NGF (par exemple 112 m dans les Bois Marteaux, 2 km au sud-ouest de Véniers) et sont parfois coiffées par des dalles de grès quartzites éocènes d'origine continentale.

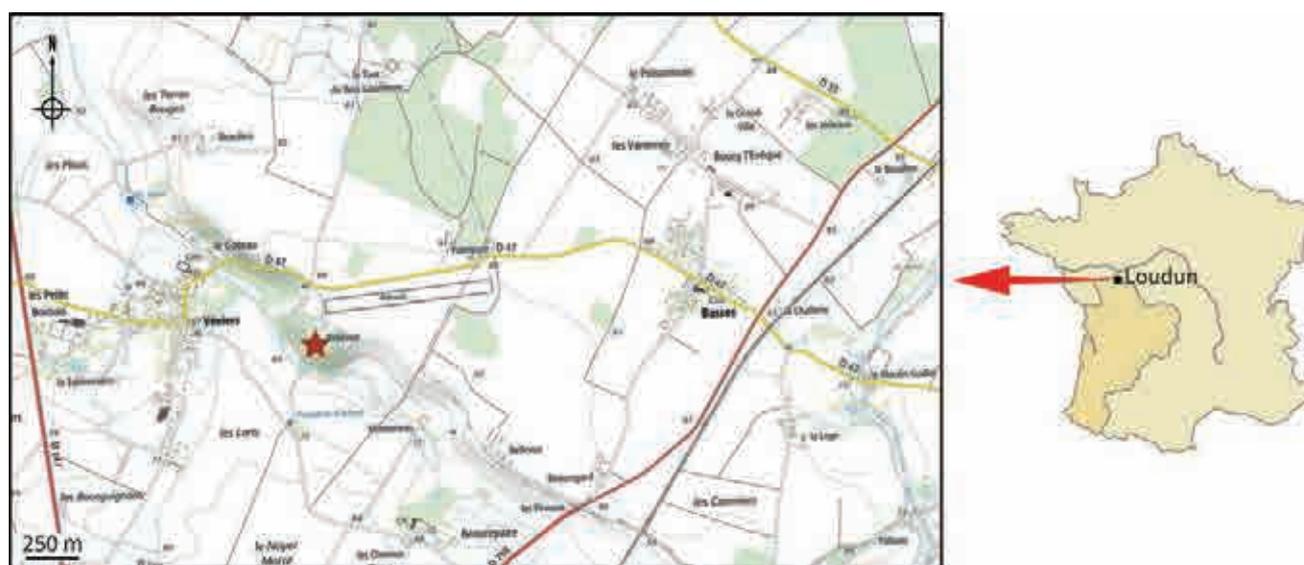


Fig. 1 : Localisation du Pé de Jojo [★] (© IGN – Paris 2020).

Fig. 1 : Location of Pé de Jojo [★] (© IGN – Paris 2020).

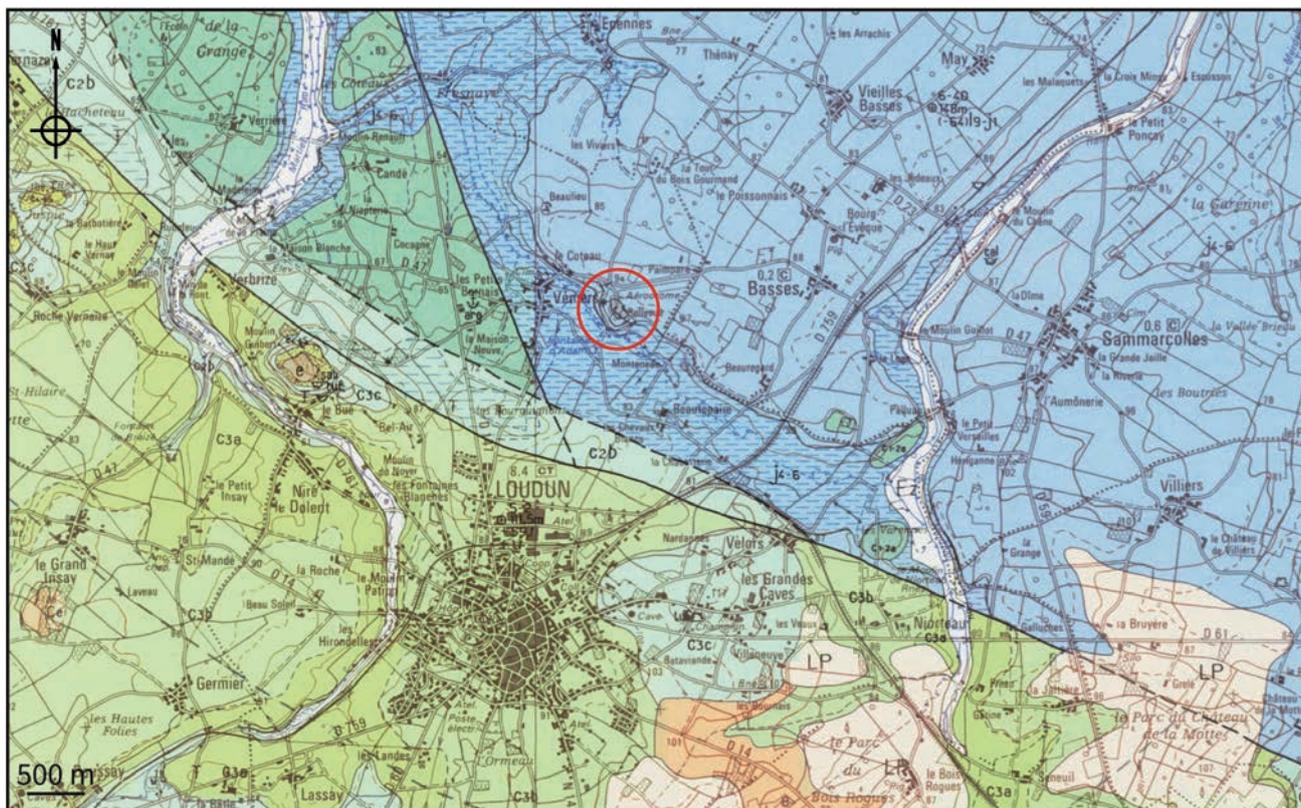


Fig. 2 : Formations géologiques à l'affleurement dans la région de Loudun [cercle rouge : position du Pé de Jojo]. Extrait de la feuille Loudun à 1/50 000 © BRGM – Orléans 1989). Fz : alluvions modernes ; LP : limons des plateaux ; e : Éocène détritique continental ; C4-6S : Sénomien ; C3c-C3b-C3a : Turonien ; C2b-C1-2a : Cénomaniens ; J4-6 : Oxfordien.

Fig. 2: Geological formations outcropping in the Loudun region [red circle: location of Pé de Jojo]. Extract from the 1:50 000 Loudun map (© BRGM – Orléans 1989). Fz: Holocene deposits; LP: table-land loam; e: Continental detrital Eocene; C4-6S: Senonian; C3c-C3b-C3a: Turonian; C2b-C1-2a: Cenomanian; J4-6: Oxfordian.

Ces deux unités sont en contact tectonique par l'intermédiaire de la faille du Loudunais (dite également faille de Montreuil-Bellay), un accident de direction moyenne N115 reconnu en surface sur une cinquantaine de kilomètres, de Nueilsous-Faye, dans la Vienne, aux Verchers-sur-Layon, dans le Maine-et-Loire (Bureau *et al.*, 1899 ; Waterlot, 1941-42 ; Lecointre, 1944-45 ; Lecointre *et al.*, 1948). Au nord-est de Loudun, entre le Négron et le Martiel, le bas-plateau calcaire et

les collines crayeuses sont séparés par une dépression humide de 1 à 2 km de large où affleurent les marnes et les calcaires argileux de l'Oxfordien d'une part, les argiles et les sables glauconieux du Cénomaniens d'autre part. Dans ce dispositif, le Pé de Jojo forme un éperon légèrement bombé, embroussaillé et boisé, qui fait saillie sur le bord sud-ouest du bas-plateau calcaire (fig. 4). Il domine la dépression drainée par un affluent du Martiel et offre un panorama sur les collines crayeuses.

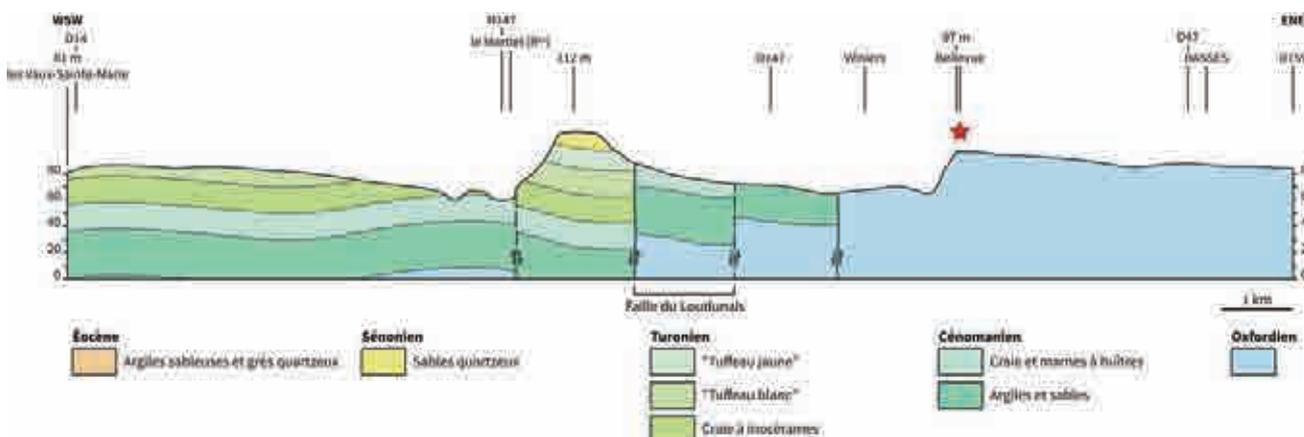


Fig. 3 : Coupe géologique simplifiée des environs du Pé de Jojo [★], de part et d'autre de la faille du Loudunais, selon la direction ENE-WSW (d'après Alcaýd *et al.*, 1989a).

Fig. 3: Simplified geological section in the surroundings of Pé de Jojo [★], on both sides of the Loudunais fault, according the WSW-ENE direction (from Alcaýd *et al.*, 1989a).



Fig. 4 : Vue sur le Pé de Jojo depuis le sud (voie communale n°23), avec à droite le plateau et à gauche la dépression humide (photo : Didier Poncet).

Fig. 4: View on Pé de Jojo from the South (municipal road No. 23), with the plateau on the right and the humid depression on the left (photo: Didier Poncet).

Une vingtaine de monuments mégalithiques

Le nord du département de la Vienne compte de nombreux mégalithes qui ont été reconnus, parfois décrits, de longue date (Arnault-Poirier, 1837 ; Le Touzé de Longuemar, 1865 ; Atgier, 1909). Si quelques-uns de ces monuments ont été malheureusement détruits, anciennement ou plus récemment - c'est le cas de la Pierre Levée à Moncontour (Hébras, 1970) ou du dolmen du Petit Ponçay à Basses (Cordier, 1971) -, une vingtaine d'entre eux sont encore observables dans un rayon d'une douzaine de kilomètres autour de Loudun, certains en bon état, d'autres en ruine (Pautreau et Mataro i Pladelasala, 1996). Ils sont inégalement répartis à l'intérieur d'un polygone qui couvre une superficie d'environ 175 km². À une exception près, ce sont tous des dolmens, parfois regroupés en nécropole comme à Chantebrault (Saint-Laon), à mi-chemin entre Loudun et Thouars (Deux-Sèvres). Un seul menhir est à signaler (fig. 5) : il s'agit du Chillou (ou de la Pierre) de Courçu (de la Pierre) de Courçu, monolithe de grès quartzite de 4 m de haut, dressé dans le

Bois de Lantray (Les Trois Moutiers), à l'aplomb d'un des points les plus élevés du Loudunais (121 m NGF).

Une dizaine de mégalithes sont recensés dans un secteur relativement réduit aux alentours du Pé de Jojo (fig. 6). Le plus proche (2,5 km au nord), en l'occurrence le dolmen d'Épennes (Bourmand), est établi sur une avancée du plateau jurassique qui commande la dépression cénomaniennne. Au-delà, à une distance comprise entre 5 et 14 km, huit dolmens forment un alignement sur 10 km, de Roche Vernaize (Les Trois Moutiers) aux Dormants (Épieds, Maine-et-Loire), selon la direction N140, tandis qu'à 8,5 km vers le nord, la Pierre Folle des Ormeaux (Bourmand), dolmen de type angevin *sensu* Gruet (1956), offre des dimensions exceptionnelles (longueur : entre 19 et 20 m ; hauteur sous table : 2,50 m ; surface de la chambre funéraire : près de 75 m²) qui en font une sépulture mégalithique hors norme.



Fig. 6 : Répartition géographique des mégalithes dans le quart nord-ouest du Loudunais.

Fig. 6: Geographical repartition of the megaliths in the north-western quarter of the Loudunais region.

Fig. 5 : Le menhir de Courçu (Les Trois Moutiers), unique pierre dressée connue à ce jour dans le Loudunais (carte postale non datée ; collection particulière).

Fig. 5: The Courçu menhir (Les Trois Moutiers commune), the only standing stone in the Loudunais known to this day (undated postcard; private collection).

LES GRÈS SILICO-FERRUGINEUX

Des blocs et des dalles en grand nombre

Au Pé de Jojo, des grès monogéniques à ciment siliceux ou silico-ferrugineux sont identifiables à différents niveaux de la topographie, presque exclusivement sur le talus sud-ouest.

En haut de versant et sur le rebord du plateau. Entre 91-92 m NGF et 94-95 m NGF, ils déterminent au moins trois affleurements dont deux ont entre 1,00 et 1,20 m d'épaisseur (fig. 7). Les bancs gréseux montrent un pendage de 10 à 15° vers



le nord-est et l'affleurement le plus bas est - semble-t-il - dans sa position originelle, en contact avec les calcaires oxfordiens (ce contact n'est malheureusement pas visible).

L'affleurement le plus haut expose les traces indiscutables d'une activité extractive historique : des cassures franches, planes et rugueuses, attestent son débitage, ce qui est confirmé par l'observation de l'empreinte semi-circulaire d'un trou de foration vertical à paroi irrégulière, d'environ 25 mm de diamètre, réalisé à la barre à mine (fig. 8). Il est fort possible que cette activité soit à l'origine des blocs anguleux, de même nature pétrographique et de taille modeste, vus le long de la pente. Anecdotique au regard de la faible extension du niveau concerné, l'activité en question n'a probablement rien à voir avec celle qui assurait la production de matériaux d'empierrement et de pavés pour les besoins de la voirie dans le nord du département de la Vienne au XIX^e siècle (Le Touzé de Longuemar, 1866), en particulier à l'ouest de Loudun, sur les communes de Ternay, Glénouze, Les Trois Moutiers... (Bureau *et al.*, 1899). Elle est plutôt à mettre en relation avec la construction de la maison de maître et à l'aménagement des abords (terrassements).

Sur le rebord du plateau, à 96-97 m NGF, à proximité de la demeure bourgeoise, ces grès donnent des dalles épaisses (jusqu'à 50 cm), désolidarisées du substratum rocheux. Et à environ 89 m NGF, un bloc d'épaisseur métrique a clairement glissé le long de la pente.

Sur le versant et à son pied. De 81 m NGF à 69 m NGF, ils se manifestent sous la forme de blocs et de dalles déplacés, soit posés à plat dans le sens de la pente, soit en partie emballés dans les marnes oxfordiennes avec une disposition aléatoire (fig. 9). Leurs dimensions sont souvent importantes : jusqu'à 12 m² et 1,30 m d'épaisseur. À ce titre, un bloc massif, particulièrement imposant, et bien qu'en position légèrement inclinée, a d'ailleurs

Fig. 7 : Bancs de grès siliceux à l'affleurement en haut de versant, vers 91-92 m NGF, reposant sur les calcaires oxfordiens (photo : Didier Poncet).

Fig. 7 : Siliceous sandstone layers at the top of the slope, ca. 91-92 m NGF, resting on oxfordian limestones (photo : Didier Poncet).



Fig. 8 : Banc de grès siliceux à l'affleurement en haut de versant, vers 94-95 m NGF, montrant des traces de débitage (plans de fracture). Détail : empreinte d'un trou de foration vertical [▼] (photos : Didier Poncet).

Fig. 8 : Siliceous sandstone layers at the top of the slope, ca. 94-95 m NGF, showing debitage traces (slip planes). Detail: imprint of a vertical drill hole [▼] (photos : Didier Poncet).



Fig. 9 : Bloc de grès silico-ferrugineux émergeant des marnes oxfordiennes en pied de versant (photo : Didier Poncet).

Fig. 9: Silico-ferruginous sandstone block emerging from Oxfordian marls at the foot of the slope (photo: Didier Poncet).

été mis à profit, en déblayant les matériaux meubles sous-jacents, pour aménager une loge de vigne dotée d'une cheminée appareillée en « tuffeau blanc », aujourd'hui très dégradée.

Le long du chemin menant à la Fontaine d'Adam depuis la D47. Ils constituent des blocs dont la plupart ont de 1 à 3 m² et de 25 à 50 cm d'épaisseur. Ces blocs se caractérisent par des bords anguleux, liés à des cassures récentes, et sont appuyés sur le talus de déblai du chemin.

Schématiquement, ces roches bien consolidées, denses et extrêmement dures, regroupent deux principaux lithofaciès (fig. 10) :

- des grès hétérométriques mal classés, fins à grossiers (1-7 mm), de teinte claire (beige à miel) ou foncée (caramel, brun, lie de vin). La stratification, plus ou moins régulière et continue, parfois oblique, est soulignée par des lits millimétriques à centimétriques où les grains de quartz blanc, généralement anguleux, ont une taille constante, mais aussi par des traînées sombres, riches en oxydes de fer. Des corps lenticulaires (paléochenaux) y sont visibles. S'y ajoutent des poudingues à graviers sub-anguleux ou arrondis de quartz blanc de 10-12 mm ;
- des grès isométriques, fins ou très fins (≤ 1 mm), plus ou moins foncés (caramel, brun, lie de vin). Relativement homogènes, ils présentent un litage discret et régulier. Dans certains cas, des grains anguleux de quartz blanc de 2-3 mm (ou plus) apparaissent çà et là, dispersés dans la matrice, mais peuvent également devenir abondants.

Dans les blocs les plus volumineux, ces deux faciès composent des niveaux subparallèles, d'épaisseur variable (de 10 à 75 cm), qui, parfois, se succèdent en alternant.

Des dépôts cénomaniens silicifiés à l'Éocène

Étonnamment, sur les 1^{re} et 2^e éditions de la feuille Saumur à 1/80 000 (Bureau *et al.*, 1899 ; Lecointre *et al.*, 1948), la formation à laquelle ces grès se rapportent n'est pas signalée. Toutefois, sur la feuille Loudun à 1/50 000 (Alcaydé *et al.*, 1989a), un affleurement résiduel de Cénomaniens (cf. partie inférieure) a été cartographié au Pé de Jojo. Du strict point de vue stratigraphique, cette attribution est erronée. En toute rigueur, compte tenu de la nature du ciment, ils s'apparentent aux roches

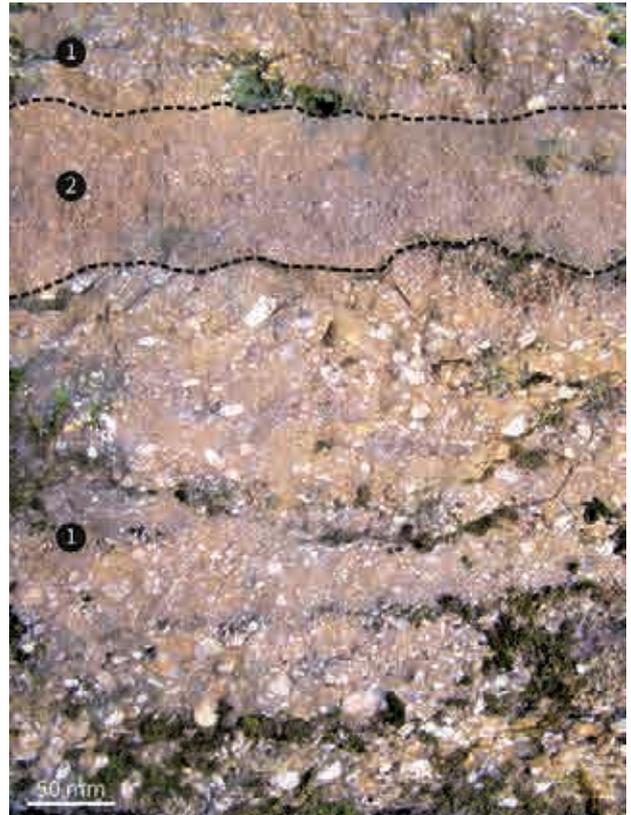


Fig. 10 : Aspect macroscopique de deux lithofaciès : grès microconglomératique de teinte miel à caramel [1] et grès hétérométrique à grain fin à moyen brun à lie de vin [2] (photo : Didier Poncet).

Fig. 10: Macroscopic aspect of two lithofacies: honey to caramel-coloured microconglomerate sandstone [1] and brown to mulberry heterometric fine- to medium-grained sandstone [2] (photo: Didier Poncet).

silicifiées connues dans le Centre-Ouest de la France (Maine, Anjou, Touraine...), regroupant notamment des silcrètes et des poudingues siliceux à silex et spongiaires (ou « *perrons* »), et considérées comme contemporaines des grès à *Sabalites andegavensis* d'âge bartonien (Lecointre, 1947).

Plus précisément, les stratifications obliques et les paléochenaux reconnus dans les grès siliceux ou silico-ferrugineux du Pé de Jojo démontrent qu'ils résultent vraisemblablement de l'induration en masse de sables et de graviers du Cénomaniens inférieur lors d'un épisode de silicification généralisé, phénomène bien identifié à l'Éocène moyen-supérieur dans le centre-ouest de la France (Wyns, 2002). De tels horizons sablo-graveleux ont été reconnus par forage dans le nord du département de la Vienne (Coussay-les-Bois, Leigné-sur-Usseau, Monts-sur-Guesnes, Savigny-sous-Faye, Sossais...) où leur épaisseur va de moins de 1 m à 7,50 m : ils définissent la formation dite des « sables inférieurs », d'origine fluviale, première unité lithologique du Cénomaniens recouvrant localement les assises jurassiques (Joubert, 1980, p. 20-27 et p. 46).

Dans cette hypothèse, deux sites se plaçant de part et d'autre de la faille du Loudunais, à moins de 3 km à vol d'oiseau l'un de l'autre, exposent des grès d'âge éocène : à l'est, le Pé de Jojo avec, au-dessus des calcaires oxfordiens, des dépôts cénomaniens silicifiés et, à l'ouest, les Bois Marteau près le Bas Niré où l'Éocène détritique continental (« e ») surmonte les sables

quartzueux sénoniens (Alcaydé *et al.*, 1989a). Les grès apparaissant à peu de chose près à la même altitude, respectivement 90-95 m NGF et 110 m NGF, l'accident précédemment cité – dont la cinématique post-jurassique est polyphasée (Suzzoni et Gélard, 1984) – a notamment fonctionné après le Sénonien et avant l'Éocène moyen, c'est-à-dire sur l'intervalle Paléocène - Éocène inférieur, soit entre -66,0 et -41,2 Ma (Head *et al.*, 2017). Ce rejeu puis la pénélplanation qui a tronqué les séries sédimentaires ont amené Cénomaniens à l'est et Sénonien à l'ouest au niveau de la surface d'érosion soumise à la silicification d'âge éocène moyen-supérieur.

Un escarpement gréseux démantelé au Plio-Quaternaire

Les blocs et les dalles de grès silico-ferrugineux dispersés sur le talus sud-ouest ont des faces supérieures souvent trouées par des vasques de taille décimétrique à pluridécimétrique, à contours irréguliers et profondes (jusqu'à 10 cm), qui, compte tenu de leur position, ne sont plus fonctionnelles (ou partiellement seulement). L'un des blocs, ayant approximativement 1,30 m d'épaisseur, permet en outre de distinguer des alvéoles (fig. 11). Ces cavités circulaires ou oblongues, de 6-7 cm à 15 cm de long, plus ou moins profondes (jusqu'à 5-6 cm), sont regroupées sur une surface verticale, perpendiculaire au plan de débit de la roche et placées sous un surplomb, mais également sur la face inférieure de ce surplomb.

Avec les bancs de grès siliceux qui apparaissent en haut de versant, ces blocs et ces dalles supposent l'existence d'un escarpement qui devait avoir 3 à 4 m de hauteur, ce qui est compatible avec les données disponibles dans le nord du département de la Vienne où la puissance des formations rapportées à l'Éocène détritique continental (altérites, silcrètes) est estimée entre 2 et 5 m (Alcaydé et Joubert, 1987b ; Alcaydé *et al.*, 1989b ; Joubert *et al.*, 2000b).

Les microformes d'érosion liées à la dissolution du matériel gréseux, conséquence de la stagnation d'eau météorique sur des surfaces subhorizontales (vasques) ou de la combinaison de plusieurs facteurs comme l'humidité, la condensation, l'ombre (alvéoles), mais aussi la morphologie en gradins aux arêtes

émoussées de la face supérieure de certains blocs, tous ces éléments démontrent que cet escarpement a été soumis à l'action des agents atmosphériques. Mis en relief sur le rebord du plateau calcaire lors de l'installation du réseau hydrographique actuel, il a été progressivement démantelé par l'érosion, les blocs et les dalles se détachant ayant été entraînés vers le bas, le long du versant, par solifluxion des marnes oxfordiennes gorgées d'eau lors des épisodes froids et humides du Plio-Quaternaire.

DES MÉGALITHES NÉOLITHIQUES

Selon Pautreau et Mataro i Pladelasala (1996, p. 115 et pl. VII) qui restent très évasifs à leur sujet, certains blocs visibles de part et d'autre du chemin rural empruntant le talus sud-ouest – ils ne précisent pas lesquels ni leur localisation – pourraient représenter les vestiges de mégalithes. Toutefois, compte tenu de leur morphologie, la majorité d'entre eux font vraisemblablement partie des blocs mis au jour dans les environs proches à l'occasion des opérations de remembrement engagées à partir de 1969.

Plusieurs monolithes de taille réduite

Quoiqu'il en soit, quatre blocs fichés dans le sol se distinguent nettement des autres par leur forme et leurs dimensions. Ces monolithes aux arêtes émoussées et de taille réduite se succèdent sur une soixantaine de mètres du NNE au SSW (fig. 12). Ils ont une direction subméridienne (entre N170 et N05) mais ne sont pas alignés.

Le premier, en grès moyen à grossier beige, est une dalle de 40 cm d'épaisseur et de 75 cm de haut. Les trois autres, trapus, sont en grès fin à très fin de teinte sombre ; ils ont entre 45 et 60 cm d'épaisseur et de 35 à 120 cm de haut. De par sa morphologie, l'un d'entre eux qui provient de la bordure d'un banc gréseux en surplomb (face côté est avec formes adoucies en relief ou en creux, face côté ouest irrégulière, percée d'alvéoles circulaires), se caractérise par la présence conjointe de deux microformes d'érosion dont la genèse est décalée dans le temps (fig. 13) :

- la première, installée sur la face verticale, est en position anormale donc non fonctionnelle (ou fossile). C'est une vasque étroite, d'une trentaine de centimètres de long, à bords raides et fond plat ;



Fig. 11 : Bloc de grès silico-ferrugineux d'épaisseur métrique, emballé dans les marnes oxfordiennes, exposant des alvéoles au niveau d'une surface verticale placée sous un surplomb (photos : Didier Poncet).

Fig. 11: Silico-ferruginous sandstone block of metric thickness, wrapped in Oxfordian marls, exhibiting alveoli on a vertical surface under an overhang (photos: Didier Poncet).



Fig. 12 : Monolithe de grès silico-ferrugineux dressé à la verticale et fiché dans le sol le long du chemin rural menant à la Fontaine d'Adam (photo : Didier Poncet).

Fig. 12: Silico-ferruginous sandstone monolith erected vertically and driven into the ground along the rural path leading to the Fontaine d'Adam (photo: Didier Poncet).

- la seconde, en position sommitale, est fonctionnelle. Elle correspond à une vasque « en haricot » à bords raides ou légèrement surplombants et fond plat. Elle a de 6 à 7 cm de long pour 3 à 3,5 cm de large et de 1,5 à 2 cm de profondeur. Cette vasque présente un exutoire de trop-plein qui permet à l'eau de pluie de se déverser dans une petite cavité contiguë relativement profonde (de 5 à 6 cm).

En référence à la terminologie proposée pour des menhirs en granite (Sellier, 1991 ; Lageat *et al.*, 1994 ; Sellier, 2008) ou en calcaire (Sellier, 2018), la première est dite pré-mégolithique et s'est développée sur une surface qui a été soumise à l'action des agents atmosphériques lorsque le bloc était en position subhorizontale, la seconde post-mégolithique, présente au sommet du monolithe, est apparue depuis qu'il est debout. La cuvette qui jouxte cette dernière est héritée du stade « pré-mégolithique » mais continue d'être active : elle a donc un caractère mixte.

Un menhir ayant probablement basculé

Dans la prairie naturelle qui s'étend en contrebas du chemin rural, une grande dalle de grès fin à moyen, de teinte caramel, à décharges grossières, est posée à plat dans la pente avec un pendage proche de 20° ouest (fig. 14).

Cette dalle de près de 9 m² a une forme grosso modo triangulaire : sa base, un plan de fracture subrectiligne, a 3,10 m de long, sa hauteur 4 m. Son épaisseur est inconnue – car le monolithe est en partie enfoui dans le sol – mais supérieure à 35



Fig. 13 : Monolithe de grès silico-ferrugineux avec vasque pré-mégolithique non fonctionnelle [1]. Détail : vasque post-mégolithique fonctionnelle avec exutoire de trop-plein [2] (photos : Didier Poncet).

Fig. 13: Silico-ferruginous sandstone monolith with non-functional pre-megalithic bowl [1]. Detail: functional post-megalithic bowl with overflow outlet [2] (photos: Didier Poncet).

cm (la dalle semble s'amincir de la base vers le sommet). Sachant que la densité de ce type de matériau s'élève à 2,4-2,5 (Ministère des travaux publics, 1890), sa masse doit approcher une dizaine de tonnes. La surface supérieure, très irrégulière, est percée de plusieurs grandes vasques à rebords surplombants et fond plat qui se sont formées lorsque la dalle était en position horizontale, sur l'affleurement d'où elle provient. Depuis qu'elle est inclinée,



Fig. 14 : Position de la dalle de grès silico-ferrugineux dans la prairie naturelle (photo : Didier Poncet).

Fig. 14: Position of the silico-ferruginous sandstone slab in the natural meadow (photo: Didier Poncet).

ces vasques ne sont plus fonctionnelles, sauf certaines dont la partie la plus basse peut être encore régulièrement remplie d'eau de pluie : elles montrent alors un profil dissymétrique avec surcreusement vers l'ouest (fond et rebord). L'élément le plus remarquable de la dalle est son extrémité ouest : arrondie et rétrécie par deux épaulements, cette extrémité a été intentionnellement aménagée par enlèvement de nombreux éclats (fig. 15).



Fig. 15 : Morphologie de l'extrémité amincie de la dalle de grès (photo : Didier Poncet).

Fig. 15: Morphology of the thinned end of the sandstone slab (photo: Didier Poncet).

Le monolithe est donc a priori un menhir qui a basculé vers l'ouest, peut-être parce qu'il était simplement posé en équilibre sur sa base et non pas ancré dans une fosse de calage. Le caractère dissymétrique du profil de certaines vasques pour partie fonctionnelles (cf. surcreusement localisé) suggère que la dalle occupe cette position depuis un laps de temps relativement important (fig. 16).

Une pierre dressée récemment mutilée

Sur le rebord du plateau, en marge d'une éminence subcirculaire de 15 à 20 m de diamètre et d'environ 2 m de haut (tumulus ?), une dalle de grès fin à moyen, de teinte caramel à lie de vin, de 50 cm d'épaisseur et de 2,15 m de long, est, selon toute vraisemblance, une pierre dressée, ce qu'avait déjà proposé H. Bouzon (*circa* 1955).

De direction N60 et inclinée vers le sud (70°), elle a 90 cm de haut mais a vraisemblablement été mutilée à une époque récente, peut-être en lien avec l'édification de la maison de maître (fig. 17) : des cassures subhorizontales franches, visibles à son sommet, révèlent qu'elle a été fracturée, ce que confirme un trou vertical de 30 à 35 mm de diamètre et de 17 cm de profondeur foré à la barre à mine (l'existence de ce trou indique qu'aucune cartouche de poudre noire n'y a été introduite pour finaliser la fragmentation de la dalle). Sa hauteur initiale reste évidemment inconnue. La face SSE de cette dalle est caractérisée par la présence d'une vasque non fonctionnelle (cf. prémégalithique)



Fig. 16 : Modèle 3D de la dalle de grès montrant sa forme générale et l'aménagement de son extrémité (photogrammétrie : Antoine Laurent, laboratoire TRACES, université de Toulouse II-Jean Jaurès).

Fig. 16: 3D model of the sandstone slab showing its general shape and the layout of its end (photogrammetry: Antoine Laurent, laboratoire TRACES, université de Toulouse II-Jean Jaurès)

et, latéralement, des rainures marquées qui soulignent le litage de la roche, tronquées par un plan de fracture transversal, témoignent probablement du ruissellement de l'eau de pluie depuis le sommet du monolithe vers sa base (lorsque celui-ci n'avait pas encore été amputé de sa partie supérieure). Ces rainures sont à ranger parmi les microformes d'érosion postmégolithiques.

EN CONCLUSION

Le Pé de Jojo rappelle – s'il le fallait – que les formations dites superficielles auxquelles appartient, en particulier, les roches silicifiées d'âge éocène (cf. notations « e » et « e-p » des feuilles à 1/50 000) n'ont pas toujours été suffisamment prises en compte, parfois même négligées, par les cartographes dans les années 1970 et 1980 alors que des modes de figuration adaptés aux diverses situations rencontrées pouvaient être utilisés (Collectif, 1975, p. 125-151). Un tel parti n'est pas sans conséquence. En l'occurrence, malgré leur extension cartographique limitée et leur faible puissance, les grès silico-ferrugineux conservés au Pé de Jojo permettent de caractériser, localement, le rejeu en faille inverse de la structure faillée du Loudunais attribué à la compression pyrénéenne (Joubert *et al.*, 2000b) dans une région où, en raison du caractère meuble de certaines formations sédimentaires, les marqueurs font défaut.

Les observations réalisées sur des blocs de grès ont dévoilé l'existence de microformes d'érosion postmégolithiques, certes très discrètes et peu nombreuses par rapport aux formes de détail prémégolithiques, qui démontrent que le Pé de Jojo est bien un (nouveau) site mégalithique s'ajoutant aux nombreux autres connus dans le Loudunais. D'ailleurs, il n'est pas exclu que certaines dalles, inclinées ou posées à plat sur le talus sud-ouest,



Fig. 17 : Dalle de grès silico-ferrugineux avec vasque pré-mégolithique non fonctionnelle [1] et rainures postmégolithiques fonctionnelles [2] montrant des traces d'un débitage récent. Détail : trou de foration vertical (photos : Didier Poncet).

Fig. 17: Silico-ferruginous sandstone slab with non-functional pre-megalithic bowl [1] and functional postmegalithic grooves [2] showing traces of a recent debitage. Detail: vertical drill hole (photos: Didier Poncet).

présentant une forme particulière (triangulaire, quadrangulaire), soient également d'anciens menhirs tombés au sol. Leur étude technologique – approche visant à identifier les processus d'acquisition et de transformation de monolithes destinés à produire des mégalithes – et la recherche de microformes d'érosion postmégolithiques s'avèrent donc nécessaires pour éventuellement compléter le corpus de pierres dressées d'ores et déjà constitué. Une telle démarche mériterait d'être transposée ailleurs, là où des dalles, couchées et/ou en position verticale, ont été repérées. C'est le cas à une dizaine de kilomètres au nord-ouest de Loudun, au sein d'un vaste massif forestier, couvrant quelque 1 200 ha entre Curçay-sur-Dive et Saint-Léger-de-Montbrillais, où se dresse le menhir de Courçu (Les Trois Moutiers) d'une part, et à 4,5 km à l'ouest de Loudun, au lieu-dit « Grimaud », dans les environs du Grand Insay (Mouterre-Silly), hameau à proximité duquel un dolmen disparu fut décrit au XIX^e siècle (Pautreau et Mataro i Pladelasala, 1996, p. 127). En tout état de cause, le croisement des données archéologiques et géomorphologiques doit à terme donner lieu à l'élaboration d'un protocole de reconnaissance de menhirs ayant chuté, que ce soit en contexte de prospection pédestre ou de diagnostic archéologique lors d'opérations d'archéologie préventive.

Et, de façon à compléter les investigations, une campagne de mesures géophysiques débouchant sur l'établissement de cartes de résistivité électrique pour diverses profondeurs (1 m, 2 m...) et une section électrique selon une direction donnée serait l'occasion de vérifier que l'éminence subcirculaire s'élevant sur le rebord du plateau est effectivement un tumulus mais aussi de diagnostiquer sa composition (terre ? pierre ?) et sa structure interne.

Quoiqu'il en soit, le Pé de Jojo est un site exemplaire. En effet, y affleure un gisement mis à profit par l'Homme pour ériger in situ des monolithes qui a également pu alimenter la construction d'autres mégalithes dans le Loudunais. Il laisse à penser que des gisements de même nature et de dimensions similaires – mais ayant totalement disparu depuis le Néolithique (exploitation des matériaux pour les besoins de la voirie, destruction du site aux fins d'aménager un espace à vocation agricole lors d'une opération de remembrement...) – ont pu exister autre part, ce qui signifie que l'identification sur le terrain de plusieurs variétés de grès silico-ferrugineux reconnues dans les mégalithes du nord du Poitou (Deux-Sèvres et Vienne) soit désormais difficile voire impossible (Poncet *et al.*, à paraître).

Remerciements. Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche collaborative MONUMEN / « Monumentalités, espaces et compétitions sociales au Néolithique en Europe atlantique » (2018-2022), financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR-17-CE27-0009), coordonné conjointement par Vincent Ard (laboratoire TRACES, université de Toulouse II-Jean Jaurès) et Vivien Mathé (laboratoire LIENSs, université de La Rochelle). Il a bénéficié de l'appui technique de la Communauté de communes du Pays loudunais (Loudun), en particulier de Vincent Aguillon, animateur du patrimoine, qui a fourni diverses informations sur le site et organisé le débroussaillage de certains secteurs. La mise en forme de l'illustration a été assurée par Fabienne Raynard (Communauté de communes du Thouarsais, Thouars). Les auteurs sont redevables des remarques et des propositions formulées par Robert Wyns et deux relecteurs anonymes qui ont permis d'améliorer la version finale de cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALCAYDÉ G., JOUBERT J.-M. (1987a) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Lençloître (540), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans.
- ALCAYDÉ G., JOUBERT J.-M. (1987b) – Notice explicative de la Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Lençloître (540), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans, 35 p.
- ALCAYDÉ G., COUBÈS L., MACAIRE J.-J. (1989a) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Loudun (513), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans.
- ALCAYDÉ G., MACAIRE J.-J., COUBÈS L. (1989b) – Notice explicative de la Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Loudun (513), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans, 33 p.
- ARNAULT-POIRIER J.-A. (1837) – Monuments celtiques de l'arrondissement de Loudun. *Mémoires de la Société des antiquaires de l'Ouest*, III, 81-102 [+ pl. I-IV].
- ATGIER P. (1909) – Les mégalithes de la Vienne. *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, X, 45-48.
- BOUZON H. (circa 1955) – Prédilection ou la butte du Pé de Jojo. *Imprimerie R. Morineau éd.*, Loudun, n.p.
- BUREAU L., WALLERANT F., WELSCH J. (1899) – Carte géologique de la France à 1/80 000, feuille Saumur (119), 1^{re} éd. *Service de la Carte géologique de la France éd.*, Paris.
- COLLECTIF (1975) – Notes d'orientation pour l'établissement de la Carte géologique à 1/50 000, 2^e éd. *BRGM éd.*, Orléans, 240 p.
- CORDIER G. (1971) – Un remarquable monument mégalithique des confins du Chinonais : le dolmen du Petit Ponçay à Basses (Vienne). *Bulletin de la Société des amis du Vieux Chinon*, VII, 5, 437-451.
- GAUTHIER P. (1996) – Noms de lieux du Poitou. Introduction à la toponymie. *C. Bonneton éd.*, Paris, 232 p.
- GRUET M. (1956) – Dolmens angevins à portique. *Bulletin de la Société préhistorique française*, LIII, 7-8, 397-401.
- HEAD M.J., AUBRY M.-P., WALKER M., MILLER K.G., PRATT B.R. (2017) – A case formalizing subseries (subepochs) of the Cenozoic Era. *Episodes*, 40, 1, 2-7.
- HÉBRAS C. (1970) – Le dolmen de Moncontour et sa destruction. *Bulletin de la Société des antiquaires de l'Ouest et des musées de Poitiers*, X, 407-412.
- JOUBERT J.-M. (1980) – Le Cénomaniens des départements de la Vienne et des Deux-Sèvres. Géologie et hydrogéologie. *Thèse de 3^e cycle*, Poitiers, 186 p. [+ annexes hors-texte].
- JOUBERT J.-M., THIÉBLEMONT D., KARNAY G., WYNS R. (2000a) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Montreuil-Bellay (512), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans.
- JOUBERT J.-M., THIÉBLEMONT D., KARNAY G., WYNS R., PONCET D. avec la collaboration de LAMBERT J. (2000b) – Notice explicative de la Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Montreuil-Bellay (512), 1^{re} éd. *BRGM éd.*, Orléans, 110 p.
- LAGEAT Y., SELLIER D., TWINDALE C.R. (1994) – Mégalithes et météorisation des granites en Bretagne littorale, France du nord-ouest. *Géographie physique et Quaternaire*, 48, 1, 107-113.
- LECOINTRE G. (1944-45) – Révision de la feuille de Saumur au 80 000^e. La faille du Loudunais. *Bulletin des Services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines*, XLV, 219, 77-79.
- LECOINTRE P. (1947) – La Touraine. *Hermann & Cie éd.*, Paris, 250 p.
- LECOINTRE G., MATHIEU G., WATERLOT G. (1948) – Carte géologique de la France à 1/80 000, feuille Saumur (119), 2^e éd. *Service de la Carte géologique de la France éd.*, Paris.
- LONGUEMAR (LE TOUZÉ DE) A. (1865) – Les dolmens du Haut-Poitou. *Mémoires de la Société des antiquaires de l'Ouest*, XXX, 5-37 [+ pl. I-VI].
- LONGUEMAR (LE TOUZÉ DE) A. (1866) – Recherches géologiques et agronomiques dans le département de la Vienne. *Imprimerie A. Dupré éd.*, Poitiers, 108 p.
- MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS (1890) – Recherches statistiques et expériences sur les matériaux de construction. Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889. *Librairie polytechnique Baudry & Cie éd.*, Paris, 321 p.
- PAUTREAU J.-P., MATARO I PLADELASALA M. (1996) – Inventaire des mégalithes de France. La Vienne. *APC éd.*, Chauvigny, Mém. XII, 319 p.
- PITIÉ J. (1962) – La Vienne. *Imprimerie A. Granvaud éd.*, Poitiers, 32 p.
- PONCET D., MENS E. (2020) – Les dolmens du Haut-Poitou : où les bâtisseurs sont-ils allés chercher les pierres ? *Le Pictou*, 263, 30-32.
- PONCET D., MENS E., ARD V. avec la contribution de AGUILLON V. (à paraître) – Les silcrètes d'âge éocène, matériau de construction exclusif (ou presque) des mégalithes dans le nord du Poitou (Deux-Sèvres et Vienne). In Statut des objets, des lieux et des hommes au Néolithique. 32^e colloque interrégional sur le Néolithique. Le Mans, 24-25 novembre 2017. *APC éd.*, Chauvigny, Mém. LIV.
- SELLIER D. (1991) – Analyse morphologique des marques de la météorisation des granites à partir de mégalithes morbihannais. L'exemple de l'alignement de Kerlescan à Carnac. *Revue archéologique de l'Ouest*, 8, 83-97.
- SELLIER D. (2008) – Météorisation des monuments mégalithiques néolithiques et vitesse de l'érosion des granites en milieu océanisé : relais de processus et substitutions de formes. *Bulletin de l'Association des géographes français*, 1, 83-93.
- SELLIER D. (2018) – Formes d'érosion prémégalithiques et postmégalithiques sur les menhirs de calcaire du causse Méjean (Lozère). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 115, 2, 289-308.
- SUZZONI J.-M., GÉLARD J.-P. (1984) – Lecture microtectonique de la faille de Montreuil-Bellay (Anjou) et de la fracturation environnante : cinématique et identification des champs de paléocontraintes. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Paris, série II, 199, 14, 989-994.
- WATERLOT G. (1941-42) – L'anticlinal du Loudunais aux environs de Montreuil-Bellay (feuille de Saumur au 1/80 000^e). *Bulletin des Services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines*, XLIII, 211, 61-82 [+ pl. I].
- WYNS R. (2002) – Climat, eustatisme, tectonique : quels contrôles pour l'altération continentale ? Exemple des séquences d'altération cénozoïques en France. *Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris*, 39, 2, 5-16.

LES PALÉOPROFILS D'ALTÉRATION DANS LES VOSGES ET LEURS APPLICATIONS

WEATHERING PALEOPROFILES IN VOSGES AND THEIR APPLICATIONS

par Robert WYNS¹

Résumé

Une campagne de terrain réalisée de 2017 à 2019 dans le massif cristallin des Vosges dans le cadre d'une étude sur les ressources en eau souterraine a permis de faire l'inventaire des anciens profils d'altération latéritique de ce massif. On observe ainsi un profil intra-Carbonifère, un profil infrapermien, un profil infratriassique, et un profil probablement récent, qui serait Miocène à Plio-Quaternaire. Le profil d'altération le mieux exposé et le plus épais est le profil infratriassique. La connaissance de ces paléoprofils d'altération permet des applications dans le domaine des eaux souterraines et dans celui de la géothermie profonde.

Mots-clés : Vosges, profil latéritique, eaux souterraines, géothermie profonde.

Abstract

A survey carried out from 2017 to 2019 in the crystalline Vosges massif as part of a study on groundwater resources made it possible to make an inventory of the former lateritic alteration profiles of this massif. We thus observe an intra-Carboniferous profile, an antepermian profile, an antetriassic profile, and a probably recent profile, which would be Miocene to Plio-Quaternary. The best exposed and thickest weathering profile is the antetriassic profile. Knowledge of these weathering paleoprofiles allows applications in the field of groundwater and in that of deep geothermal energy.

Key-words: Vosges, lateritic profile, groundwater, deep geothermal energy.

La région étudiée comprend l'ensemble des terrains anté-permiens du massif cristallin des Vosges, soit environ 2 400 km² (fig. 1). Elle s'étend sur les départements suivants : Bas-Rhin, Haut-Rhin, Vosges, Haute-Saône, Territoire de Belfort.

C'est une région de moyenne montagne, avec des altitudes comprises entre 230 et 1430 m environ. Dans les zones de relief, les vallées sont souvent fortement encaissées.

Les roches étudiées sont principalement composées de granites et de roches métamorphiques paléozoïques, ainsi que des roches sédimentaires et volcaniques pas ou peu métamorphiques d'âge Carbonifère. Toutes ces roches se sont mises en place lors de l'orogénèse hercynienne. Elles ont ensuite été recouvertes en discordance par une épaisse pile de terrains sédimentaires allant du Permien au Jurassique. Une partie des terrains jurassiques a sans doute été érodée au Crétacé inférieur, comme on l'observe

en Lorraine, à l'ouest de la zone d'étude. Puis des formations sédimentaires d'âge Crétacé supérieur ont probablement recouvert les terrains précédents, sans que l'on puisse en déterminer l'épaisseur, ces formations ayant été complètement érodées au début ou à la fin du Cénozoïque. La faille de Sainte Marie aux Mines, orientée NE-SW, sépare le massif vosgien en deux parties de superficie voisine (fig. 1) : à l'ouest, le versant vosgien, où le toit du socle s'incline vers l'ouest en direction du bassin parisien ; à l'est, le versant alsacien, où le socle est découpé en lanières par des failles appartenant à la bordure ouest du graben rhénan. Sur le versant alsacien, le toit du socle s'abaisse progressivement vers

(1) 2 rue des Étuves, 45190 Beaugency (r.wyns@free.fr).
Retraité du BRGM.

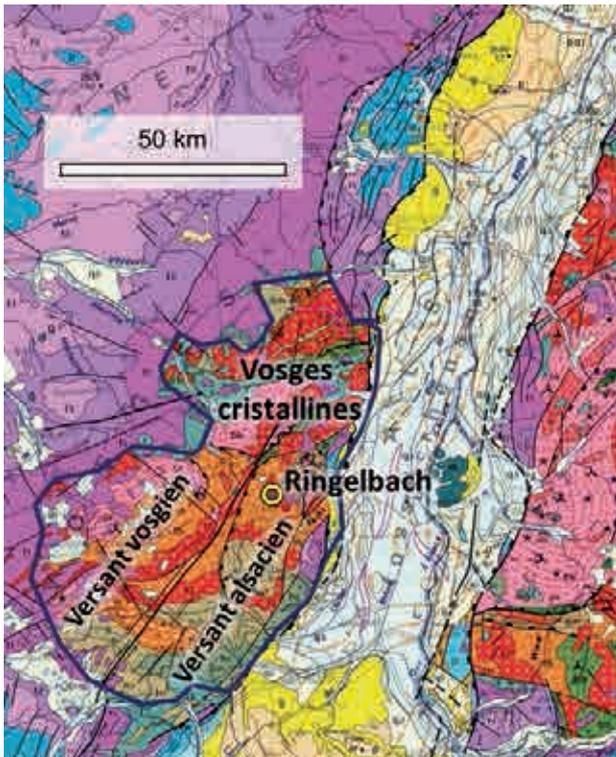


Fig. 1 : Emplacement des Vosges cristallines et position du bassin versant de Ringelbach (fond géologique : carte à 1/1 500 000 de la France, © BRGM).

Fig. 1: Location of the crystalline Vosges and position of the Ringelbach watershed (geological background: 1:1,500,000 map of France, © BRGM).

le fossé rhénan par le jeu de ces failles NE-SW. Il est probable que le domaine du versant alsacien ait été au moins en partie recouvert par le remplissage du graben rhénan, avant d'être exhumé par érosion à partir du Miocène supérieur, comme on le verra à propos de l'étude des forages scientifiques sur le bassin-versant expérimental du Ringelbach.

Le massif vosgien présente de nombreux vestiges de profils d'altération latéritique. Ils n'ont été que peu décrits dans la litté-

ture. La plupart sont d'âge ancien (paléozoïques à infratriasiques), et ont été exhumés lors des grandes phases d'érosion à partir du Miocène supérieur. Il existe néanmoins quelques occurrences de profils paraissant plus récents (Miocène à Pliocène). Nous présentons dans cet article un panorama de ces anciens profils.

Structure d'un profil latéritique

Un profil d'altération latéritique est un profil d'altération soustractive (Wyns *et al.*, 2014 ; Wyns, 2020) développé sur des roches cristallines (métamorphiques, plutoniques ou volcaniques) selon Tardy (1993). Son fonctionnement est dominé par l'hydrolyse des minéraux de la roche parente, la mise en solution des éléments chimiques les plus mobiles et leur exportation vers l'aval du paysage. Le résultat de l'altération est constitué principalement d'oxydes, d'hydroxydes, de minéraux argileux et de minéraux résiduels non complètement dissous, comme le quartz des roches granitiques.

Une cuirasse ferrugineuse (ou bauxitique) peut se former au sommet du profil en réponse à l'existence de saisons sèches prononcées : les hydroxydes de fer (goéthite) ou d'alumine (gibbsite) se transformant en oxydes de fer (hématite) ou en hydroxydes d'alumine moins hydratée (boehmite). Ces derniers minéraux sont indurés car à plus forte cristallinité que les minéraux plus hydratés. Mais ces cuirasses sont rarement conservées dans les profils anciens, soit du fait d'une érosion du sommet du profil, soit du fait d'une réhydratation de la cuirasse avant son enfouissement sous une couverture sédimentaire.

On peut ainsi distinguer (fig. 2), sous la cuirasse ferrugineuse, un horizon meuble constitué d'altérites (saprolite) à dominante argileuse. Si la roche parente est un granitoïde, cet horizon est constitué d'arènes ; dans ce cas, sa partie inférieure prend une texture feuilletée (« horizon feuilleté ») due à de multiples fentes de tension à espacement infra-centimétrique.

Sous la saprolite, on trouve généralement un horizon fissuré dont l'épaisseur est environ le double de celle de la saprolite avant érosion. Cet horizon fissuré (Wyns *et al.*, 2004 ; Lachassagne *et al.*, 2011) est caractérisé par une très forte densité de fracturation au sommet de la roche dure, la densité décroissant vers le bas. La fissuration résulte des contraintes accumulées dans la roche au stade précoce de l'altération de certains minéraux ferro-magnésiens, notamment la biotite, les pyroxènes et l'olivine. Ainsi, la

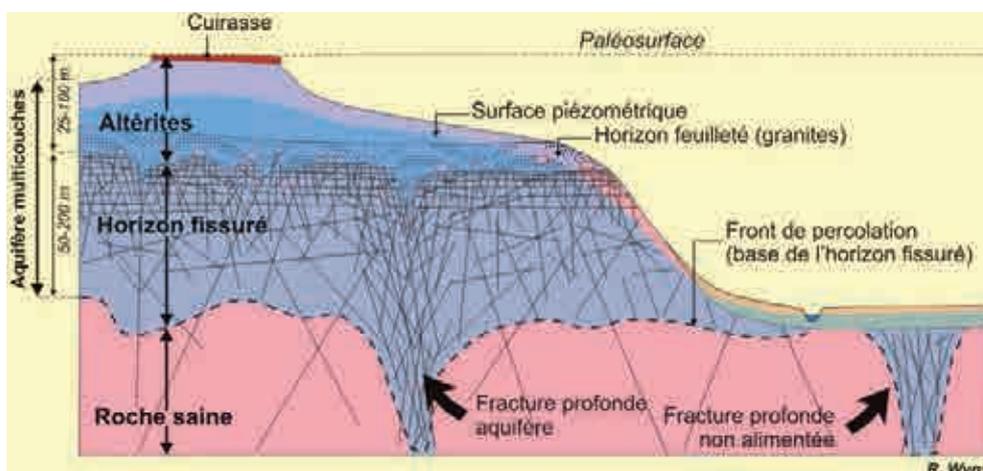


Fig. 2 : Structure d'un profil latéritique (d'après Wyns *et al.*, 2004).

Fig. 2: Structure of a lateritic profile (after Wyns *et al.*, 2004).

biotite subit un gonflement potentiel de 40 % en volume lorsqu'elle se transforme en vermiculite, l'épaisseur de ses feuillets passant de 10 à 14 Å. Seules les roches contenant ces minéraux sont susceptibles de développer un horizon fissuré au cours de l'altération. Dans les roches où l'orientation des minéraux gonflants est aléatoire (granitoïdes et gabbros), les fentes de tension ont une géométrie plane caractéristique qui permet à coup sûr d'identifier d'anciens profils même si les arènes ont été érodées. Il en est de même pour les roches métamorphiques à foliation verticale. Par contre, si la roche est plissée (micaschistes), les fractures ne sont pas horizontales mais ont des directions aléatoires.

Répartition stratigraphique des profils d'altération dans le Massif vosgien

D'une manière générale, on observe des profils d'altération au toit du socle hercynien sous chacune des grandes discordances. Nous allons les décrire des plus anciens aux plus récents.

Profil intra-carbonifère

Lorsque des roches sédimentaires carbonifères reposent sur des roches métamorphiques ou plutoniques, on observe généralement des reliques de profil d'altération. De telles observations ont été effectuées notamment dans le Massif central. Dans les Vosges, un certain nombre d'occurrences permettent de s'assurer de la présence d'un profil d'altération sous les sédiments carbonifères :

- à Saint-Pierre-Bois (carte géologique Sélestat, fig. 3, affleurement 4091), le granite à deux micas de Dambach montre un paléoprofil d'altération (avec horizon fissuré préservé et arènes) scellé par des sédiments stéphaniens ; les arkoses de la base du Stéphanien proviennent du remaniement des arènes ;

- près de Thannenkirch, le granite est arénisé sous le contact des sédiments namuro-westphaliens, et les arènes sont remaniées en arkoses à la base de la série sédimentaire.

Profil infrapermien

Partout où l'on peut observer la discordance des dépôts permien sur le socle hercynien, celui-ci montre les vestiges d'un ancien profil d'altération :

- à Windstein (carte géologique Lembach, fig. 4), les grès et pélites rouges de la base du Permien reposent sur des arènes granitiques (3 à 5 m), elles-mêmes surmontant un horizon fissuré, avec des joints horizontaux espacés de 0,3 à 0,5 m. Le granite est un granite à amphibole riche en biotite ; le contact est visible sur l'affleurement 4064, l'horizon fissuré sur les affleurements 4065 et 4066 ;

- près de Senones (carte St Dié) de nombreux affleurements montrent le profil infrapermien (fig. 5). Le plus intéressant correspond à une carrière en activité au sud de Vieux-Moulin (affleurement 4252). La roche altérée est un granite porphyroïde riche en grandes biotites. L'horizon fissuré est exposé sur une vingtaine de mètres d'épaisseur, avec des joints espacés de 1,50 m à 2 m dans la partie inférieure, et se resserrant à 0,10 m-0,50 m au sommet. Les joints sont inclinés de 7 à 8° vers le nord, parallèlement à la base du Permien (fig. 6). Le Permien repose directement sur la partie sommitale de l'horizon fissuré ou bien sur l'horizon feuilleté : les arènes ont été érodées avant le dépôt du Permien. Le Permien est visible sur 6 à 7 m, il comporte des grès rouges et des brèches à matrice argileuse (« débris-flow »).

- une autre carrière en activité est située à l'ouest de Ménil de Senones (carrière Petit Jean, affleurement 4082, figs 5 et 7). Le sommet de la carrière montre la partie sommitale de l'horizon fissuré ainsi que localement l'horizon feuilleté, avec un début de débit en boules. Le granite est un granite porphyroïde à feldspaths potassiques de couleur miel (2 à 3 cm), avec des biotites de 1 à 4 mm.

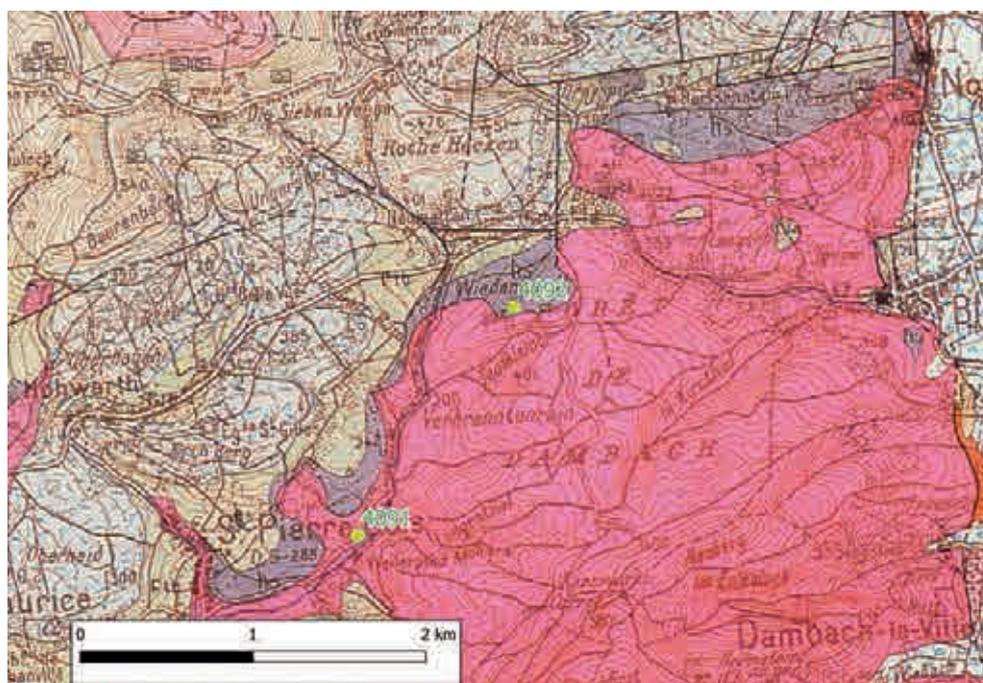


Fig. 3 : Affleurements du profil carbonifère près de Saint-Pierre-Bois (Carte géologique à 1/50 000 Sélestat, © BRGM).

Fig. 3: Outcrops of the carboniferous profile near Saint-Pierre-Bois (1:50,000 geological map Sélestat, © BRGM).

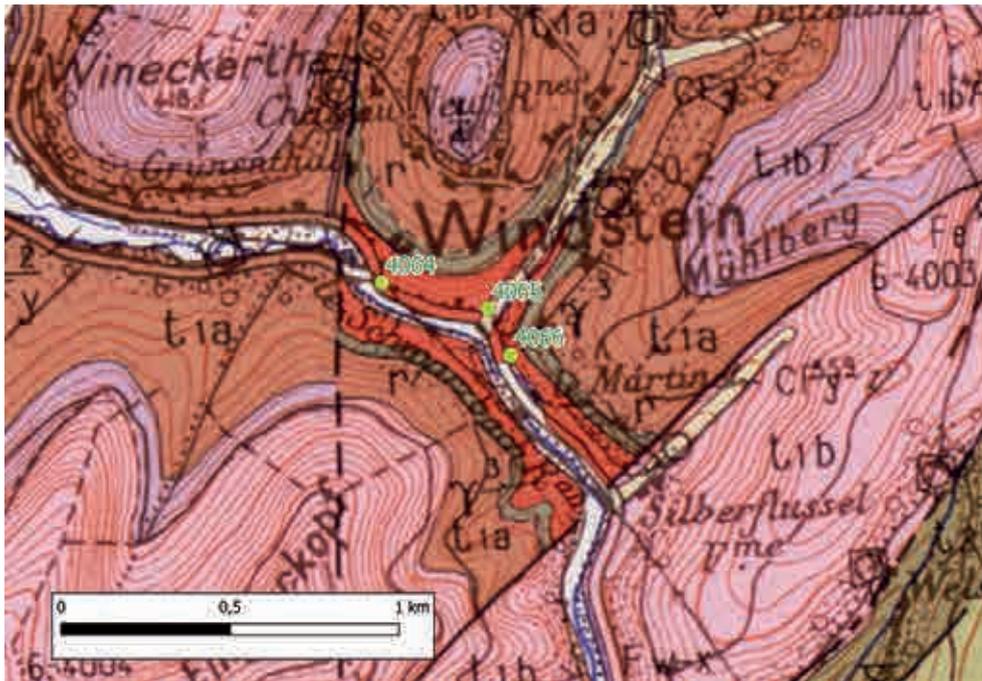


Fig. 4 : Affleurements du profil infrapermien près de Windstein (carte géologique à 1/50 000 Lembach, © BRGM).

Fig. 4: Outcrops of the Infra-Permian profile near Windstein (1:50,000 geological map Lembach, © BRGM).

Profil infratriasique

Le profil infratriasique est de loin le mieux exposé sur le Massif vosgien. Il est partiellement décapé lorsqu'il n'est pas scellé par les grès du Trias, mais dans ce cas l'horizon fissuré reste bien visible, comme on peut l'observer dans les falaises du Hohneck (fig. 8) ainsi que du lac des Truites (fig. 9) et du lac

Blanc (fig. 10). Les « gazons » qui coiffent les hauteurs de la route des Crêtes sont des restes de la base des arènes de ce même profil infratriasique.

Le profil d'altération infratriasique est parmi les plus épais observables en France, avec un horizon fissuré qui se développe sur plus de 150 m d'épaisseur. Il a été étudié grâce à un forage

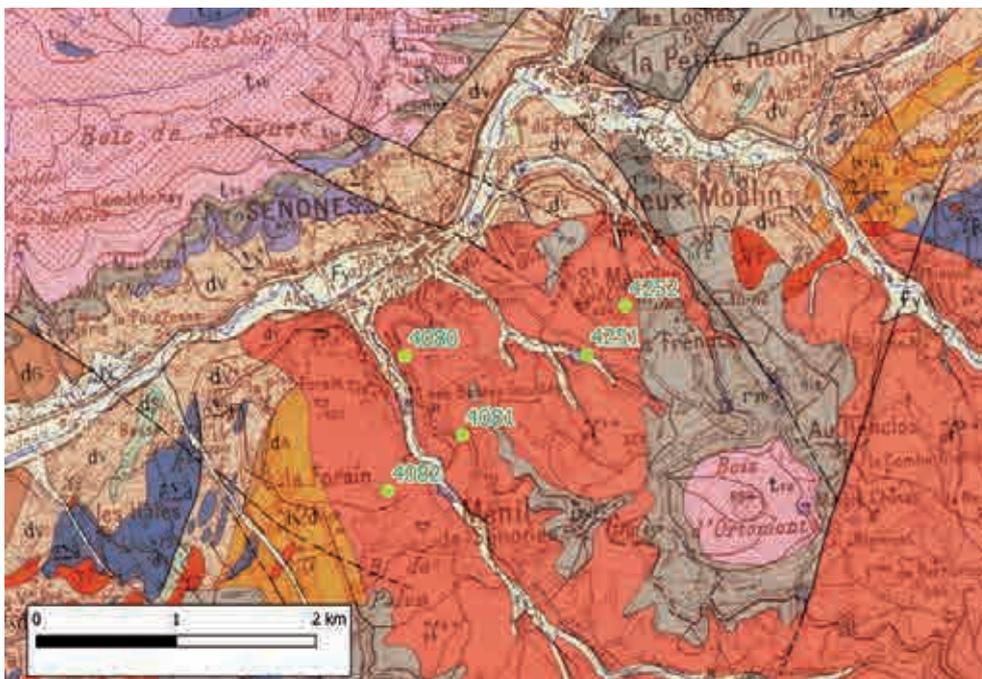


Fig. 5 : Affleurements du profil infrapermien près de Senones (carte géologique à 1/50 000 Saint Dié des Vosges, © BRGM).

Fig. 5: Outcrops of the Infra-Permian profile near Senones (1:50,000 geological map Saint Dié des Vosges, © BRGM).

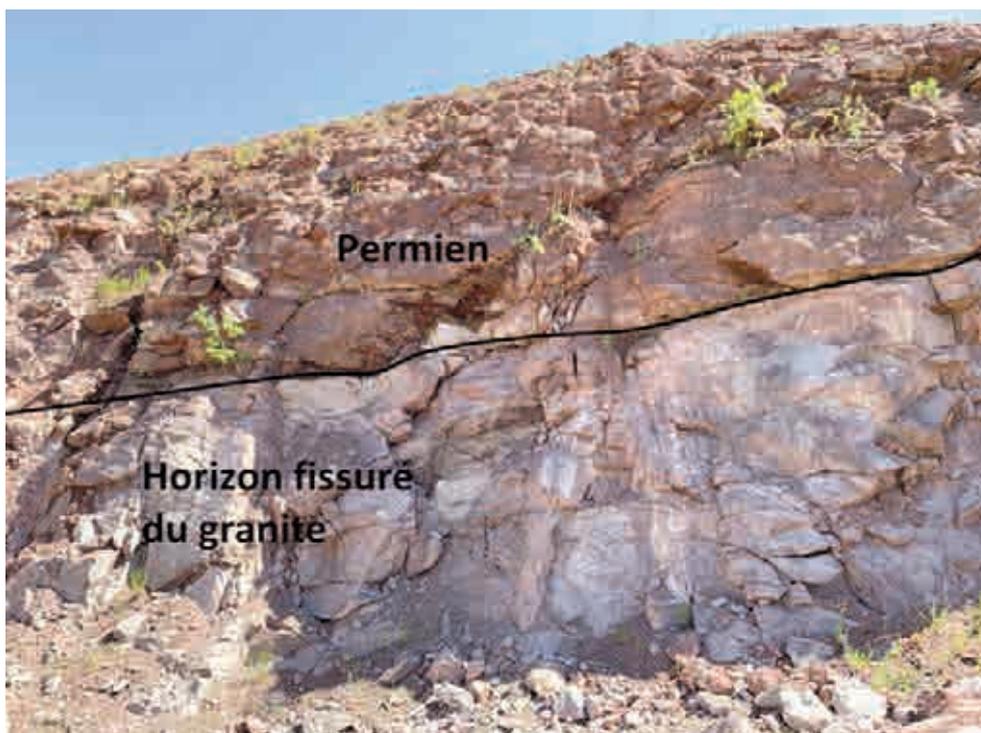


Fig. 6 : Carrière de Vieux Moulin (affleurement 4252) : le contact du Permien sur l'horizon fissuré. Noter le pendage des joints du granite parallèle à la base du Permien. Le Nord est à gauche.

Fig. 6: Vieux Moulin quarry (outcrop 4252): the Permian contact on the fissured horizon. Note the dip of the granite joints parallel to the base of the Permian. North is on the left.

carotté dans le cadre de l'étude du bassin-versant du Ringelbach, au nord de Soultzeren (NW de Munster).

Les affleurements de bord de route montrant les arènes de ce profil ainsi que l'horizon fissuré sont innombrables, notamment sur le versant alsacien du massif des Vosges.

Quelques affleurements remarquables permettent d'observer l'horizon fissuré :

- à l'ouest d'Andlau (carte Sélestat), une ancienne carrière (affleurement 4094, fig. 11) permet d'observer l'horizon fissuré dans un granite riche en grandes biotites. Les joints d'altération

sont espacés de 0,30 m à 1,50 m et sont inclinés parallèlement au versant (fig. 12) ;

- au nord de La Bresse (fig. 13), le talus d'une route permet d'observer l'horizon fissuré (affleurement 4207) ; le granite est riche en biotite. Dans la partie droite (NE) du talus, on observe des joints d'altération espacés de 0,30 à 1,50 m inclinés vers le SW (fig. 14). À l'extrémité SW de l'affleurement on peut observer un filon de microgranite parcouru de fentes faiblement inclinées, et encadré par une arène feuilletée (fig. 15).

Le profil infratriasique dans le bassin-versant de Ringelbach, et son étude par forage carotté

Ce petit bassin versant expérimental de 36 ha situé au nord de Soultzeren (Haut Rhin) a été étudié depuis 1975 et jusqu'à la fin des années 2000 par une équipe pluridisciplinaire de l'université de Strasbourg (CEREG², puis IMFS³ et LHyGeS⁴) dans le cadre d'un projet de recherche du Programme National de Recherche en Hydrologie de l'INSU⁵. Le BRGM a participé à ce projet à partir de 1999, notamment pour la réalisation de profils de résistivité électrique, de sondages RMP (Résonance Magnétique Protonique), et pour l'étude géologique des affleurements et des forages (Wyns, 2012).

Le bassin versant est situé sur le versant alsacien des Vosges cristallines (fig. 1). Il est constitué de granite à biotite et locale-

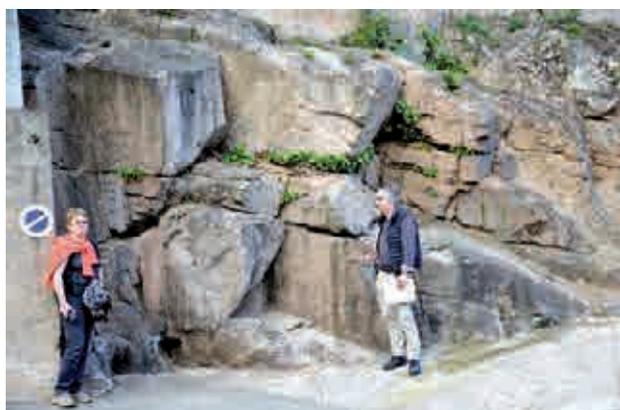


Fig. 7 : L'horizon fissuré du profil infrapermien à la carrière Petit Jean (affleurement 4082) à l'ouest de Ménéville de Senones.

Fig. 7: The fissured horizon of the Infra-Permian profile at the Petit Jean quarry (outcrop 4082), west of Ménéville de Senones.

(2) Centre d'études et de recherches éco-géographiques

(3) Institut de Mécanique des Fluides et des Solides

(4) Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg

(5) Institut National des Sciences de l'Univers



Fig. 8 : L'horizon fissuré du profil infratriasique dans les falaises du Hohneck. La pelouse au sommet (flèche) correspond à la base des arènes.
 Fig. 8: The fissured horizon of the Infra-Triassic profile in the cliffs of Hohneck. The lawn at the top (arrow) is the base of the arenas.



Fig. 9 : L'horizon fissuré du profil infratriasique au lac des Truites.
 Fig. 9: The fissured horizon of the Infra-Triassic profile at Lac des Truites.

ment à amphibole. Le sommet du bassin versant est constitué des grès vosgien appartenant à la base du Trias (fig. 16).

Le Grès vosgien scelle le profil d'altération infratriasique (fig. 17). Les sondages RMP ont montré que l'horizon fissuré ne contient que très peu d'eau (moins de 1 %), alors que pour une minéralogie équivalente, les nombreux sondages RMP effectués dans le Massif armoricain et le Limousin indiquent des teneurs en eau de 5 % ou plus dans la partie supérieure de l'horizon fissuré. L'une des hypothèses pour expliquer ces teneurs en eau anormalement faibles était que la porosité de fracture de l'horizon fissuré avait peut-être été colmatée par des minéralisations au cours de l'enfouissement du profil sous l'épaisse série sédimentaire. Pour vérifier cette hypothèse, l'équipe de projet a obtenu le financement d'une campagne de forages dans le cadre du CPER⁶ Alsace.

(6) Contrat de Plan État-Région

Un forage carotté de 150 m (FHUR, fig. 18) a été réalisé sur le Hurlin en démarrant dans la partie inférieure des grès triasiques, et deux forages à vocation hydrogéologique (FHEI 1 et 2) ont été implantés plus à l'ouest. Ces forages ont été réalisés de septembre à novembre 2005.

Le forage carotté FHUR a fait l'objet d'une étude structurale et pétrographique détaillée.

La coupe géologique résumée montre, de haut en bas :

- 0,00 – 0,80 m : remblai
- 0,80 – 28,08 m : Grès vosgien (base du Trias)

28,08 – 48,30 m : arène granitique (incluant des arènes feuilletées dans la partie inférieure)

48,30 – 150,00 m : granite porphyroïde à biotite avec nombreuses fractures plates et verticales, très altéré dans la partie supérieure, devenant de plus en plus sain vers le bas.



Fig. 10 : L'horizon fissuré du profil infratriasique dans les falaises du lac Blanc.
 Fig. 10: The fissured horizon of the Infra-Triassic profile in the cliffs of Lac Blanc.

Le relevé des fractures et de leur pendage (fig. 18) montre que les fractures à faible pendage sont très nombreuses, notamment dans la partie supérieure. La plupart sont colmatées par des minéralisations.

L'horizon fissuré du profil d'altération présente une épaisseur supérieure à 100 m : sa base n'a été atteinte dans aucun des fo-

rages. Ceci est en accord avec les observations réalisées dans les falaises du Hohneck (fig. 8), où son épaisseur peut être estimée à environ 150 m, ainsi que dans les Cévennes.

L'intense fissuration, dont une partie résulte de l'éclatement de la roche lors de l'altération, et l'autre partie résulte de la fracturation tectonique, est presque entièrement colmatée par des mi-

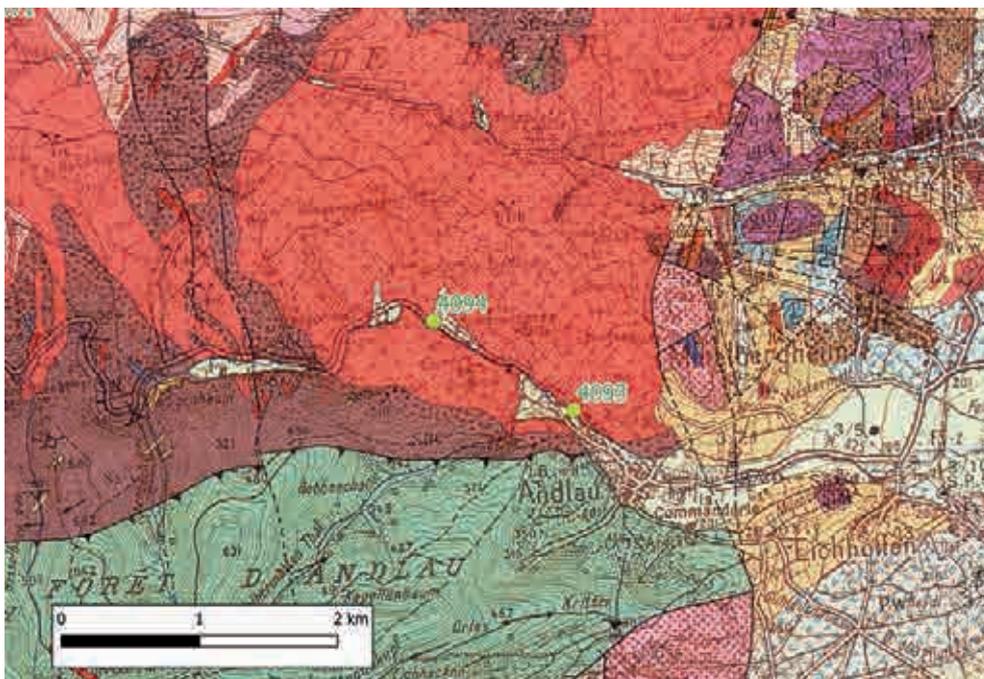


Fig. 11 : Affleurements du profil infratriasique près d'Andlau (carte géologique à 1/50 000 Sélestat, © BRGM).
 Fig. 11: Outcrops of Infra-Triassic profile near Andlau (geological map at 1:50,000 Sélestat, © BRGM).



Fig. 12 : L'horizon fissuré du profil infratriasique dans l'affleurement 4094 (ouest d'Andlau). Les flèches indiquent les joints d'altération.
 Fig. 12: The fissured horizon of the Infra-Triassic profile in outcrop 4094 (west of Andlau). Arrows indicate weathering joints.

néraux néoformés lors de l'enfouissement mésozoïque et cénozoïque. Ces observations expliquent la très faible porosité (< 1 %) mesurée par les sondages RMP dans l'horizon fissuré. Les principaux minéraux colmatant les fissures sont le quartz, la calcite, la dolomite, la dolomite ferrifère (ankérite), la barytine et l'hématite.

Il est possible que l'hématite présente dans les fissures provienne partiellement ou en totalité de la recristallisation de la dolomite ferrifère en calcite. L'âge de cristallisation des différentes générations de carbonates et de sulfates ne peut être précisé par l'étude pétrographique. Ces néoformations ont pu cristalliser depuis le Trias jusqu'à la fin du Paléogène.

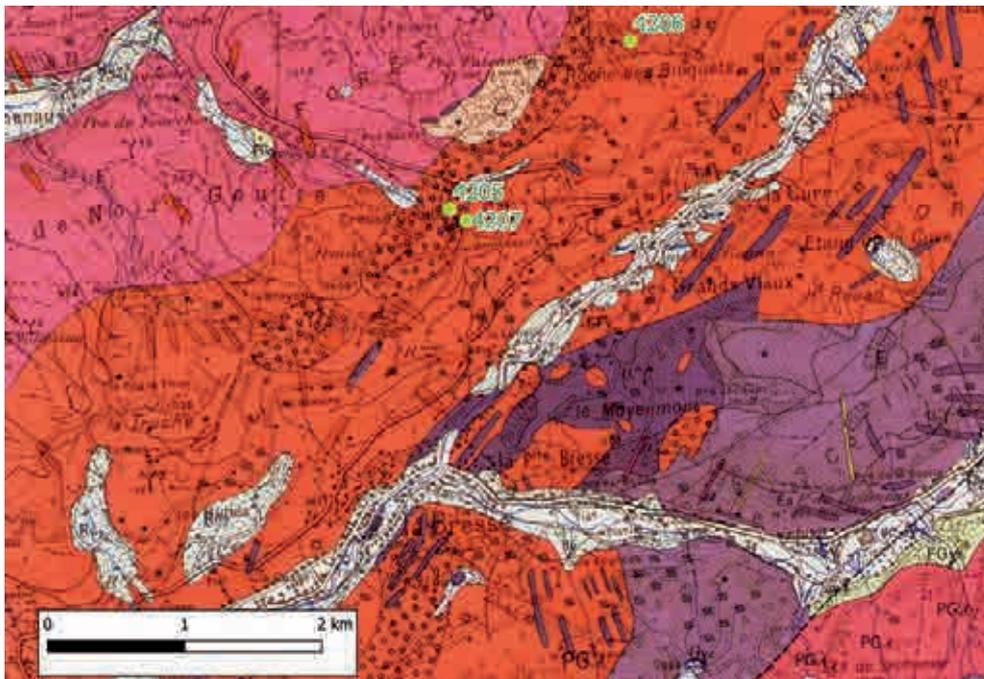


Fig. 13 : Affleurements au nord de La Bresse (carte géologique à 1/50 000 Munster, © BRGM).
 Fig. 13: Outcrops north of La Bresse (geological map at 1:50,000 Munster, © BRGM).



Fig. 14 : Affleurement 4207, partie NE : joints d'altération inclinés vers le SE (partie sommitale de l'horizon fissuré, profil infratriasique). Les flèches indiquent les joints d'altération.

Fig. 14: Outcrop 4207, NE part: weathering joints inclined towards the SE (top part of the fissured horizon, Infra-Triassic profile). Arrows indicate weathering joints.

Précisons que le forage carotté réalisé sur le site géothermique de Soultz-Sous-Forêts (numéro BSS000QLUE dans la banque de données du sous-sol, <http://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss>) montre également au toit du granite, sous la base du Trias, un horizon fissuré avec des fractures horizontales très nombreuses dans

les 50 premiers mètres. Les fissures sont colmatées avec les mêmes paragenèses que dans le forage de Ringelbach.

Les résultats de l'étude du forage FHUR, montrant que l'aquifère (horizon fissuré) du profil d'altération infratriasique a



Fig. 15 : Affleurement 4207, partie SW : filon de microgranite avec fentes de tension (flèches noires) encadrée par un granite à faciès feuilleté (flèche bleue en tireté). Profil infratriasique.

Fig. 15: Outcrop 4207, SW part: microgranite vein with tension cracks (black arrows) framed by a laminated facies granite (blue dashed arrow). Infra-Triassic profile.

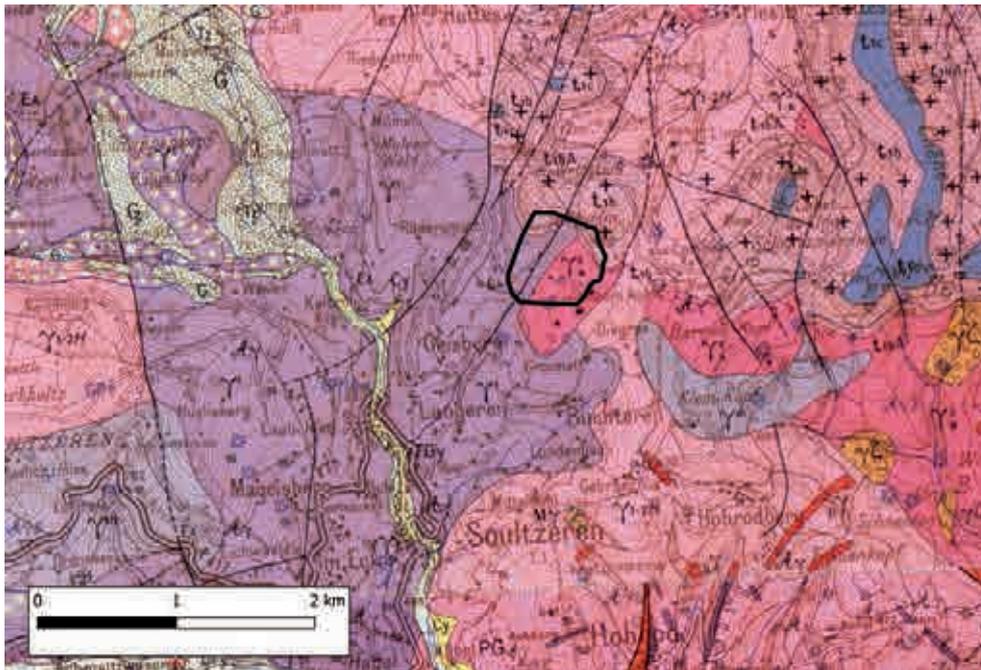


Fig. 16 : Position du bassin-versant de Ringelbach (en noir) sur fond de la carte géologique de Gérardmer (© BRGM).
 Fig. 16: Position of the Ringelbach watershed (in black) on the Gérardmer geological map (© BRGM).

été entièrement colmaté par des minéraux au cours de l'enfouissement du profil sous une épaisse (plusieurs km) série sédimentaire, permettent de penser que les profils d'altération anciens, enfouis à grande profondeur, ne sont pas favorables à la présence de ressources en eau souterraine. Ce sujet sera débattu ci-après dans le paragraphe « ressources en eau souterraine ».

Profil d'altération possiblement récent

Dans la région située à l'ouest de Munster, sur les versants de la vallée de la Fecht, des restes de profil d'altération avec arènes et horizon fissuré préservés ont été observés à des altitudes assez basses (fig. 19). Ils ne sont pas scellés par le Trias ni le Permien.

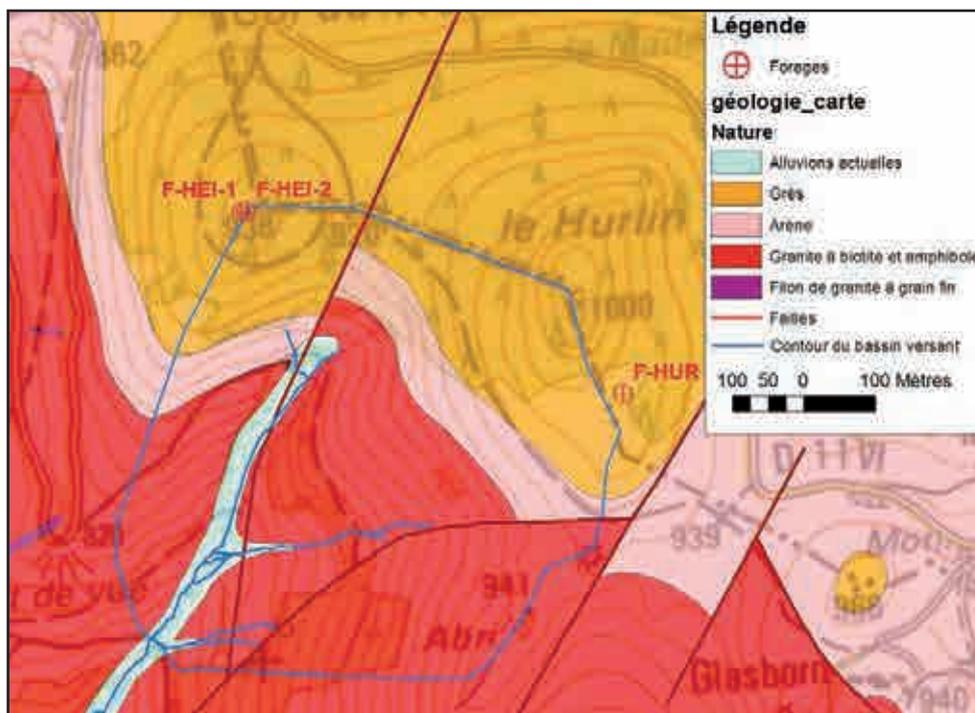


Fig. 17 : Carte géologique détaillée du bassin versant de Ringelbach réalisée dans le cadre du PNRH (Wyns, 2012).
 Fig. 17: Detailed geological map of the Ringelbach watershed produced as part of the PNRH (Wyns, 2012).

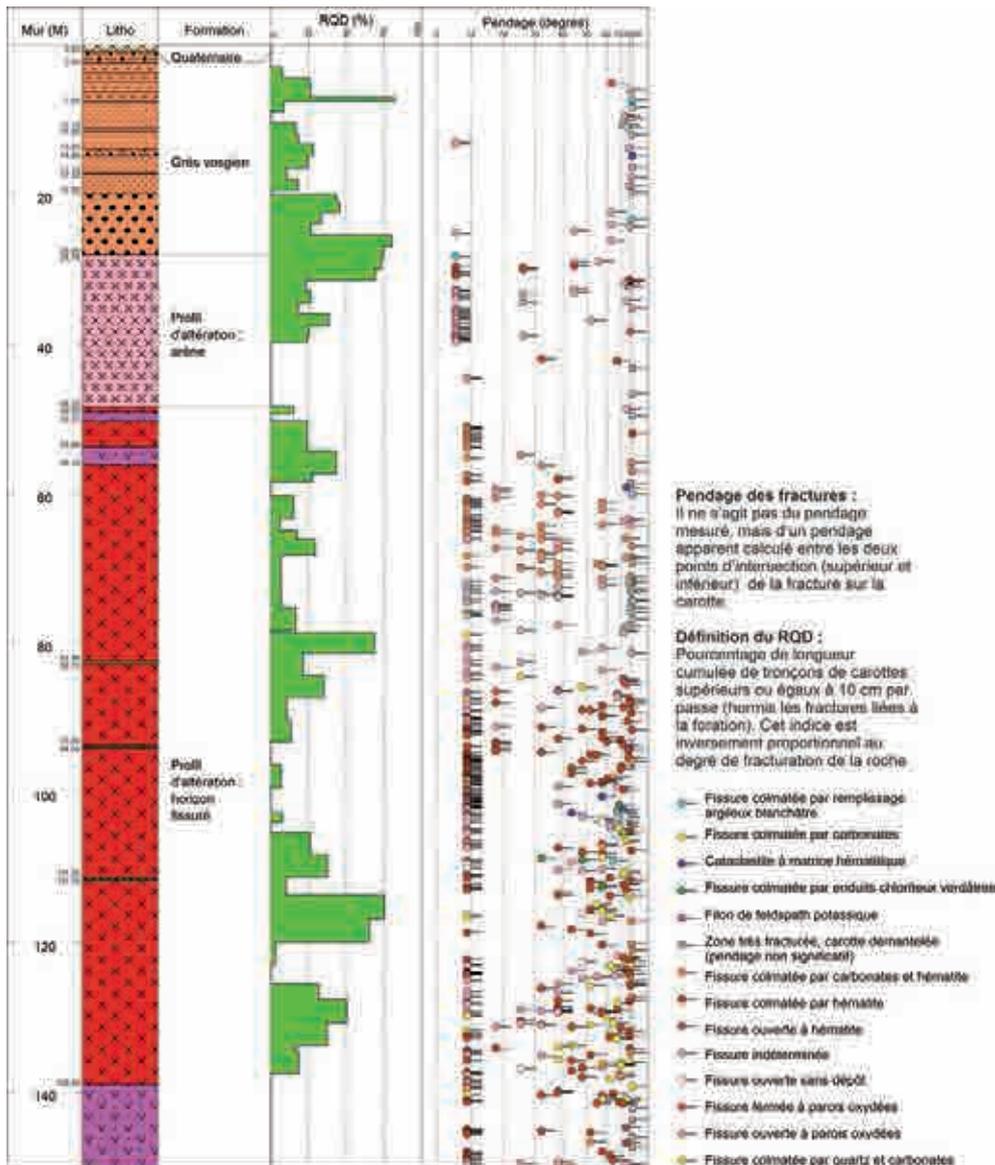


Fig. 18 : Forage carotté FHUR : coupe géologique simplifiée, log RQD et fractures (Wyns, 2012).

Fig. 18: Core drilling FHUR: simplified geological section, RQD and fractures log (Wyns, 2012).

L'affleurement 4152 (altitude 600 m) montre une petite cascade (fig. 20) dans un granite porphyroïde à biotite, avec des joints d'altération caractéristiques espacés de 0,70 à 1,60 m.

L'affleurement 4154 correspond à un replat situé vers 900 m d'altitude. On peut observer des arènes feuilletées ainsi que des vestiges de joints d'altération horizontaux.

L'affleurement 4156 est situé sur un replat à 1000 m d'altitude, dans un col au lieu-dit Le Gaschney. Il montre une pelouse sur arènes au pied d'un escarpement correspondant à une faille N15 séparant le col du Petit Hohneck.

L'affleurement 4157 (altitude 900 m) est situé au-dessus d'un talus correspondant vraisemblablement à une faille N45 à regard sud. Au pied de ce talus on observe une prairie sur arènes. Plusieurs captages sont situés au pied de ce talus.

L'affleurement 4163 (altitude 650 m) est situé au sud de la vallée de la Fecht, au SW de Metzeral. Il s'agit d'une petite sablière montrant des arènes feuilletées avec vestiges de boules granitiques. Il est situé en contrebas d'un replat topographique situé à 660 m d'altitude, occupé par des arènes. Il existe des sources captées dans le vallon situé immédiatement à l'ouest de l'affleurement (dans l'horizon fissuré ?).

Ces indices de profils d'altération qui ne sont pas scellés par les sédiments du Trias ou du Permien et qui semblent aquifères pourraient être d'âge récent, postérieur à la mise à nu du socle cristallin des Vosges, donc Miocène supérieur à actuel. Il n'est pas possible d'estimer l'épaisseur de ce profil, dont les différents éléments ont vraisemblablement été décalés par des failles.

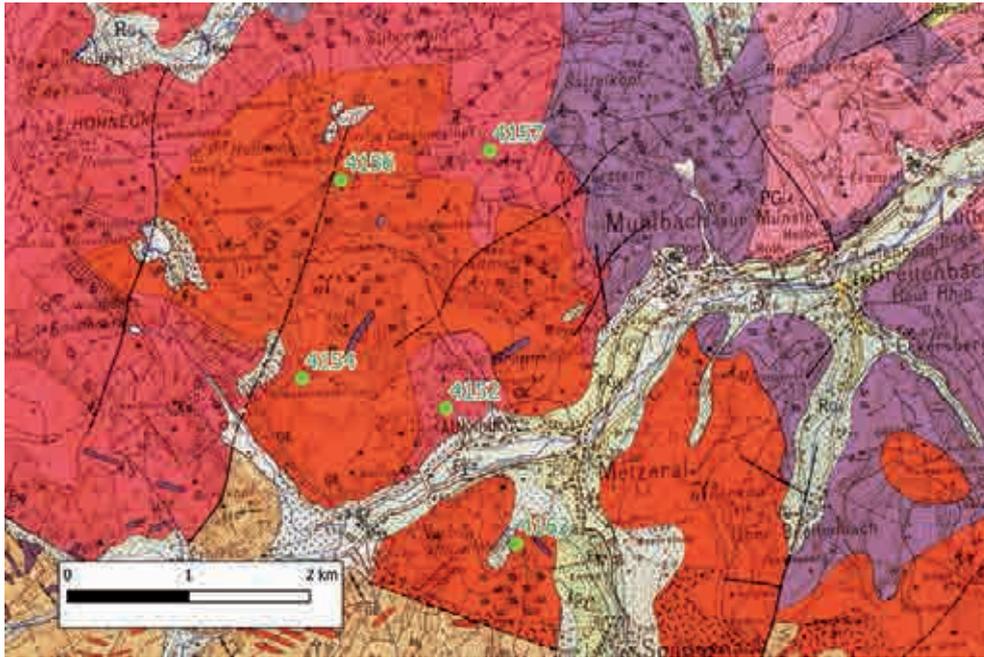


Fig. 19 : Affleurements montrant des restes de profil d'altération possiblement récent (Miocène à Plio-Quaternaire ?) (Carte géologique à 1/50 000 Munster, © BRGM).

Fig. 19: Outcrops showing remains of a possibly recent weathering profile (Miocene to Plio-Quaternary?) (Geological map at 1:50,000 Munster, © BRGM).

Discussion sur les relations entre le profil infrapermien et le profil infratriasique

Jusqu'à récemment, on savait que les contacts discordants du Permien ou du Trias sur le socle des Vosges montraient systématiquement la présence d'un profil latéritique au toit du socle, mais

on ne savait pas s'il s'agissait de profils d'âges différents ou bien s'il s'agissait d'un même profil infrapermien recouvert, selon les cas, par des sédiments permieniens ou des sédiments triasiques.

L'étude de la région située à l'est de Bruyères (Vosges) montre que la base du Permien est beaucoup plus inclinée vers le NW



Fig. 20 : Affleurement 4152 : horizon fissuré d'un profil supposé récent (Miocène à Plio-Quaternaire?). Les flèches indiquent les joints d'altération.

Fig. 20: Outcrop 4152: fissured horizon of a supposedly recent profile (Miocene to Plio-Quaternary?). Arrows indicate weathering joints.

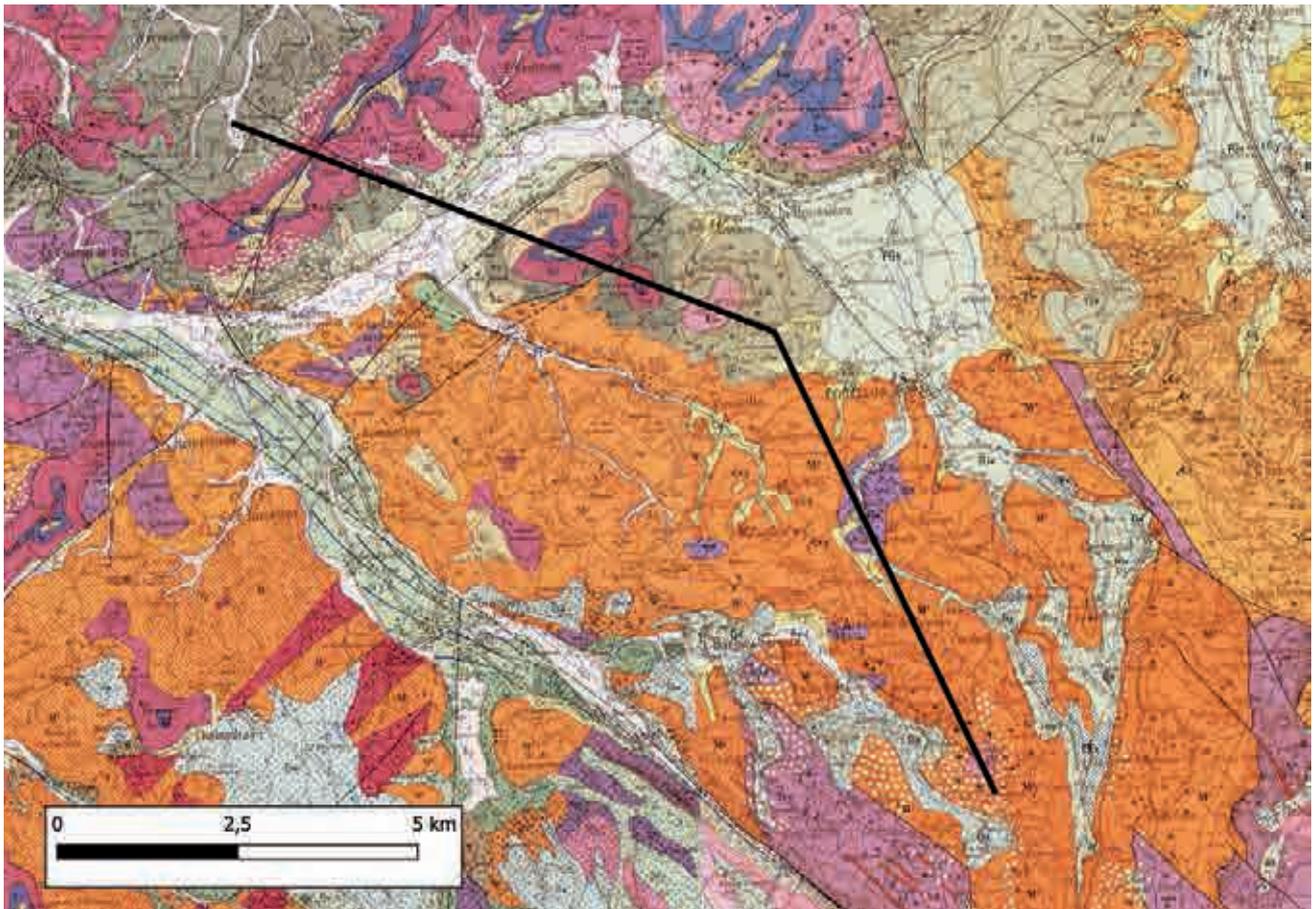


Fig. 21 : Tracé de la coupe de la fig. 22 (cartes géologiques à 1/50 000 Bruyères et Gérardmer, © BRGM).
 Fig. 21: Plot of the section in fig. 22 (geological maps at 1:50,000 Bruyères and Gérardmer, © BRGM).

que la base du Trias (figs 21 et 22). Dans cette région, la base du Permien scelle un profil d'altération, de même que la base du Trias. Compte tenu de la différence de pendage entre les deux surfaces de base, il est clair que dans la partie SE de la coupe le profil infrapermien a été entièrement érodé avant le dépôt du Trias. On a donc ici une démonstration qu'il y a bien deux profils d'altération distincts, l'un sous le Permien et l'autre sous le Trias.

Les applications des profils latéritiques sur socle dans les Vosges

Ressources en eau souterraine

L'inventaire des profils latéritiques sur socle du massif vosgien présenté dans cet article a été réalisé dans le cadre d'une étude BRGM sur les ressources en eau du socle vosgien (Chabart

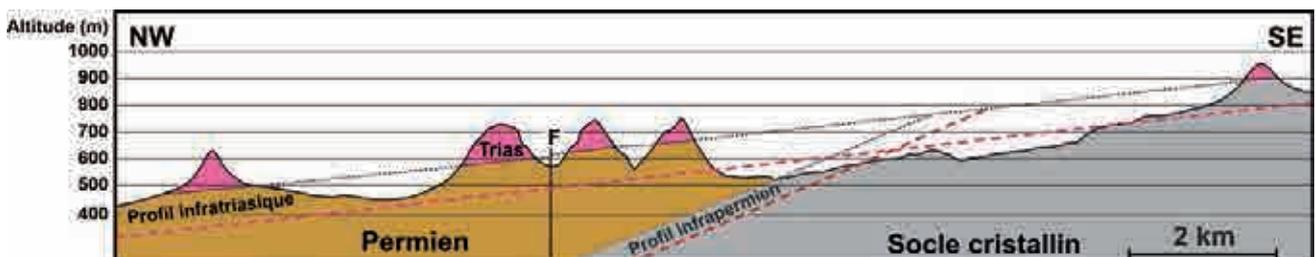


Fig. 22 : Coupe géologique à l'est de Bruyères (hauteurs fortement exagérées).
 Fig. 22: Geological section east of Bruyères (greatly exaggerated heights).

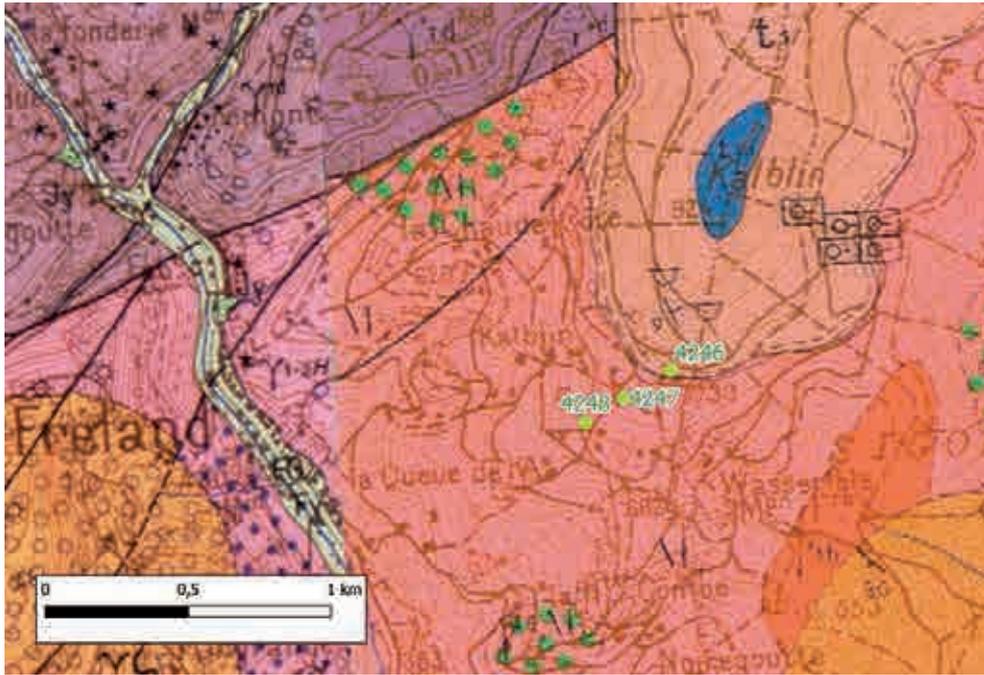


Fig. 23 : Implantation du forage productif 03421X0072 à Fréland (point 4246) (carte géologique à 1/50 000 Colmar, © BRGM).
 Fig. 23: Location of productive well 03421X0072 at Fréland (point 4246) (geological map at 1:50,000 Colmar, © BRGM).

et al., 2020). Les travaux de recherche menés au BRGM depuis plus de 20 ans ont montré que l'eau souterraine dans les roches métamorphiques ou plutoniques était contenue dans un aquifère d'altération, en particulier dans l'horizon fissuré dont la partie supérieure est productive (Wyns *et al.*, 2004 ; Dewandel *et al.*, 2006 ; Lachassagne *et al.*, 2011 ; Maréchal *et al.*, 2003).

Le fait que les fissures de l'horizon fissuré du profil infra-triasique de Ringelbach aient été entièrement colmatées par des minéraux au cours de son enfouissement sous une épaisse série sédimentaire laissait à penser que les ressources en eau du socle des Vosges liées à d'anciens profils d'altération étaient probablement très faibles. Mais on ne savait pas si ce colmatage était gé-

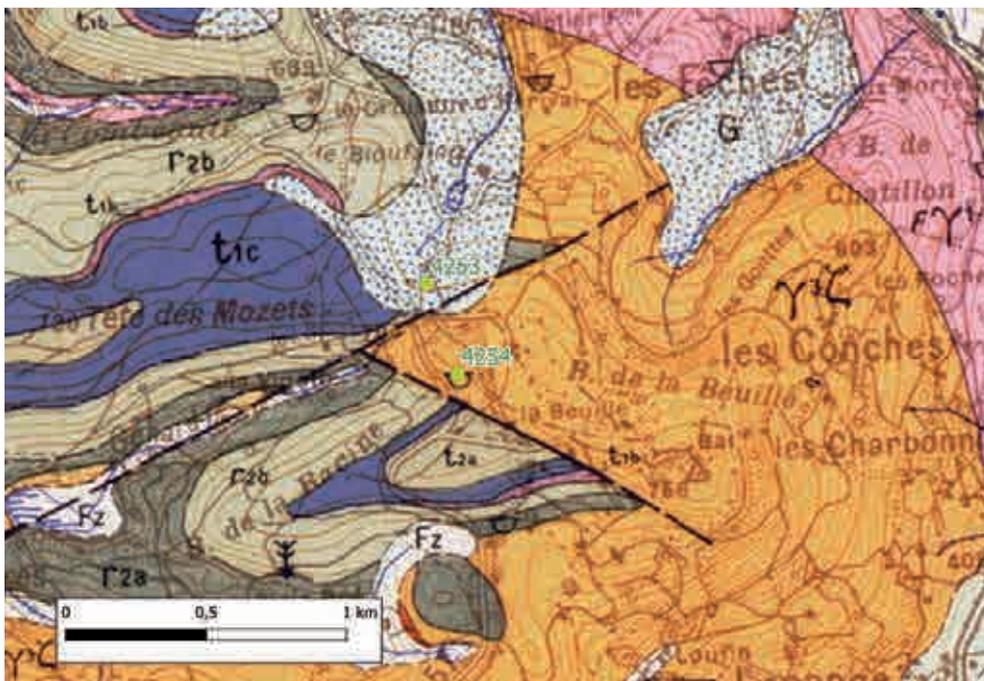


Fig. 24 : Implantation du forage productif 03766X0013 (point 4253) à Saint-Etienne-les-Remiremont (carte géologique à 1/50 000 Remiremont, © BRGM).
 Fig. 24: Location of productive well 03421X0072 (point 4253) at Saint-Etienne-les-Remiremont (geological map at 1:50,000 Remiremont, © BRGM).

néral ou s'il s'était limité à d'anciennes boucles hydrothermales le long d'anciennes failles.

Toutefois, l'examen mené en 2019 autour des forages dans le socle considérés comme productifs montre qu'au moins trois forages recoupant tous l'horizon fissuré d'un profil d'altération sont productifs :

- le forage 03062X0113 à Vieux Moulin (carte géologique Saint-Dié-des-Vosges, fig. 3, affleurement 4251) : 8 m³/h dans le profil infrapermien, dans un granite porphyroïde à biotite ;

- le forage 03421X0072 à Fréland (carte géologique Munster, fig. 23, affleurement 4246) : 20 à 30 m³/h au soufflage dans le profil infratriasique, dans un granite porphyroïde à biotite ;

- le forage 03766X0013 à Saint-Etienne-les-Remiremont (carte géologique Remiremont, fig. 24, affleurement 4253) : 7 m³/h dans le profil infrapermien, dans un granite porphyroïde très riche en grosses biotites, visible sur l'affleurement 4254.

Pourquoi ces trois sites ont-ils échappé au colmatage de l'horizon fissuré ? On peut avancer l'explication suivante qui n'est qu'une hypothèse car basée sur trop peu de cas. Le site de Ringelbach est situé sur une zone parcourue par plusieurs failles parallèles NNE-SSW, appartenant au faisceau de failles bordières du graben rhénan, et peu espacées (300 à 400 m) : ce dispositif structural a pu favoriser la mise en place, lors de l'enfouissement du profil, de boucles hydrothermales responsables du colmatage des fractures à proximité des failles.

Les 3 forages productifs se trouvent en dehors des zones où sont présentes les failles bordières du graben, et auraient dans ce

cas échappé au colmatage. Si cette explication est exacte, le colmatage de l'horizon fissuré lors de l'enfouissement n'aurait pas été généralisé, mais serait localisé le long des zones à forte densité de failles bordières du graben rhénan (la mise en place de boucles hydrothermales nécessite la présence de failles à faible distance les unes des autres).

Géothermie profonde

L'horizon fissuré des anciens profils latéritiques au toit du socle, enfouis sous une forte épaisseur de sédiments, est devenu depuis quelques années une cible pour les forages de géothermie profonde. Ainsi, sur le site de Vendenheim, au nord de Strasbourg, les forages réalisés par l'entreprise Fonroche ont atteint l'horizon fissuré du profil infrapermien vers 4 600 m de profondeur. Les premiers tests indiquent une température supérieure à 200 °C (au lieu de 185 °C espérés) et un débit de 300 m³/h.

Remerciements à Murielle Chabart (BRGM Nancy) et à Michel George (hydrogéologue retraité) qui ont participé aux reconnaissances de terrain et qui ont permis de fructueuses discussions sur la géomorphologie, la géologie et l'hydrogéologie du massif vosgien.

Pour l'interprétation des références aux couleurs dans les légendes des figures ou dans le texte, le lecteur est renvoyé à la version pdf de cet article.

For the interpretation of references to colors in the figure captions or in the text, the reader is referred to the pdf version of this article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHABART M., FRANÇOIS D., WYNS R., BRAIBANT G., FAUCHER J., LAFONT A., LAMBERT B. et THIERY D. (2020) - Caractérisation de la ressource en eau du socle vosgien. Rapport final. *Rapport BRGM/RP-69482-FR*, 301 p., 189 fig., 11 tabl., 6 ann.

DEWANDEL B., LACHASSAGNE P., WYNS R., MARÉCHAL J.C. et KRISHNAMURTHY N.S. (2006) - A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multi-phase weathering. *Journal of Hydrology*, 330, 260-284, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.03.026

LACHASSAGNE P., WYNS R. et DEWANDEL B. (2011) - The fracture permeability of hard rocks aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23, 145-161.

MARÉCHAL J.C., WYNS R., LACHASSAGNE P., SUBRAHMANYAM K. et TOUCHARD F. (2003) - Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socle : concordance avec la structure géologique des profils d'altération. *Comptes rendus Géoscience*, 335, 451-460.

TARDY Y. (1993) - Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. *Masson éd*, Paris, 461p.

WYNS R., BALTASSAT J.M., LACHASSAGNE P., LEGCHENKO A. et VAIRON J. (2004) - Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bull. Soc. Géol. France*, 175, (1), 21-34.

WYNS R., (2012) - Etude géologique du cadre structural et des forages du bassin versant de recherche du Ringelbach (Soultzeren, Haut-Rhin). *Rapport BRGM/RP-56540-FR*, 129 p.

WYNS R., CORNU S. et PROGNON C. (2014) - Régolithe et sol : l'interface entre lithosphère et atmosphère. *Géosciences*, 18, Orléans: Editions BRGM, 8-15.

WYNS R. (2020) - Les altérations supergènes et la géodynamique de la lithosphère. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 57, 2, 60-66.

14-18 : La Terre et le Feu

Géologie et géologues sur le front occidental

BON DE COMMANDE

L'ouvrage, de 480 pages, richement illustré en quadrichromie (cartes, dessins, photographies), paru en décembre 2018, est vendu au prix de 38 € (plus frais d'emballage et de port). Renseignements et commandes par courriel (association.agbp@gmail.com) ou par courrier postal (Association des Géologues du Bassin de Paris, Tour 56-55, E5, Sorbonne Université, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05). Le bon de commande est également téléchargeable sur le site de l'AGBP : <http://www.agbp.fr/blog>

Mme/M.....
Adresse pour envoi postal

Courriel..... Téléphone.....

..... exemplaire(s) à 38 € + 9 € (par exemplaire) pour frais d'emballage et d'expédition soit..... €

..... exemplaire(s) à 38 € du volume à retirer (à Paris, à Lille) sur RV. Cette possibilité n'est offerte que dans les 3 premiers mois après parution (c. à d. jusqu'à mi-avril 2019) soit..... €

Réglement par chèque à l'ordre de AGBP CCP PARIS 07 717 41 E020 PARIS
 par virement fait à IBAN : FR41 2004 1000 0107 7174 E02 092

En cas de retrait sur place, merci de cocher la ville de retrait choisie Paris
 Lille

Le lieu précis de retrait vous sera communiqué lors de la prise de RV [à Paris : SGF ou Campus Jussieu ; à Lille : Université de Lille (Villeneuve d'Ascq)]

Date de la commande

Signature



ASSOCIATION DES GÉOLOGUES DU BASSIN DE PARIS

Rédaction et administration

Tour 56-55, E5 - 4 place Jussieu

CCP PARIS 07717 41E 020 PARIS

F-75252 PARIS Cedex 05

SIRET : 328 440 664 00014

IBAN : FR41 2004 1000 0107 7174 1E02 092

association.agbp@gmail.com

www.agbp.fr

Association reconnue d'utilité publique le 21 juillet 1988

BULLETIN D'ADHÉSION

NOM (en capitales) :

Prénom :

Date de naissance :

Titres :

Fonction :

Courriel/Téléphone :

Adresse personnelle :

Adresse professionnelle :

Le bulletin devra être envoyé

à l'adresse personnelle

à l'adresse professionnelle

Demande à être reçu membre de l'Association des Géologues du Bassin de Paris

MM et sont chargés de me présenter

Date

Signature des parrains

Signature de l'adhérent

Cotisation et abonnement (2018)

Membres ordinaires

Cotisation seule : 20 €

Cotisation + abonnement au bulletin électronique : 50 €

Cotisation + abonnement au bulletin « papier » : 62 €

Personnes morales (organismes, bibliothèques, laboratoires ...)

Cotisation seule : 40 €

Cotisation + abonnement au bulletin électronique : 100 €

Cotisation + abonnement au bulletin « papier » : 124 €

SOMMAIRE

Didier PONCET et Emmanuel MENS. – Le Pé de Jojo à Loudun dans la Vienne (Sud-Ouest du Bassin parisien) : Étude géologique et géomorphologique. Principaux résultats et perspectives	2
Robert WYNS. – Les paléoprofils d'altération dans les Vosges et leurs applications.....	13

Prix du fascicule : 18 €
CPPAP 05 22 G 85462
Dépôt légal : 4^e trimestre 2020

Directeur de la publication : M. J. ROULET
Achevé d'imprimer sur les presses
de l'imprimerie LAUNAY