

Remplissages Karstiques au Tunnel de la Clusette

(Jura neuchâtelois, Suisse)

par

Jean MEIA* et Michel POCHON**

SUMMARY

Karstic Fill in the Clusette Tunnel (Jura of Neuchatel Switzerland)

The piercing of a road tunnel in the flank of a limestone (Malm) anticline in the Neuchâtel Jura uncovered karstic forms transformed for the most part, by decarbonated soils.

Mineralogical analysis of these latter, through the use of X-ray diffraction, reveals a great analogy with the surface soils. At more than 200 meters depth, the same alloctone mineralogical suite of aeolian origin which constitutes the largest part of the soils of the High Jura Mountains in Switzerland, is found: An abundance of ferriferous chlorite, and of quartz, plagioclase and potassic feldspar.

The various factors favoring this deep infiltration are discussed.

1. INTRODUCTION

Le tunnel de la Clusette fait partie du nouvel aménagement routier mis en chantier en 1972, dans le but d'améliorer les communications entre Neuchâtel et le Val-de-Travers (route internationale Neuchâtel - Pontarlier).

Du point de vue géographique, la galerie évite de contourner l'éperon de la Clusette (546 250 / 200 750)***, paroi rocheuse fortement sollicitée par l'érosion et instable par endroits.

Au cours des travaux d'excavation, des phénomènes karstiques se sont présentés sous différents aspects; des formes observées ont déjà été décrites (Meia, 1974). Rappelons qu'il s'agit essentiellement de formes de creusement, diaclases élargies et anciennes cavités; ces dernières sont actuellement remplies de matériel granulométriquement très hétérogène (pâte d'argile et de carbonate dans les interstices d'un squelette calcaire).

Nous présentons ici l'analyse de matériel fin de remplissage, prélevé à 3 emplacements différents.

1.2. Rappel des données géologiques

Le tunnel traverse des roches d'âge Jurassique supérieur (Malm) appartenant à la

* Service des Ponts et Chaussées, Neuchâtel

** Labo de minéralogie & pétrographie, 11 Rue Emile Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.

*** Carte nationale de la Suisse au 1:25.000; feuille 1163 TRAVERS.

série stratigraphique classique du Jura neuchâtelois méridional, dont les caractères lithologiques sont connus (Meia 1965, 1971, 1972). Il s'agit des horizons suivants:

- | | |
|--------------------------|--|
| - Kimméridgien moyen | = calcaires compacts |
| - Kimméridgien inférieur | = calcaires compacts |
| - Séquanien supérieur | = calcaires oolithiques |
| - Séquanien inférieur | = calcaires, marno-calcaires;
quelques marnes |
| - Argovien supérieur | = marnes et marno-calcaires. |

Du point de vue tectoniques, les couches traversées par le tunnel appartiennent au flanc N de l'anticlinal Solmont - La Tourne, deuxième pli du Jura (fig. 1). En profil en long (fig. 2) le tracé s'enfonce dans la série stratigraphique d'W en E, en recoupant successivement les bancs massifs du Kimméridgien, puis les niveaux régulièrement stratifiés du Séquanien et les couches feuilletées, marno-calcaires, faisant la transition Séquanien inférieur - Argovien.

2. MATERIEL ET METHODES ANALYTIQUES

2.1. Nature et situation des échantillons prélevés

Station I

Etage: Calcaires durs et compacts du Séquanien supérieur,
sous l'oolithe de Sainte-Vérene (Ech. R 4789)

Situation tectonique:

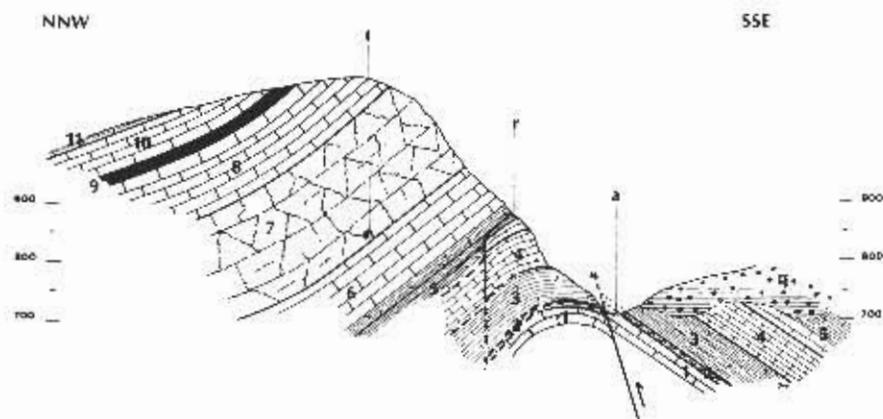


Fig. 1. Coupe transversale de l'anticlinal Solmont - La Tourne, à 500 m du portail W. 1 = Bajocien supérieur, 2 = Bathonien inférieur, 3 = Bathonien supérieur, 4 = Callovien, 5 = Argovien, 6 = Séquanien, 7 = Kimméridgien, 8 = Portlandien, 9 = Purbeckien, 10 = Valanginien inférieur, 11 = Valanginien supérieur, q = remplissage quaternaire, t = tracé de tunnel, r = route cantonale actuelle, a = Areuse.

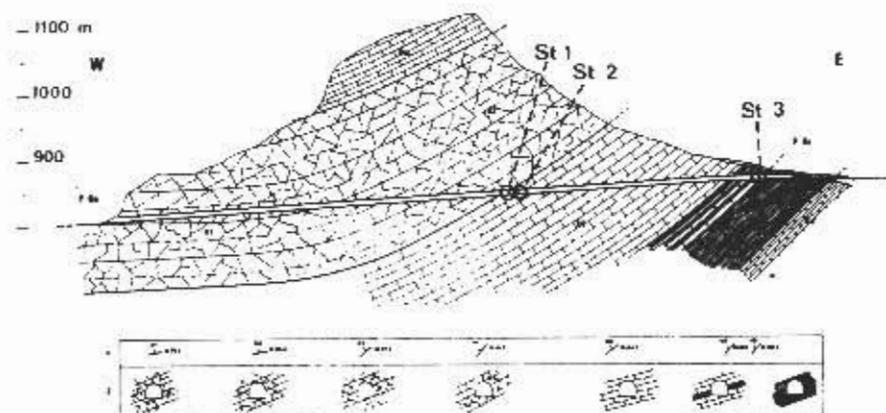


Fig. 2. Situation des stations de prélèvements sur le profil en long.

- P No = Portail Noiraigue (W)
 P Br = Portail Brot-Dessous (E)
 Po = Portlandien
 Ki = Kimméridgien
 Sq = Séquanien
 Ar = Argovien
 Ca = Callovien

1. Direction et pendage des couches
2. Situation des couches en coupe transversale

Couches orientées: N 75° E / pendage 36° au NW

Position en galerie: 573 m du portail W.

Recouvrement vertical: 250 m de calcaires

Karstification (zone 8, Meia 1974): se développe sur les systèmes de diaclases N 125° E vertical et N 160° E subvertical.

Nature: Remplissage d'une diaclase élargie, par deux types de matériel (fig. 3).

- a. *partie supérieure*: Matériel argileux de couleur ocre (10 YR 4/4); faible réaction à l'acide chlorhydrique; seuls subsistent les macro-cristaux de calcite libérés par la dissolution préférentielle du ciment micritique des roches environnantes (éch. 4787).
- b. *partie inférieure*: Matériel de couleur beige clair (2,5 Y 7/6) en minces lits constitués par une "bouillie" de micro-particules calcaires (forte effervescence à HC1) alternant avec les argiles ocres ci-dessus (éch. 4788).

Station 2

Étage: Séquanien supérieur (éch. R 4791)

Situation tectonique:

Couches orientées: 75° E / pendage 36° au NW

Position en galerie: 585 m, du portail W.

Recouvrement vertical: 240 m de calcaires.

Karstification (zone 8, Meia, 1974): se développe sur les mêmes systèmes de diaclases qu'en station 1.

Nature: Remplissage d'une diaclase élargie, par des argiles ocre (10 YR 4/4), en grande partie décarbonatées (éch. 4791)

Station 3

Etage: Séquanien inférieur immédiatement au-dessus de la limite Séquanien - Argovien (éch. R 4794)

Situation tectonique:

Couches orientées: N 60° E / pendage 45° au NW

Position en galerie: 986 m du portail W.

Recouvrement vertical: 16 m de calcaires, marno-calcaires avec intercalations marnuses.

Nature (zone 11, Meia, 1974): Remplissage d'une poche subverticale par du matériel sablo-caillouteux, non décarbonaté (partie supérieure: éch. 4792; partie inférieure: éch. 4793)

2.2. Les méthodes analytiques

Il s'agit des méthodes de routine, utilisées à l'Institut de Géologie de Neuchâtel, pour la détermination:

- des minéraux majeurs et argileux,
- des teneurs en carbonates,
- du % pondéral du Résidu de décarbonation (R.I.),
- du pH et de la couleur des échantillons meubles,
- des teneurs en Carbone organique total.

On trouvera chez Persoz (1969), Miserez (1973) et Pochon (1974) le détail des modes opératoires des déterminations ci-dessus.

3. LES RESULTATS

3.1. *Les minéraux argileux et accessoires des fraction < 16 et < 2 μ*
Les résultats des dosages semi-quantitatifs font l'objet de la fig. 4.

3.1.1. **Station No. 1.** Remplissage d'un karst ouvert (éch. 4787 à R 4790).

La composition minéralogique des fractions < 16 μ et < 2 μ du matériel argileux de remplissage karstique (éch. 4787 et 4788) diffère très sensiblement de celle du R.I. des calcaires du Séquanien supérieur et Kimméridgien inférieur encasants (R. 4790) par les caractères suivants:

- une abondance des chlorites ferrifères, du quartz et des feldspaths K,
- la présence de plagioclases (feldspaths Na-Ca)
- un déficit en kaolinite.

Tous les paramètres minéralogiques de l'échantillon 4788 (partie inférieure du remplissage, située au voisinage même des roches encaissantes) présentent des valeurs intermédiaires à celle du matériel environnant et témoigne de ce fait d'un mélange des argiles de remplissage avec celles issues du R.I. des roches encaissantes.

Dans la fraction fine ($< 2 \mu$) on retrouve les mêmes tendances atténuées toutefois au profit d'un accroissement de la kaolinite.

3.1.2. Station No. 2: Remplissage d'un karst ouvert (éch. 4791 et R 4791)

Matériel de remplissage et R.I. des calcaires encaissants présentent les mêmes caractéristiques de leurs homologues de la station précédente.

En conséquence, les stations Nb. 1 et 2 révèlent toutes deux, par ces identités minéralogiques, leur appartenance à un même phénomène géopédologique.

3.1.3. Station No. 3: Remplissage de poche)

Passées argileuses perturbées au sein d'une série marno-calcaire (éch. 4792 à R 4794).

Ici les intercalations argileuses perturbées (éch. 4792 et 4793) présentent une parenté indéniable avec les marno-calcaires encaissants (R 4794): cortège argileux et minéraux accessoires très uniformes du point de vue qualificatif et quantitatif. De plus, soulignons l'absence de plagioclases, laquelle est habituelle aux formations du Malm (Persoz in Kiraly, 1973).

La ressemblance des échantillons s'améliore encore en fraction $< 2 \mu$.

3.2. Teneurs en carbonates

Elles sont données au tableau 1.

Tableau 1. Quelques données analytiques de la phase soluble (à HCl) du remplissage karstique de la station 1 (éch. 4787 et 4788, de la fig. 3)

Ech.	R.I.	Mat.org.*	CaCO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
4787	79,24	0,52*	11,52	0,71	2,99	0,36	3,72	1,98	0,16
4788	43,00	0,69*	52,13	0,58	1,21	0,19	2,31	0,80	0,07

* Ces valeurs, nettement inférieures à la moyenne observée dans les sols lithocalciques humifères de la surface (Mat. org. ≥ 30 %) témoignent en faveur d'un remplissage karstique non actuel.

On constate que:

1. *les parties supérieures des remplissages karstiques sont presque totalement décarbonatées (max. 12%)*
2. *les parties inférieures des remplissages karstiques sont beaucoup plus riches en CaCO_3 (52 %).*

Les résultats des analyses chimiques et minéralogiques confirment donc le mélange des argiles de remplissages avec la "bouillie" d'éléments calcitiques issus de la désagrégation des roches encaissantes et constituant les lits blanchâtres de la fig. 3.



Fig. 3. Photographie d'un fragment de matériel de remplissage karstique argilo-carbonaté prélevé verticalement dans une diaclase de la station 1 (250 m sous la surface).

Zone claire = partie inférieure riche en CaCO_3 ($> 40\%$)

Zone foncée = partie supérieure riche en argile ($[\text{CaCO}_3] = 12\%$)

(Les turbulences, l'existence de petits lits successifs et alternés d'argile et de CaCO_3 témoignent d'un régime de dépôt fort varié).

3.3. DISCUSSIONS DES RESULTATS

3.3.1. Lithologie et karst.

a. En station 3, la série stratigraphique est constituée par une alternance de minces passées marno-calcaires et marneuses. Or, dans les marnes et marno-calcaires stratifiés en bancs minces, le développement des cavités karstiques est très fortement, voire totalement limité par un *auto-colmatage* résultant de la grande altérabilité du matériau (instabilités lithologiques) d'une part, de l'abondance (30 - 60 %) de son R.I., (colmatage accéléré des canaux existants) d'autre part (Aubert, 1969).

Burger (1959) observe que la perméabilité des étroites fissures est encore réduite par le gonflement de leurs parois. On comprend mieux, dès lors, la quasi impossibilité des migrations d'argiles et l'existence de l'autochtonie du matériel de remplissage de la poche de la station 3, malgré la proximité de la surface (16 m).

b. Si l'origine autochtone des argiles de la 3e station est évidente, il n'en est pas de même dans les stations 1 et 2, où la roche encaissante est constituée par un ensemble de strates de calcaire compact, affectées de nombreuses cassures subverticales.

Dans ces bancs massifs, les cavités et réseaux peuvent se développer à partir des diaclases car les occlusions complètes par éboulement y sont beaucoup plus rares; le colmatage par les argiles demeure discret en raison des faibles pourcentages du R.I. (< 10% Aubert, 1969). La possibilité de migration, d'entraînement par gravité de matériaux fins, y est donc d'autant plus aisée que le réseau karstique est subvertical.

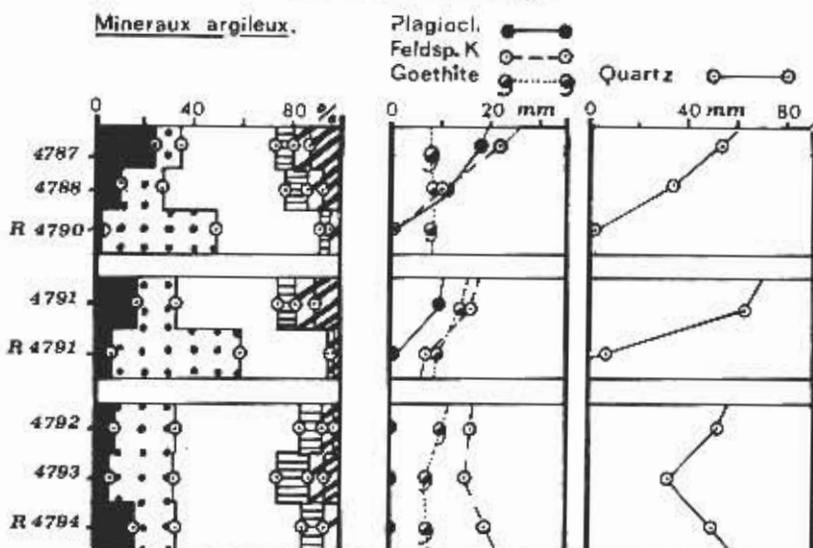
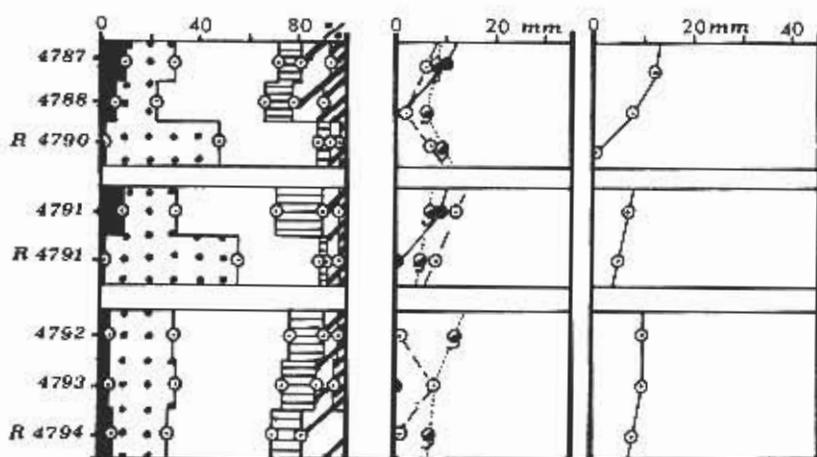
3.3.2. Allochtonie des argiles de colmatage.

En Stations 1 et 2, la composition des argiles de remplissage s'écarte nettement de celle du résidu de décarbonatation des roches encaissantes. Les travaux de Persez (in Kiraly, 1973) permettent d'écarter l'hypothèse de l'origine de ce matériau de colmatage à partir du R.I. des formations calcaires susjacentes. En effet, aucun niveau stratigraphique du Malm ne contient les plagioclases, ni des pourcentages aussi élevés de chlorite ferrifère et de quartz.

L'hypothèse d'un entraînement sélectif, d'un triage densitométrique ou sédimentationnel des matériaux argileux intervenant dans la veine liquide, n'est pas vraisemblable non plus: la compétence du flux variant en chaque point corrélativement au diamètre des sections du réseau.

Par ailleurs on ne peut davantage imaginer que les strates du Séquanien inférieur (R 4794) particulièrement riches en chlorite, aient pu fonctionner comme roche-mère des argiles de remplissage; non seulement les dispositions spatiales mais encore la nature cristallographique des chlorites s'y opposent. On constate en effet une très faible résistance à la chaleur de la chlorite du Séquanien inférieur, comparée à celle contenue dans les remplissages karstiques (fig. 5)

Enfin, si l'on envisage l'intervention des processus habituels d'altération aux milieux géochimiquement agressifs, la nature du R.I. des formations encaissantes ne peut conduire en aucune façon, à la composition qualitative des argiles et minéraux accessoires du matériel accumulé dans les réseaux (Jackson, 1963; Gjems, 1967; Rich, 1968). L'allochtonie, au sens large, peut donc être admise.

Fraction $< 16 \mu$.**Fraction $< 2 \mu$.**

■ Chlorite □ Illite ▨ Interstr. 11,5 Å

▤ Kaolinite ▩ Interstrat. 14-17 Å ▧ Smectites

3.3.3. Origine de l'apport allochtone

A la suite des travaux de l'un de nous (Pochon, 1973, 1974) il apparaît que la composition minéralogique des argiles de remplissage est strictement identique à celle de la plupart des sols superficiels du Haut-Jura; nous l'avons retrouvée jusque sur les plus hauts sommets jurassiens du Reculet, Crêt de la Neige au Canton du Jura (Beguïn-Pochon, 1971).

La position occupée par ce type d'association minéralogique (abondance du Quartz, des feldspaths K, de la chlorite et des plagioclases, déficit de la kaolinite) sur le faite jurassien, la morphologie éolisée des grains de quartz et les caractéristiques granulométriques démontrent un apport allochtone par le vent à partir des moraines rhodaniennes et sariniennes du Plateau suisse.

L'entraînement en profondeur de matériel superficiel est probablement beaucoup plus fréquent qu'on ne le conçoit habituellement. Il permettrait en premier lieu d'expliquer la haute fréquence des colmatages du Karst par des produits aluminosilicatés observés par les hydrogéologues.

Par ailleurs, les études en cours de G.-P. Simeoni et M. Pochon, relatives aux matériaux de colmatage dans le substratum karstifié de la vallée de la Brévine (forage Brévine et galerie Chaux-du-Milieu à travers le Malm) révèlent une allochtonie certaine des argiles et des minéraux accessoires.

3.3.4. Phénomène de migration gravifique

Le fait de retrouver à plus de 200 m de profondeur le matériel de surface (éolien allochtone) n'a rien d'exceptionnel, dans le cas de la Clusette, car plusieurs facteurs ont pu favoriser sa migration gravifique.

1. Facteur tectonique

La Clusette se trouve au voisinage charnière anticlinale les diaclases de tension y sont nombreuses et tendent, dans ce cas, à être largement ouvertes (Aubert, 1969).

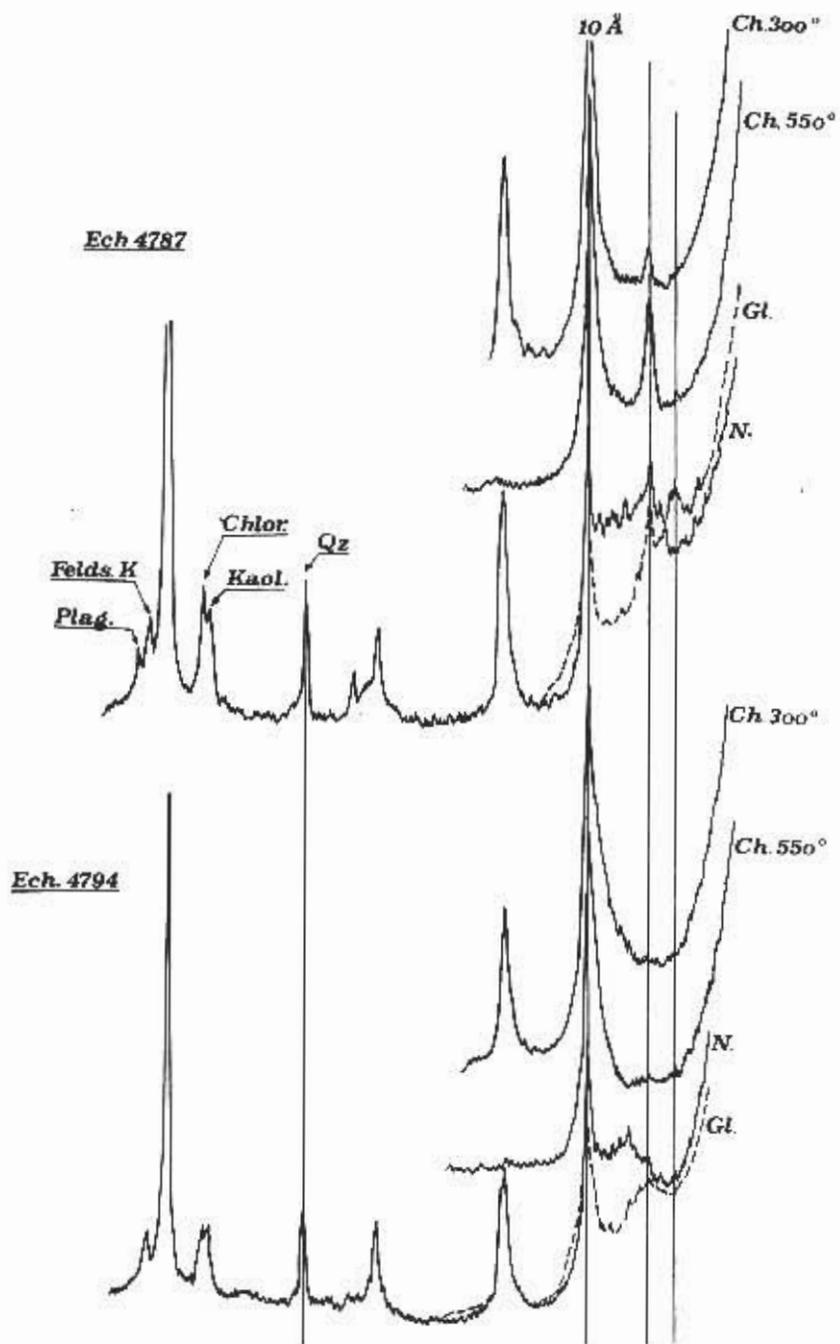
2. Facteur pétrographique

Les stations 1 et 2 sont localisées sous une série de calcaires compacts. Dans ce cas, le réseau karstique s'exprime d'autant plus franchement que les strates sont plus épaisses et constitués de calcaire plus franc. Le faible R.I. laisse de plus les conduits libres de tout encombrement jusqu'à grande profondeur.

3. Facteur glaciaire

L'action abrasive des glaciers n'est plus à démontrer. Or, la Clusette y a subi celle de la glaciation du Riss, comme l'attestent des résidus de moraine, riches en quartzite, qui recouvrent le flanc N de l'anticlinal du Solmont (observations de Meia). De plus,

Fig. 4. Distribution des minéraux argileux et accessoires de remplissages karstiques et des R.I. des roches calcaires encaissantes. Résultats exprimés en % relatif des minéraux argileux présents dans les fractions $< 16 \mu$ et $< 2 \mu$. Minéraux accessoires (Quartz, Feldspaths K et Plagioclases) exprimés en fonction de la hauteur des pics en mm.



la crête rocheuse dépassait de peu le niveau maximal atteint par les glaciers würmiens; l'ablation par les névés a probablement joué aussi un rôle non négligeable dans l'élimination des sols de couverture et des roches superficielles, dégageant ainsi les ouvertures des conduits karstiques.

4. Facteur topographique

La topographie très accidentée de la région est défavorable au développement des sols de couverture, de sorte qu'il est peu probable que ces derniers aient pu jouer le rôle de "bouchon-filtre" habituel aux horizons B2t. Ces derniers n'ont assurément jamais existé dans ces escarpements.

Enfin, la proximité de la falaise (versant SSE de la fig. 1) peut contribuer à l'accélération de la percolation intradiaclasique, par les résurgences et suintements latéraux dans le versant.

5. CONCLUSIONS

La résultante de l'action de ces quatre facteurs consiste à maintenir ouvert, en surface, un réseau karstique développé dans lequel le matériel éolien a pu être immédiatement piégé lors de son dépôt à la fin de l'activité glaciaire würmienne.

Le percement du tunnel de la Clusette a en effet permis d'observer la présence de ce matériel éolien allochtone à plus de 200 m sous la surface, dans des secteurs karstifiés au sein d'une série de calcaires compacts, réseaux karstiques qu'il colmate en grande partie.

Par ailleurs, les illites de ce matériel allochtone de remplissage, présentent une grande fraîcheur cristallographique. Or, la fragilité de ce type d'argiles, dans les formations pédologiques superficielles est bien connu (Mortland, et al. 1956) et cette règle est partout observée dans les sols non évolués du Jura (Pochon, 1974, 1975).

En raison de cet excellent état de conservation des illites, l'hypothèse d'une infiltration récente de l'éolien en profondeur (après un stockage plus ou moins long en surface dans la pédosphère) paraît exclue.

Tout semble donc indiquer qu'on soit ici en présence d'un *Karst ancien*, déjà bien développé au moment de l'apport éolien, c'est-à-dire à la fin de l'époque würmienne.

REMERCIEMENTS

Les analyses de laboratoire ont été réalisées dans le cadre de la requête No. 2-1660-74 du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique.

Nous exprimons ici notre vive gratitude à cette institution

Fig. 5. Diffractogramme X de la fraction $< 16 \mu$ d'une argile de remplissage karstique (éch. 4787) et du Séquanien inférieur riche en chlorite (éch. 4794). Aux tests de chauffage $\cdot 300^{\circ}$ C et 550° C durant 1 heure - les comportements des chlorites du substratum et du matériel de remplissage divergent nettement.

RESUME

Le percement d'un tunnel routier dans le flanc d'un anticlinal calcaire (Malm) du Jura neuchâtelois, a découvert des formes karstiques, colmatées pour la plupart, par des argiles décarbonatées.

L'analyse minéralogique (Diffraction X) de ces dernières révèle une grande analogie avec les sols de surface. On retrouve en effet, à plus de 200 m de profondeur, le même cortège minéralogique allochtone, d'origine éolienne, qui constitue la plus grande partie des sols du Haut Jura suisse. Il s'agit d'une abondance de chlorite ferrique et de quartz, de plagioclases, de feldspaths potassiques.

Les divers facteurs ayant favorisé l'infiltration en profondeur sont discutés.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, D. (1969). Phénomènes et formes du Karst jurassien. *Eclogae geol. Helv.* 62 (2) pp 325-399.
- BEGUIN C., POCHON, M. (1971). Contribution à l'étude pétrographique et géochimique des sols des Nardaies jurassiennes *Nardetum jurassicum*. *Bull. Soc. neuch. Sc. nat.*, 94 67-76.
- BURGER, A. (1959) Hydrogéologie du bassin de l'Arcuse. *Bull. Soc. neuch. Géogr.*, 52 (1) 304 pp.
- GJEMS, O. (1967). Studies on clay minerals and clay mineral formation in Soil profiles in Scandinavia. *Medd. Norsk. Skogforsøksvesen.*, 81. Bd 21(4), 303-415.
- JACKSON, M.L. (1963) Interlayering of expansive layer silicates in Soils by chemical weathering. *Clays and Clay Minerals*, 11 pp. 29-46. Pergamon Press, New York.
- KIRALY, L. (1973) Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. *Suppl. Bull. Soc. neuch. Sc. nat.*, 96, 1-16, 6 fig., 1 tab., 1 carte.
- MEIA, J. (1965) Géologie de la Montagne de Boudry. *Bull. Soc. neuch. géogr.* 53/2.
- (1971) Crevasse et fissures dans l'escarpement de la Clusette. *Actes 4e Congrès spéléologie*, Neuchâtel 1970.
- (1972) Les études géologiques pour le tunnel de la Clusette. *Strasse u. Verkehr N4*, avril 1972.
- (1974) Phénomènes karstiques observés au cours du percement du tunnel de la Clusette. *Actes 5e Congrès spéléologique*, Interlaken 1974. (sous presse)
- MILLOT, G. (1964) Géologie des Argiles. 499 p., 75 fig. Ed. Masson et Cie, Paris.
- MISEREZ, J.-J. (1973) Géochimie des eaux du Karst jurassien. Thèse Fac. Sci. Université Neuchâtel, 313 p., 60 fig.
- MORTLAND, M.M., LAWTON, K., and VEHARA, G. (1956). Alteration of biotite to vermiculite by plant growth. *Soil Sc.*, 82, 477-481.
- PERSOZ, F. (1969) Fidélité de l'analyse quantitative des poudres de roches par diffraction X. *Bull. Centre Rech. Pau, SNPA*, 3 329-335.
- POCHON, M. (1973) Apport allochtone dans les sols jurassiens (Jura vaudois et neuchâtelois). *Bull. Soc. neuch. Sc. nat.*, 96, 135-147.
- (1974) Origine et évolution des sols du Haut Jura suisse. Phénomènes d'altération des roches calcaires sous climat tempéré humide. Thèse Fac. Sc. Université Neuchâtel. 325 p., 136 fig. (à paraître)
- (1975): Evolution de la phase aluminosilicatée des sols en climat tempéré humide du Haut Jura suisse (Domaine calcaire). *Bull. Gr. Franc. Argiles*, t. 27, p. 69-85.
- RICH, C.J. (1968): Hydroxy-interlayers in expansive layer silicates. *Clays and Clay Minerals*, 16: 15-30, Pergamon Press.