Région Alsace

DOCUMENT PUBLIC

Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan 2000-2002

Cartographie thématique numérique à 1/25 000 des formations superficielles de la Plaine rhénane sur les zones Centre-Plaine et Sud-Alsace

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 02-EAU-201

Décembre 2002
BRGM/RP-52145-FR

BRGM

Mots clés :

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Quesnel F., Lacquement F., Kramers E., Greder C., Elsass P. (2002) – Cartographie thématique numérique à 1/25 000 des formations superficielles de la Plaine rhénane sur les zones Centre-Plaine et Sud-Alsace. Rapport BRGM RP-52145-FR, 47 p., 8 fig., 2 ann.

© BRGM, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan, cofinancée par le BRGM et la Région Alsace, un projet de cartographie thématique des formations superficielles à 1/25 000 de la Plaine rhénane a été lancé le 1er septembre 2000 pour une durée de deux ans.

Le programme prévoit un découpage de la Plaine en quatre zones. La cartographie des zones "Centre-Plaine" et "Sud-Alsace" vient de s'achever. Elle a permis d'établir pour chaque zone trois couches numériques :

- ***couche 0*** : Remblais (dépôts anthropiques),
- ***couche 1*** : Couverture de l'aquifère rhénan (formations peu perméables potentiellement protectrices vis à vis d'éventuelles pollutions superficielles),
- ***couche 2*** : Substrat représentant la zone non saturée de l'aquifère alluvial (alluvions rhénanes majoritaires, alluvions de l'Ill et des rivières vosgiennes).

Les données ponctuelles (sondages géologiques, profils pédologiques, observations de terrain) ont également été numérisées et codées.

Le croisement de ces données avec les contours numérisés dans le SIG a ainsi permis de renseigner les différents champs des polygones, sur l'épaisseur, la granulométrie, la présence d'encroûtements calcaires, d'horizons d'accumulation ou encore de phénomènes d'hydromorphie.

Cette cartographie numérique multicouche permet de visualiser les zones de l'aquifère rhénan potentiellement vulnérables aux pollutions. Les couches de couverture et de protection de la nappe déterminent aussi en grande partie la nature des sols et leur qualité agronomique, et contrôlent la répartition des habitats naturels, faunistiques et floristiques, voire de certaines espèces animales protégées. Les cartes deviennent donc un outil de gestion de l'espace naturel, utilisable par tous les acteurs locaux. Elles peuvent aussi fournir les données nécessaires pour d'éventuelles modélisations hydrogéologiques, notamment dans le cas d'une pollution accidentelle.

Sommaire

Synthèse *3*

Sommaire *5*

Liste des annexes *6*

Liste des illustrations *6*

1. Introduction : objectifs et méthodologie *9*

2. Présentation géologique de la plaine rhénane et de ses formations superficielles 13

2.1. Les alluvions **13**
2.1.1. Définition générale 13
2.1.2. Les alluvions ello-rhénanes 16
2.1.3. Les alluvions vosgiennes 24

2.2. Les loess **28**
2.2.1. Définition générale 28
2.2.2. Répartition et organisation des dépôts 29
2.2.3. Granulométrie, minéralogie, perméabilité et régime hydrologique 30

3. Acquisition des données *33*

3.1. La zone Centre-Plaine (Colmar – Neuf Brisach) **33**
3.1.1. Données externes 33
3.1.2. Données de sondages BSS 33
3.1.3. Données de terrain acquises pour le projet BRAR 33

3.2. La zone Sud-Alsace (Mulhouse - Thann - Altkirch) **34**
3.2.1. Données externes 34
3.2.2. Acquisition de données de terrain 38

4. Notice des cartes *43*

5. Synthèse et cartographie numérique des formations superficielles en trois couches *47*

6. Structure des tables de données - Implémentation du SIG *49*

7. Conclusion *51*

8. Bibliographie *53*

Liste des annexes

Annexe 1 – Carte des formations superficielles - Feuille Centre-Plaine

Annexe 2 – Carte des formations superficielles - Feuille Sud-Alsace

Liste des illustrations

FIGURES

Figure 1 : Localisation des zones d'étude au sein de la Plaine rhénane 11
Figure 2 : Carte synthétique des formations superficielles d'Alsace 14
Figure 3 : Isohypses de la base des alluvions de la Plaine rhénane reportées sur le modèle numérique d'altitude ombré. 15
Figure 4 : Coupes sériées schématiques des alluvions rhénanes entre Bâle et Colmar.. 18
Figure 5 : Granulométrie de quelques types de matériaux constituant les alluvions rhénanes (Bischwiller, Bas-Rhin) 23
Figure 6 : Faisceau granulométrique des lœss d'Achenheim, ... 31
Figure 7 : Localisation de la photographie aérienne du secteur de Bantzenheim dans la zone Sud-Alsace 35
Figure 8 : Photographie aérienne du secteur de Bantzenheim 37

TABLEAUX

Tableau 1 : Granulométrie des lœss de Hangenbieten, par la méthode de la pipette d'Andreasen (d'après Schhaf-Raeth, 1979) 31
Tableau 2 : Granulométrie des lœss d'Achenheim au sédigraph 31

PHOTOS

Photo 1 : Alluvions rhénanes, gravelo-sableuses, vue générale exposant des faisceaux de stratifications obliques, et l'altération brune au sommet 16
Photo 2 : Alluvions rhénanes, gravelo-sableuses, vue générale 16
Photo 3 : Alluvions rhénanes, vue de détails exposant des faisceaux de stratifications obliques constitués de galets et de sables 16
Photo 4 : Alluvions rhénanes, détail des lits graveleux et sableux 17
Photo 5 : Sommet des alluvions rhénanes altérée 19
Photo 6 : Détail des faciès d'altération du sommet des alluvions rhénanes sur un bloc tombé du sommet de la coupe, carrière de Baldersheim. Haut Rhin 20
Photo 7 : Limons d'inondation du Rhin en brun au-dessus des graviers rhénans qui émergent des limons à la faveur d'un chenal (traînée plus claire au milieu du champ) 21

Photo 8 : Ried brun-noir montrant une zone claire sableuse au fond d'un ancien chenal à l'Ouest de Gambsheim 22
Photo 9 : Alluvions anciennes de la Bruche, sableuses, à interstratifications riches en graviers 24
Photo 10 : Alluvions anciennes de la Thur, faciès grossier, torrentiel, de type fluvio-glaciaire à périglaciaire 25
Photo 11 : Alluvions vosgiennes : Chenal de graviers en teinte claire émergeant des limons d'inondation en teinte brun rose 26
Photo 12 : Gros blocs de granite retirés des alluvions de la Weiss lors de travaux d'excavation à Kaysersberg 27
Photo 13 : Gros blocs de granite retirés des alluvions de la Weiss lors de travaux d'excavation à Kaysersberg 27
Photo 14 : Affleurement habituel de lœss : petite falaise résiduelle de 1 à 2m de hauteur, en bordure d'un chemin creux (Mittelhausbergen, Bas-Rhin) 29
Photo 15 : Lœss altéré ocre à brun rouge entre deux couches de lœss typique. Les taches claires en relief sont des concrétions calcaires, ou poupées de lœss. 29
Photo 16 : Colluvions lœssiques sur alluvions rhénanes (Rixheim, Haut Rhin) 30
Photo 17 : Colluvions lœssiques sur alluvions rhénanes (vue de détail) 30
Photo 18 : Alluvions conglomératiques de l'Ill reposant sur des sables et graviers rhénans 40
Photo 19 : Alluvions conglomératiques de l'Ill de 70 cm de puissance reposant sur des sables et graviers rhénans (carrière de Baldersheim, Haut Rhin) 40
Photo 20 : Zoom sur les alluvions conglomératiques de l'Ill 41
Photo 21 : Photographie d'un chenal dans la basse plaine rhénane 42

1. Introduction : objectifs et méthodologie

La cartographie thématique des formations superficielles de la Plaine rhénane a été entreprise dans le cadre de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR) cofinancée par le BRGM et la Région Alsace. Le projet a été lancé le 1er septembre 2000 pour une durée de 2 ans avec un volet d'actualisation des données ponctuelles de la BRAR[1] et un volet de cartographie des formations superficielles.

Cette cartographie vise à identifier et repérer dans l'espace le potentiel de protection des formations superficielles vis à vis de l'aquifère des alluvions rhénanes qu'elles recouvrent de façon discontinue. Il a donc été convenu :

1°) De synthétiser toutes les données de sondages et d'études pédologiques disponibles ;

2°) D'acquérir de nouvelles observations de terrain ;

3°) De réaliser à partir de toutes ces sources une base de données numériques en les homogénéisant par un codage essentiellement fondé sur la lithologie (modèle de données dérivé des codes lithostratigraphiques des cartes géologiques allemandes) ;

4°) De synthétiser les données en réalisant une cartographie des contours à 1/25 000 des différentes formations superficielles de la Plaine rhénane. Cette cartographie doit être organisée et numérisée selon un modèle de données en trois couches :
couche 0 : Remblais (dépôts anthropiques),
couche 1 : Couverture de l'aquifère rhénan (formations peu perméables potentiellement protectrices vis à vis d'éventuelles pollutions superficielles),
couche 2 : Substrat représentant la zone non saturée de l'aquifère alluvial (alluvions rhénanes majoritaires, alluvions de l'Ill et des rivières vosgiennes).

5°) De croiser dans le SIG ainsi constitué les données ponctuelles (sondages géologiques, sondages et profils pédologiques, observations de terrain) et les contours numérisés, et de réaliser diverses analyses spatiales au sein du SIG afin de renseigner les polygones des couches 0 et 1 sur les attributs épaisseur, granulométrie, teneurs en carbonate et hydromorphie.

La cartographie a été réalisée en deux phases concernant :

- La zone "**Centre-Plaine**", à savoir la zone couverte par les coupures 1/50 000 des feuilles Colmar et Neuf-Brisach, soit une surface d'environ 1000 km^2. La phase terrain a été réalisée pendant l'automne 2000, la numérisation des données au cours du printemps 2001, la synthèse des données et la cartographie, les analyses spatiales et l'implémentation du SIG pendant l'été 2002.
- La zone "**Sud-Alsace**", qui correspond à la Plaine alluviale sur les coupures 1/50 000 de Mulhouse, Altkirch et Thann, soit une surface d'environ 900 km^2. Les levés de terrain ont eu lieu au printemps et à l'automne 2002. Leur synthèse et leur numérisation ont été réalisées en fin d'année 2002.

[1] cf. rapport BRGM RP-51950-FR

Un travail méthologique de mise au point du modèle de données multi-couches a été effectué en 2002 sur la feuille Strasbourg-Kehl, cartographiée en 1999 en collaboration avec le service géologique du Bade-Wurtemberg[1].

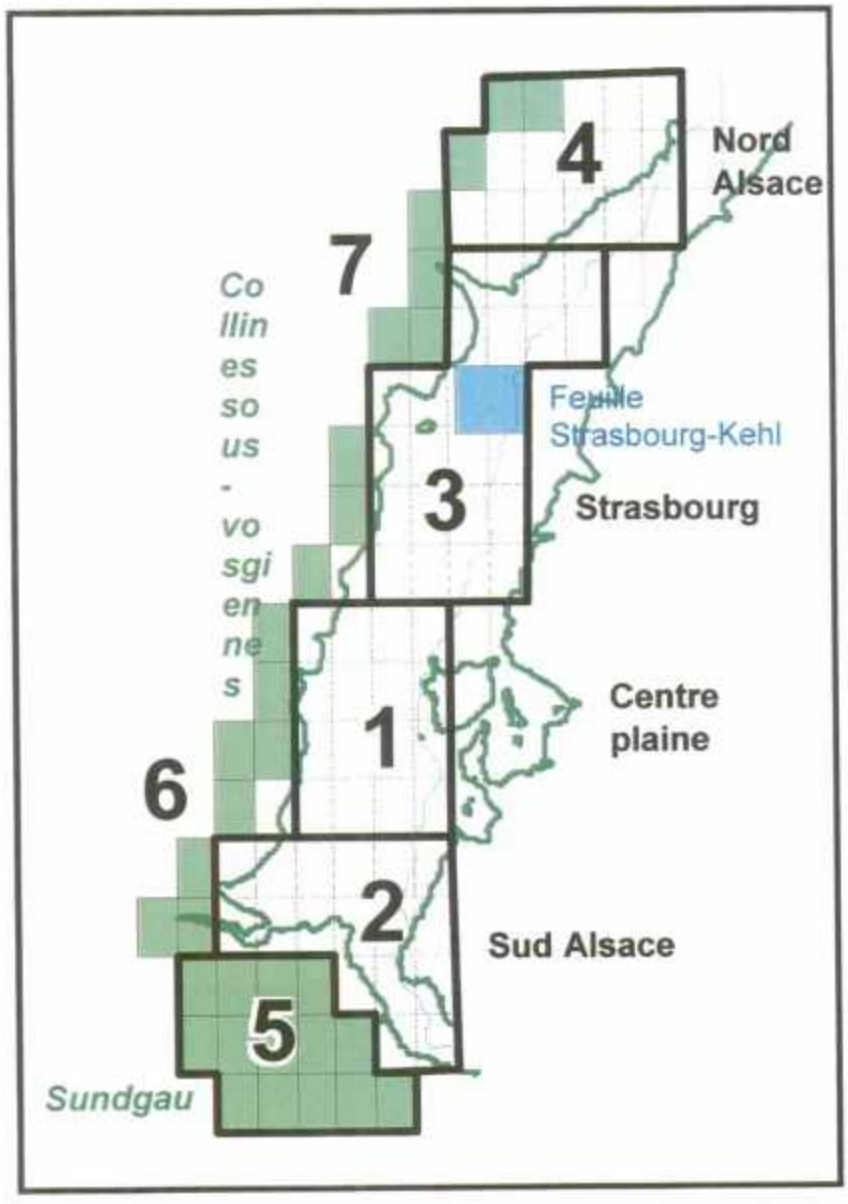


Figure 1 : Localisation des zones d'étude au sein de la Plaine rhénane

2. Présentation géologique de la plaine rhénane et de ses formations superficielles

Pour plus de détail sur les différents faciès, la géométrie et la reconstitution géologique plio-quaternaire de la Plaine rhénane, il est recommandé de se reporter à Ménillet (1995) et à Clément (1997). Seuls, les éléments essentiels de ces travaux seront repris et illustrés ici afin d'éclairer la nature et les lois de répartition des différentes familles de formations superficielles de la Plaine rhénane (Fig. 2).

2.1. LES ALLUVIONS

2.1.1. Définition générale

Les alluvions sont des matériaux détritiques : les blocs émoussés (20 à 40 cm), galets (2 à 20 cm), sables (0,005 à 0,2 cm) et limons (0,002 à 0,05 mm) déposés par les fleuves, rivières et ruisseaux. On les trouve presque toujours en fond de vallée et fréquemment sur les versants où elles forment habituellement des replats ou "terrasses". Leur largeur est souvent étroite, ne dépassant guère quelques dizaines de kilomètres de long du cours de la rivière. Cependant dans les vastes plaines comme l'Alsace, où les cours d'eau et les bras de fleuves ont amplement divagué, elles occupent des surfaces importantes dont la largeur peut dépasser 10 km (Fig. 2).

En coupe, les plus grossières (dépôts de forts courants) et les plus fines (dépôts de crue par décantation) ne montrent généralement pas de stratification. Celles qui sont constituées de sables et galets présentent souvent des stratifications "entrecroisées" liées au remplissage de chenaux successifs (Photos 1, 2 et 3) ; les chenaux les plus jeunes recoupent obliquement les chenaux les plus anciens. En Alsace comme dans la majeure partie de la France, la plupart des alluvions affleurant sur les versants et dans les fonds de vallées ont un âge quaternaire, des alluvions d'âge pliocène recouvrant parfois des plateaux. En conséquence de la subsidence tectonique du Fossé rhénan, encore active au Quaternaire, les alluvions de la Plaine d'Alsace sont exceptionnellement épaisses, leur puissance dépassant fréquemment plusieurs dizaines de mètres et atteignent localement 200 m, voire un maximum de 260 m (Fig. 3).

Affleurants ou recouverts de lœss, les alluvions quaternaires s'étendent sur les 3/4 de la superficie de la plaine d'Alsace (Fig. 2). L'accumulation alluviale est particulièrement importante dans la basse plaine rhénane où, à la faveur d'une subsidence tectonique, elle peut atteindre 200 m de puissance. L'essentiel de cette masse alluviale a été apportée pendant les périodes froides du Quaternaire durant lesquelles le Rhin était puissamment alimenté par les eaux de fonte des glaciers qui recouvraient les Alpes et le Jura. Plus modestes, les rivières vosgiennes ont largement étalé leurs alluvions, en cônes, à leur débouché sur la plaine d'Alsace (Fig. 2).

Bien que les alluvions rhénanes et vosgiennes puissent être interstratifiées, en particulier dans les zones de contact entre les cônes d'alluvions vosgiennes et la basse plaine rhénane, la transition est généralement assez rapide. C'est pourquoi les deux types d'alluvions, bien différents, seront traités en paragraphes séparés.

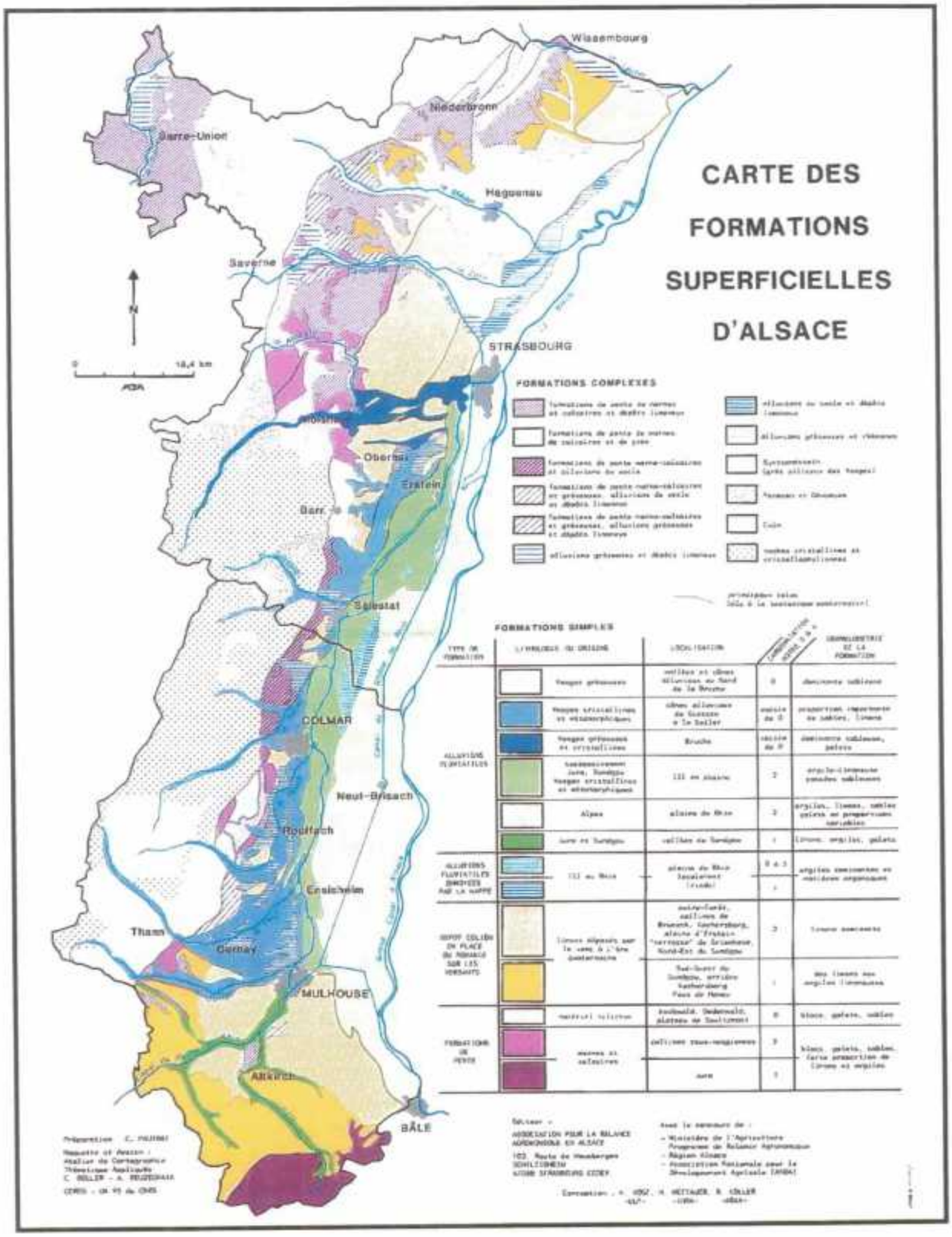


Figure 2 : Carte synthétique des formations superficielles d'Alsace (Document ARAA conçu par Vogt, Mettauer & Koller). Concernant la plaine rhénane, on distingue dans les teintes jaunes : les loess, dans les teintes vertes : les alluvions rhénanes, dans les teintes turquoise rayées les alluvions ello-rhénanes ennoyées par la nappe (rieds) et dans les teintes bleues pleines et rayées : les alluvions vosgiennes

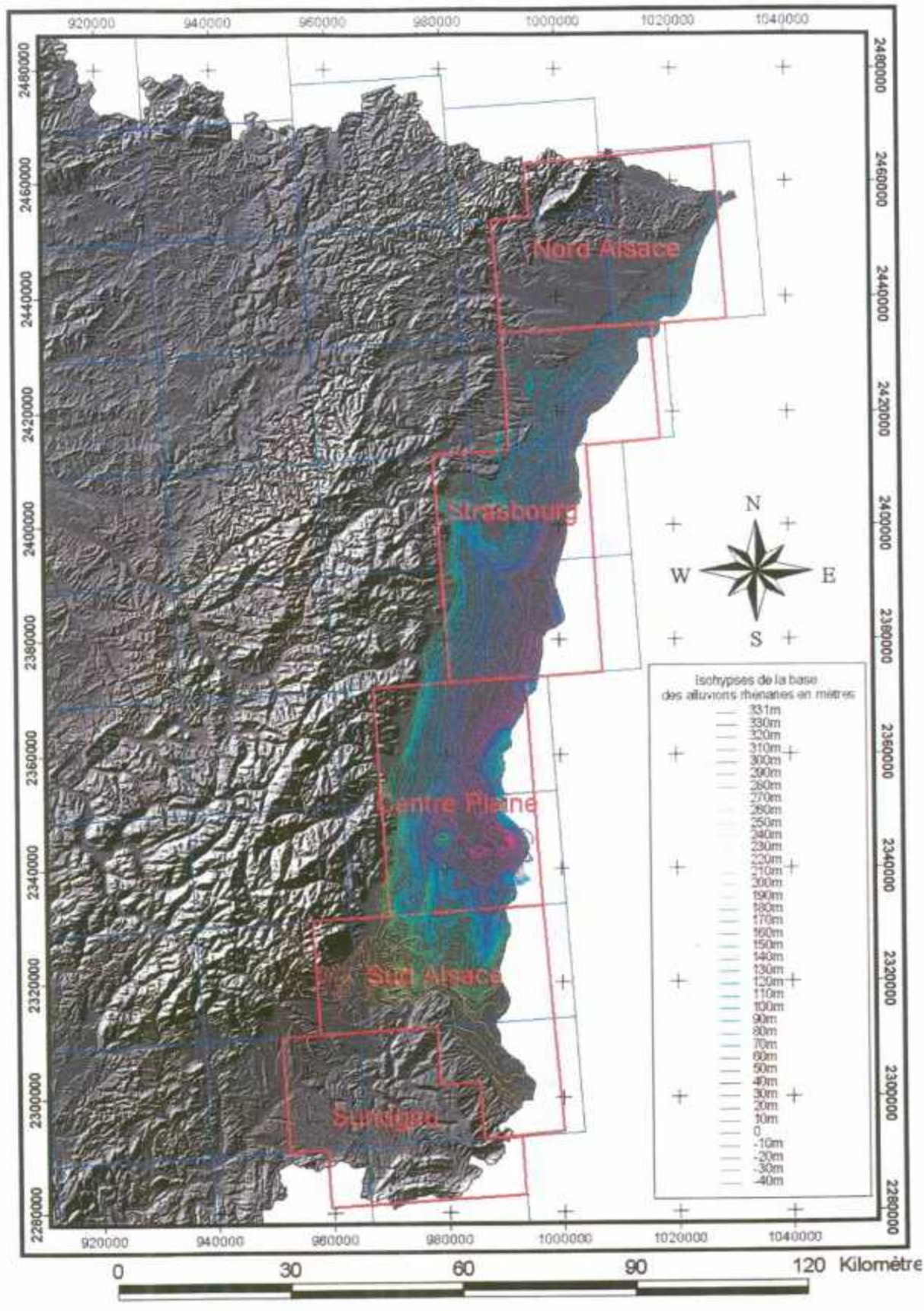


Figure 3 : Isohypses de la base des alluvions de la Plaine rhénane reportées sur le modèle numérique d'altitude ombré.

2.1.2. Les alluvions ello-rhénanes

Définition générale

En Alsace, sont appelées "alluvions rhénanes" les dépôts détritiques apportés par le Rhin au cours du Quaternaire, principalement originaires des Alpes, de la plaine molassique suisse et du Jura. Ces matériaux sont principalement constitués de galets (2 à 20 cm), accompagnés de sable siliceux gris verdâtre micacé (10 à 15 %), plus rarement rosâtre, et à l'amont de blocs roulés dont la longueur peut atteindre et dépasser 40 cm (Photos 1, 2 et 3). Matériel subtorrentiel, à faciès périglaciaire, les alluvions rhénanes présentent peu de stratification apparente dans les passées conglomératiques, au plus peut-on y voir des galets imbriqués. Elles peuvent présenter quelques intercalations de matériaux fins, sables fins, limons, limons tourbeux, laminées, dont l'épaisseur dépasse rarement 2 m (Photos 1 à 4). En surface, elles sont souvent recouvertes par une mince pellicule de limon sableux gris ou de limon tourbeux brun à noir, appelées localement "Ried". L'épaisseur de cette pellicule dépasse rarement 3 m.

Photo 1 : Alluvions rhénanes, gravelo-sableuses, vue générale exposant des faisceaux de stratifications obliques, et l'altération brune au sommet (Ouest de Bourgfelden, carrière de Haesingermatten, Haut Rhin)

Photo 2 : Alluvions rhénanes, gravelo-sableuses, vue générale (NE de bartenheim, carrière de Lange Suehne, Haut-Rhin)

Photo 3 : Alluvions rhénanes, vue de détails exposant des faisceaux de stratifications obliques constitués de galets et de sables

Pétrographie

Selon leur origine, quatre types de matériaux peuvent être distingués parmi les galets, parmi les plus courants et les plus symptomatiques (Photo 4) :

➢ **Origine alpine :**

- galets en quartzite du Trias alpin, généralement prédominants, en particulier dans les grandes tailles, teinte grise à brun ocre,
- granites chloritisés ("protogine" des Alpes),
- gneiss à amphibole,
- amphibolites,
- radiolarites rouges, en petits galets caractérisant bien une origine alpine,
- quartz à enclaves chloriteuses.

➢ **Origine jurassienne :** galets calcaires gris, parfois silicifiés.

➢ **Origine volcanique tertiaire :** blocs et galets de volcanites du Kayserstuhl gris sombre (roches basiques prédominantes, faciès de volcanisme récent, miocène).

➢ **Origine Vosges ou Forêt-Noire :**

- granites rose et porphyroïdes gris, gneiss, anatexites, beige jaunâtre à rose,
- microgranites,
- rhyolites roses ou violacées,
- conglomérats bariolés permiens,
- galets de quartz, de quarzite rose sombre et parfois de lydiennes noires des conglomérats du Buntsandstein,
- kératophyres, brèches volcaniques, roches diverses à faciès paléovolcanique.

Dans les sables, l'origine se distingue par la couleur :

➢ **Origine Alpes et plaine molassique suisse :** sable gris verdâtre à muscovite, séricite, chlorite, hornblende verte et calcite.

➢ **Origine Vosges et Forêt-Noire :** sables roses, parfois limoneux, à quartz à patine rouge, feldspaths, biotite, débris de schistes.

Photo 4 : Alluvions rhénanes, détail des lits graveleux et sableux.
Noter la présence de galets de quartzite, calcaire gris, granite, gneiss, amphibolite, radiolarite rouge et quartz et de la matrice calcaire à la teinte gris-vert clair caractéristique (Ouest de Bourgfelden, carrière de Haesingermatten, Haut Rhin)

Géométrie, disposition

Selon des critères géométriques ou d'âge, quatre secteurs peuvent être distingués (Fig. 2, 4) :

- Au Sud et au Sud-ouest de Mulhouse, le Sundgau, plateau entaillé par l'Ill et ses affluents,
- Au Sud-est de Mulhouse, l'étroite basse plaine rhénane, cadrée sur le "fossé" de Sierentz, diverticule Sud-est du Fossé rhénan,
- Entre Mulhouse et Strasbourg, un secteur où les alluvions rhénanes occupent presque toute la largeur du Fossé rhénan,
- Au Nord de Strasbourg, les alluvions rhénanes n'occupent, en Alsace, qu'une bande assez étroite, d'une largeur inférieure à 10 km.

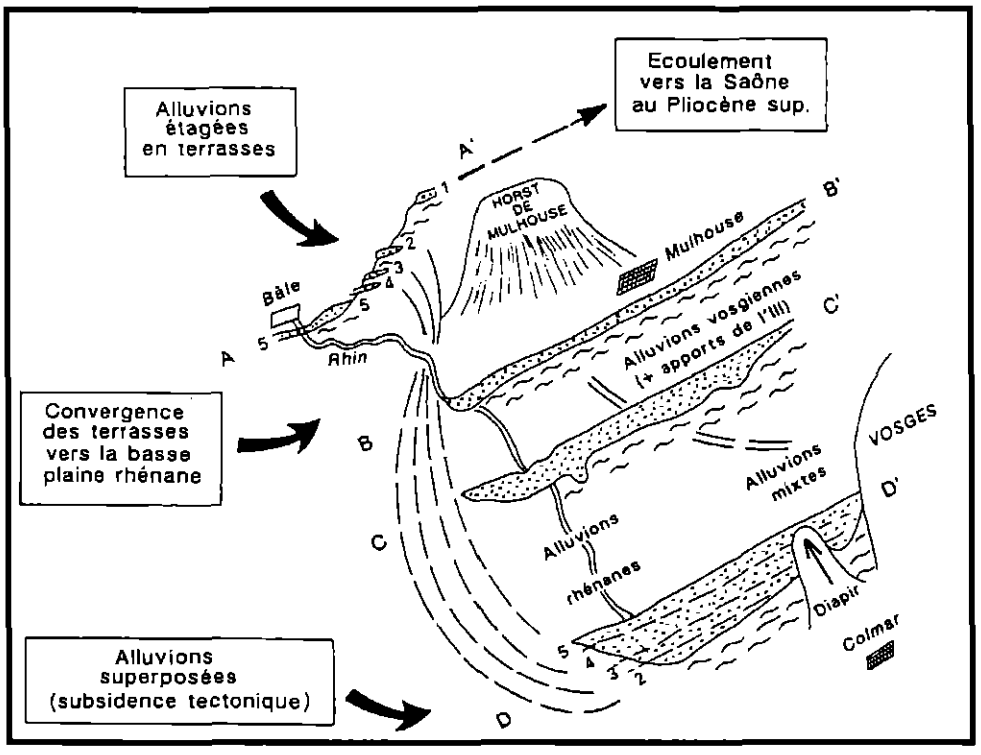


Figure 4 : Coupes sériées schématiques des alluvions rhénanes entre Bâle et Colmar Disposition étagée des niveaux dans la région bâloise, disposition superposée dans la plaine d'Alsace, avec augmentation d'épaisseur vers le Nord.

Sur le plateau du Sundgau (Fig. 4), des alluvions rhénanes anciennes, très altérées (présence de galets de quartz cariés et de quartzites ameublis), reposent directement sur les marnes oligocènes et sont recouvertes par un manteau de lœss. Leur épaisseur est assez importante et peut dépasser 20 m. D'âge pliocène supérieur probable (Praetiglien ?), elles jalonnent un ancien cours du Rhin supérieur vers la plaine de la Saône et la Méditerranée (Bonvallot, 1974 et 1984).

Dans le second secteur, les différents niveaux d'alluvions anciennes sont disposés en terrasses dont la hauteur au dessus de la basse plaine rhénane décroît vers le Nord (Fig. 4). Aux abords des faubourgs Sud-est de Mulhouse ils recoupent la basse plaine rhénane pour se recouvrir selon l'ordre de superposition stratigraphique. Cette disposition est la conséquence, au Quaternaire, d'un soulèvement de l'extrémité méridionale du Fossé rhénan, tandis que la subsidence restait active dans le fossé, au Nord de Mulhouse. A l'Ouest et au Sud-ouest de Neuf-Brisach, cette zone subsidente a été perturbée par des diapirs, réduisant localement l'épaisseur des alluvions à quelques mètres (Fig. 3, 4).

Au Nord de Mulhouse, les alluvions rhénanes s'épaississent jusqu'à atteindre et dépasser une puissance de 200 m, dans le secteur de Neuf-Brisach. Entre Rouffach et Neuf-Brisach, des diapirs réduisent localement l'épaisseur des alluvions à moins de 100 m, voire 10 m (Fig. 3 et 4). Les différents niveaux sont superposés. Du fait de l'abaissement de la surface de l'aquifère des graviers rhénans consécutif à l'aménagement hydraulique du fleuve, la partie supérieure des alluvions affleure dans les gravières sur une épaisseur de 10 à 15 m (Photos 1, 2 et 3). On y observe une altération *per descensum (*depuis le haut vers le bas), marquée par un lessivage des cations au sommet (horizon éluvié pouvant atteindre 50 cm d'épaisseur), puis un horizon enrichi en argiles et sesquioxydes (horizon Bt dû à l'illuviation et pouvant atteindre 50 cm à 1 m d'épaisseur), puis une cimentation des graviers ou des sables par de la calcite sur une épaisseur pouvant atteindre et dépasser 3 m (Photos 5 et 6).

Photo 5 : Sommet des alluvions rhénanes altérée
(NW de St Louis la Chaussé, carrière de Enterilache, Haut Rhin)
Sous l'horizon de surface riche en limons d'inondation (épais de 50 cm), on distingue l'horizon éluvié plus clair (50 cm), puis l'horizon Bt brun-rouge (50 cm), puis les graviers rhénans cimentés par la calcite sur environ 3 m, avec des lentilles plus blanches et plus cimentées ; à la base les graviers rhénans non altérés ni cimentés affleurent avec leur matrice sableuse calcaire grise symptomatique.

Photo 6 : Détail des faciès d'altération du sommet des alluvions rhénanes sur un bloc tombé du sommet de la coupe, carrière de Baldersheim. Haut Rhin.
Le sommet est à droite sur la photo, la base à gauche. On distingue l'horizon éluvié plus clair au sommet, puis l'horizon Bt brun rouge montrant de belles illuviations argileuses et un début d'imprégnation par les sesquioxydes de fer, puis progressivement le passage à l'horizon cimenté par la calcite. Comme l'illustrent ces blocs tombés d'un front de taille d'environ 5 m de hauteur, noter que ces processus d'altération tendent à augmenter la cohésion des alluvions rhénanes, voire à les indurer pour l'horizon cimenté par la calcite (ce conglomérat est toutefois facile à casser au marteau).

On observe également sur certaines coupes en carrière ou en forage plusieurs horizons cimentés par la calcite, intercalés dans les faisceaux d'alluvions rhénanes non cimentées. Cette calcite provient très probablement de l'altération des alluvions sus-jacentes lors des épisodes interglaciaires. Ceci implique *a priori* l'enregistrement des altérations interglaciaires dans la succession des séquences fluviatiles. Selon Michel Georges (inédit), cette cimentation serait localisée dans la zone de rencontre des eaux de l'aquifère de l'Ill avec celles du Rhin.

Vers le Nord, la surface des alluvions s'abaisse plus que la surface de l'aquifère, approximativement à la latitude de Colmar. La nappe baigne alors presque toute la hauteur des alluvions, la partie hors d'eau étant le plus souvent limitée aux dépôts fins holocènes. Vers le Nord, à partir d'Obernai, la largeur de la basse plaine rhénane se réduit. A l'exception d'une avancée vers l'Ouest d'alluvions sableuses d'âge quaternaire moyen ancien aujourd'hui disposées en terrasses, les différents niveaux d'alluvions anciennes restent superposés sous la basse plaine. Ils sont parfois séparés par des niveaux de silts, parfois tourbeux, à faune et flore interglaciaires. Cependant ces niveaux sont discontinus. En prenant en compte les trois plus fréquents, les auteurs allemands ont subdivisé les alluvions rhénanes en trois ensembles (inférieur, moyen et supérieur), souvent séparés par des horizons fins (horizons intermédiaires). Bludau (1994), dans un sondage de référence en plaine de Bade rapporte, sur des arguments pédologiques, le plus ancien au Bavélien, un second, plus discontinu, au sein de l'ensemble moyen : au Cromérien, et le troisième à l'Eémien. Des failles décalent localement ces niveaux ; des phénomènes de ravinement les ont érodés dans certains secteurs et la subsidence de la plaine rhénane a varié selon le lieu et l'époque.

Epaisseurs

Comme l'expose la rubrique "géométrie, disposition", les épaisseurs varient selon les différents secteurs de la plaine et localement, sous l'influence de failles et de phénomènes de ravinement. En haute Alsace, elles dépassent 200 m au Sud-ouest de Neuf-Brisach ; 263 m à Elsenheim, Haut-Rhin, où leur base se situe 38 m en dessous du niveau de la mer (Fig. 3). A Strasbourg, elles atteignent 125 m à proximité du port du Rhin, au fond d'un paléochenal, mais se réduisent à 60-70 m au centre ville. En marge de ce dernier, 35 km au Nord de Strasbourg, à Auenheim, des formations aquitaniennes sont sub-affleurantes au milieu de la basse plaine rhénane, les alluvions étant épaisses (40 à 60 m) autour de cette zone haute (môle ou horst) du substrat. Dans le Haut-Rhin elles s'amincissent aussi au droit de certains diapirs (1 à 10 m au-dessus du diapir de Hettenschlag : Fig. 3).

Genèse et mode de mise en place

Localisée dans la partie méridionale du Fossé rhénan, juste à l'aval du point de sortie du Rhin de la zone montagneuse, la plaine d'Alsace a fonctionné pendant tout le Quaternaire comme un piège à sédiments, d'autant plus que la subsidence tectonique est restée active. Très grossières et généralement dépourvues de stratification, les alluvions rhénanes de la plaine d'Alsace ont un faciès périglaciaire, torrentiel et glaciofluvial à l'amont, confirmé par des restes de faunes froides (mammouth). Les rares intercalations fines fournissent des faunes et flores interglaciaires. Durant le Quaternaire, le Rhin a divagué sur toute la largeur de la plaine d'Alsace entre Mulhouse et Strasbourg. Dans la basse plaine rhénane, les rivières d'origine jurassienne (Ill) ou vosgienne occupent souvent d'anciens bras du Rhin. A l'Holocène, la largeur de la plaine d'inondation du Rhin s'est réduite et les graviers rhénans ont été recouverts de limons d'inondation (Photo 7), calcaires (apports du Rhin) ou non (apports de l'Ill et des rivières vosgiennes). Le drainage étant médiocre, surtout dans les secteurs présentant encore une tendance à la subsidence, des ébauches d'évolution tourbeuse sont fréquentes (Photo 8).

Photo 7 : Limons d'inondation du Rhin en brun au-dessus des graviers rhénans qui émergent des limons à la faveur d'un chenal (traînée plus claire au milieu du champ)
(Nord de Hombourg, lieu dit Rheinfeld, Haut Rhin)

Photo 8 : Ried brun-noir montrant une zone claire sableuse au fond d'un ancien chenal à l'Ouest de Gambsheim (au Nord de Strasbourg)

Age des graviers rhénans et histoire résumée de la sédimentation rhénane

Si les alluvions très altérées du Sundgau, correspondant à un écoulement d'un paléo-Rhin (essentiellement l'Aar) vers la plaine de la Saône et la Méditerranée, datent vraisemblablement du Praetiglien (Pliocène supérieur : Bonvallot, 1984), l'essentiel de la masse des graviers rhénans a un âge pléistocène. Les rares points où le Tiglien (para-étage de transition entre le Pliocène et le Pléistocène) a été mis en évidence (Geissert *et al*, 1976), les alluvions ont un faciès sableux. Cette pétrographie s'accorde bien avec le caractère tempéré chaud des flores identifiées et une bonne partie des forages profonds ont traversé des alluvions sableuses, parfois sur plusieurs dizaines de mètres, entre le Pliocène, reconnaissable par ses alternances de sables et de silt, et les alluvions rhénanes grossières. Le début de la mise en place de ces dernières vers la Mer du Nord peut être attribué à l'Eburonien, l'accumulation des matériaux grossiers continuant pendant toutes les périodes froides du Quaternaire jusqu'à la fin du Weichsélien. Durent les périodes interglaciaires, en particulier le Bavélien, le Cromérien et l'Eémien, les chenaux à fort courant sont rares et de nombreuses zones déprimées se remplissent de sables fins, de silts, voire de tourbes. Ces matériaux prédominent aussi dans les dépôts holocènes de la basse plaine rhénane, les dépôts graveleux n'étant représentés que dans les chenaux principaux et leurs levées naturelles où les éléments les plus grossiers dépassent rarement une longueur de 5 cm. Une reprise d'érosion, probablement au Suboréal, est soulignée par la présence de troncs de chênes gigantesques, souvent avec leurs racines, arrachés par les ondes de crue à la forêt de feuillus très étendue à la période précédente (Atlantique). Même les zones déprimées, probablement subsidentes ("Ried", H. Vogt, 1980), sont tapissées de dépôts fins holocènes. Avant sa régularisation (années 1840), le Rhin présentait en plaine d'Alsace un réseau en tresse d'où se différenciait un chenal principal, au Nord de la région. Complètement endigué, le fleuve surcreuse actuellement son lit et entraîne rapidement les ondes de crues vers la mer du Nord. Depuis la construction du Grand canal d'Alsace (décennies 1950-1970), le fleuve n'a plus inondé directement la plaine d'Alsace, les inondations étant dues aux remontées de l'aquifère rhénan et aux crues de l'Ill.

Granulométrie, perméabilité et ressources naturelles

En excluant les passées fines sableuses ou silteuses, généralement peu épaisses (quelques décimètres, rarement plus de 2 m), les alluvions rhénanes sont constituées par un matériel assez grossier où les blocs roulés et galets peuvent constituer jusqu'à 80 % et plus du matériau (Fig. 5). Dans l'ensemble la taille des galets décroît d'amont en aval, les rares pointements rocheux dans la plaine (Kayserstuhl) rechargeant les alluvions en éléments grossiers. La fraction sableuse est essentiellement constituée de sables quartzeux fins à moyens ("sables gris rhénans") ou plus hétérométriques, grossiers à fins, parfois empâtés de limons (sables rosâtres à rouges, d'origine vosgienne).

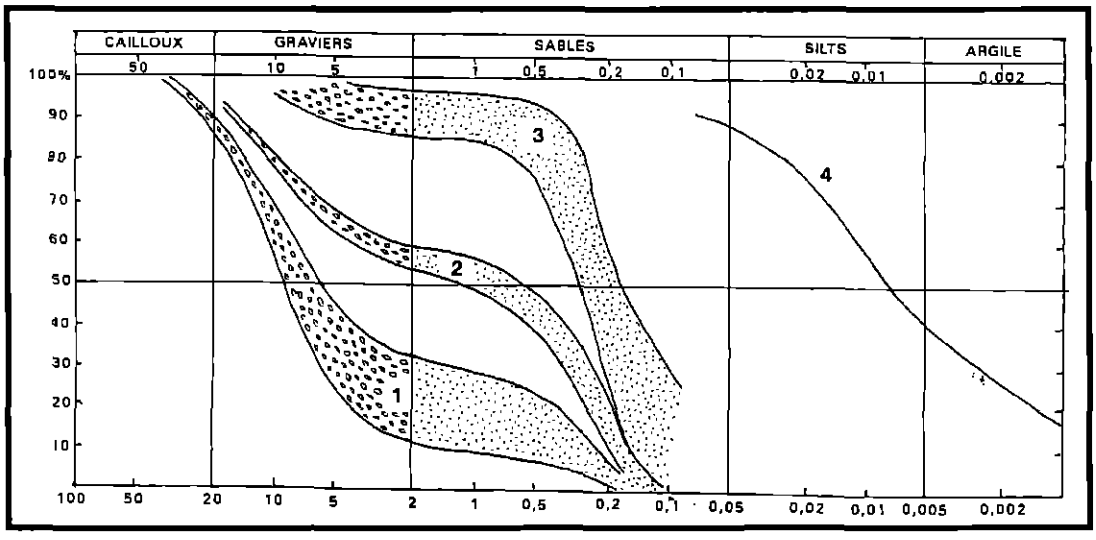


Figure 5 : Granulométrie de quelques types de matériaux constituant les alluvions rhénanes (Bischwiller, Bas-Rhin).
Le type 1 est largement prédominant et est de plus en plus grossier en direction de l'amont. La courbe 4 donne un exemple de la granulométrie d'une intercalation silto-argileuse (adapté d'après Simler, 1972).

La perméabilité moyenne des graviers rhénans est de l'ordre de 10^{-3}m/s (2.10^{-3} à 3.10^{-3}m/s). Pour les alluvions anciennes altérées et plus ou moins empâtées de limons (Cailloutis du Sundgau, au Sud de l'Alsace), elle s'abaisse à 10^{-4}m/s.
Les alluvions rhénanes constituent un aquifère remarquable (Babot, 1979 ; Vançon, 1979), l'un des plus volumineux aquifères alluviaux d'Europe. Il présente une eau de bonne qualité pour un aquifère alluvial de région peuplée et industrialisée, à l'exclusion de la langue salée liée au rejet de chlorure de sodium et de sulfates par les mines de potasse d'Alsace. Le plus souvent dépourvu de couverture imperméable, il reste cependant très vulnérable à la pollution. Cet aquifère est très sollicité, mais reste suffisamment alimenté pour supporter une augmentation de la demande.

Gîte alluvionnaire considérable (Guernez, 1979 ; Nonn & Troer, 1984), du fait de son extension et de sa puissance, les alluvions rhénanes sont intensément exploitées (13 % de la production française de granulats alluvionnaires en 1979 ; réserve de 100 milliards de mètres cubes dans le Bas Rhin, un peu moins dans le Haut Rhin). L'essor de cette industrie extractive date de 1962 où l'achèvement du grand canal d'Alsace a permis une large exportation vers l'Allemagne et les Pays Bas. En 1979, la production était de 25 Mt dont 25 à 30 % de tout venant, 65 à 70 % de roulé pour béton et mortier et 5 à 10 % de concassé pour enrobé bitumineux. L'extension des gravières et leur réaménagement (pêche, voile, baignade) constitue un problème majeur en Alsace pour la protection de l'aquifère alluvial (Valentin et

Graillat, 1979 ; Ferrand, 1979 ; Taleb, 1979) et la sauvegarde de la forêt et des prairies marécageuses rhénanes, biotope remarquable à l'échelle européenne (flore et faune).

2.1.3. Les alluvions vosgiennes

En Alsace, le terme d'alluvions vosgiennes désigne les matériaux déposés par les affluents du Rhin d'origine vosgienne ; dans les vallées du massif montagneux et dans la plaine d'Alsace, en cônes, vallées ou en interstratifications dans les alluvions rhénanes. Il est possible de différencier deux secteurs (Fig. 3) :

- Au Nord de la Bruche, les alluvions sont constituées essentiellement de sable rouge, avec des interstratifications de petits galets de quartz et de quartzite, matériaux remaniés des grès du Buntsandstein (Trias inférieur, principalement le Grès vosgien). La stratification est généralement bien marquée (Photo 9).

- Au Sud de la Bruche, les matériaux alluvionnaires proviennent principalement du socle vosgien (souvent appelé "Vosges cristallines"); galets de granite, de gneiss, de schistes, de grauwackes ; sables d'origine variée (arènes granitiques, grauwackes, Grès vosgien) et limons provenant des altérites du socle vosgien (Photo 10). Elles sont particulièrement grossières (prédominance de galets et de blocs roulés dans les principales vallées des hautes Vosges centrales et méridionales dont l'amont a été occupé par des glaciers pendant les périodes froides du Quaternaire (Weiss, Fecht, Lauch, Thur et Doller).

Photo 9 : Alluvions anciennes de la Bruche, sableuses, à interstratifications riches en graviers (Holtzeim, Bas Rhin)

Photo 10 : Alluvions anciennes de la Thur, faciès grossier, torrentiel, de type fluvio-glaciaire à périglaciaire (Cernay, carrière de Grossboden, Haut Rhin)

La vallée de la Bruche séparant approximativement les Vosges gréseuses et les Vosges "cristallines" présente un type mixte.

Dans les vallées vosgiennes et en plaine d'Alsace, à l'Ouest de la basse plaine rhénane, les différents niveaux d'alluvions sont généralement étagés en terrasses (plus rarement emboîtées). A proximité de cette dernière, ces niveaux ont tendance à s'incliner et à converger vers sa limite occidentale pour s'interstratifier dans les alluvions rhénanes selon l'ordre stratigraphique. Les différents niveaux d'alluvions vosgiennes se croisent donc à proximité de cette limite.

A leur débouché sur la plaine, les rivières vosgiennes ont creusé, à l'époque pliocène, de profondes vallées en direction du Sud-est, pour rejoindre probablement les eaux de la partie occidentale du bassin alpin du Rhin qui s'écoulaient selon un paléo-Doubs vers la plaine de la Saône et la Méditerranée. Ces paléovallées, profondes souvent de plusieurs dizaines de mètres (80 m pour la vallée de la Bruche), ont été remblayées d'alluvions vosgiennes au cours du Pléistocène, la rivière migrant vers le Nord, en édifiant un vaste cône, à la partie supérieure du Quaternaire moyen et au Quaternaire supérieur.

Epaisseur

En terrasses, les épaisseurs des alluvions dépassent rarement la dizaine de mètres, mais peuvent être localement plus puissantes (jusqu'à 20 m pour les alluvions du Quaternaire moyen de la Zorn en aval de Saverne). En fond de vallées, les épaisseurs des alluvions sont particulièrement importantes dans les paléovallées pliocènes et dans les zones de raccordement avec la basse plaine rhénane ; elles y atteignent plusieurs dizaines de mètres et peuvent avoisiner la centaine de mètres (vallée de la Bruche au Sud-est d'Obernai).

Genèse et mode de mise en place

L'essentiel du matériau s'est mis en place en période froide (faciès périglaciaire) : apports des torrents de fonte des glaciers au Sud ; appel de la subsidence rhénane ; étalement des alluvions au débouché des vallées vosgiennes sur la plaine d'Alsace (cônes anciens conservés

en glacis de piémont ; cônes récents se raccordant à la basse plaine). Les intercalations limoneuses fines (photo 11) les plus épaisses (1 à 2 m, localement plus) pourraient correspondre à des dépôts de période interglaciaires, mais ils sont généralement rougeâtres et oxydés et les récoltes de faunes et de flore sont exceptionnelles, à la différence des intercalations fines dans les alluvions rhénanes.

Photo 11 : Alluvions vosgiennes : Chenal de graviers en teinte claire émergeant des limons d'inondation en teinte brun rose
(Sud Ungersheim, Haut Rhin)

Age des alluvions vosgiennes

Les indications d'âge sur les alluvions vosgiennes ont essentiellement été données pour les alluvions disposées en terrasses étagées, selon des critères altimétriques et des critères d'altération (Vogt et Ménillet, 1980 ; Vogt, 1992). Les successions les plus complètes s'observent sur le piémont vosgien où l'on arrive à distinguer jusqu'à huit niveaux, du Pliocène supérieur au Pléistocène supérieur, sans pouvoir cependant bien caler les différents niveaux dans la stratigraphie du Quaternaire. Au sein du massif vosgien, les niveaux anciens sont rarement conservés. Au plus observe-t-on quelques lambeaux pouvant remonter à la fin du Quaternaire moyen.

Granulométrie

Au Nord de la Bruche, les alluvions vosgiennes sont essentiellement sableuses (sables moyens, mode compris généralement entre 0,3 et 0,6 mm) avec des intercalations contenant des galets de quartz et de quartzite de petite taille (1 à 3 cm de longueur en général). Dans les alluvions anciennes de la Bruche, les sables peuvent être encore prédominants, mais la fraction graveleuse est plus importante. Souvent modeste (<10 cm), la taille des galets peut être plus grande dans certaines passées, en particulier dans les alluvions du Quaternaire moyen où l'on peut observer des blocs (jusqu'à 50 cm au débouché des affluents de la rivière à arrière-pays très montagneux (Hasel, Soultzbach, Emerbaechel).

Au Sud de la Bruche, en particulier dans les vallées des hautes Vosges, à l'amont largement englacé dans les périodes froides du Quaternaire moyen et supérieur, les alluvions sont très grossières et présentent souvent un faciès fluvio-glaciaire (certains spécialistes disent "glacio-

fluvial" lorsque l'on se situe à l'aval du domaine occupé par les glaciers). Dans ces faciès, la fraction grossière (>2 mm) compte pour 50 à 80 % du matériau, la fraction fine (<0,005 mm) pouvant être nettement inférieure à 10 % si les alluvions sont peu altérées. Les plus gros blocs peuvent dépasser 50 cm (jusqu'à 70 cm dans le cône de la Doller à Burnhaupt-le-Haut et 1,5 m dans le cône de la Weiss à Kaysersberg ; Photos 12 et 13).

Pétrographie

Au Nord de la Bruche, les alluvions vosgiennes sont essentiellement constituées de sable quartzeux à enduit ferrugineux ou argilo-ferrugineux lui donnant une teinte rose. Les galets des passées grossières en quartz et quartzite sont remaniés des conglomérats intercalés dans les grès du Buntsandstein (Trias inférieur).

Photo 12 : Gros blocs de granite retirés des alluvions de la Weiss lors de travaux d'excavation à Kaysersberg.

Photo 13 : Gros blocs de granite retirés des alluvions de la Weiss lors de travaux d'excavation à Kaysersberg.

Dans les alluvions de la Bruche en plus des matériaux remaniés du Buntsandstein, on remarque des galets de volcanites du Permien, de siltites, grauwackes et volcanites dévono-dinantiennes et des granites et diorites du Massif du Champ-du-Feu.
Au Sud de la Bruche, la pétrographie des galets est très variée et dépend de la composition du bassin versant : principalement granites et gneiss, siltites et grauwackes, auxquels s'ajoutent des volcanites acides et basiques des Vosges du Sud.

Perméabilité, caractéristiques hydrogéologiques et ressources naturelles

Pour les alluvions les plus sableuses (Bruche et Alsace du Nord), la perméabilité est de l'ordre de 10^{-4}m/s. Elle est plus importante dans les faciès grossiers, fluvio-glaciaires des Vosges du Sud où elle atteint des valeurs de 10^{-3}m/s. Les alluvions de fond de vallées sont généralement aquifères. Pour l'alimentation en eau, elles sont d'autant plus intéressantes qu'elles sont épaisses et propres. Les réservoirs les plus utilisés sont les cuvettes de surcreusement glaciaire où elles sont associées à des dépôts morainiques et glacio-lacustres et les remblaiements de paléovallées pliocènes au pied des Vosges.

Dans la vallée de la Bruche et le Nord de l'Alsace, les alluvions vosgiennes sont largement exploitées comme gisement de sable (remblai et maçonnerie). A l'Ouest de l'agglomération de Strasbourg, les sablières de Lingolsheim et Holtzheim sont particulièrement actives. Plus au Sud, les alluvions vosgiennes sont principalement exploitées (tout-venant et roulé) dans les cônes du Quaternaire supérieur, en particulier dans la vallée de la Thur à Cernay. Cette

activité est en régression en raison des nombreuses contraintes environnementales au pied des Vosges. La qualité du matériau est moins bonne que dans les gisements de graviers rhénans (plus de fines, variabilité pétrographique du matériau plus importante, moins de galets de grande dureté).

2.2. LES LOESS

2.2.1. Définition générale

Le lœss, en Alsace, région où il a été défini, est un dépôt éolien constitué principalement de particules de la taille des silts ("limons" : 0,002 à 0,05 mm). Lorsqu'il n'est pas altéré, il comprend une fraction calcaire dont la présence est souvent mentionnée dans la définition de nombreux manuels généraux de géologie. La présence de calcaire n'est cependant plus considérée comme un critère de définition des lœss. Le lœss a l'aspect d'une terre fine faiblement argileuse, beige à jaunâtre, très homogène, à consistance meuble "poussiéreuse" à l'état sec. Souvent dépourvu de litage, le lœss a une structure massive en couches souvent épaisses de plusieurs mètres. Sa teinte claire à sec, contraste avec la couleur ocre à brun rouge de ses faciès d'altération. Les concrétions calcaires ou "poupées" et en remplissage de fins canalicules ("pseudomycelium") sont assez symptomatiques des lœss d'Alsace.

Le lœss a été déposé par le vent dans des zones de moindre turbulence pendant les périodes froides et sèches du Quaternaire. La superposition des couches de lœss déposées durant les périodes froides successives constitue des complexes lœssiques dont l'épaisseur cumulée peut atteindre 35 m, l'épaisseur d'une seule couche de lœss dépassant rarement 4 m.

En coupe verticale, comme le front de taille d'une carrière (Photo 14), les lœss apparaissent constitués par une succession de couches claires beige jaunâtre (lœss typiques), d'épaisseur généralement comprise entre 0,5 et 5 m, et de couches sombres brun beige à brun ocre, épaisses de 0,3 à 2 m (lœss altérés par des sols interglaciaires). En couches subhorizontales ou inclinées parallèlement à la pente d'un versant, souvent lenticulaires, les lœss, quand ils n'ont pas été tronqués par l'érosion, présentent une disposition séquentielle (Photo 15), avec une succession verticale que l'on peut schématiser en trois termes :

- au sommet, des limons argileux bruns ou rouges, non calcaires, se fendillant et se découpant en petits parallélépipèdes en se desséchant ;
- en dessous, des lœss typiques, souvent épais de plusieurs mètres, avec des concrétions calcaires, plus fréquentes dans leur partie supérieure ;
- à la base, des limons plus variés, parfois sableux, avec des couches litées, des niveaux cryoturbés et des niveaux grisâtres à brunâtres humiques.

Photo 14 : Affleurement habituel de læss : petite falaise résiduelle de 1 à 2m de hauteur, en bordure d'un chemin creux (Mittelhausbergen, Bas-Rhin)

Photo 15 : Læss altéré ocre à brun rouge entre deux couches de læss typique. Les taches claires en relief sont des concrétions calcaires, ou poupées de læss.

La plupart des læss d'Alsace se sont déposés sur un substrat hors d'eau. Cependant les læss gris à mollusques indicateurs d'un milieu palustre à lacustre ne sont pas exceptionnels dans les læss anciens.

2.2.2. Répartition et organisation des dépôts

Les læss recouvrent environ le tiers de la surface de la plaine d'Alsace (Fig. 2) ; ils sont localisés dans des zones de terrasses alluviales ou de basses collines s'étendant entre les épandages fluviatiles récents (Pléistocène terminal et Holocène). Du Nord au Sud, on distingue :

- Le Pays des læss ou pays d'Outre-forêt entre la Lauter et la forêt de Haguenau, à couverture de læss épaisse (15 à 35 m), continue et à morphologie de collines ;
- Le pays de Hanau et le pays de Saverne, à couverture de læss discontinue et souvent assez argileuse (épaisseur maximale 20 m) ;
- Le Kochersberg, entre la vallée de la Zorn et la vallée de la Bruche et son prolongement au Nord de la Zorn, à couverture de læss assez épaisse (10 à 25 m) et continue, présentant une morphologie de plateau ;
- La terrasse de Schiltigheim (épaisseur maximale 12 m) et l'Ackerland d'Erstein (épaisseur moyenne 2 m), à couverture de læss peu épaisse (moins de 10 m), sur les alluvions rhénanes du dernier glaciaire ;
- Les placages de læss sur le vignoble, d'épaisseur généralement inférieure à 5 m ;
- Quelques dépôts peu étendus et peu épais entre Colmar et Mulhouse (Rixheim) ;
- Les plateaux du Sundgau, au Sud de Mulhouse, à couverture de læss assez épaisse (10 à 20 m) et assez altérée.

En morphologie plane, plateau ou terrasse, les læss se déposent en couches successives superposées. Les vallons entaillant ces structures subhorizontales ont tendance à se combler de læss à partir du versant situé sous le vent porteur de poussières (Photos 16 et 17). Sur ces versants ou les talus qui limitent les plateaux ou les terrasses, les couches de læss sont souvent inclinées selon la ligne de plus grande pente, avec une disposition fréquemment lenticulaire. Dans les périodes tardiglaciaires et anaglaciaires (périodes froides et humides au début des périodes glaciaires) les læss sont souvent érodés, tandis que dans les périodes de rémission climatiques dites "interglaciaires", ils sont altérés. Cette altération conduit à des

décarbonatations et des enrichissements en argile à une profondeur modérée (quelques décimètres), la partie supérieure lessivée devenant très meuble et s'érodant facilement. Ces lœss argilifiés sont désignés par les auteurs allemands sous le nom de Lösslehm (lehm signifiant argile) abrégé en "lehm" par les auteurs français. Depuis 25 ans, les spécialistes déconseillent l'usage du mot "lehm". Il est possible de parler de lœss altéré ou de lœss enrichi en argile par altération. De façon plus précise, les spécialistes distinguent les lœss décalcifiés et enrichis en argile, de teinte brun-rouge, affectés par l'altération sous un climat tempéré "interglaciaire" (horizons Bt de sols brun lessivés) et les lœss ou limons affectés par une pédogenèse de climat frais et humide (allemand Nässboden), dans une période anaglaciaire. Les seconds surmontent généralement les premiers. Les carbonates lessivés s'accumulent souvent en dessous du niveau argilifié sous forme de petites concrétions : les poupées de lœss, de plaques pouvant atteindre et dépasser 20 cm dans les lœss anciens ou de fins dépôts dans les vides laissés par la nécrose des radicelles ("pseudomycelium") dont certains ont une morphologie de microcodium (petits cristaux prismatiques de calcite disposés en épis de maïs).

Photo 16 : Colluvions lœssiques sur alluvions rhénanes (Rixheim, Haut Rhin)

Photo 17 : Colluvions lœssiques sur alluvions rhénanes (vue de détail)

Meubles et de granulométrie fine, les lœss sont facilement remaniés par les eaux de ruissellement. En conséquence, les bas de versants et fonds de vallons situés en contrebas des plateaux ou terrasses couverts de lœss sont souvent recouverts par des colluvions limoneuses (Photos 16 et 17) provenant du remaniement des lœss. L'épaisseur de ces colluvions peut atteindre et dépasser 3 m.

2.2.3. Granulométrie, minéralogie, perméabilité et régime hydrologique

Dans les lœss typiques, la fraction silteuse (0,002 à 0,05 mm) est généralement prédominante (50 à 80% du matériau). Une fraction argileuse est toujours présente (7 à 20%) ; la teneur en sable est assez variable (5 à 15 %) et peut devenir quantitativement importante à proximité des affleurements d'alluvions sableuses.

Les lœss présentent une courbe granulométrique en S en coordonnées semi-logarithmiques ou logarithmiques, indicatif d'un tri par le vent (Fig. 6).

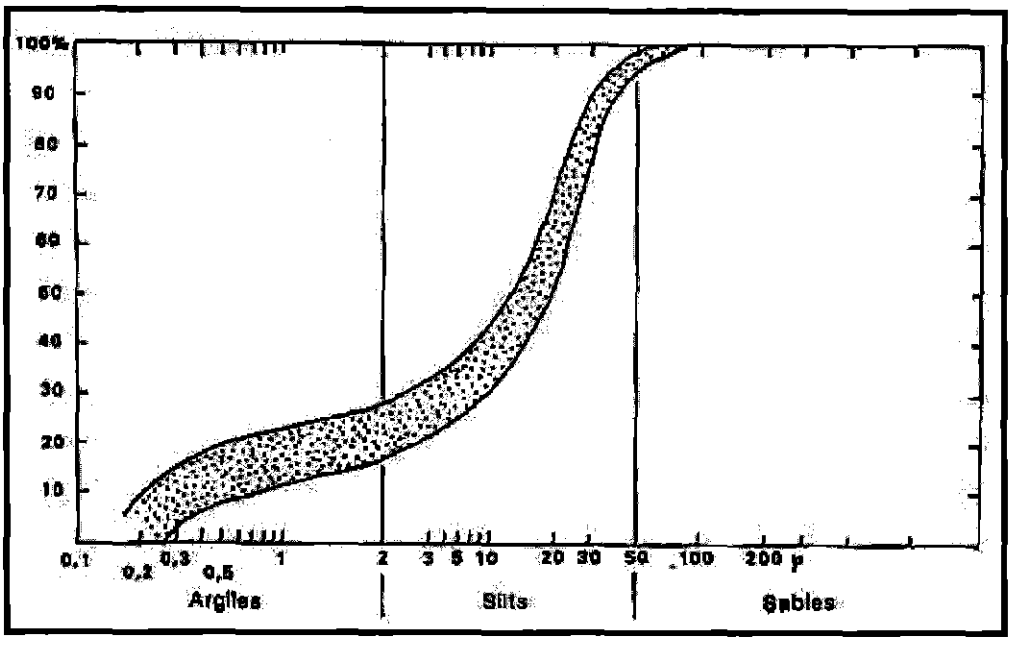


Figure 6 : Faisceau granulométrique des lœss d'Achenheim, d'après Lautridou, inédit ; (sédigraph)

Les paramètres granulométriques doivent être utilisés avec précaution, car ils dépendent fortement des méthodes utilisées (actuellement la pipette d'Andreasen et le sédigraph), commeon pourra le constater en comparant les tableaux suivants (Tab. 1 et 2).

2 mm	0,08	0,020	0,002
2 à 13 %	50 à 60 %	27 à 35 %	3,5 à 7 %

Tableau 1 : Granulométrie des lœss de Hangenbieten, par la méthode de la pipette d'Andreasen (d'après Schhaf-Raeth, 1979)

	0,08	0,020	0,002
	25 à 50 %	35 à 50 %	15 à 25 %

Tableau 2 : Granulométrie des lœss d'Achenheim au sédigraph (fraction inférieure à 0,08 mm, d'après J.P. Lautridou, inédit).

Les deux gisements de Hangenbieten et d'Achenheim sont très voisins (1 km) et sont constitués sensiblement par les mêmes couches.

La granulométrie varie aussi selon les séquences de lœss et leur répartition géographique (Buraczynski, 1982). Les lœss récents sont assez grossiers dans la partie axiale du Fossé rhénan (grain moyen compris entre 45 et 50 µm) ; ils deviennent plus fins en se rapprochant des Vosges et au contraire franchement sableux en plaine de Bade. Dans les lœss anciens, la fraction silteuse est généralement plus fine et souvent accompagnée de fractions sableuse et argileuse plus importantes ; cette dernière est souvent liée à une altération plus poussée.

La composition chimique des lœss est assez diversifiée : quartz détritiques prédominants ; calcite ; minéraux argileux : illite + smectites, plus ou moins bien cristallisées, souvent en

assemblages interstratifiés irréguliers, chlorite et kaolinite en faible abondance ; oxydes de fer, goethite principalement ; feldspath ; micas : muscovite principalement, biotite altérée ; traces de dolomite.

Buraczynski (1982) observe des variations régionales dans les teneurs en carbonates : le lœss récent supérieur comprend 18 % de calcite à Niederbetschdorf, 30 % à Achenheim. Pour les lœss récents inférieurs, les chiffres tombent à 9 % dans la première localité et à 25 % dans la seconde. C'est dans la région de Colmar, actuellement la plus sèche d'Alsace, que les teneurs en carbonates sont les plus importantes (35 % à Eguisheim et dans le Kayserstuhl pour les loess récents). La teneur en magnésium des carbonates des lœss, faible dans les lœss récents (7 % calculé en CO_3Mg) peut atteindre 50 % (CO_3Mg) dans les lœss anciens.

Les oxydes, généralement de la goethite (hydroxyde de fer), plus ou moins mêlée d'hydroxydes de manganèse, sont abondants dans les lœss anciens, sous forme de concrétions ou de colloïdes mêlés aux argiles (revêtements ferroargileux des fissures ou ferro-argilanes).

Les minéraux lourds en grains sont essentiellement liés à la fraction sableuse. Les grains opaques (oxydes de fer) sont souvent prédominants. Comme la fraction sableuse, ils sont généralement d'origine locale avec des minéraux d'origine alpine (épidote, amphibole), vosgienne ou diverse (zircon, grenat, tourmaline, rutile) ; la chlorite et la biotite sont bien représentées dans les lœss récents (Buraczynski, 1982). Ces derniers minéraux sont très vite altérés lors de la brunification des lœss (Millot *et al*, 1957).

Les lœss ont une perméabilité de matrice fine poreuse (perméabilité de 10^{-5} à 10^{-6}m/s pour les lœss les plus typiques), plus faible pour les lœss anciens altérés (10^{-8}m/s dans les lœss du Sundgau). La percolation de l'eau est d'autant plus lente que le lœss est plus fin et plus argileux. Les lœss fins peuvent conserver l'humidité plusieurs jours, voire plusieurs semaines après une pluie de plusieurs millimètres.

L'infiltration se ralentit à la rencontre des niveaux les plus argileux, qui peuvent servir de plancher à un aquifère temporaire. Lorsque les lœss sont épais et recouvrent une formation de faible perméabilité telle que les marnes oligocènes ou entièrement gorgée d'eau, leur partie inférieure peut être aquifère de façon pérenne. Dans les vallons, le drainage de cet aquifère est assuré par des sources assez diffuses et de faible débit donnant souvent naissance à des ruisseaux temporaires. Cet aquifère présente peu d'intérêt pour l'alimentation en eau, mais doit être pris en compte en géotechnique, les lœss gorgés d'eau n'ayant aucune tenue.

Les lœss ne constituent pas un véritable écran protecteur vis à vis des infiltrations polluantes vers l'aquifère sous-jacent. La progression des infiltrations sera rapide dans les lœss riches en silts grossiers, plus lente dans les lœss fins et argileux où les propriétés absorbantes des smectites peuvent jouer un rôle, mais probablement limité puisque ces dernières ne constituent le plus souvent guère plus de 5 % du matériau.

3. Acquisition des données

3.1. LA ZONE CENTRE-PLAINE (COLMAR – NEUF BRISACH)

3.1.1. Données externes

Les données pédologiques acquises par l'Association pour la relance Agronomique en Alsace (ARAA) au cours de ses différents travaux et stockées dans leur base de données numériques des sols d'Alsace nous ont été fournies sous forme numérique (extraction de quelques champs seulement), selon une convention d'échange de données. Les fichiers concernent les secteurs de : Colmar (23 sondages), Guebwiller (110 sondages), Gundolsheim (102 sondages), Herrlisheim (212 sondages), Merxheim (113 sondages), Rouffach (121 sondages), Ochsenfeld (148 sondages), 12 Moulins (117 sondages) et la Hardt (1017 sondages), ce qui fait en tout : **1963 sondages pédologiques**. L'ARAA nous a également confié sa carte des sols de la zone "Centre-Plaine" sur papier, ainsi que la charte des unités de sols associée.

L'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) nous a confié sa carte des sols de la Hardt (hors forêts) à 1/25 000 sur papier en deux feuilles (Hardt nord et Hardt sud). La carte des sols de l'ARAA reprend et complète cette carte initiale de l'INRA.

Pour la zone Centre-Plaine après recherches et discussions, l'Office National des Forêts (ONF) de Strasbourg nous a fourni aucune donnée, au motif qu'elles n'étaient pas toutes numérisées, et que leur Direction n'avait pas encore défini de politique de validation et d'échange de données. Nous avons pris acte de cette réponse et avons cartographié les formations superficielles de la zone "Centre-Plaine" sans ces données, les forêts domaniales y étant assez peu nombreuses.

Nous aurions souhaité consulter les logs des sondages géotechniques réalisés dans cette zone par le Laboratoire des Ponts et Chaussées (CETE de l'Est), mais l'accès aux archives nous a été refusé.

3.1.2. Données de sondages BSS

Les sondages dépassant 10 m sont déclarés au Service des Mines et leurs coupes habituellement envoyées au SGR afin qu'il les archive à la banque des données du sous-sol (BSS). Elles sont informatisées et stockées dans une base de données. Nous avons donc effectué une extraction des coupes BSS sur la zone d'étude, et le fichier issu de la requête a été formaté sous Excel. Pour la zone "Centre-Plaine", il existe ainsi **416 sondages géologiques** répertoriés (à fin 2001) et informatisés à la BSS, ce qui équivaut à **3584 lignes de fichier**, sachant qu'il y a une ligne par passe (tranche de terrain différente) décrite.

3.1.3. Données de terrain acquises pour le projet BRAR

Plusieurs campagnes de reconnaissance ont été effectuées par Florence Quesnel sur le terrain, en juillet, septembre et novembre 2000. Dans un premier temps, les champs étant couverts de végétation et donc la cartographie y étant impossible, les bois et petites forêts ont été prospectés, à la recherche des chablis dus à la tempête de fin décembre 1999. Il y avait ainsi quelques arbres arrachés par bois, occasionnant de belles coupes (de 80 cm à 2 m, avec une moyenne de 1,5 m de profondeur) jusqu'aux graviers, qu'il soient vosgiens ou rhénans.

Ensuite, après la fin des récoltes de blé, puis de maïs, les labours ont été systématiquement parcourus en voiture et à pied, afin de vérifier dans les labours l'existence et d'identifier la nature des formations de couverture (limons vosgiens, de l'Ill, limons du Rhin, argiles tourbeuses des bras morts, lœss, colluvions, etc.). Quelques belles coupes de 3 à 5 m de profondeur ont également été étudiées au milieu des champs grâce aux fosses creusées pour les forages destinés à l'irrigation. De même dans les zones de lotissements se construisant activement autour des villages de la plaine, quelques belles coupes ont pu être levées dans les excavations des sous-sols des futures maisons (uniquement dans les zones où la nappe est assez profonde). **603 points d'observation de terrain ont ainsi été collectés.**

3.2. LA ZONE SUD-ALSACE (MULHOUSE - THANN - ALTKIRCH)

3.2.1. Données externes

Pour le secteur Sud-Alsace, l'ARAA a fourni des données de sondages sous forme numérique, les fichiers concernent les secteurs suivants :

- la Hardt avec 164 sondages
- l'Ochsenfeld avec 280 sondages
- Guebwiller avec 41 sondages
- Moosch avec 106 sondages
- Illfurth avec 35 sondages
- St 27 avec 154 sondages
- St 21 avec 107 sondages
- St 23 avec 74 sondages

Les données de sondages sont complétées par une carte des sols papier recouvrant la totalité de la zone d'étude en excluant les zones urbanisées, les bois et forêts. La charte des unités des sols de l'ARAA est différente de celle que nous avons utilisée ; elle comprend près de 80 codes différents. Ces codes tiennent compte des faciès rencontrés et parfois de leur épaisseur. De plus certains d'entre eux sont des codes complexes qui tiennent compte des faciès superposés et de l'épaisseur de la couche de surface. Lors de notre travail de synthèse nous avons dû effectuer des regroupements puisque les codes que nous avons utilisés ne tiennent pas compte par exemple de la puissance des séries. De plus, les données papier fournies par l'ARAA sont des documents à 1/50 000, or nos levés ont été effectués à 1/25 000. Nos tracés sont donc plus précis que ceux fournis par l'ARAA.

Données BSS : pour le secteur, **1813** sondages géologiques répertoriés dans la Banque de données du sous-sol ont permis de renseigner les polygones, notamment sur l'épaisseur des limons et la nature du substratum sous-jacent.

L'ONF nous a aimablement permis d'accéder à ses données et rapports stockés à Mulhouse. Ces documents concernent la forêt domaniale de la Hardt Nord et Sud. Cette forêt recouvre le tiers de la feuille de Mulhouse et le quart est de la feuille de Altkirch soit près du tiers de la surface de la zone d'étude Sud-Alsace (Fig.7). Les données qui concernent le sol et le sous-sol de la forêt sont peu abondantes et très irrégulières. En effet, seules certaines parcelles (moins de 20 %) sont renseignées sur leur sous-sol (B. Liénard, 2002) et couche « *Forêt_Hardt_ONF.* »).

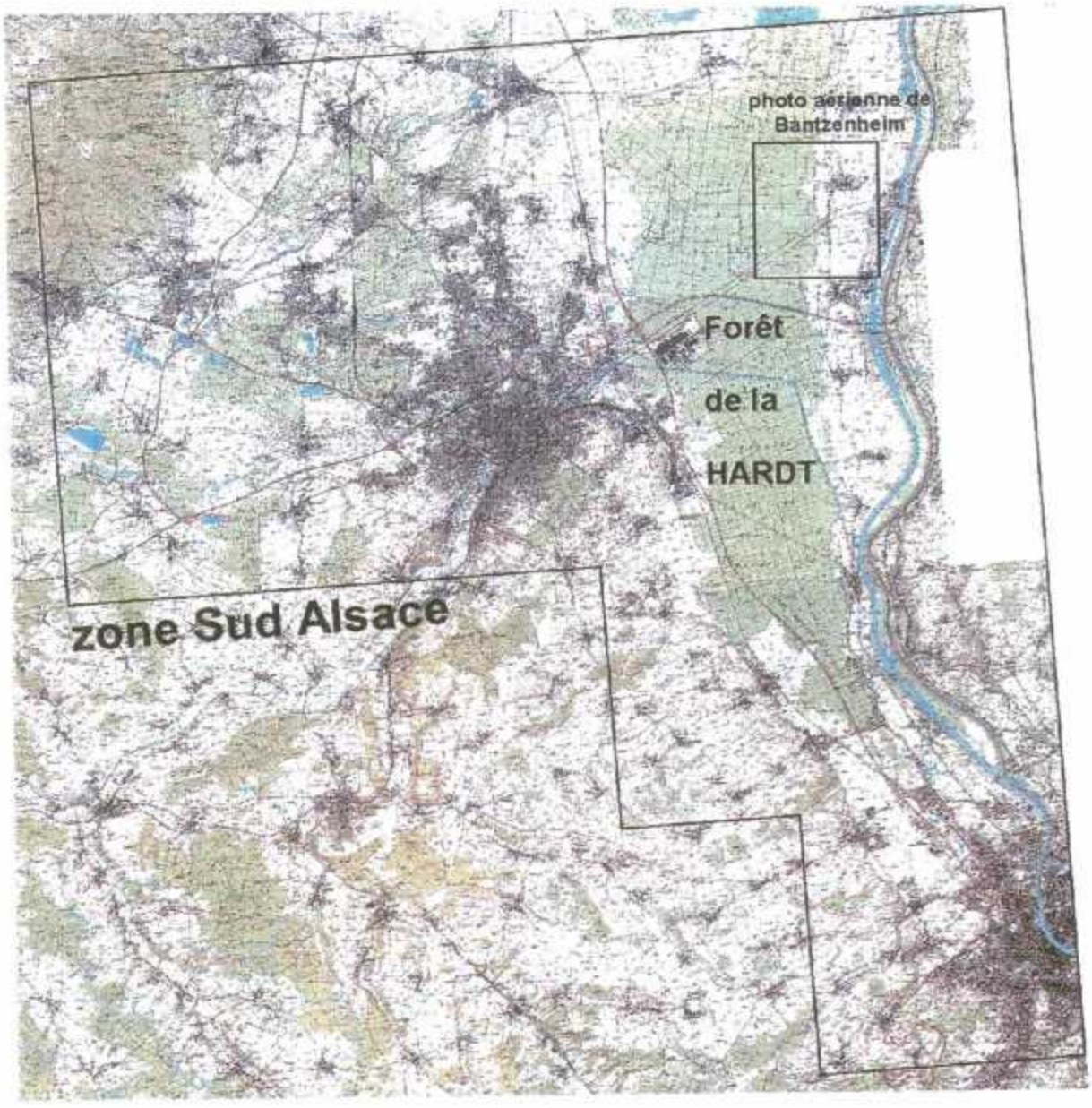


Figure 7 : Localisation de la photographie aérienne du secteur de Bantzenheim dans la zone Sud-Alsace

Les parcelles renseignées sont regroupées en 4 principaux types :

- Les *sols polycycliques*. Ces sols ont subi plusieurs pédogenèses conduisant à une accumulation d'argile et de fer oxydé à la base du profil. Ils se caractérisent par une forte charge en cailloux et une décalcification totale. Ils correspondent aux codes : **hsRd** et **hgRd** ;
- Les *sols bruns calciques*. Ces sols correspondent au comblement des anciens chenaux et bras morts du Rhin. Limoneux, ces sols sont décarbonatés suite à une pédogenèse. Ils correspondent au code : **halRd** ;
- Les *sols brun calcaires* correspondent à des limons carbonatés, ils correspondent au code : **halR** ;
- Les *sols bruns très riches*. Ils correspondent aux colluvions loessiques codés : **hu** et sont surtout présents au Sud de la forêt domaniale de la Harth.

Concernant l'épaisseur des limons surmontant le substratum graveleux rhénan, une campagne de sondages a été réalisée en 1958-1959 par les agents forestiers de l'Administration des Eaux

et Forêts, Inspection de Mulhouse. Les relevés sont conservés à l'ONF. La carte des épaisseurs obtenue présente de fortes et rapides variations inférieures à 80 cm. Une étude récente (G. Fellet, 1998) a montré que la densité des sondages de cette campagne était insuffisante et ne permettait donc pas d'avoir une image claire des variations de puissance des limons. Toutefois, cette même étude a également pu démontrer que les secteurs présentant des épaisseurs constantes (faibles ou fortes) sur de grandes surfaces pouvaient être considérés comme suffisamment proches de la réalité pour être exploités.

Depuis la campagne de sondages du milieu du XX^{e} siècle, il n'y a pas eu d'étude globale sur les sols et sous-sol de la forêt domaniale de la Hardt. En revanche, les sols des parcelles exploitées et replantées récemment ont été étudiés. Les résultats de ces études ont été reportés sur carte.

A Mulhouse, nous avons pu consulter les séries de photographies aériennes de la forêt de la Hardt. Plusieurs séries de photographies prises depuis la fin de la seconde guerre mondiale y sont conservées, le dernier jeu datant de la fin du siècle dernier après la dernière grosse tempête de 1999. Un exemplaire photographique de ces documents est présenté en figure 8, on y voit nettement les chenaux dans les zones agricoles ainsi que dans le domaine forestier. A partir de ces photographies, il a été possible de déterminer la position des principaux chenaux sur l'ensemble des forêts domaniales. En effet, selon les observations réalisées sur le terrain par Gaël Fellet, la végétation est nettement mieux développée le long des chenaux. Les limons sont plus épais au niveau des chenaux, ce qui expliquerait l'abondance de végétation. Ainsi, pour notre étude, la localisation des chenaux est apparue comme essentielle puisque cette approche permet de délimiter les zones où les limons sont présents avec une épaisseur non négligeable.

De manière générale, il n'existait pas de synthèse des données concernant les massifs forestiers. Les photographies aériennes, les données de sondages concernant les parcelles exploitées récemment, les données de sondages de la campagne de 1958-1959 et les cartes topographiques constituent les principales bases de données. Une compilation indispensable de ces données a été réalisée parallèlement aux levés de terrain. En remarque, on notera que les tracés des contours géologiques dans les forêts sont généralement approximatifs, bien que les plus précis que l'on puisse produire.

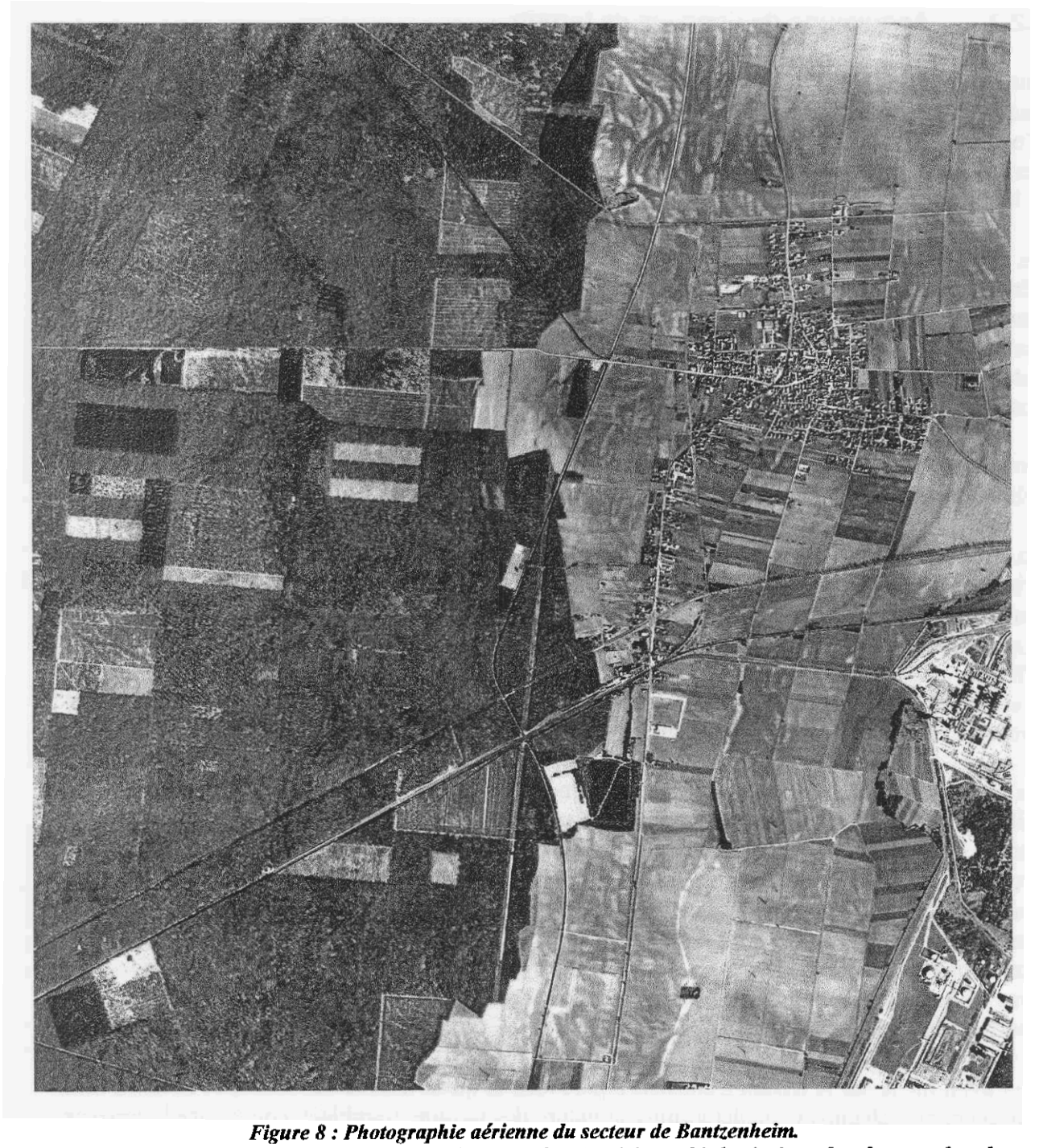


Figure 8 : Photographie aérienne du secteur de Bantzenheim.
On y voit nettement les chenaux de direction Nord-sud dans la plaine cultivée ainsi que les chenaux dans la forêt. En effet, la végétation y est mieux développée et forme des serpentins de direction Nord-sud .

3.2.2. Acquisition de données de terrain

Sur la zone Sud-Alsace, deux campagnes de reconnaissance ont été effectuées par Frédéric Lacquement sur le terrain, la première au mois de mai 2002, la seconde au début du mois d'octobre 2002. Ces campagnes ont permis de récolter un grand nombre de données permettant de délimiter les différentes unités lithologiques ainsi que d'en déterminer la nature et la puissance.

La principale difficulté rencontrée sur le terrain a été de réaliser les levés en dehors des périodes de végétation. En effet, la présence d'un couvert végétal ne permet pas de réaliser des observations dans les champs. En plaine d'Alsace, l'essentiel des cultures correspond à du maïs (environ 80 %) et du blé. Pour le maïs, la période de végétation s'étale de mi-mai à mi-octobre. Pendant cette période il est quasiment impossible de réaliser des observations de qualité.

Concernant la qualité des données et les tracés des contours des différentes unités lithologiques, plusieurs difficultés se sont présentées lors des travaux de terrain.

La première concerne la présence de massifs forestiers au sein de la Zone Sud-Alsace, principalement les forêts domaniales de la Hardt Sud et de la Hardt Nord, gérées par l'ONF. Au Nord-ouest de Mulhouse, plusieurs bois forment le massif forestier du Nonnenbruch. Ces massifs forestiers n'ont pas été prospectés en détail au cours des campagnes de terrain. En effet, le couvert végétal et le temps prévu pour l'étude n'ont pas permis de les parcourir et d'effectuer des levés aussi détaillés que dans les zones agricoles. Dans ces secteurs nous avons fait appel à l'ONF, seul organisme possédant des données dans les forêts.

La seconde concerne les zones urbanisées et industrialisées. Dans ces secteurs, l'absence ou la faible quantité d'affleurements ne permet pas d'avoir suffisamment d'informations sur la nature du substratum et la puissance des séries. Cette insuffisance de données pose des problèmes pour le tracé des contours des différentes lithologies dans ces secteurs, qui sera généralement de moins bonne qualité. A cela, il faut ajouter la présence quasi-constante de remblais dont l'épaisseur varie rapidement selon le lieu. En effet, et de manière générale, les fondations des constructions sont généralement situées entre 50 cm et 4 m de profondeur, sous la couche limoneuse. Les déblais sont répartis soit sur le reste de la parcelle, soit au pourtour du bâtiment.

Le travail mené sur le terrain a consisté à parcourir la quasi-totalité des routes et chemins afin d'accéder aux champs et de déterminer la nature des terrains (remblais, couverture limoneuse et substratum), leur origine (alluvions rhénanes, de l'Ill, vosgiennes, les lœss, ...) leur épaisseur, lorsque c'était possible, et leur répartition. La présence de nombreuses carrières a permis d'obtenir de belles coupes verticales jusqu'à 20 m de profondeur. Les levés ont permis de récolter **321 points d'observations** répartis de manière aléatoire auxquels il faut ajouter les observations moins ponctuelles sur la détermination des contours entre les différentes lithologies.

Concernant la qualité des levés et l'identification des lithologies rencontrées lors des campagnes cartographiques, plusieurs cas particuliers se sont présentés. Les paragraphes qui suivent tentent d'être exhaustifs sur ces différents points.

- Le premier d'entre eux est directement lié au mode de culture. En effet, les labours entraînent le brassage des 30 premiers centimètres de sols. Ainsi, lorsqu'une couche lithologique est inférieure à 25 cm, elle se trouve mélangée à la couche sous-jacente. Donc, les couches dont l'épaisseur est inférieure à 25 cm sont généralement impossibles à mettre en évidence et ne sont donc pas cartographiées. Un des meilleurs exemples de ce mélange des limons superficiels avec le substratum est visible à l'Est de Munchhouse.

- Le massif du Sundgau, situé au Sud-est de la zone d'étude, est constitué par des lœss et lœss-lehms récents et anciens recouvrant des terrains datés de l'Oligocène et du Trias. Ce massif se trouve légèrement en relief par rapport à la plaine rhénane, le dénivelé étant aux abords du massif de plus de 100 mètres. L'existence de ce dénivelé et le fait que la couverture du massif soit non consolidée implique que les pentes des vallées qui traversent le Sundgau et les abords du massif soient recouverts par des colluvions et limons de ruissellement. Ces colluvions et limons viennent recouvrir les alluvions rhénanes, vosgiennes et de l'Ill sur les abords du massif du Sundgau, où elles ont été cartographiées lors des travaux de terrain sous le code **hu** (ou **hud** lorsqu'elles étaient décarbonatées) (Photos 16 et 17). L'épaisseur de ces unités varie de manière centrifuge : plus l'on s'éloigne du massif du Sundgau, plus l'épaisseur décroît.

- Sur le terrain, la détermination de l'origine des alluvions est basée sur une série de critères bien précis (taille, nature et proportion en éléments, nature de la matrice, ...). A la limite entre les alluvions rhénanes et ellanes, une unité alluvionnaire particulière a pu être identifiée. Cette unité se caractérise par une proportion équivalente en limons, sable et galets et a un aspect de conglomérat. La matrice est non carbonatée, ce qui exclut une origine rhénane pour ces alluvions. Les limons sont de couleur brune à rousse, donnant la teinte dominante à cette unité. Les galets ont des diamètres variables, inférieurs à 15 cm et il n'existe pas de classe dominante. Leur nature, bien qu'essentiellement siliceuse, varie et on y trouve notamment les quartz cariés du Sundgau. Certains des galets sont de nature carbonatée et de couleur bleu sombre, correspondant à une origine typiquement rhénane. Ils sont peu nombreux, moins de 5% de l'ensemble des galets. Tous ces éléments indiquent donc un remaniement de terrasses alluvionnaires rhénanes par l'Ill. Cette unité, notée **hsgI**, vient recouvrir les alluvions rhénanes depuis l'extrême pointe nord-est du Sundgau, jusqu'à Ensisheim. La puissance de cette formation est inférieure à 3 m et elle affleure notamment dans les carrières à l'Ouest de Munchhouse (photos 18) et à l'Est de Baldersheim (photo 19 et 20).

Photo 18 : Alluvions conglomératiques de l'Ill reposant sur des sables et graviers rhénans (carrière de Munchhouse, Haut Rhin)

Photo 19 : Alluvions conglomératiques de l'Ill de 70 cm de puissance reposant sur des sables et graviers rhénans (carrière de Baldersheim, Haut Rhin)

Photo 20 : Zoom sur les alluvions conglomératiques de l'Ill (carrière de Baldersheim, Haut Rhin)

- Au Nord-Ouest de Mulhouse, plusieurs anciennes mines de potasse ont donné lieu à la création de terrils de plusieurs dizaines de mètres de hauteur et de plusieurs dizaines d'hectares d'extension. Ces terrils ont été référencés sous un code particulier : **yK.**

- Entre la départementale D201 et l'autoroute Mulhouse – Strasbourg, plusieurs lentilles sableuses carbonatées recouvrent les limons de l'Ill et du Rhin ainsi que les formations du substrat. L'origine de ces lentilles est inconnue ; cependant, leur forme et le fait que les sables soient bien classés suggèrent une origine éolienne. C'est pourquoi ces unités ont été placées au sein de la couche 2 dite de couverture.

- Le long du Rhin, au niveau de la basse terrasse, les limons sont en plaquage sur les alluvions rhénanes sableuses et graveleuses. L'épaisseur des limons varie rapidement car ils remplissent d'anciens chenaux du Rhin. D'après les observations de terrain, l'épaisseur de ces limons n'atteint pas 1,5 m (photo 21).

Photo 21 : Photographie d'un chenal dans la basse plaine rhénane le fond du chenal contient des limons, de chaque coté on voit affleurer une nappe graveleuse (point 168 au Sud ouest de Bantzenheim, Haut Rhin)

- A l'Ouest, les colluvions des formations géologiques des collines sous-vosgiennes viennent recouvrir partiellement la bordure Ouest des alluvions vosgiennes. Ces colluvions sont de natures différentes du fait de leur origine (calcaire, marnes, schistes, conglomérats...). Ils ont été regroupés sous une seule dénomination dans notre zone d'étude sous le code **C**.

Les raccords entre les polygones des zones Centre-Plaine et Sud-Alsace ont été effectués en concertation entre les différents intervenants impliqués dans les levés et les interprétations. Lors de ces travaux quelques problèmes de raccords ont été révélés. Lorsqu'il s'agissait de problèmes portant sur la géométrie des polygones, les polygones incriminés ont été modifiés. Concernant les codes attribués aux polygones, dans la zone Centre-Plaine, le géologue a parfois attribué des codes « complexes » bipolaires (exemple hsV-hgV, hgV-hsV ou encore halR-hgV). La nécessité d'effectuer cette différenciation a été rendue nécessaire par les observations réalisées, les séries vosgiennes étant de plus en plus sableuses du Sud vers le Nord. Dans la zone Sud-Alsace, nous n'avons pas fait appel aux codes « complexes », l'utilisation de codes « simples » permet de rendre compte de la nature des terrains en respectant les données de sondages et les observations de terrain. Cette différence d'annotation concerne essentiellement la partie ouest de la zone d'étude, entre Ensisheim et Soultz-Haut-Rhin.

Un jeu de photographies (90 photos) a été fourni associé aux données Sud-Alsace afin d'illustrer quelques points remarquables de la zone.

4. Notice des cartes

Les différentes formations ont été codées suivant le modèle suivant, calqué sur les notations des cartes géologiques numériques à 1/25 000 du Bade-Wurtemberg :

Pour la ***couche 0*** (remblais) :

Lexique_Remblais	
Code	**Description**
y	remblais indifférenciés
yA	terre, sable, résidus de construction
yS	remblais sableux
yG	remblais de graviers
yK	terril des mines de potasse

Pour la ***couche 1*** (couverture de l'aquifère) :

Lexique_Couverture	
Code	**Description**
C	Colluvions indifférenciés : limons mis en place par colluvionnement, et dont les matériaux sont d'origine variée et donc indifférenciés.
halR	Limons de débordement du Rhin (basse terrasse inférieure) plus ou moins sableux et / ou argileux, carbonatés
halRd	Limons plus ou moins sableux décarbonatés de la basse terrasse inférieure du Rhin
halV	Limons des alluvions récentes des rivières vosgiennes, argilo-sableux, non carbonatés
halV-hgV	Limons des alluvions récentes des rivières vosgiennes, contenant des éléments plus grossiers des alluvions anciennes vosgiennes (remaniement)
halV-ht	Limons argilo-sableux des rivières vosgiennes, soumis à des phénomènes d'hydromorphie et présentant des traces de matière organique
halV-lo	Limons des rivières vosgiennes plus ou moins pollués par des loess
hI	Limons de débordement de l'Ill, finement sableux, non carbonatés
hI-ht	Limons de débordement de l'Ill, soumis à des phénomènes d'hydromorphie et souvent tourbescents (Ried noir de l'Ill)
hl	Colluvions limoneuses
hm	Limons argileux comblant d'anciens chenaux et bras morts du Rhin
ht	Argiles et tourbes noires, déposées dans les zones de cuvettes, et subissant des inondations régulières. Ils dominent dans le secteur des Ried noir et gris de l'Ill
hu	Colluvions loessiques : loess remaniés par colluvionnement, situés essentiellement en bas de pente, sur le piémont vosgien, et le piémont du Sundgau
hud	Colluvions loessiques décarbonatées
lo	Loess : limons éoliens (plus ou moins argileux ou sableux), d'épaisseur variable. Sur la carte, ils sont localisés principalement sur le piémont vosgien, en placage
lod	Loess décalcifiés
S	Dépôts de versant soliflués, plus ou moins limoneux, contenant une fraction non négligeable d'éléments grossiers anguleux

Pour la ***couche 2*** (substrat correspondant à l'aquifère de la Plaine rhénane) :

Lexique Substrat	
Code	**Description**
hgR	Graviers et galets des alluvions rhénanes, mises en place durant les périodes froides du Quaternaire. Les matériaux sont essentiellement d'origine alpine (quartzites, granites, calcaires)
hgRd	Graviers et galets des alluvions rhénanes, décarbonatés.
hsR	Dépôts sableux à limoneux des alluvions rhénanes, correspondant vraisemblablement aux périodes interglaciaires, plus calmes
hgV	Graviers et galets des alluvions anciennes des rivières vosgiennes. Ces alluvions sont très hétérométriques, limons et argiles forment souvent la matrice. L'origine des matériaux est vosgienne (sables quartzeux, galets de granite ou de grès, selon le bassin versant de la rivière)
hsV	Alluvions sableuses ou sablo-graveleuses des rivières vosgiennes, plus ou moins argileuses, mises en place à la faveur de périodes interglaciaires
hgV-hsV et hsV-hgV	Alluvions anciennes des rivières vosgiennes, dont les composantes sables/graviers et galets varient entre les deux pôles extrêmes hsV et hgV.
hgI	Dépôts graveleux des alluvions de l'Ill
hsI	Dépôts sableux des alluvions de l'Ill
hsgI	"Conglomérats de l'Ill" : dépôts alluvionnaires limono-sablo-graveleux, non carbonatés, contenant une proportion de galets d'origine rhénane (5 - 15%), indiquant un remaniement des terrasses alluvionnaires rhénanes par l'Ill
j	Marnes et calcaires du Jurassique
tol	Marnes et conglomérats de l'Oligocène

Des attributs supplémentaires ont été ajoutés pour décrire les processus d'altération et d'hydromorphie. Ils sont exposés dans les lexiques suivants :

Lexique Bt et horizons d'accumulations	
Code	**Description**
Bt	Horizon illuvié (Bt vrai) enrichi en argiles et sesquioxydes (roux ou ocre)
FeMn	Formation avec la présence d'un horizon illuvié de Fe et Mn issu des horizons supérieurs

Lexique Encroûtements calcaires	
Code	**Description**
Ca	Présence dans la formation d'un horizon encroûté par du calcaire issu des horizons supérieurs. Cet horizon se présente généralement sous la forme de concrétions blanchâtres, plus ou moins indurées, et souvent diffuses et parfois sous forme d'un niveau continu à l'échelle d'une carrière dont la puissance peut atteindre 2 mètres.

Lexique Hydromorphie	
Code	**Description**
PsGl	Présence de tâches redox (PseudoGley) plus ou moins importantes Ce phénomène correspond à une couche profonde enrichie en argile (phénomène de lessivage) et donc quasi imperméable. Lorsque les eaux de pluie s'infiltrent, elles forment ainsi une nappe perchée temporaire
Gl	Hydromorphie permanente (Gley) : Ce phénomène est lié à la présence permanente de la nappe alluviale à faible profondeur. Cette hydromorphie est généralisée au niveau de l'Ill, et localisée au niveau du Rhin

On notera que les 2 types d'hydromorphie peuvent se rencontrer en même temps pour une même formation.

Les données ponctuelles (BSS, ARAA, observations de terrain) ont également été codées suivants ces différents codes. Des codes multiples ont pu être utilisés selon la description de la formation, afin d'intégrer le maximum d'informations, et de pouvoir par la suite renseigner au mieux les polygones non codés du substrat.

5. Synthèse et cartographie numérique des formations superficielles en trois couches

Pour la zone Centre-Plaine, la phase de cartographie s'est déroulée après acquisition de l'ensemble des données en les intégrant au moment du dessin des contours. Les contours ont été dessinés à 1/25 000 sur le fond topographique du Scan25 de l'IGN imprimé sur support calque indéformable, en s'inspirant de la carte des sols de l'ARAA et en vérifiant la cohérence de ses polygones avec les autres données disponibles. Pour les zones urbanisées et boisées, en l'absence de carte des sols, il a été tenu compte des sondages géologiques de la BSS, des observations de terrain, de la géomorphologie et des cartes géologiques à 1/50 000. Les contours des remblais (zones urbanisées) ont d'abord été dessinés en noir, puis les contours des formations superficielles en vert. Pour les couches 1 et 2, les différentes unités de sols de l'ARAA ont été transcrites selon notre modèle de données, de façon à pouvoir faire des regroupements de polygones par la suite. La transcription est fournie en Annexe 1. Les contours dessinés ont ensuite été numérisés par couche. La détermination des limites des polygones sous couverture a été effectuée en utilisant les données de sondages BSS et ARAA.

Une restitution classique avec les 3 couches superposées est présentée en Annexe 1. Le massif vosgien apparaît en gris. On notera les formations vosgiennes en bordure du piémont vosgien à l'Ouest, cartographiées dans les tons beiges à roses, parfois recouvertes de loess (jaune). Les sables et graviers rhénans à l'Est, qui forment parfois une bande large de près de 20 km (Sud de Colmar), sont cartographiés dans les tons bleu-vert à vert, les graviers rhénans décalcifiés plus anciens apparaissent en vert foncé. Les limons rhénans en bleu sombre forment parfois une couverture de l'aquifère, de même que les argiles tourbeuses cartographiées en brun au Nord de Colmar.

Pour la zone Sud-Alsace, les contours ont directement été dessinés à l'écran sous Mapinfo, en intégrant l'ensemble des données ponctuelles sous forme numérique. La détermination des limites des polygones sous couverture a été effectuée en utilisant les données de sondages BSS et ARAA. En forêt, les contours ont été dessinés à partir des photographies aériennes, des données de l'ONF (sondages, photos aériennes, ... etc) et de la carte topographique.

Une restitution classique avec les 3 couches superposées est présentée en Annexe 2. Le Sundgau et le massif vosgien apparaissent en gris. On reconnaît bien les alluvions rhénanes suivant le Rhin le long de la trouée de Sierentz, et entaillant le Sundgau. Les alluvions de l'Ill se développent à partir de Mulhouse et bordent les cônes de déjection de la Doller et de la Thur (bassin potassique) qui apportent des matériaux vosgiens (couleur beige à rosé).

Un contrôle des contours aux limites des zones été réalisé puisque ce sont deux géologues différents qui ont travaillé sur chaque zone.

6. Structure des tables de données - Implémentation du SIG

Une fois les contours dessinés, plusieurs champs d'information ont été créés pour les couches cartographiques, afin de disposer du maximum de données. La structure des couches est la suivante :

Couche 0 (remblais) :
- Code
- Epaisseur min
- Epaisseur max
- Epaisseur moy

Couche 1 (couverture) :
- Code
- Epaisseur min
- Epaisseur max
- Epaisseur moy
- Nombre de points
- Granulométrie min
- Granulométrie max
- Encroûtement
- Accumulation
- Hydromorphie

Couche 2 (substrat) :
- Code
- Nombre de points
- Granulométrie min
- Granulométrie max
- Encroûtement
- Accumulation
- Hydromorphie

Le renseignement de ces champs s'est fait par plusieurs analyses spatiales au sein du SIG, grâce aux données ponctuelles disponibles.

Pour chaque polygone, les variables correspondant à ces champs ont été extraites des données ponctuelles (sondages géologiques, pédologiques ou observations de terrain) comprises dans le polygone. Les valeurs minimum, maximum et les moyennes ainsi que le nombre de points de données ont été calculées et affectées aux champs. Pour les champs Encroûtement, Accumulation et Hydromorphie, il a été signalé par le code correspondant au phénomène, que un ou plusieurs points compris dans le polygone ont présenté les faciès correspondants. Pour les informations telles que l'épaisseur, il faut se reporter aux données ponctuelles.

Pour les polygones ne comprenant pas de donnée ponctuelle, l'analyse spatiale a porté sur les données les plus proches dans le même secteur morphologique (basse et moyenne terrasses rhénanes, glacis vosgiens, plaine de l'Ill, Hardt, Ried).

7. Conclusion

La cartographie des formations superficielles de la Plaine rhénane est achevée pour les zones "Centre-Plaine" et "Sud-Alsace". Elle comporte 3 couches numériques correspondant aux remblais, à la couverture de l'aquifère et à la zone non saturée de l'aquifère lui-même.

Les polygones de chaque couche ont été renseignés d'un code correspondant au type de formation, ainsi que d'un certain nombre d'informations. Elles ont été extraites des fichiers de données ponctuelles, collectées ou acquises lors de cette phase du projet "BRAR-cartographie des formations superficielles", qui sont également disponibles sous format numérique et codées sur la base du même modèle de données.

Les zones de vulnérabilité de l'aquifère rhénan (i.e. sans couverture) sont maintenant identifiées sur ces deux secteurs. Les données intégrées dans le S.I.G. pourront permettre par la suite la réalisation de modélisations hydrogéologiques des transferts de pollutions à travers les formations superficielles et la zone non saturée. Ces cartes pourront également être utilisées par les acteurs locaux, dans leur gestion de l'espace naturel ou la planification de l'aménagement.

Le projet "BRAR-cartographie des formations superficielles" doit se poursuivre par la cartographie des secteurs Strasbourg et Nord Alsace dans les années qui viennent.

8. Bibliographie

ARAA (1994) – Guides des sols d'Alsace, petite région Plaine Centre Alsace, 145p.

ARAA (1999) – Cartes des sols de la Plaine Rhénane à 1/25 000, feuilles Colmar, Marckolsheim, Guebwiller et Neuf-Brisach.

Babot Y. (1979) – Caractéristiques générales des alluvions de la Basse Plaine rhénane, *Bull. BRGM*, 2ème série, sect. III, **1**, 5-9.

Bludau W. (1994a) – Erste Ergebnisse palynologischer Untersuchungen an Kernen der Bohrungen I-VII im Hosskircher Becken (Blatt 8022 Ostrach) in Oberscwaben, *Abh. Geol. Landesamt Ba-Wü.*, 14 im Druck.

Bludau W. (1994b) – Kehl/Marlen-Goldscheuer Palynologische Untersuchungen in frühen Pleistozän mit Ammerkungen zur Tertiär/Quartär-Grenze. Ebenda.

Bonvallot J. (1974) – *Les cailloutis de la forêt de Chaux (Jura) ; leurs rapports avec les matériaux détritiques du Sundgau et du Nord de la Bresse*, Thèse 3ème Cycle, Dijon, 134p, 6pl., 89p d'annexes.

Bonvallot J. (1984) – Les cailloutis du Sundgau. Symposium dynamical and chronological relation between glacial and periglacial deposits, *Excursion INQUA*, Strasbourg-Besançon-Lyon, 21-22.

Buraczynski J. (1982) – Etude lithostratigraphique des lœss d'Alsace (France), *Ann. Univ. Mariae Curie-Slodowska*, Sect. B, 37, 1-41.

Clément F. (1997) – Les formations superficielles de la région de Strasbourg (Bas Rhin) : cartographie et mise en valeur, Rapport DESS "Sciences de l'environnement", Université Louis Pasteur, Strasbourg, 60p, 3 cartes à 1/25 000, Annexes.

Elsass P. (2002) – Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan 2000-2002. Actualisation et cartographie des formations superficielles. Compte-rendu de première tranche. Rapport BRGM RP-51950-FR

Fellet G. (1998) – Influence des chenaux fossiles sur les potentiels pédologiques et la croissance des arbres en forêt domaniale de la Harth, Rapport BTS "Gestion forestière", ONF - Observatoire Ecologique de la Harth.

Ferrand L. (1979) – Gravières et sablières de la plaine rhénane. Environnement, réaménagement après exploitation, *Bull. BRGM*, 2ème série, Sect. II, **1**, 25-30.

Geissert F., Ménillet F., Farjanel G. (1976) – Les alluvions rhénanes plio-quaternaires dans le département du Bas-Rhin, *Sci. Géol. Bull.*, **29**, 2, Strasbourg, p 164.

Guernez J.-M. (1979) – Gravières et sablières de la plaine d'Alsace, Etude et exploitation, *Bull. BRGM*, 2ème série, Sect. II, **1**, 11-15.

Liénard B. (2002) – Aménagement forestier de la forêt domaniale de la Harth pour la période 2003-2022

Ménillet F. (1995) – Les formations superficielles des Vosges et de l'Alsace. Identification, potentialités, contraintes, Rapport BRGM R 38640, 106p, 34 fig., 4 tabl., 20ph.

Millot G, Camez Th., Wernert P. (1957) – Evolution des minéraux argileux dans les lœss et les lehms d'Achenheim (Alsace), *Bull. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.*, **10**, 2, 17-19.

Nonn H., Troer C. (1984) – Gravières, *Encyclopédie de l'Alsace*, **6**, 3474-3477.

Simler L. (1972) – Etude des problèmes posés par l'ouverture des gravières en Alsace, rapport de synthèse, Serv. Géol. Als.-Lorr., 45p, 18p d'annexes.

Taleb R. (1979) – Etudes en vue de la lutte contre la pollution saline de la nappe phréatique d'Alsace, *Bull. BRGM*, 2ème série, Sect. III, **1**, 31-37.

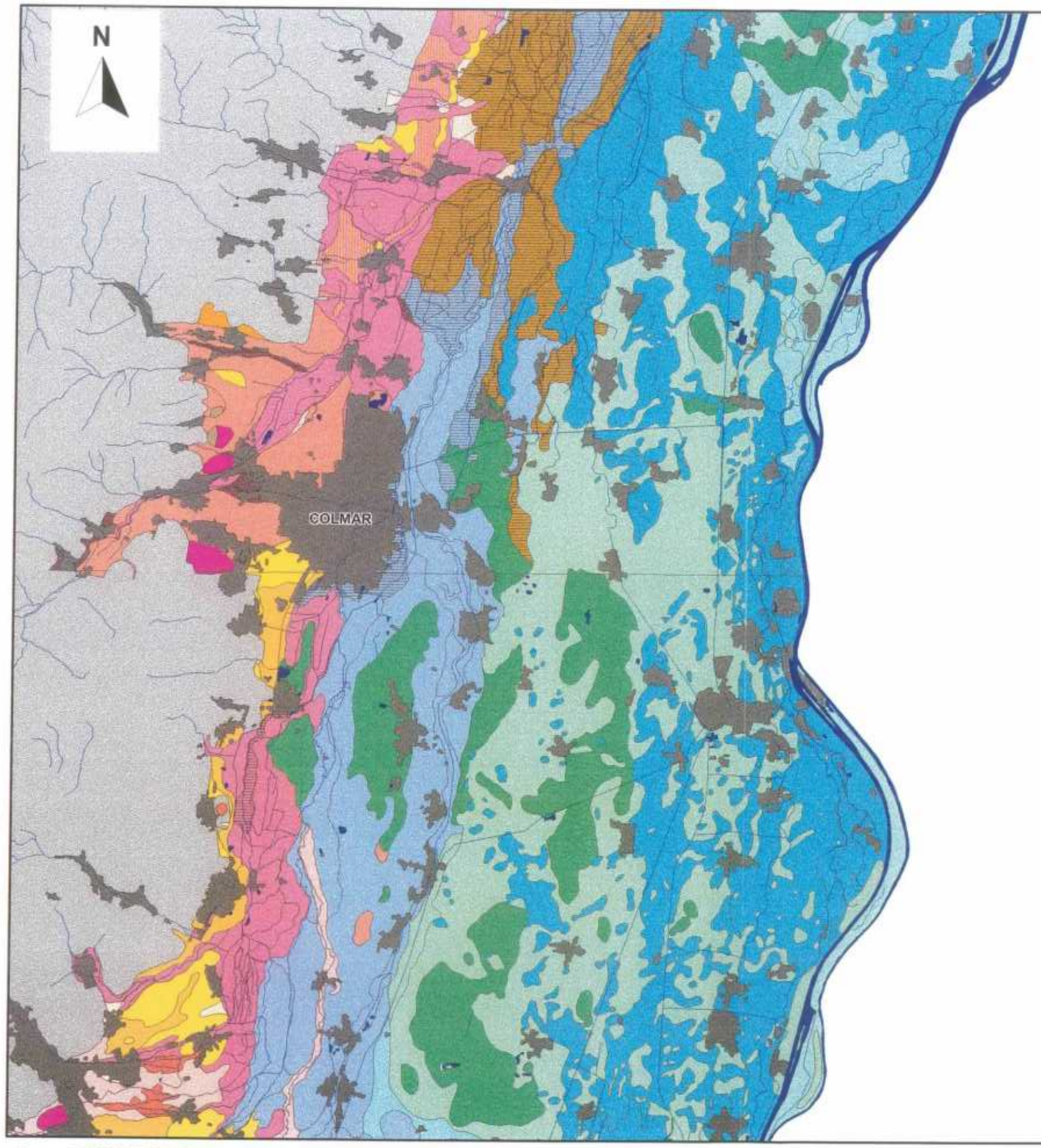
Valentin, J, Graillat A.(1979) – Etude des problèmes posés par l'ouverture des gravières en Alsace, résumé, *Bull. BRGM*, 2ème série, Sect. III, **1**, 17-24.

Vançon J.-P. (1979) – Gestion de la nappe phréatique de la Plaine d'Alsace au moyen de modèles de simulation, *Bull. BRGM*, 2ème série, Sect. III, **1**, 39-48.

Vogt H. (1992) – *Le relief en Alsace, étude géomorphologique du rebord sud occidental du Fossé Rhénan*, 240p, Oberlin Ed., Strasbourg.

Vogt H., Ménillet F. (1980) – Esquisse lithostratigraphique des alluvions d'origine vosgienne sur le piémont oriental des Vosges, *Suppl. Bull. AFEQ*, NS, **1**, 114-118.

Annexe 1 :
Carte des formations superficielles - Feuille Centre-Plaine



BRGM

Carte des formations superficielles
Feuille Centre-Plaine

Couche Remblais

- y - Remblais indifférenciés

Couche Couverture

- C - Colluvions indifférenciés
- halR - Limons rhénans
- halRd - Limons rhénans décalcifiés
- halV - Limons vosgiens
- halV-hgV - Limons vosgiens à éléments grossiers
- halV-ht - Limons vosgiens tourbescents (hydromorphie)
- halV-lo - Limons vosgiens pollués par des loess
- hl - Limons de l'Ill
- hl-ht - Limons de l'Ill, tourbescents (hydromorphie)
- ht - Argiles et tourbes noires
- hu - Colluvions loessiques
- lo - Loess
- lod - Loess décalcifiés
- S - Solifluxion

Couche Substrat

- hgR - Graviers rhénans
- hgRd - Graviers rhénans décalcifiés
- hgV - Graviers vosgiens
- hgV-hsV - graviers sableux vosgiens
- hsgl - "Conglomérat" de l'Ill
- hsR - Sables rhénans
- hsV - Sables vosgiens
- hsV-hgV - Sables graveleux vosgiens
- j - Marnes et calcaires du Jurassique
- tol - Marnes et conglomérats de l'Oligocène

0 5 10
km

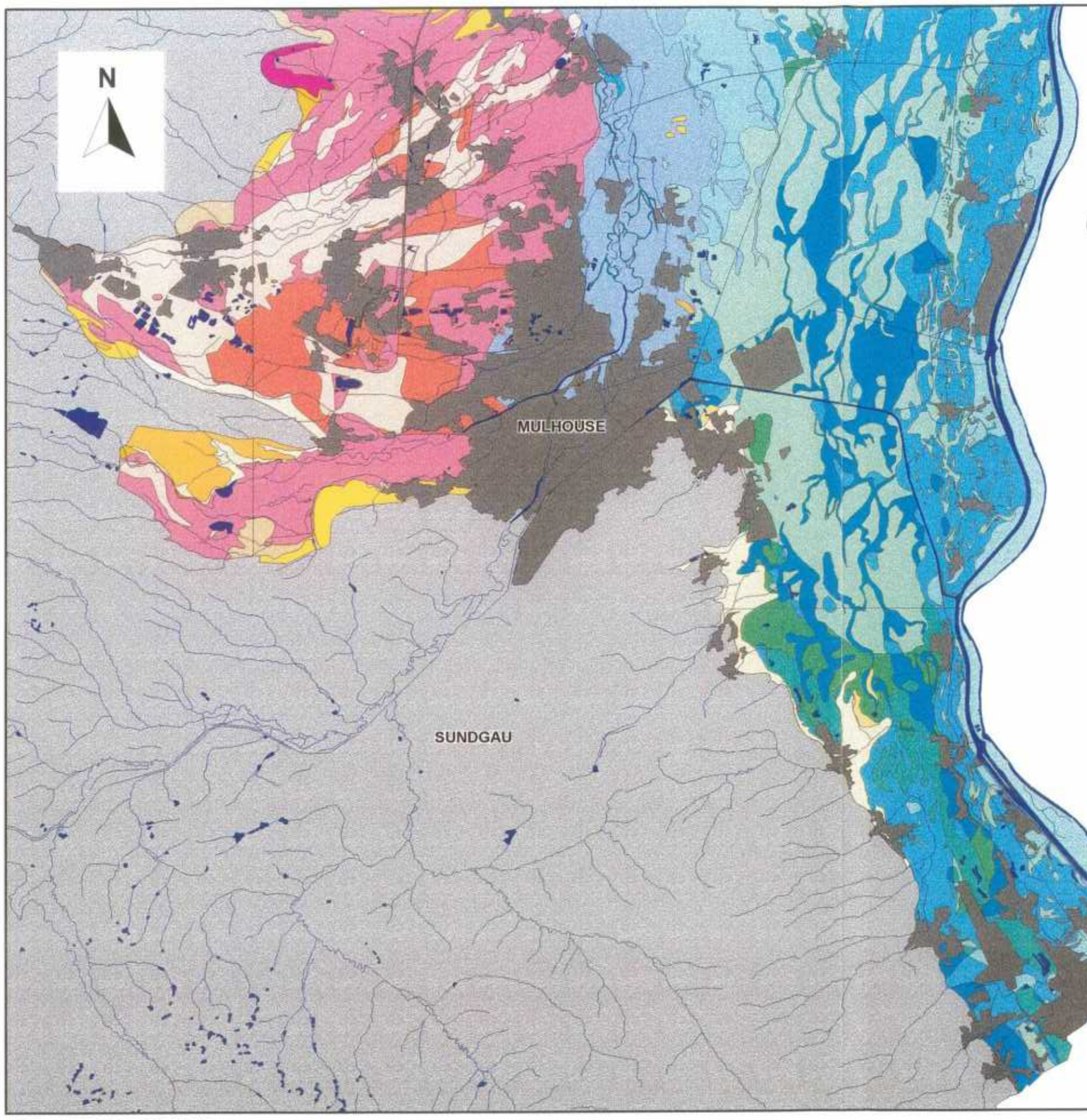
Levés F. Quesnel

© Région Alsace, BRGM, 2002

Région Alsace

Rapport BRGM RP-52145-FR

Annexe 2 :
Carte des formations superficielles - Feuille Sud-Alsace



BRGM

Carte des formations superficielles
Feuille Sud-Alsace

Couche Remblais

- y - Remblais indifférenciés

Couche Couverture

- C - Colluvions indifférenciés
- halR - Limons rhénans
- halRd - Limons rhénans décalcifiés
- halV - Limons vosgiens
- hl - Limons de l'Ill
- hl - Colluvions limoneuses
- hm - Limons comblant d'anciens chenaux du Rhin
- hu - Colluvions loessiques
- hud - Colluvions loessiques décarbonatées
- lo - Loess
- lod - Loess décalcifiés

Couche Substrat

- hgI - Graviers de l'Ill
- hgR - Graviers rhénans
- hgRd - Graviers rhénans décalcifiés
- hgV - Graviers vosgiens
- hsgI - "Conglomérat" de l'Ill
- hsI - Sables de l'Ill
- hsR - Sables rhénans
- hsRd - Sables rhénans décalcifiés
- hsV - Sables vosgiens
- hsV-hgV - Sables graveleux vosgiens
- tol - Marnes et conglomérats de l'Oligocène

0 5 10
km

Levés F. Lacquement

© Région Alsace, BRGM, 2002

Région Alsace

Rapport BRGM RP-52145-FR