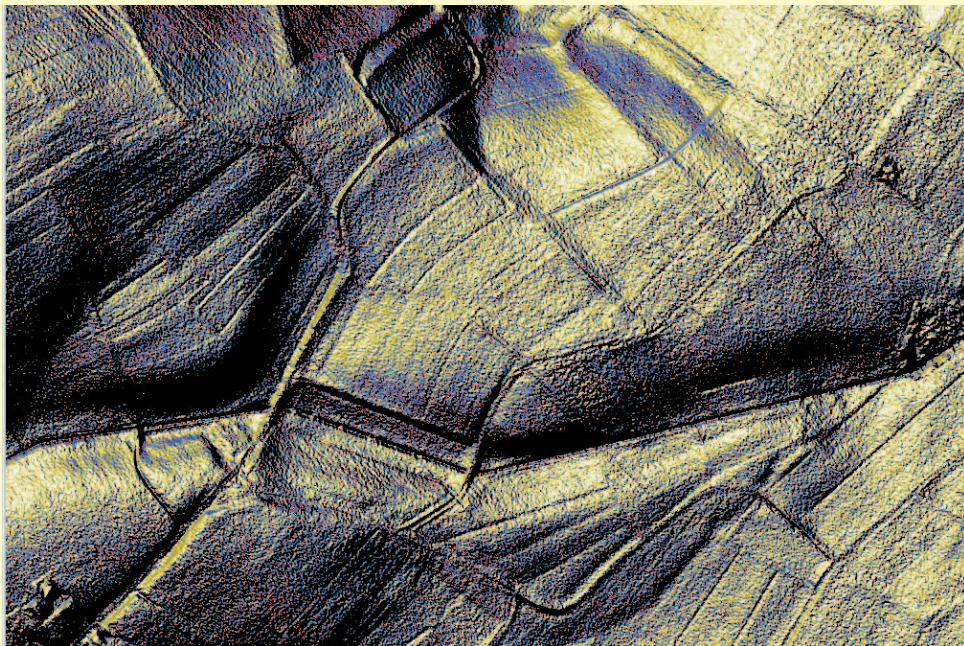




Université de Neuchâtel,
Institut de géographie et de géologie



DYNAMIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET ANALYSE MORPHOLOGIQUE DU VAL DE RUZ



Laure Champagnac

Mémoire de fin d'études sous la direction des
professeurs A. Pancza et E. Verrecchia

Janvier 2005

REMERCIEMENTS

Un grand merci aux professeurs André Pancza et Eric Verrecchia pour leur collaboration qui m'a permis d'écrire ce mémoire.

Merci professeur Pancza de m'avoir fait partager votre regard de géomorphologue et votre connaissance du Val de Ruz.

Merci Eric d'avoir toujours pris du temps pour moi, de m'avoir redonné confiance quand je doutais de mes résultats, merci pour tes corrections attentives et ta patience infinie.

Merci à l'Institut de géologie et à tous ses membres qui m'ont mis une place de travail à disposition ainsi que tous les moyens techniques nécessaires.

Merci Martin de m'avoir fait un plan d'étude conciliant géographie et géologie. Merci pour ton enseignement de terrain et tes questions ô combien pertinentes.

Merci Mahmoud pour m'avoir fait découvrir le monde merveilleux du SIG et ton aide précieuse.

Merci Cyril pour ta maîtrise des aléas informatiques.

Merci aux habitants du bureau EOO8 pour leur bonne humeur au quotidien et à tous les étudiants. Merci Nao, Simon, Esther, Laureline, Johann, Jean-Luc, Michèle.

Merci Cécile de m'avoir prêté un ordinateur capable de «digérer» mes interminables calculs.

Merci à mon géologue de mari pour son soutien moral et technique au quotidien.

Merci Guillaume et Olivier de m'avoir accompagnée au tout début dans une thématique qui a changé.

Merci à mon fils Ange qui bouleversé tous mes plans, toute mon organisation mais qui m'a apporté le plus beau des cadeaux.

Merci à toute ma famille...

E la navé va...

RÉSUMÉ

Ce travail propose une carte de formations superficielles du Val de Ruz dans le canton de Neuchâtel. La région a été marquée à plusieurs reprises par l'avance et le recul de langues glaciaires, ce qui en fait un objet intéressant en terme de dynamique des formations superficielles. Cette étude propose également l'analyse d'une zone plus étendue, grâce à l'emploi d'un MNT précis à un mètre. L'exploitation des observations de terrain et du MNT a permis des résultats croisés en terme de formes et de formations.

Les outils et méthodes employés pour la réalisation de la carte de formations superficielles ont été l'exploitation de photographies aériennes, l'observation de terrain, la prospection à la tarière et à la pelle américaine (55 sondages regroupés en différentes unités). Des analyses de laboratoire (granulométrie par tamisage humide et laser, dosage de la matière organique, poids calcaire total et mesures de pH) ont été effectuées sur une série d'échantillons pour quantifier les données de terrain et dégager des modèles de mise en place sur la bases des courbes granulométriques.

La dynamique de la mise en place des formations superficielles a été établie par la confrontation des résultats de laboratoire, de terrain et les observations sur les différents ombrages du MNT.

Enfin, une étude morphologique a été réalisée avec les logiciels IDL/Envi® et ArcGIS®. Différentes cartes ont été calculées: pentes, orientation, convexité, ombrages. Une série de profils a été tracée à partir du MNT et des vérifications ont été effectuées sur le terrain.

Les principaux résultat de ce travail sont:

- l'élaboration d'une carte de formations superficielles au 1:7500 qui a précisé les cartes existantes. La carte géologique a été affinée: précision des limites de la plaine alluviale, cartographie de nombreuses dolines, de nombreuses failles, contestation d'affleurements molassiques et précision des zones cartographiées comme éboulis.
- une interprétation en termes de géodynamique externe pour une partie du Val de Ruz en croisant les regards du géographe, du géomorphologue, du géologue. Des outils d'analyse spatiale ont permis de quantifier les caractéristiques morphologiques observées sur le terrain, ainsi que la détection de structures non directement visibles (têtes de bancs, culots de glace morte...) ou encore la mise en évidence d'un grand nombre de dolines (> 1 mètre de diamètre) et d'ouvalas.

Toutes ces données ont été intégrées dans un projet SIG pour permettre une meilleure gestion de l'information et un accès aisé aux données. L'ensemble se trouve sur un DVD annexé.

LISTE DES FIGURES

• figure 1: Image spot du Val de Ruz	p.9.
• figure 2: Formes structurales types d'un relief jurassien	p.9.
• figure 3: Situation de l'arc jurassien	p.10
• figure 4: Carte tectonique de l'arc jurassien	p.11
• figure 5: Profil sur le MNT GTOP30	p.12
• figure 6: Lithologies jurassiennes	p.13
• figure 7: Carte géologique du Val de Ruz	p.17
• figure 8: Données climatiques sur les dernières périodes glaciaires	p.19
• figure 9: Limites d'extension glaciaire würmienne	p.19
• figure 10: Profil topo NW-SE du Val de Ruz	p.20
• figure 11: Minute de terrain de la zone d'étude	p.23
• figure 12: Mesures sur une tranchée à Villiers	p.32
• figure 13: Indications chromatiques sur la nature de la roche	p.36
• figure 14: charte de Folk pour estimer l'abondance des éléments	p.37
• figure 15: Forme des agrégats et principales structures pédiqes	p.38
• figure 16: Estimation de la porosité	p.39
• figure 17: Matériel pour défloculer	p.42
• figure 18: Tamiseuse vibrante	p.43
• figure 19: Système Oriel	
• figure 20: Localisation des points de sondage sur un hillshade	p.49
• figure 21: Représentation du sondage T22	p.50
• figure 22: Représentation ternaire de T22	p.52
• figure 23: Courbes de distribution et de fréquence de T22	p.52
• figure 24: Facteurs de la dynamique des versants	p.54
• figure 25: Panorama du versant Nord de Chaumont	p.55
• figure 26: Représentation de la carotte F25	p.56
• figure 27: Représentation ternaire de F40 et F41	p.59
• figure 28: Courbes de distribution et de fréquence de F40 et F41	p.28
• figure 29: Panorama de la carrière de Sous-le-Mont	p.61
• figure 30: Photo du versant Sud de Dombresson et Villiers	
• figure 31: Photo du fond agricole du Val de Ruz	p.64
• figure 32: Carotte des horizons représentatifs du fond du VDR	p.65
• figure 33: Courbes de fréquence et de distribution relative de T1	p.66
• figure 34: Représentation ternaires de T1 et T26	p.68
• figure 35: Représentation ternaire de T28	p.72
• figure 36: Représentation ternaire de T30	p.75
• figure 37: Courbes de fréquence et de distribution relative de T30	p.75
• figure 38: Ere glaciaire? Photo B. Delacou	p.78
• figure 39: Vue des différentes zones du Val de Ruz	p.79
• figure 40: Photos du versant Nord de Chaumont	p.80
• figure 41: Pied du versant de Chaumont	p.81
• figure 42: Groizes et moraine dans la carrière de Savagnier	p.81
• figure 43: Résumé sur la mise en place des formations superficielles	p.82
• figure 44: Versant en pente douce du fond du Val de Ruz	p.83
• figure 45: Photos du versant sud du Val de Ruz	p.85
• figure 46: Doline dans un pâturage près de la Joux du Plane	p.88
• figure 47: Artefacts identifiés sur le MNT Lidar	p.89
• figure 48: Variation de l'éclairage sur des ombrages	p.91

• figure 49: Ombrage 315/45 du MNT LIDAR	p.92
• figure 50: Carte des pentes de la zone d'étude	p.93
• figure 51: Carte de l'orientation des pentes de la zone d'étude	p.94
• figure 52: Carte des pentes de l'orientation de la zone d'étude	p.95
• figure 53: Courbes de niveau de la zone de cartographie	p.96
• figure 54: Carte de convexité à 10 mètres de la zone d'étude	p.97
• figure 55: Profils IDL sur les données du MNT	p.98
• figure 56: Interprétation de profils en profondeur	p.99
• figure 57: Ouvala dans le vallon du Coty	p.101
• figure 58: Etapes pour la reconnaissance des dolines	p.102
• figure 59: Carte des dolines de la zone d'étude	p.103
• figure 60: Barres calcaires du versant Nord de Chaumont	p.104
• figure 61: Identification des têtes de bancs	p.104
• figure 62: Détection d'une moraine latérale	p.105
• figure 63: Détection d'une moraine frontale	p.106
• figure 64: Failles observées sur la zone d'étude morphologique	p.106
• figure 65: Reconnaissance de familles de failles	p.107
• figure 66: Reconnaissance de talwegs	p.108
• figure 67: Photo de lapiés	p.108
• figure 68: Détection de formes d'accumulation glaciaire	p.109
• figure 69: Détection de culots de glace morte	p.109
• figure 70: Photos des formes caractérisant la plaine alluviale	p.110
• figure 71: Détection de paléo-terrasses et de paléo-chenaux	p.111
• figure 72: Carte synthétique des observations morphologiques	p.112

INTRODUCTION

Ce travail repose sur une analyse des formations superficielles cherchant à dégager un modèle de géodynamique externe pour une partie du Val de Ruz en croisant les regards du géographe, du géomorphologue, du géologue, ainsi que des outils d'analyse spatiale. Cette pluridisciplinarité est nécessaire à l'étude du territoire.

La carte qui en découle est une synthèse esquissant une représentation globale d'un territoire. En effet, les cartes de formations superficielles répondent aux exigences des scientifiques dans leurs recherches sur l'évolution du relief terrestre mais aussi aux demandes des praticiens de l'environnement devant tenir compte des problèmes liés aux formations de surface pour mener à bien des projets d'aménagement territorial.

Une zone cible de 12 km² a été choisie au Val de Ruz selon des critères morphologiques, d'accès à l'information, et de proximité. Cette étude se fonde sur les données topographiques (cartes, MNT), géologiques, hydrogéologiques, climatiques, et de végétation existantes ainsi que sur un travail de terrain comprenant une cartographie thématique, le creusement de trous et fosses et une analyse morphologique complète.

Un travail de laboratoire a été effectué pour quantifier les données de terrain et dégager des modèles de mise en place sur la bases des courbes granulométriques.

Une région plus grande a également été analysée en parallèle sur la base de photographies aériennes et du MNT LIDAR. Différents traitements ont été effectués sur le MNT LIDAR à l'aide des logiciels ESRI™ (Arc Info, Arcview, Arc GIS). Ces calculs permettent de quantifier les caractéristiques morphologiques observées sur le terrain (variation de pente par ex.), ainsi que la détection de structures non visibles sur le terrain.

Les différentes cartes de cette étude ont été réalisées avec les logiciels ESRI puis finalisées avec Illustrator CS® afin de respecter les normes cartographiques du glossaire de Fernand Joly (1997).

L'étude se divise en 3 parties. Une première est dédiée au cadre et aux méthodes employées; une seconde présente les différentes formations superficielles rencontrées et leur mise en place. La troisième est une synthèse morphologique consacrée au traitement des données et à l'analyse morphologique.

En annexe 1 un rapport SIG présente les différentes étapes nécessaires à la réalisation d'un projet SIG et au traitement de MNT.

CADRES ET MÉTHODES

*Il n'a rien qui soit permanent:
le soleil et la lune se lèvent puis se couchent,
au jour clair et transparent succède la nuit sombre et opaque.
Tout change, d'heure en heure.*

Kalou Rinpotché

A. Le cadre régional



1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

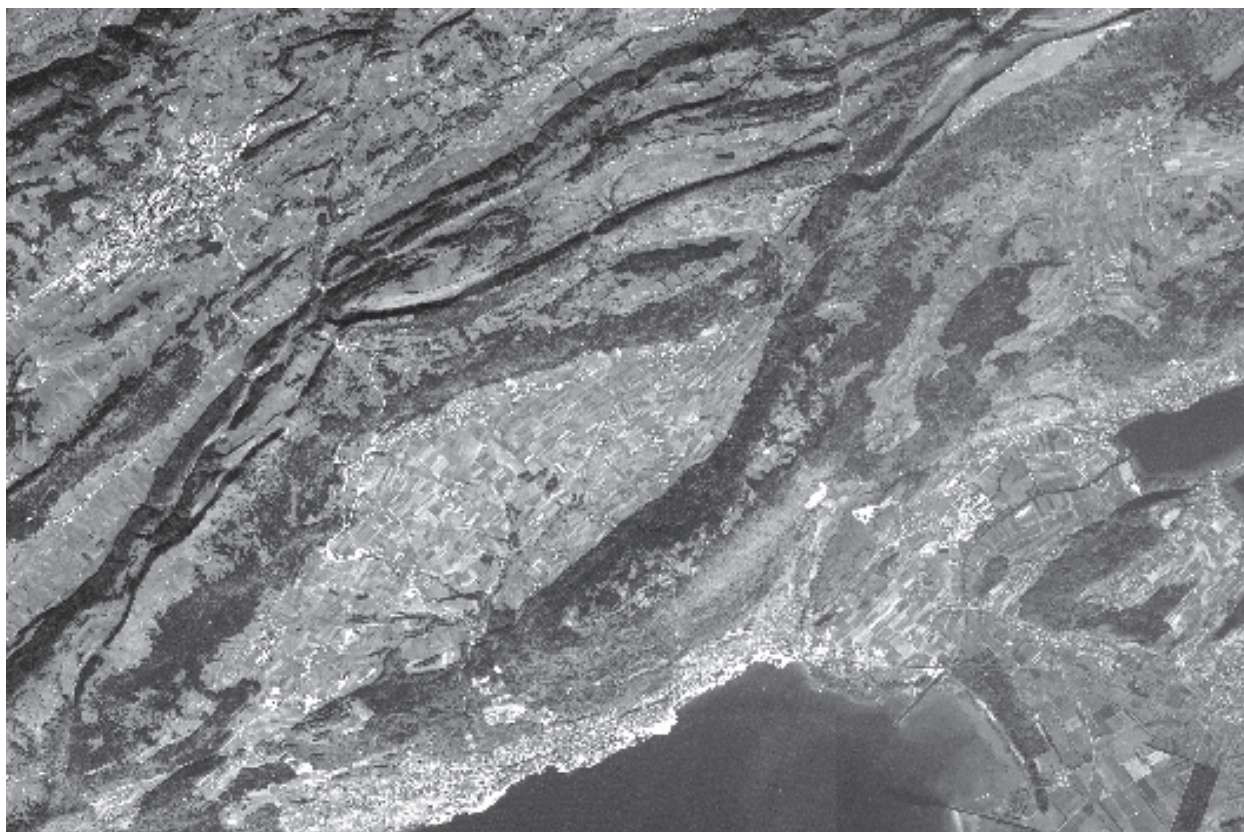


Figure 1. – Image Spot du Val de Ruz.

Le Val de Ruz est une vallée située au cœur du canton de Neuchâtel. L'altitude moyenne y est de 920 mètres, le fond de la vallée se situant entre 730 et 800 mètres d'altitude.

Le district du Val de Ruz comprend 16 communes principalement réparties sur les 2 bords de la vallée. L'agriculture (12% des emplois) façonne 95% des terres du fond de la vallée, les forêts étant reléguées sur les pentes et les crêtes. Il s'agit d'une agriculture intensive mais variée comme en témoignent la belle mosaïque des champs (figure 1). L'activité industrielle est également bien implantée (électronique, ébauches, plastiques). La région possède aussi une très importante fonction résidentielle (30% des actifs quittent le district chaque jour; OFS 2000). Selon l'Institut de Recherches Economiques et Régionales de l'Université de Neuchâtel un taux de croissance de la population de 0.7% devrait se poursuivre au moins jusqu'en 2005.

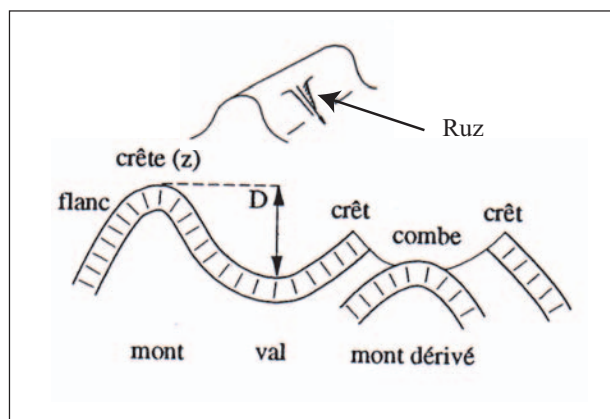


Figure 2. – Formes structurales typiques d'un relief jurassien.

L'étymologie de «Val de Ruz» est typique du relief jurassien (figure 2): un val est une dépression topographique en berceau, coïncidant avec un fond de synclinal, alors que le ruz est un vallon cataclinal taillé dans le flanc d'un mont.

2. GÉOLOGIE

a. Généralités sur le Jura

Le Jura (figure 3) est un arc montagneux édifié à la fin de l'orogénèse alpine, de convexité NW, long de 300 km et large de 65km au maximum. Il est bordé par quatre bassins: la Bresse, le Bas-Dauphiné, le Rhin, et le bassin Molassique. Il représente l'unité déformée la plus externe de l'avant-pays alpin.

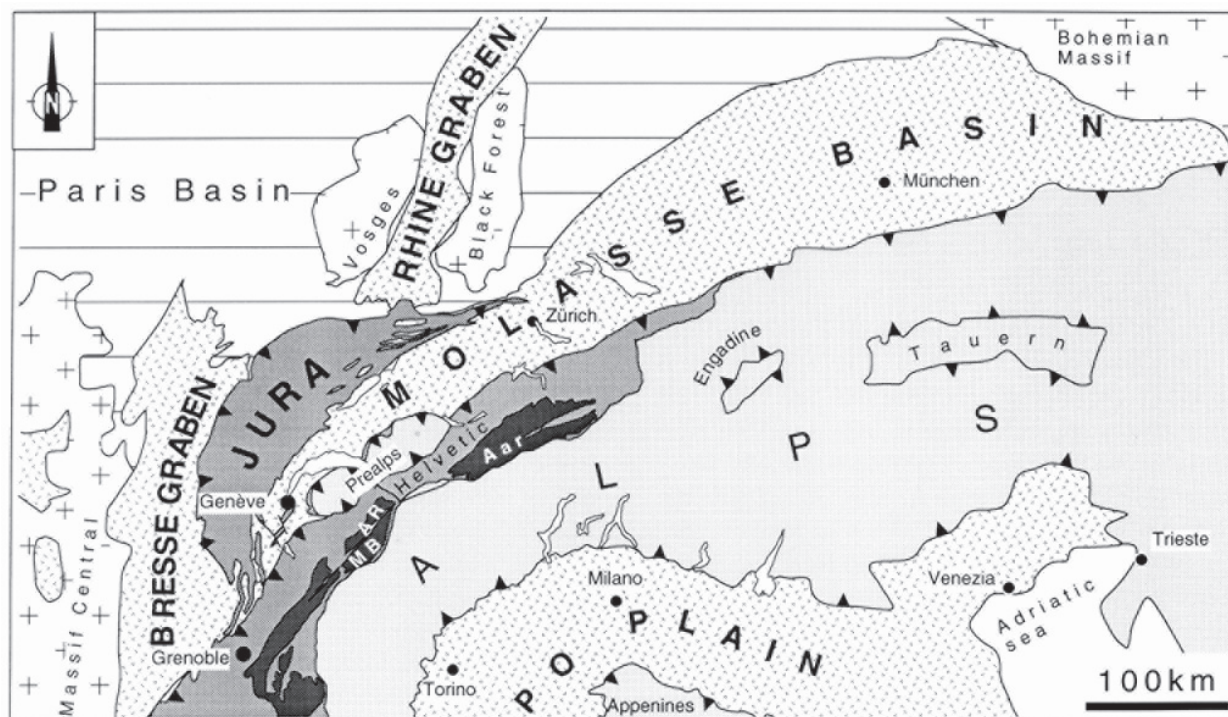


Figure 3. – Situation de l'arc jurassien par rapport aux Alpes et aux bassins sédimentaires avoisinants (grabens du Rhin, de la Bresse, Bassin molassique, Plaine du Pô). (Sommaruga, 1995).

Le Jura, avec sa forme de croissant, commence près de Chambéry (il se raccorde aux unités subalpines au Nord de Grenoble) puis disparaît sous la molasse au nord de Zürich. La partie suisse constitue la partie la plus interne de l'arc.

La chaîne du Jura (figure 4) occupe donc les parties occidentales et nord occidentales de la Suisse et se divise de l'avant vers l'arrière-pays en 3 ensembles: le Jura externe, le Jura interne et les chaînons jurassiens. Cette division est fondée sur les différentes unités structurales acquises par le Jura lors de sa tectogénèse au Miocène Supérieur.

Dans cette étude, nous nous sommes uniquement intéressés au Jura interne plus communément nommé Jura plissé ou Haut-Jura, soit une chaîne d'altitude moyenne dont les plus hauts sommets atteignant 1600 à 1700m d'altitude (Recullet 1720m, Mt. Tendre 1679m, Chasseron 1606m, Chasseral 1606m). Le relief s'adoucit progressivement en direction de la France (figure 5) et l'altitude des différents sommets décroît du SE vers le NW.

Les parois rocheuses sont formées par les calcaires du Kimméridgien. L'âge des séries sédimentaires s'étale du Dogger au Miocène et leur volume est plus important dans la zone interne que dans le Jura externe qui a subi plus d'érosion. Les formations cénozoïques sont parfois préservées au cœur de synclinaux ébauchés précocement.

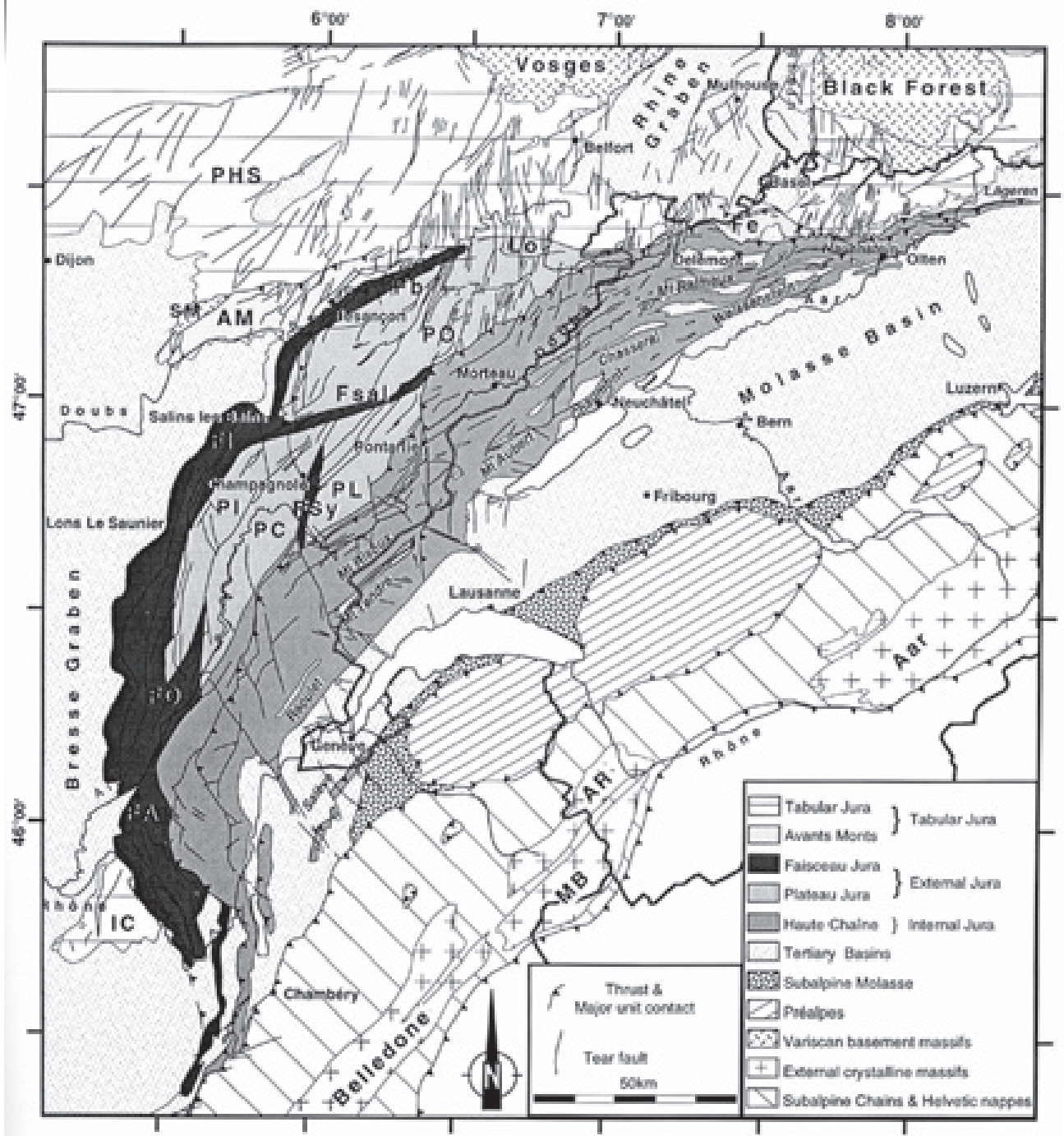


Figure 4. – Carte tectonique de l'arc jurassien avec les unités structurales majeures. Sommaruga (1995).

Les roches du Jura sont de très bonnes roches pour la construction mais sont relativement médiocres pour l'agriculture car monominérales et formées presque exclusivement de calcite. Elles contrôlent bien l'acidité des sols par leur apport de calcium mais n'ont qu'une faible teneur en phosphore et potassium. Leur potentiel de rétention en eau est aussi très faible (karst).

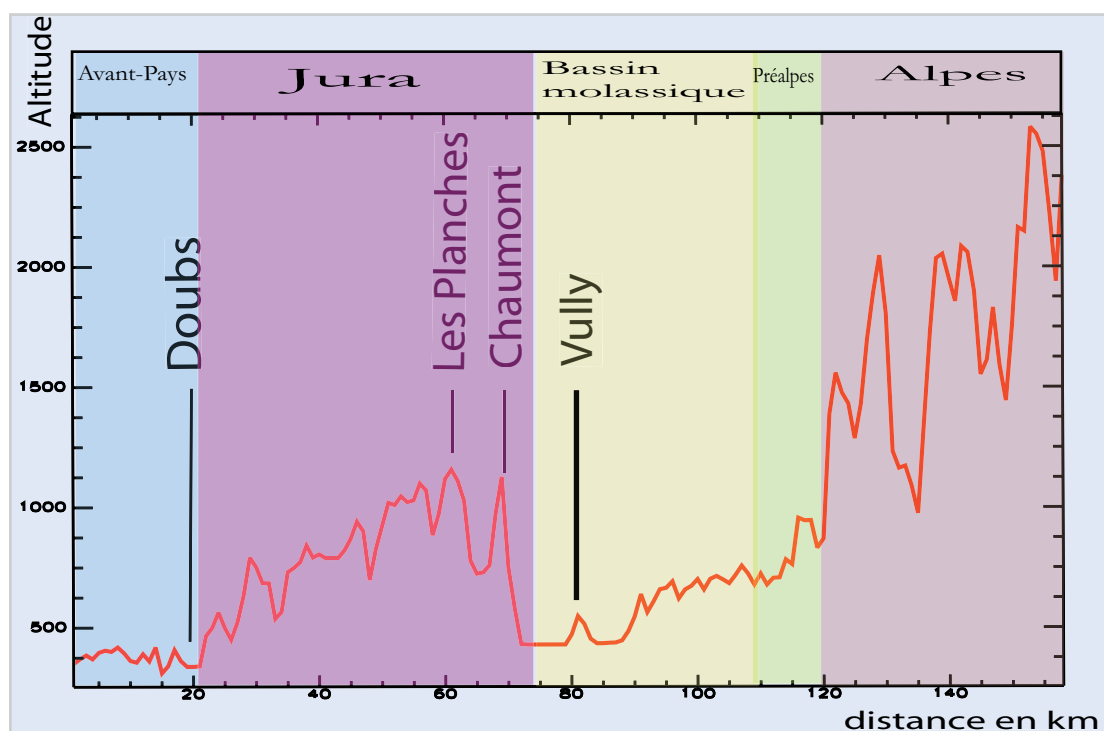


Figure 5. – Profil topographique NW-SE d'après le MNT GTOPO30 à travers le Jura et les Alpes montrant leur relation géométrique avec le bassin molassique.

b. Le Val de Ruz

Le Val de Ruz peut être décrit comme un synclinal joignant deux anticlinaux (les Planches au NW et Chaumont au SE). Le fond du synclinal est rempli d'une importante couverture tertiaire (molasse) et de restes de la moraine würmienne.

i. Les lithologies

Les lithologies (figure 6) affleurantes dans le canton de Neuchâtel ont été déposées pendant le Secondaire et le Tertiaire. Elles sont recouvertes localement par des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires quaternaires.

Les calcaires du Malm couvrent environ la moitié de la surface du canton alors que ceux du Crétacé n'en couvrent guère que 4% (Schaer, 2001b). Ces pourcentages montrent bien l'importance des régions couvertes de dépôts glaciaires ou fluvio-glaciaires rhodaniens qui occupent le reste de la surface.

Dans le Val de Ruz, on observe différentes lithologies.

La couverture quaternaire est composée de moraines, d'alluvions récentes et fluvio-glaciaires. Ces dépôts montrent une très grande diversité pétrographique (roches sédimentaires, métamorphiques et ignées qui proviennent des zones internes des Alpes). La pellicule quaternaire est relativement mince; elle est de taille centimétrique à décimétrique au maximum. Elle présente également un grand nombre de blocs erratiques.

Le Tertiaire se caractérise par des dépôts molassiques oligo-miocènes rarement visibles à l’affleurement car recouverts de dépôts quaternaires. Ils sont formés d’un assemblage de minéraux détritiques: quartz, argiles, feldspaths, carbonates plus ou moins bien cimentés. Cette molasse grès-argileuse comprend aussi localement des niveaux calcaires.

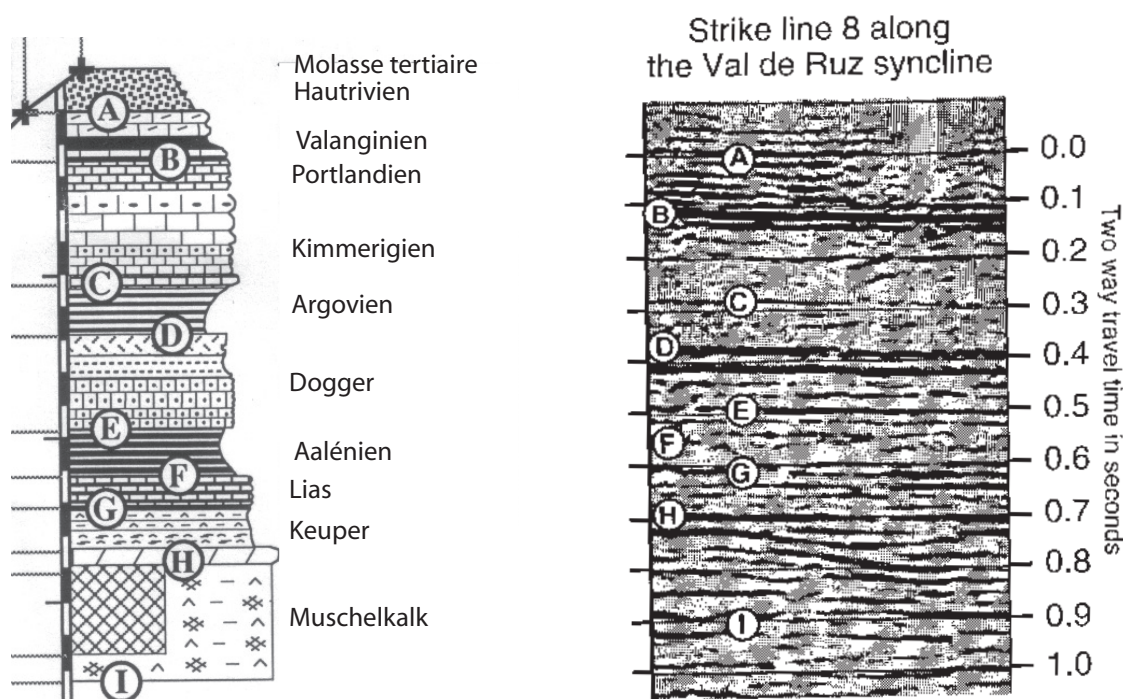


Figure 6. – Corrélation entre les réflecteurs sismiques (échelle verticale en seconde, temps double, à droite) et la colonne stratigraphique simplifiée du Val de Ruz (à gauche). Sommaruga (1995).

L’Hautrivien est constitué de marnes jaunes et calcaires parfois spathiques. Non visibles à l’affleurement dans notre zone d’étude. Couleur jaune ocre à cause d’un pigment limonitique formant des tâches et traînées. Formés en milieu marin par cimentation de sables zoogènes contenant des crinoïdes, des oursins des bryozoaires, des fragments de coquilles et des oolithes. Porosité 10-18%. Epaisseur de 50-70 mètres.

Le Valanginien se caractérise comme un calcaire rouge, roux, spathique. Non visible à l’affleurement dans notre zone d’étude. Les 10-15 mètres supérieurs contiennent des concrétions limonitiques suffisamment riches pour être exploitées comme minerais de fer. En dessous, on a des calcaires mal stratifiés que l’on nomme communément « marbre bâtard » du Berriasien, soit des calcaires multicolores et des marnes.

Le Portlandien regroupe des calcaires et dolomies finement lités. Les roches sont massives, très bien stratifiées et à faible porosité.

Le Kimmeridgien montre des calcaires gris clairs, compacts en bancs plus épais que les autres calcaires du Malm. Contient des niveaux très riches en fossiles comme le bancs à Nérinées.

c. Histoire tectonosédimentaire résumée

Les données générales suivantes sur la formation du Jura sont principalement issues de la thèse de C. Hornberg (1997).

i. la sédimentation mésozoïque

Au Trias, une faible transgression marine sur la pénéplaine hercynienne forme un milieu marin de faible profondeur. Ces dépôts représentent une succession de type germanique: grès inférieurs, niveau dolomitique moyen et marnes irisées à évaporites supérieures qui serviront plus tard de niveau de décollement lors du plissement du Jura.

Le Jurassique est caractérisé par des calcaires et des marnes de transgression marine: Lias marneux avec intercalations calcaires riches en matière organique, Toarcien marneux, Aalénien caractérisé par des faciès oolithiques et à débris du Bajocien supérieur.

Le Callovien est caractérisé par des calcaires oolithiques ferrugineux. Puis une émergence finijurassique (Parriaux, 1974) explique l'absence de formations de l'Oxfordien Inférieur dans le Jura interne.

A l'Oxfordien moyen, la sédimentation est réduite à des alternances marno-calcaires et des calcaires à silex.

Au Kimmeridgien la plate-forme carbonatée envahit à nouveau la région et donne des faciès de milieu protégé. Le Portlandien est caractérisé par une sédimentation littorale et ce jusqu'à l'érosion purbeckienne.

Les faciès du Crétacé sont marqués par des oscillations du niveau marin: transgression au Berriasien moyen des dépôts oolithiques et bioclastiques, marno-calcaires ou calcaires, puis hautriviers qui se constituent essentiellement de marnes. A la fin du Crétacé on a une émergence générale due à l'accélération des mouvements alpins.

ii. La sédimentation cénozoïque

Dès le Tertiaire une sédimentation de type continental apparaît, liée à de forts taux d'érosion dans les Alpes en cours de formation. L'Eocène est caractérisé par des manifestations érosives et karstiques. Sur les calcaires, le Tortonien inclut des argiles résiduelles appelées Sidérolithique. Les dépôts oligocènes sont des calcaires lacustres, des conglomérats calcaires, et des marnes finement gréseuses visibles dans certains synclinaux de la Haute Chaîne. Au Miocène une transgression marine due à la flexure lithosphérique sous le poids de la chaîne alpine entraîne le dépôt de molasses marines également préservées dans les synclinaux les plus internes. Au Tortonien (Miocène supérieur) les conditions deviennent lagunaires puis continentales, et des séries lacustres se déposent. Des argiles résiduelles rouges à chailles se déposent sur les parties émergées et traduisent la mise en place d'une surface d'érosion progressant vers le Nord. Au Pliocène, l'érosion se poursuit et des dépôts fluviatiles à galets siliceux se trouvent par endroits.

iii. Le Quaternaire

Cette période est caractérisé par plusieurs récurrences glaciaires (figure 8) et une sédimentation de type glaciaire ou périglaciaire. Lors de la dernière glaciation (Würm), le glacier du Rhône s'étendait du Valais jusqu'au delà de Soleure. Dans le canton de Neuchâtel, il atteignait environ 1000 mètres d'altitude et pénétrait dans le Val de Ruz et le Val de Travers. Puis le réchauffement climatique holocène a entraîné un retrait progressif du glacier qui a laissé de nombreux dépôts: blocs, moraines, sables et farines. Ces dépôts ont été partiellement érodés et transportés vers l'aval pour combler le lac de Neuchâtel et édifier les deltas de l'Areuse et du Seyon mais il reste beaucoup de blocs erratiques disséminés sur tout le territoire. Ces dépôts se sont mis en place lors de la déglaciation de la fin du Würm entre 15'500 et 12'000 BP (Arn, 1992).

iv. Le décollement de la couverture, son charriage et ses déformations

Le niveau de décollement est situé dans les évaporites du Trias; il s'agit d'un décollement continu se prolongeant sous le Bassin Molassique qui fait du Jura une chaîne de couverture typique (fold and thrust belt). L'ensemble de l'avant-pays alpin en avant des massifs cristallins externes (Aar, Mont Blanc, Aiguilles Rouges) a été décollé et transporté vers le NW.

Le plissement est d'âge Miocène supérieur et accompagné de chevauchements et de décrochements. Les couches du Jura Externe sont sub-tabulaires et très peu déformées alors que le Jura Interne est plissé (suite de synclinaux et d'anticlinaux), découpé par de nombreuses failles pluri-kilométriques. La vergence de la plupart des chevauchements est dirigée vers l'avant-pays; ils se sont formés en séquence prograde (Burkhard, 1990) et localement on trouve des rétrochevauchements.

Les plis sont étroitement liés à ces chevauchements (plis de propagation de rampe). Les rampes de chevauchement peuvent émerger en surface ou non (chevauchement aveugle). On rencontre aussi beaucoup d'accidents décrochants dans le Jura Interne dont la plupart sont senestres. Il existe aussi une série de décrochements dextres conjugués mais ils sont de moindre ampleur. Ces décrochements sont contemporains à postérieurs aux chevauchements et sont liés au plissement du Jura.

v. Etapes de la structuration du Jura

L'individualisation des différentes unités de l'avant-pays alpin commence au Paléogène. Au cours de l'orogénèse pyrénéenne, le Jura appartient au domaine stable de la plate-forme ouest-européenne qui est soumise à un régime décrochant avec axe de compression maximal N-S.

A l'Oligocène survient le rifting ouest-européen, soit un épisode distensif qui n'affecte que localement le Jura qui est alors une zone de transition entre des bassins subsidents (Bresse et Rhin), se trouvant sur le bombement de la plaque européenne. La zone est surtout soumise à une érosion intense.

Puis au Miocène, lié à la poursuite de l'orogénèse alpine, le régime devient compressif NW-SE et décolle tardivement l'ensemble de la couverture méso-cénozoïque du Bassin Molassique et du Jura de son socle et la déplace sur les niveaux plastiques du Trias. Cela provoque une déformation intensive par plissements et chevauchements datée du Miocène Supérieur. L'essentiel de la

structuration du Jura se fait donc à cette époque; il n'y aura ensuite plus que des déformations locales. On trouve aussi dans la littérature quelques indices de déformations quaternaires (Rampnoux, 1981; Becker, 1989 et 2000).

d. Carte géologique au 1:10 000

Notre carte (figure 7) a été réalisée sous Arc View sur la base de la carte géologique du Val de Ruz au 1:25 000. Les courbes à 2 mètres viennent du MNT LIDAR . La carte a été complétée par des observations de terrain et surtout une analyse du MNT à 1 mètre. En annexe E on trouvera la carte lithologique au 1: 25 000 de M. Bouzelboudjen.

e. Hydrologie

Le Seyon est le cours d'eau majeur traversant le Val de Ruz. Il possède une hydrologie karstique. Grâce à une géologie calcaire, des possibilités de résurgences, et de nombreuses failles, une circulation de type souterraine importante est permise, qui favorise de nombreux échanges entre les eaux de surfaces et souterraines.

Les sources du Seyon sont à 836 mètres d'altitude au pied du versant nord de Chaumont. Le cours d'eau traverse le Val de Ruz sur 12.6 km avant de se jeter dans le lac de Neuchâtel. Son bassin versant atteint 3700 ha soit 40 km² environ de champ collecteur (Laroche, 2002).

Le Seyon draine les eaux superficielles de la vallée alors que les eaux profondes sont récoltées par la Serrières. Les 2 cours d'eau sont séparés par une couverture tertiaire (molasse) et de la moraine argileuse. Le cours du Seyon a été très fortement aménagé au niveau de notre zone d'étude.

i. Régimes hydrologiques du Seyon

A débit moyen, l'eau coule en continu avec une hauteur de 15 à 40 cm. En période d'étiage (période estivale) le débit est inférieur à 0.20 m³/s. Les périodes de crues ont entraîné de nombreuses modifications du tracé du cours d'eau. Mais aujourd'hui encore, une heure de pluies estivales fait monter le cours d'eau de 25 à 30 cm, lui conférant un débit de plus de 0.60 m³/s. Les crues du Seyon sont aussi parfois accentuées par le débordement du bassin de la Serrière.

Pour améliorer le rendement agricole, un réseau de drains a été installé sous les champs à cause de la faible perméabilité du sol. Ce réseau quadrille le fond de la vallée à raison d'un collecteur tout les 2.5 mètres qui rejoint ensuite le Seyon. Autre aménagement majeur, la construction de nouvelles STEP (stations d'épuration) afin d'améliorer la qualité des eaux qui était devenue alarmante ces dernières années (Laroche, 2002).



Figure 7. – Carte géologique du Val de Ruz d’après la carte géologique au 1:25000, modifiée grâce aux données du MNT et aux observations de terrain.

3. LE CADRE CLIMATIQUE

a. Climat actuel

«Le pays de Neuchâtel appartient à la zone climatique tempérée avec un climat de type lorrain, caractérisé par une grande régularité des précipitations bien réparties au cours de l'année. Ce type climatique donne des été pas très chauds et des hivers moyennement froids. Mais les températures varient beaucoup en fonction de l'altitude ce qui fait que les vallées de moyenne altitude et les montagnes neuchâteloises ne correspondent plus vraiment aux critères du climat lorrain » (Pancza, 2002).

i. Précipitations, nature et durée

Nos données proviennent des stations pluviométriques de Boudevillers (750m) et de Chaumont (1150 m). Entre 1980 et 2000, les précipitations annuelles moyennes varient entre 1150 et 1400 mm dans les vallées; sur les hauteurs on a environ 20% de précipitations en plus.

On compte 140 à 150 jours de précipitations relativement abondantes bien réparties sur l'année. En été, les orages peuvent être violents. En hiver les précipitations sont étroitement liées à l'altitude.

Sur les 150 dernières années les précipitations neigeuses dominent de novembre à avril. Mais la moyenne chute considérablement sur les 10 dernières années probablement en corrélation avec le réchauffement climatique.

ii. Température (Cernier)

Dans la vallée et les hauteurs, les températures ne sont pas particulièrement tempérées. Les hivers sont généralement longs accompagnés de grands froids. On observe un lien direct entre chutes de neige et basses températures. A Chaumont, sur une étude de plus d'un siècle montre que la température moyenne est de 7.5°C alors qu'à Neuchâtel elle est de 9.5°C. Une évolution des températures vers la hausse est toutefois constatée depuis la fin des années 80 (Pancza 2002).

iii. Vents

Les vents NE, E et N communément appelés «bise» sont fréquents. Hiver et printemps sont les périodes les plus ventées et on constate de grands écarts d'une année à l'autre. Nous ne discuterons pas ici les vents et brises locaux car ils ne concernent pas les vallées et hauteurs du canton.

b. Paléoclimats quaternaires

La figure 8 illustre les variations de température liées aux principales glaciations.

L'existence d'une calotte glaciaire autochtone sur le Jura est aujourd'hui admise (Arn, 1992; Aubert, 1986). Au maximum de la dernière glaciation, une partie du Jura était recouverte d'une calotte locale, bloquant par endroits la pénétration du glacier du Rhône. Des preuves de l'existence de cette calotte dans la vallée de la Sagne et de la Brévine ont été apportées par Aubert et Arn.

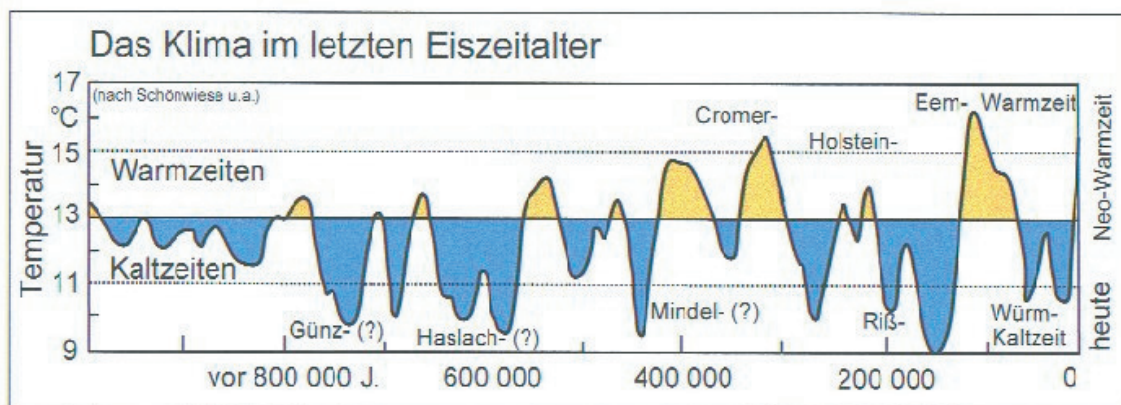


Figure 8. – Données climatiques sur les dernières périodes glaciaires: - courbe de température. Schlüchter (2000).

Au cours des 2 dernières phases d'avancée glaciaire (Riss et Würm) une langue (glacier du Rhône) en provenance de la calotte alpine a recouvert tout le bassin molassique et la pénétré dans certaines vallées jurassiennes (Val de Ruz, Val de Travers).

Ces langues glaciaires terminales ont avancé et reculé à plusieurs reprises, modelant la région par le dépôt de formations glaciaires et périglaciaires. Les vestiges de l'extension Riss sont aujourd'hui encore très discutés, l'extension würmienne est mieux documentée (figure 9).

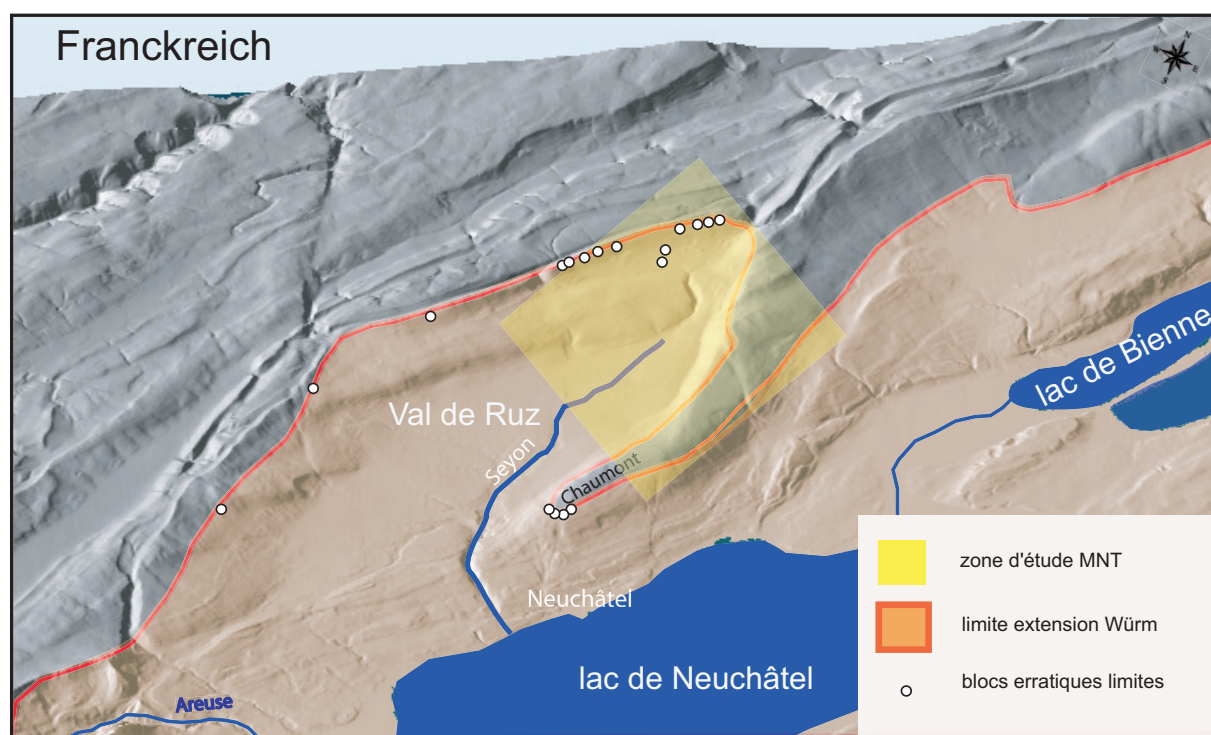


Figure 9. – Carte des limites de l'extension glaciaire würmienne et de la calotte jurassienne. Modifiée de Aubert 1965.

4. PÉDOLOGIE

A notre connaissance aucune étude de sols n'a été menée au Val de Ruz. Les seules informations dont nous disposons proviennent de quelques analyses du réseau KABO de protection des sols.

Le fond de la vallée (lit du Seyon et plaine d'inondation) est une ancienne zone marécageuse asséchée. Les sols y sont bruns homogènes et très riches en matière organique.

Les cartes de Aubert (1969) sur les limites des glaciations nous indiquent la présence par endroits d'accumulations morainiques argileuses au fond du Val de Ruz mais grâce à nos résultats de sondage nous optons plutôt pour un plaquage morainique continu sur tout le fond de la vallée.

5. LE RELIEF

« Dans les montagnes, sur les anticlinaux, le sous-sol rocheux est constitué soit par des marnes, soit par des calcaires. Ces derniers, forment des crêts escarpés ou le substratum est souvent affleurant. Lorsque les niveaux marneux dépassent quelques dizaines de mètres d'épaisseur, ils conduisent à la formation de replats allongés, qui, au cours du temps, et avec l'augmentation de leur puissance évoluent en combes longitudinales. Souvent dégagées de leur couverture forestière par défrichage, elles sont fréquemment relayées par des pâturages installés sur les voûtes calcaires» (Schaer, 2001).

La combinaison de la morphologie et de la présence de prairies permet donc souvent de déduire le substratum géologique.

En observant le relief, on peut diviser notre terrain d'étude (figure 10) en 5 ensembles:

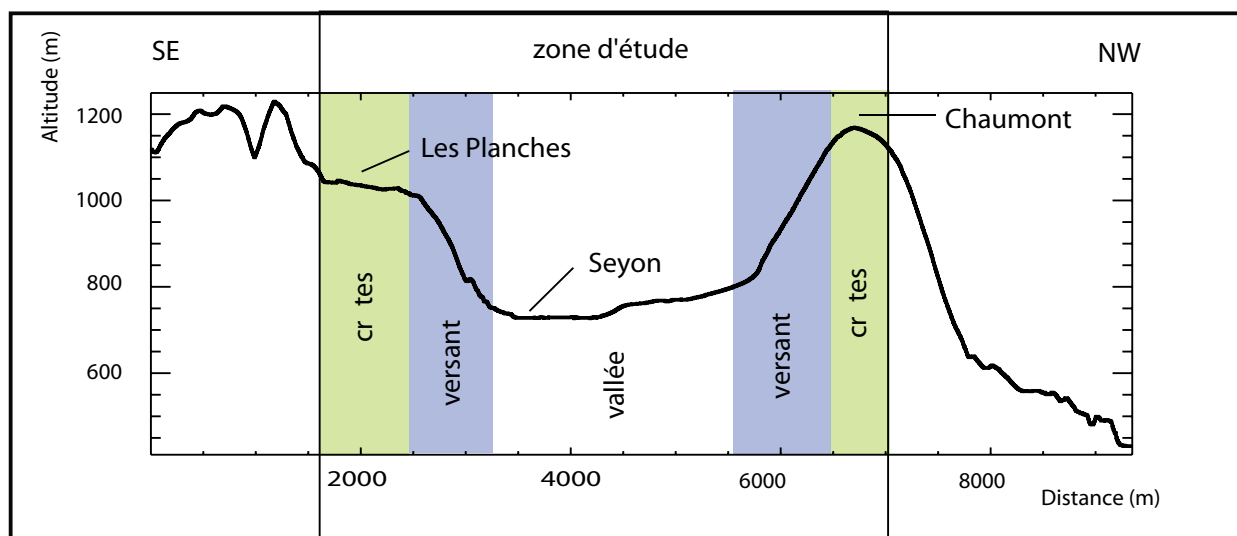


Figure 10. – Profil topographique NW-SE du Val de Ruz mettant en évidence la structure en coupe de la zone d'étude.

La vallée:

le fond du Val de Ruz est occupé par la plaine alluviale du Seyon. Puis, une pente douce est entaillée de quelques petits talwegs en direction du NE.

Les versants:

- versant SW de pente inférieure à 30°, très régulier, modelé par une alternance de niveaux marneux et calcaires;

- versant NE de forte pente, le bas du versant correspond à une masse importante d'éboulis constitué pour la majeure partie de groizes.

Les crêtes:

- Au SW, ce sont des zones de pâturage avec une forte empreinte karstique (abondance de doline) et bon nombre de blocs erratiques.
- Les Crêtes de Chaumont sont beaucoup moins marquées par l'empreinte glaciaire.

6. LA VÉGÉTATION

a. Historique sommaire

Jusqu'à l'époque romaine, le paysage était presque entièrement recouvert de forêts. Le défrichage a commencé dans des régions favorables à l'agriculture comme le fond du Val de Ruz. La forêt a été conservée sur les pentes et en altitude, les roches calcaires n'y étant recouvertes que d'un maigre sol.

Bien que 90% du territoire soit recouvert de hêtraie, paysage jurassien typique entre 700 et 1500m (Theurillat, 1985), il convient pour notre zone d'étude de différencier les ensembles suivants:

- Le fond du Val de Ruz qui correspond à un paysage de prairie à fromental (*Arrhenatherion elatioris* et *Cynosurion cristati*), de pâturages gras (*Molinio-Arrhenathretea*) et, de cultures. On compte aussi nombre d'arbres isolés, des bosquets et quelques restes de forêt. Mais la plupart des haies et bosquets ont disparu pour cause de mécanisation de l'agriculture. Les lisières sont nettes, sans groupements arbustifs.
- Les versants correspondent à un paysage de hêtraie à sapins descendant jusqu'à 600 m sur le versant NE et 800m sur le versant SW. Ce paysage est typique de forêts productives au fut des arbres droits avec peu de buissons en sous-strate. Le versant sud-ouest est partiellement recouvert de hêtraies à sapins mais on y rencontre aussi un paysage de hêtraie thermophile à orchidées.
- Les crêtes rocheuses, les falaises et les éboulis ont aussi une végétation typique. Si l'exposition est nord, on rencontre une paroi rocheuse avec un crêt à son sommet et un éboulis à son pied. Les éboulis sont caractérisés par les groupements de *Petasition paradoxo* et de l'*Arabidion caeruleae*. Au pied des parois on trouve des érablières, du *Luario-Acerion*, la pessière à *hylocomium* et du *Piceion excelsae*. Si la pente est marneuse comme dans le versant S-W on trouve une pinède à calamagrostide, du *Molinio-Pinion* ou la hêtraie à ifs.
- A partir de 1200-1300 m sur les versants sud et 1000-1200 m sur les versants nord, la hêtraie à sapin cède la place à la hêtraie à érable qui correspond à un climat plus rude et plus humide. Les arbres sont recourbés, branchus, cassés (enneigement et vent plus importants). Les groupements typiques sont *Acerenion pseudoplatani*. La partie inférieure de cette zone se mélange avec les groupements typiques de la hêtraie à sapins. Les clairières sont le domaine des hautes herbes.

b. Végétation et activité humaine

Le paysage naturel a aujourd'hui disparu du canton. La substitution a eu lieu entre le Moyen-âge et la fin du 17^{ème} siècle. Les paysages naturels du fond du Val de Ruz se sont transformés en zones de cultures, les différents paysages de hêtraie ont été réduits et l'exploitation forestière (taillis, coupes rases, enrésinement) les a énormément transformés. Le paysage des falaises et des crêtes rocheuses est le seul encore à peu près intact (Theurillat, 1985).

L'activité humaine a engendré un réel appauvrissement de la végétation qui est frappant même sur moins d'un siècle. En effet en 1900 il y avait 177 associations végétales et groupements dans le canton. Sur ce nombre, 18 ont disparus, 45 sont menacées, 66 sont devenus rares, et 35 fragiles (Theurillat, 1985).

Ces constats ont entraîné une réaction des pouvoirs publics: depuis 1993 l'ordonnance fédérale sur les contributions écologiques demande à tous les agriculteurs pratiquant la PI (production intégrée) de laisser 7% de leur SAU (surface agricole utile) au système de compensation écologique. Mais un véritable réseau écologique au Val de Ruz (REV) ne s'est créé qu'après l'entrée en vigueur de la nouvelle politique agricole (2002).

Le résultat fut la création d'un espace d'environ 38 km² au fond de la vallée pour lutter contre la diminution de la disparité végétale et biologique. Il se traduit par des SCE (surfaces de compensation écologique) sous forme de prairies extensives bordant notamment les canaux. Ces surfaces recouvrent aujourd'hui 7% du Val de Ruz.

Le Val de Ruz compte environ 200 exploitations agricoles d'une moyenne de 28.6 ha. La surface agricole se divise ainsi: pâturages 20%, prairies permanentes 36%, prairies artificielles 16%, cultures céréalières 20%, autres cultures 7% (source OFS). Nous avons donc des polyculteurs-éleveurs entre 700 et 900 mètres et des éleveurs de montagne en dessus de 900m car les cultures de plein champ ne sont plus rentables.

c. Carte (minute) de l'utilisation des sols

Au regard des informations énoncées ci-dessus, il nous a paru pertinent de réaliser une minute de l'utilisation des sols (figure 12). Cette première étape permet de bien cerner la zone d'étude et aide au choix des transects qui permettront l'étude des formations superficielles.

Cette carte représente les différents types de végétation, les zones d'habitations et toutes les infrastructures routières, les carrières, les zones naturelles protégées appartenant au REV, les exploitations agricoles ainsi que tous les terrains dédiés à l'agriculture.

Pour les terrains agricoles, une distinction a été faite entre zones labourées et les prairies à pâture jamais labourées. En effet les machines agricoles engendrent une semelle de labour épaisse de 40 cm au maximum dans laquelle aucune structure du sol n'est préservée.

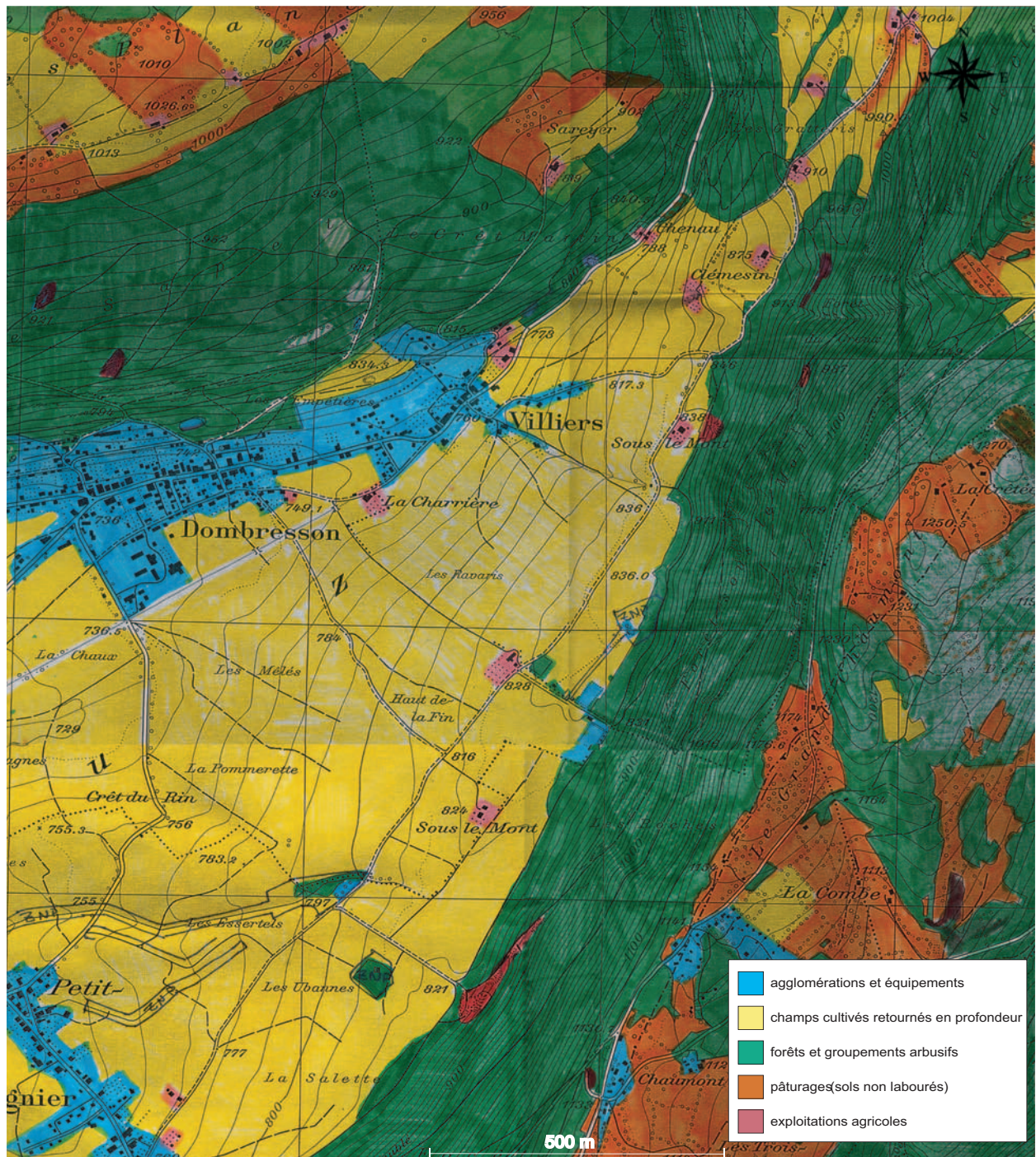


Figure 11. – Carte de l'utilisation des sols. Etape préalable à la réalisation de la carte de formations superficielles au Val de Ruz.

B. Méthodes



1. ETUDE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

a. Définition

Dans la littérature, le concept de formations superficielles est encore une notion relativement floue, chacun proposant sa définition. Mais depuis quelques années le glossaire de géomorphologie de F. Joly (1997) tend à s'imposer. Nous nous sommes partiellement fondés sur cet ouvrage pour notre étude.

Les formations superficielles sont assimilables à des sols au sens pédologique du terme mais peuvent devenir après immobilisation et fixation par le bios, des roches-mères pour des sols développés secondairement à leur surface. Leur épaisseur est d'ordre décimétrique à décamétrique.

Elles représentent des formations continentales meubles ou secondairement consolidées. Si elles sont le produit de l'altération chimique ou biochimique, elles forment des altérites dont la composition peut être très différente de la roche d'origine. La désagrégation mécanique de roches pré-existantes produit des clastites dont la composition minéralogique et chimique est la même que celle de la roche initiale. Il y a aussi des formations anthropiques par remaniement, déplacement ou dépôt artificiel de formations naturelles (terrassement, talus, remblais, terrils, déchets).

Les formations superficielles peuvent soit rester en place sur leur roche-mère (substratum origine): elles sont alors autochtones. Elles peuvent aussi transiter sur un versant (substratum support) sous l'action de la gravité, du ruissellement diffus, de la solifluxion (formations subautochtones ou colluvions). Enfin, elles peuvent être déplacées, dispersées, remobilisées, remaniées par des agents dynamiques de transports: rivière (alluvions), glacier, vent; ce sont alors des formations allochtones.

Les formations superficielles peuvent être actuelles ou héritées (témoin de paléotopographies, paléodynamiques, paléoenvironnements). Elles aident à la compréhension de l'évolution du relief terrestre. Un grand intérêt doit être porté à leur épaisseur, leur situation par rapport au substrat géologique et à leur rapport avec les formes géomorphologiques.

On peut les considérer comme: descripteurs de l'évolution et de l'histoire du relief, roches-mères de sols, support de végétation et de construction, matériau exploitable pour les travaux publics et de l'industrie, matière première de la production agricole ou encore comme des sites d'anciennes implantations humaines.

b. Cartographie

La représentation cartographique des formations superficielles doit employer un vocabulaire précis et des codes couleur spécifiques. Comme dit précédemment, le glossaire de géomorphologie de Joly (1997) tend à s'imposer comme la norme de référence et nous l'avons respecté pour notre carte de formations superficielles. En annexe F, on trouvera une légende de notre carte mais, par souci de précision, d'uniformisation des méthodes nous avons choisi de présenter dans les paragraphes suivants les différentes informations qui composent une telle carte et la manière de

Les plages correspondant au fond de carte (lithologie) sont représentées avec des teintes ou des trames faibles (20-40%).

Les formes du terrain et les formations superficielles sont représentées par des teintes pures (100%) pour les figures au trait ponctuelles ou linéaires, et des aplats en teinte forte (80-90%) pour les figures zonales.

iii. La topographie

La carte topographique est un fond de carte indispensable. Elle permet de se repérer et d'effectuer de nombreuses mesures. Nous avons employé le fond de carte au 1:5000 fourni par l'Office Fédéral de la Topographie.

Des valeurs de pente peuvent faire fonction de seuil pour la géomorphologie dynamique. Il convient de différencier les pentes inférieures à 10°, comprises entre 10 et 30° et supérieures à 30°.

Les versants

Il est important de s'intéresser à leur forme (convexe, concave, convexo-concave), à la forme des ruptures de pente, de marquer les ressauts, replats, escarpements et talus qui sont importants pour la compréhension des différentes formes et formations.

Les vallées

La forme des vallées est aussi un indice important de même que la localisation des talwegs et des dépressions.

Toute surface remarquable doit aussi être mentionnée; elles peuvent être planes, horizontales, inclinées, plus ou moins étendues. Il faut les qualifier d'un adjectif évocateur de leur genèse et de leur évolution. On distinguera notamment: surface structurale (surface correspondant au toit d'une couche résistante), surface d'érosion (surface d'aplanissement qui recoupe les structures existantes), surface de remblaiement (surface constituée par le toit d'une formation meuble d'accumulation; alluviale par ex.), surface remarquable indifférenciée, plateau et plaine aux différentes échelles de l'étude.

iv. L'hydrographie

L'hydrographie, au sens propre, concerne tout ce qui se rapporte au levé et à la représentation des eaux, des réseaux fluviaux, des glaciers, des lacs, des côtes et des fonds marins littoraux. Les réseaux hydrographiques sont les témoins de l'importance de l'évolution dynamique d'une région parce qu'ils localisent l'activité présente et passée des cours d'eau et parce que leur conformité ou non conformité avec la structure profonde est un élément capital d'analyse des évolutions de longue durée. L'hydrographie continentale est traitée en bleu clair.

Il est nécessaire de différencier les différents types d'écoulement, la forme des lits des cours d'eau et des berges, identifier les bassins-versants, s'intéresser aux eaux souterraines et donc aux sources. Notre étude se déroulant dans le Jura une attention particulière a été accordée à l'hydrologie karstique.

v. La tectonique

Sur une carte de formations superficielles, on ne figure en général que les accidents tectoniques majeurs qui guident ou expliquent directement les formes de terrain ainsi que les dislocations majeures du bâti structural. La couleur employée est le gris. Les pendages, par souci de lisibilité, sont regroupés en 4 catégories: horizontal (0-5°), faible (5-45°), fort (45-70°), vertical (70° et +). les directions sont indiquées par de simples flèches quand cela est nécessaire.

vi. Les lithologies

Les formations lithologiques se différencient sur les cartes par des trames ou des poncifs de la couleur bistre claire car elles appartiennent aux domaines morphostructuraux. On emploie une teinte plus forte pour les roches les plus résistantes. Selon l'échelle ou le degré de détail auquel on souhaite parvenir, on utilisera les couleurs seules ou des figurés zonaux en surcharge (négatifs ou positifs) sur la couleur, ou des indices-lettres en gris.

Les roches sédimentaires compactes (bistre clair P472)

On regroupe ici les roches carbonatées, les calcaires qui engendrent un type particulier de modelé: le relief karstique. On distingue les calcaire massifs ou lités, en plaquettes, coquilliers, à lumachelles, à entroques, oolithiques, gréseux, les travertins et tufs calcaires On distingue aussi les marnes et les faciès mixtes tels les calcaire silicieux, marneux, les conglomérats, les brèches et les formations hétérogènes (en négatif granulométrique sur la couleur teinte faible) comme la molasse (représentée par ses composants ou synthétiquement par une surcharge positive de hachures en teinte neutre (brun foncé P470) sur la couleur aplat, teinte faible).

Les roches meubles (bistre clair P472)

Les roches meubles sont des roches ou des formations composées de fragments détritiques libres mais possédant collectivement des propriétés géomorphologiques originales. Infiniment déformables elles ont tendance à s'écouler comme un liquide et à occuper tout l'espace qui leur est offert (fond de vallées, dépressions). Leur résistance est faible devant les forces géodynamiques de mobilisation et de dispersion. Mais cette force est variable selon leur granulométrie, leur composition, leur constitution chimique et leur altérabilité, l'humidité du climat et les conditions de circulation de l'eau.

Dans la classe des rudites (figuré granulométrique positif sur la couleur teinte faible) on distingue les blocs (> 200 mm), blocaille et cailloutis (60-200 mm), graviers (4-60 mm) et les granules (2-4mm).

Pour les arénites (figuré granulométrique positif sur la couleur teinte faible), on distingue les sables (non différenciés, grossiers, moyens, fins). Pour les lutites (figuré positif sur la couleur teinte faible) il convient de distinguer les limons (grossiers ou fins) et les argiles.

Les roches plastiques

Elles conservent les traces de la déformation et se déforment même sous l'effet de forces plus discrètes, telles que gravité. On regroupera ici les argiles (plastique, kaolin, calcaire).

vii. Domaines morphostructuraux

Les domaines morphostructuraux sont des unités de dimension continentale ou régionale. On les individualise sur les cartes par des plages colorées spécifiques et par des associations de formes structurales. A grande échelle, on peut employer des trames et des figurés complémentaires pour moduler la couleur de base.

Formes structurales

Il s'agit de formes de relief déterminées dans un domaine morphostructural donné par la tectonique et/ou l'action différentielle des agents d'érosion sur des roches d'inégale résistance. On emploie une couleur neutre et forte (brun foncé P 470).

Dans les structures horizontales, il convient de distinguer: les corniches ($> 35^\circ$), les talus ($20-35^\circ$), les coteaux, les avant-buttes, les replats structuraux, et les plate-forme structurales.

Pour les structures monoclinales (couches concordantes inclinées dans un seul sens avec un pendage modéré, $5-45^\circ$), les formes structurales sont dissymétriques offrant des versants en pente forte (à contre-pendage) et des versants en pente plus douce (conformes au pendage). On différencie: pente cataclinale, pente anaclinale, pente orthoclinale, escarpement monoclinale, front, revers, cuesta, butte-témoin, avant-butte, dépression orthoclinale.

Il est aussi très important de remarquer les structures plissées de type jurassien telles: mont, val, mont dérivé, ruz, cluse, crêt, combe, hog-back (crêt à fort pendage, $45-70^\circ$), et chevrons.

Pour les structures faillées, on notera les escarpements de faille, les facettes, les zones de broyage, les escarpement de ligne de faille, et la vallée de ligne de faille. Dans les structures discordantes, on sépare contact anormal, chevauchement et contact en glaciais.

viii. Les formations superficielles

On les représente par des signes granulométriques en positif dans la couleur de base du système morphogénique qui les a mis en place. Ce système est identifié par analyses physico-chimiques, l'étude de la texture, de la minéralogie, des figures de sédimentation et du mode de gisement.

Quand une formation superficielle se compose de plusieurs phases granulométriques mélangées, on l'indique en ajoutant l'initiale des 2 premières par ordre d'importance.

Genèse

La genèse et les processus de préparation du matériel des formations superficielles à partir de la roche mère originelle. Les signes viennent en surcharge sur le figuré de la roche mère ou de la formation résultante dans la couleur du système morphogénique impliqué.

On distingue au sein de la fragmentation mécanique (P470, P253, P123, P285), la brisure ou le morcellement des roches provoqué par des variations brusques de leur état physique (tectonique, cisaillement, variations de température ou d'humidité) et par la présence de contraintes de proximité ou de failles. Cela entraîne la formation de clastites.

L'altération chimique produit des altérites.

On différencie aussi la désagrégation granulaire (P583/P285) due à l'action de l'altération météorique et de la destruction mécanique des structures.

Enfin il faut aussi tenir compte des actions anthropiques de terrassement, remblais, constructions, excavations.

Dynamique

Il s'agit d'un processus de mobilisation et de mise en place (ablation, transport, accumulation) décrit dans les parties consacrées aux systèmes morphogéniques et aux domaines géomorphologiques.

Texture (granulométrie)

C'est la dimension des grains meubles à laquelle appartiennent plus de 50% des grains de la formation. Se représente en positif sur la couleur en teinte très faible, indices-lettres en gris. On différencie comme dit précédemment: blocs et blocailles, graviers et granules, sables (non différenciés, grossiers, moyens, fins), limons (non différenciés, grossiers, fins), et argiles.

Epaisseur, profondeur du substratum

Si la roche affleure, l'intensité de sa couleur est maximale, la plage colorée ne porte aucune formation superficielle (Dewolf 1965). Si la roche ou la formation inférieure apparaît entre 5 et 25 cm, on la représente en couleur maximum avec la formations superficielle dessus, si elle apparaît entre 50 et 75 cm, l'intensité de la couleur est moyenne. Au delà de 75 cm elle n'est en principe plus représentée. On indique aussi l'épaisseur reconnue par sondage.

Formations autochtones (vert olive P583)

Il s'agit des formations superficielles demeurées en place sur la roche-mère. Elles constituent une couverture meuble tampon entre le substratum rocheux et l'atmosphère.

Elles sont les témoins des vicissitudes climatiques et paléoclimatiques du site et se cartographient par un dispositif en quinconces de signes représentatifs dans la couleur du système morphogénique originel. On distingue clastites (thermoclastites, hygroclastites, cryoclastites), altérites (argile à silex, à chailles, de décarbonatation) et les profils pédologiques ou profils d'altération définis par référence aux normes de la pédologie (podzol, alios, rendzine, sol lessivé, hydromorphe...)

Formations subautochtones (vert olive P583)

Ces formations sont déplacées sur un versant et s'expriment par un semi de points granulométriques en vrac, éventuellement accompagnés du signe dynamique de transfert dans la couleur du système concerné. On notera: colluvions non différenciées (P583), head (pourpre (P252)), et grèses (litées) (P252).

Formations allochtones

On distinguera les alluvions (vert vif P339 /P285) et les moraines (violet P265).

ix. Les systèmes morphogéniques

Dans un espace donné, l'action des processus d'altération et des agents de transport s'organise en fonction d'une combinaison de facteurs dynamiques et de relations d'interdépendances qui constitue un «système d'érosion» ou système morphogénique. Chaque système est dominé par un agent plus ou moins assisté d'agents secondaires. De plus, les divers agents sont créateurs de familles de formes caractéristiques des systèmes fluviaux, glaciaires, périglaciaires et éoliens.

Le système fluvial (vert vif P339) avec les eaux représentées en bleu clair (P306) repose sur les mêmes distinctions que pour l'hydrologie; mais on s'intéressera aussi aux cônes de déjection, d'épandage, à la plaine alluviale, aux formes et profils, aux terrasses et à leur rebords.

Le système périglaciaire (pourpre P252). Nous nous sommes intéressés (1) à la dynamique éolienne (ocre jaune P123): accumulation éolienne, sable éolien, loess, formation nivéo-éolienne; (2) aux formes d'érosion (pourpre P252): couloir d'érosion polygénique, versant réglé, glacis/ glacis d'érosion, cryokarst, cuvette de dégel; (3) aussi aux formes d'accumulation (P252) telles les éboulis périglaciaires, les tabliers d'éboulis, les cônes d'éboulis ou les groizes.

Pour la dynamique de gélifluxion (pourpre P252) on distingue la gélifluxion (en loupes, lobes), en banquette ou bourrelet de gélifluxion, et en terrassettes.

Système glaciaire (P265)

On distingue les formes d'érosion (limite d'extension glaciaire ancienne, polissage glaciaire, et surfaces glaciaires indifférenciées), des moraines, formes et formations juxta et proglaciaires (gorge juxtaglaciaire, dépôt de kame, terrasse de kame), les formes et formations fluvio-glaciaires (alluvions fluvio-glaciaires, terrasse fluvio-glaciaire, sandr) et les formes de retrait (drumlin, colline morainique, bloc erratique).

x. Le domaine géomorphologique: domaine karstique (vert bleu P569)

Il s'agit du domaine jurassien par excellence, qui regroupe toutes les caractéristiques hydromorphologiques du karst (source permanente et temporaire, exurgence, résurgence, sources captées, vermiculations, lapiés, surface karstifiée, cannelures, kamensitas, perforations), les formes en creux (doline, champ de dolines, ouvala, poljé), les formes en relief (coupole), les formes isolées (couloir, dos de baleine, petit escarpement karstique), les formes fluvio-karstiques (vallée sèche en V / berceau / à fond plat, doline ouverte, poljé ouvert, cône rocheux, travertin).

c. Pertinence et but de la démarche

Il n'existe actuellement aucune carte des formations superficielles dans le canton de Neuchâtel. Il nous a donc paru pertinent d'entreprendre cette démarche sur une petite zone de 12 km² à grande échelle (1: 7500).



d. Échantillonnage

i. Matériel employé

Le matériel de base se compose d'une pelle américaine pour rafraîchir les fosses, d'une tarière pour faire de nouveaux trous et d'un mètre pliant rigide pour mesurer le profil et distinguer les différents horizons (figure 12). Toutes les observations sont notées sur une fiche de terrain (annexe VI) afin de décrire le plus fidèlement possible les différents horizons. La fiche que nous avons créée est spécifiquement adaptée aux sol rencontrés au Val de Ruz.

Figure 12. – Mesure des différents horizons d'une tranchée à Villiers lors de la levée de la carte de formations superficielles

Les outils suivants sont aussi indispensables:

- Une loupe pour observer les petites structures (nature des agrégats) et identifier les micro-fragments de roches.
- Un GPS, pratique pour se localiser notamment en forêt. Les coordonnées GPS et l'altitude sont systématiquement notées avant toute observation sur les fiches de terrain afin de faciliter l'exploitation future des données sous forme de SIG.
- Un flacon de HCl à 10% pour identifier les différents éléments et horizons carbonatés.
- Un flacon d'eau oxygénée.
- Un appareil photo.
- Un carnet de terrain et une carte.
- Une charte chromatique de terrain (Munsell).
- Un marteau de géologue, une masse et une barre à mine pour venir à bout des cailloux freinant la descente de la tarière.
- Des sacs de congélation en plastique avec système de fermeture.
- Des flacons en plastique avec bouchon pour préserver les éléments fragiles.
- Un feutre indélébile et des crayons de couleur.
- Une grande toile et du un rouleau de papier de ménage pour reconstituer les carottes.

Et aussi des ciseaux, un grand sac pour mettre les sachets d'échantillons, du scotch, des gants et du sparadrap!

ii. Les fosses

Une fosse est un profil vertical qui part de la surface et dans le meilleur des cas atteint le substratum géologique (roche mère). Pour cette étude, nous n'avons pas creusé de nouvelles fosses, nous nous sommes contentés de rafraîchir des fosses déjà présentes dans la nature (au bord d'un cours d'eau (F28), créée par un arbre déraciné, en bordure de chemin en cas de fortes pentes (F11), dans des carrières). Les chablis ont aussi été exploités. L'extrême avantage de la fosse est qu'une fois lissée, elle nous offre un profil excellent avec conservation de la structure de chaque horizon. Toutes les fosses ont été nettoyées puis aplanies avec la pelle américaine du haut vers le bas.

iii. Les trous ou sondages

La tarière permet une bonne reconnaissance du terrain et aide à déterminer les extensions latérales des observations que l'on a fait à l'aide des fosses. La tarière nous a surtout été très utile pour l'étude des terrains agricoles plats du fond du Val de Ruz. Les sondages donnent une bonne information sur la succession des horizons avec une précision de 1 à 2 centimètres.

Il est toutefois impossible de décrire la structure des différents horizons dans une carotte. De plus, la tarière permet d'extraire des carottes de 20 cm maximum, les successions verticales sont respectées mais se trouvent déformées et mélangées horizontalement. Une autre limitation à l'utilisation de la tarière est l'abondance d'éléments grossiers qui nous a souvent forcé à recommencer le sondage.

iv. Prélèvement des échantillons et référencement

Un échantillon représentatif d'environ 300 grammes a été prélevé pour chaque horizon dans les trous et les fosses en vue d'analyses physico-chimiques.

Les échantillons des fosses ont toujours été prélevés du bas vers le haut du profil afin d'éviter des contaminations par des agrégats provenant d'un autre horizon. De plus les prélèvements ont toujours été faits au cœur de chaque horizon (en évitant soigneusement les limites).

Pour les trous, l'opération est différente, tout le matériel est sorti avant observation. Pour prélever de bons échantillons il faut donc ôter les 2-3 centimètres supérieurs de chaque carotte afin d'avoir des échantillons représentatifs.

Les prélèvements de sol frais sont mis dans des sacs de congélation en plastique avec fermeture puis étiquetés. Si des éléments intéressants (agrégats spécifiques, éléments microstructuraux, oxydes...) sont observés, on les prélève dans de petits flacons en plastique afin de ne pas les altérer.

Ne surtout pas oublier d'étiqueter directement les sachets d'échantillons avec un stylo indélébile et selon les conseils du professeur Gobat, ne pas oublier de placer une étiquette à l'intérieur des sachets avec les références de l'échantillon.

Les échantillons emportés pour analyse ultérieure ne contiennent pas, sauf à quelques exceptions les éléments très grossiers (gros cailloux et blocs) dont la proportion, la nature et l'abondance sont consignés directement sur les fiches de terrain.

Remarques concernant l'utilisation de la tarière

- Toujours nettoyer la surface du sol avant de creuser pour que des matériaux ne tombent pas dans le trou lors du creusement.
- Ne jamais descendre de plus de 20 cm à la fois et 15 dans les terrains argileux.
- Bien tirer dans l'axe du trou. Toujours tourner la tarière de gauche à droite afin de ne pas perdre le bout de la carotte
- Nettoyer la carotte avant de la sortir et retirer les 2cm supérieurs au minimum.
- Vider la carotte sur de l'essuie-tout et reconstituer progressivement l'ensemble de la formation superficielle; ceci permet une description plus précise, une vue d'ensemble et surtout cela permet de prendre une photo.
- Sauvegarder son dos le plus possible en pliant les jambes !

e. Carte de localisation des trous et fosses

Avant de commencer une campagne de terrain, il est important de raisonner par rapport aux formes du relief sur la base de la carte topographique, des photos aériennes, et du MNT. La première étape consiste à décomposer le paysage en unités qui peuvent sembler homogènes puis on procède à des sondages afin de vérifier l'homogénéité des surfaces délimitées.

Il y a certain lieux à éviter, comme la proximité d'une construction, les carrières rebouchées ou dès que l'on voit des accumulations de dépôts d'origine anthropique. De plus, il convient de toujours s'éloigner des bords de chemin et de routes de quelques mètres. Il faut aussi faire attention aux haies et chemin sur le côté amont des versants car on est alors sûr que le profil sera perturbé.

Pour les fosses, nous avons exploités des coupes naturelles (berge de rivière par ex.) et artificielles (tranchées de routes, carrières, bords de chemins...) en accordant une très grande attention aux artefacts qui existent souvent au sommet de ces coupes. L'épaisseur de terre au sommet est parfois trop importante ou alors au contraire le sommet du terrain a été décapé. Il convient d'observer les alentours, voire de faire quelques sondages à proximité pour définir l'épaisseur du premier horizon.

f. Méthodes d'analyse

i. Sur le terrain

Feuille de relevé

La feuille de relevé que nous avons préparée est jointe en annexe VI . Par souci méthodologique et surtout pour communiquer de nombreuses petites «astuces» de terrain, nous y consacrons quelques paragraphes.

- *Localisation*

Il est important d'accorder un numéro à chaque profil, de mentionner la date et la météo du jour, et des semaines précédentes. En effet, certains facteurs, comme la couleur ou l'humidité,

peuvent être influencés par l'hygrométrie. La localisation peut se faire par points GPS, mais il faut également se localiser sur une carte topographique.

Il est aussi nécessaire de décrire en deux lignes l'environnement et la situation géomorphologique dans laquelle on se trouve.

- *Profondeur et épaisseur des horizons*

La profondeur est toujours mesurée depuis la surface du terrain et on décrit un horizon par les cotes de ses limites supérieures et inférieures. Par les observations répétées de différents sondages, on arrive progressivement à identifier des horizons de référence dont on va observer les variations de profondeur sur plusieurs transects.

- *Transitions*

Il est important de mesurer les limites et de décrire les transitions entre chaque horizon. Une transition est diffuse si elle occupe plus de 12 cm, graduelle de 5 à 12 cm, distincte de 2 à 5 cm, et nette sur moins de 2 cm. Le contact est dit très net s'il est direct. Il faut aussi définir la forme de la limite. Elle est dite irrégulière si on a présence de sinuosités plus profondes que larges, ondulée si présence de sinuosités plus large que profondes, et régulière si la limite est approximativement parallèle à la surface du terrain.

- *Humidité*

L'état d'humidité est une appréciation subjective fondée sur les sensations tactiles de chacun. Néanmoins un échantillon est dit sec quand il n'y a pas d'humidité décelable, humide lorsque il est malléable mais qu'il n'y a pas d'eau libre et noyé quand il y a présence d'eau libre saturant tout ou partie de la porosité. Les termes frais, ressuyé et très humide sont des appréciations intermédiaires (Baize et Jabiol 1995).

Il est très important de bien décrire l'état d'humidité et, si possible, de le quantifier en pourcentage car il conditionne d'autres propriétés comme la couleur, la texture et surtout les propriétés mécaniques de l'horizon.

- *La couleur*

On la détermine à l'œil ou à l'aide de la charte de terrain de Munsell. Dans certains cas, écraser un peu de sol humidifié sur la fiche de terrain peut être utile. La couleur nous donne de précieux renseignements sur la composition de l'échantillon (figure 13).

Pour estimer la couleur on prend en compte la terre fine. Pour ce faire, il suffit d'estimer la couleur des agrégats ou alors de pétrir un peu de terre fine humidifiée avec un peu d'eau ou, de salive. Attention si l'on observe la couleur directement sur une coupe on ne peut en juger qu'en ayant le soleil dans notre dos. Il faut aussi faire attention à la végétation environnante qui peut grandement biaiser notre perception chromatique.

COULEUR DE LA TERRE	TENDANCE
jaune	calcaire
jaune-ocre	calcaire riche en fer
jaune-beige	argiles calcaires (marnes)
brun	matière organique
brun-noir	proportion élevée de matière organique
noir	matière organique pure, « tourbe»
rouge	oxyde de fer
taches rouilles	fer oxydé sous l'influence de H ₂ O
gris-vert	fer réduit sous l'influence de H ₂ O
gris-blanc	appauvrissement en éléments et en argiles
violet-noir	présence de manganèse

Figure 13. – Indications sur la nature de la roche sous-jacente en fonction de la couleur de la terre.

- *Les taches*

Il y a des taches rouilles dues à l'oxydation du fer, des taches verdâtres dues à sa réduction, des taches de dégradation qui se présentent sous forme de traînées, pellicules ou mouchetures plus claires dues à la ségrégation granulométrique (disparition des argiles sur des agrégats relativement ou très argileux; Baize & Jabiol 1995).

On peut aussi trouver des taches de décoloration (dues au départ du fer), de matière organique ou provenant d'un autre horizon. Si elles sont peu nombreuses, elles représentent moins de 2% de la surface, assez nombreuses (2 à 20%), nombreuses (20-50%) et très nombreuses plus de 50%.

La couleur est décrite à l'oeil nu à l'aide de la charte de Munsell. Leurs limites sont peu nettes si le changement prend plus de 2 mm, nettes sur moins de 2 mm, et très nettes si on a des bords tranchés. Il est aussi important de noter la dimension des taches, leur forme et orientation.

Pour estimer le pourcentage de recouvrement en taches on peut se fonder sur la charte visuelle de Folk (1951; cf. paragraphe éléments grossiers).

- *L'effervescence à HCl*

Cette réaction permet de mettre en évidence la présence de calcaire dans la terre fine ou dans la fraction des éléments grossiers. Ce test aide donc à déterminer la nature des éléments grossiers, la présence ou l'absence de calcaire dans la terre fine, donne une estimation de son abondance et de sa localisation. On peut employer de l'acide chlorhydrique à 10%. Le test de pH ne devrait pas être fait dans des zones qui serviront aux prélèvements (risque de contamination de l'échantillon).

Une subdivision des réactions en 5 parties permet une bonne estimation de la teneur en carbonates:

- effervescence nulle, teneur inférieure à 1%
- effervescence audible mais non visible, teneur de 1-3%
- effervescence faiblement visible (quelques bulles), teneur de 1-10%
- effervescence moyenne (bulles bien visibles), teneur de 10-20%
- effervescence forte (bulles abondantes et bruit d'Alcaselzer®), teneur > 20%

On peut aussi rechercher les traces de dolomie simplement en chauffant l'acide chlorhydrique à l'aide d'un briquet.

- *Les éléments grossiers*

Ils peuvent être porteurs de beaucoup d'informations notamment sur la contamination par des débris d'origine humaine, les apports latéraux par colluvionnement, la signature d'une lointaine origine alluviale ou encore être le témoin de pédogenèses anciennes (tertiaires).

Les éléments grossiers comprennent tous les fragments dont la taille est supérieure à 2 mm. de 0.2 à 2 cm on a des graviers, de 2 à 7.5 cm des cailloux et au delà des blocs. Il faut aussi estimer l'abondance (figure 14a) des éléments grossiers pour y parvenir, nous nous sommes aidés de la charte de Folk. Il est aussi important de décrire l'état d'altération et la forme (figure 14b) des éléments grossiers.

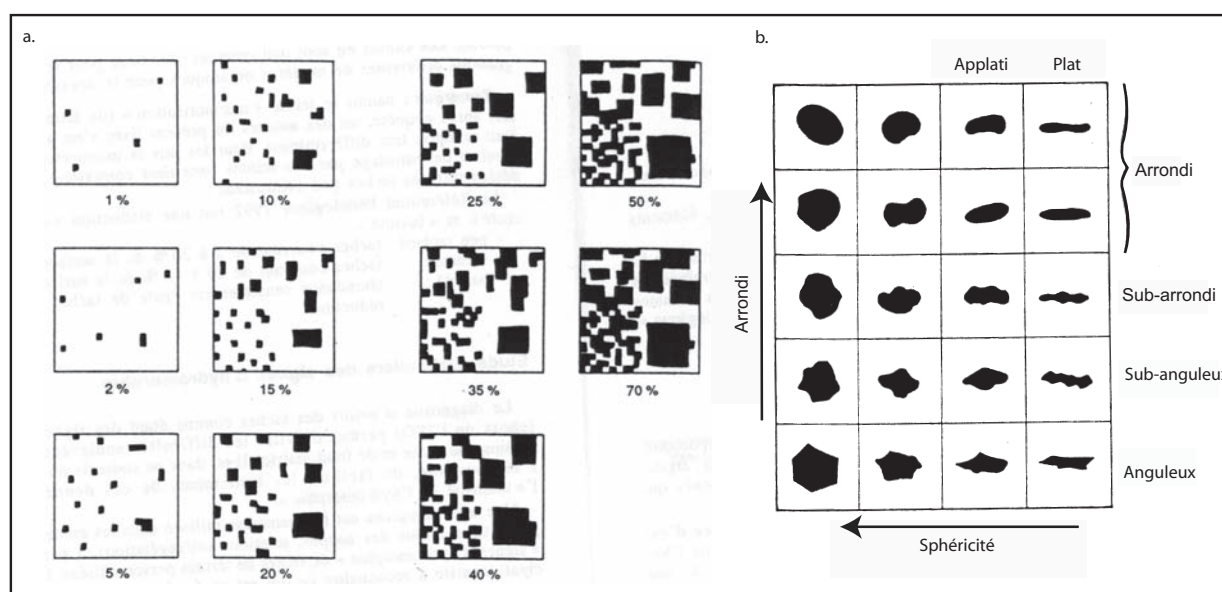


Figure 14. – a. Charte pour estimer le pourcentage de recouvrement de tâches, nodules ou éléments grossiers. Chaque quart de chacun des carrés présente la même surface de noir. Folk (1951). b. La forme des macro-vides ou des éléments grossiers. Hodgson(1970).

- *La texture*

Elle est liée à la composition granulométrique

On peut l'apprécier au toucher. Il suffit de prendre un échantillon humecté que l'on roule entre les doigts. La règle est simple: plus l'échantillon est argileux moins il s'effrite.

Si on a des sables, l'échantillon ne colle ni ne brille. Pour des limons, il ne colle pas à l'état sec et a un touché soyeux proche du talc. Enfin pour les argiles l'échantillon humecté colle aux doigts, forme des miroirs, peut se façonner en cylindres de plus en plus minces mais se fendille et s'écaille en séchant.

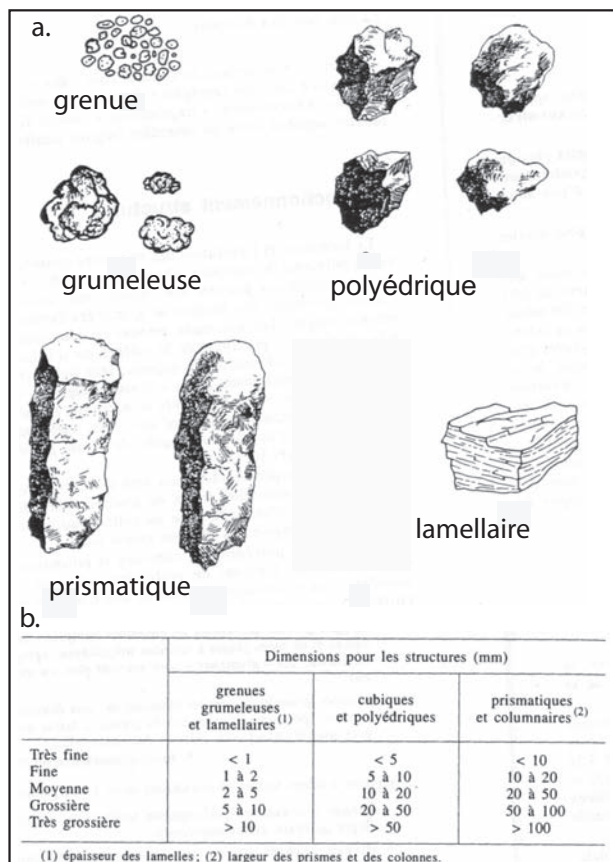
Pour ce qui est des teneurs en éléments, une première estimation peut être faite sur le terrain grâce aux «astuces» de terrain suivantes (notes de cours des professeurs Gobat, Pancza et expérience de terrain):

- impossibilité de faire un boudin de 5-6 mm de diamètre avec de la terre mouillée et malaxée: teneur en argiles < 10%.
- possible de faire un boudin mais il se fissure avant que l'on ait fait un demi-tour pour réaliser un anneau de 4-5 cm de diamètre: teneur en argile de 10-15%.
- possible de faire un boudin et de le fermer au $\frac{3}{4}$: teneur en argile de $\sim 20\%$.
- possible de faire un boudin et de fermer l'anneau: teneur en argile > 30%.

Si l'on veut parvenir à une dénomination texturale sur le terrain, il faut tenter d'apprécier la part d'argiles, de sables et de limons de la manière suivante (Jabiol, 1995):

- limon sableux: on détecte très bien la présence du sable, mais il n'est pas dominant car la sensation talqueuse domine; échantillon non collant, boudin difficile à former.
- sable limoneux: les sensations dues au sable deviennent dominantes dans le mélange.
- sable argileux: les sensations dues au sable restent dominantes mais l'échantillon devient plus ou moins collant et plastique.
- argile sableuse: le matériau humide est plastique, dur à pétrir, collant mais gratte et crisse encore nettement.
- argile limoneuse: échantillon doux comme le limon mais moins souple (résiste plus à la pression) et est légèrement collant.

• *La structure*



La structure d'un horizon est la manière dont il se subdivise, s'arrange en agrégats. La première question est de savoir si il y a des agrégats. Toujours selon Baize & Jabiol il convient de faire les distinctions suivantes:

○ *structures apédiques (sans agrégats).*

Absence d'agrégats par manque de cohésion des particules entre elles (sables, graviers ou parfois sables limoneux); c'est la structure particulaire. Lorsque l'horizon est uniquement constitué de matière organique, les particules peuvent être des fibres ou des débris de feuilles; on parle alors de structure fibreuse ou feuilletée.

S'il y a absence d'agrégats par absence de fissures et cohésion des particules entre elles, on a une structure massive, ou fondue.

○ *Structure pédiques (à agrégats)*

Existence d'agrégats naturels, individualisés que l'on peut mettre en évidence en émiettant doucement l'horizon entre les mains: on parle alors de structure fragmentaire.

Figure 15. – a. Forme des agrégats des principales structures pédiques. Baize & Jabiol (1995). b. Dimension des agrégats et désignation conventionnelle de la taille de la structure. (Stipa 1982).

On étudie la forme des structures pédiques (figure 15a). Si les structures sont construites sous l'influence dominante des êtres vivants, on a alors des structures grenues (agrégats plus ou moins sphériques, peu ou non poreux, à faces courbes sans arrêtes ni orientation préférentielle) ou grumeleuses (agrégat poreux, représentant un ensemble complexe de faces courbes dominantes et de faces planes à surface irrégulière, agrégats irréguliers et mamelonnés, ces grumeaux étant souvent plus ou moins agglomérés entre eux).

La dimension des agrégats est aussi estimée; elle permet de classer la structure (figure 15b).

- *La porosité*

On ne peut en faire qu'une estimation grossière sur le terrain.

On décrira plus précisément les vides entre les agrégats même si une bonne idée est déjà donnée par la structure.

Le pourcentage de pores peut être estimée grâce à la charte de Hodgson (figure 16a), de même que leur dimension (figure 16b). L'échantillon est dit non poreux si le volume total des vides de toute taille occupe moins de 2%, peu poreux entre 2 et 5%, moyennement poreux de 5 à 15%, poreux de 15 à 40% et très poreux à plus de 40%.

- *Les revêtements*

Ils sont souvent associés aux faces des agrégats mais il s'en forme aussi liés à la macro-porosité ou aux particules de grande taille.

Il s'agit dans la plupart des cas d'accumulations de matières déplacées (argile, fer, matières organiques, limons, CaCO_3) continues ou discontinues sur différents types de surface des agrégats. Mais il peut aussi s'agir d'accumulations résiduelles.

- *La consistance (Jabiol, 1995)*

Un test de plasticité s'effectue sur un pàton de terre largement humecté et roulé entre les doigts. La plasticité est estimée selon l'aptitude de ce pàton à se transformer en un mince boudin souple de 3 mm de \varnothing . Quatre modalités sont proposées.

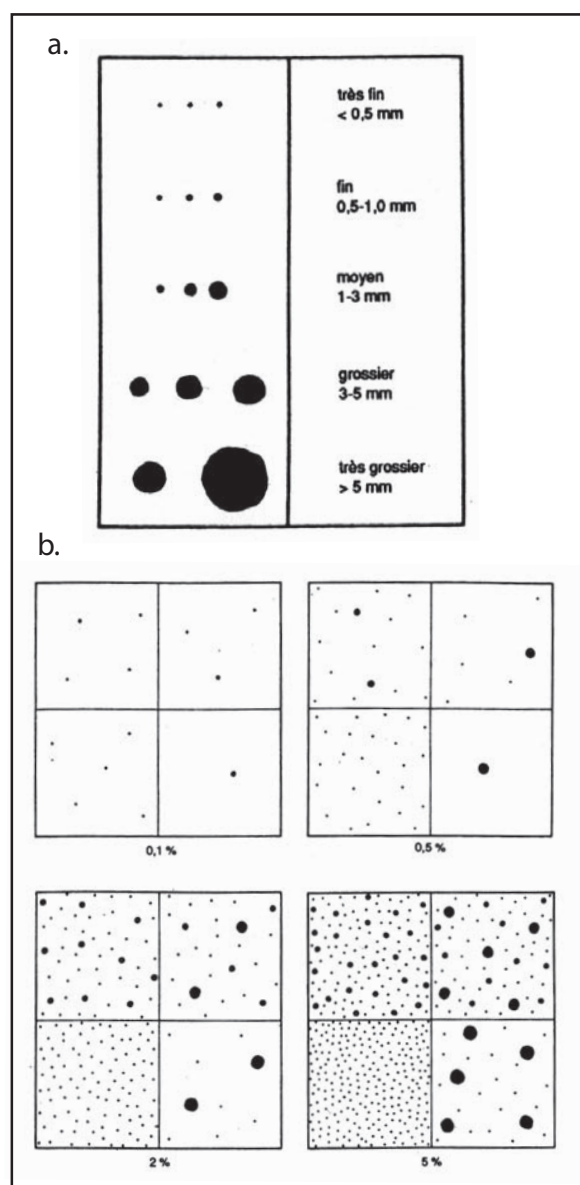


Figure 16. – Estimation de la porosité dans un échantillon de solum. a. La dimension des macrovides selon Hodgson. b. Charte pour estimer les pourcentages des pores intra-agrégats par unité de surface d'après Hodgson. Chaque quart de chacun des carrés présente la même «surface» de vides.

- non plastique: il n'est pas possible de former un boudin avec le pàton.
- peu plastique: un boudin peut être formé mais il se brise sous son propre poids.
- plastique: un boudin peut être formé mais se rompt sous une faible déformation.
- très plastique: le boudin ne se rompt pas ou très difficilement sous l'effet de déformations très importantes.

Un test d'adhésivité s'effectue en pressant un échantillon suffisamment humidifié entre le pouce et l'index. Quatre réponses sont proposées:

- non collant: après relâchement de la pression, pratiquement aucune matière n'adhère au pouce ou à l'index.
- peu collant: après relâchement de la pression, l'échantillon adhère aux deux doigts mais s'en détache sans laisser de traces. Ne s'étire presque pas lorsque l'on écarte les doigts.
- collant: après relâchement de la pression, la terre adhère au pouce et à l'index. Quand on écarte les doigts, elle tend à s'étirer quelque peu et à se déchirer plutôt qu'à se détacher des doigts.
- très collant: après relâchement de la pression, la terre adhère fortement aux doigts et s'étire nettement lorsqu'on les écarte.

Un test de fragilité s'effectue sur un échantillon séché à l'air, il ne peut se faire sur le terrain que si on a un horizon vraiment sec.

- non fragile: l'agrégat ou la motte ne se brise pas ou uniquement si on appuie très fort avec les deux mains.
- peu fragile: l'agrégat se brise facilement dans la main mais très difficilement entre le pouce et l'index
- fragile: l'agrégat se brise facilement entre le pouce et l'index
- très fragile: l'agrégat s'effrite, se réduit en poudre ou en grains élémentaires sous une très légère pression entre les doigts.

Enfin, il existe toute une série d'astuces de terrain pour arriver à des dénominations texturales pertinentes.

Si on observe le bout de la carotte en la remontant: les argiles produisent des pointes lisses et brillantes pour une carotte compacte et très moulée, les limons une pointe matte et les sables une pointe grenue. Enfin au contact de l'horizon, si on entend des crissements on est sûr d'avoir du sable même en faible quantité non décelable dans une masse d'argiles. En effet, les argiles limoneuses et les limons purs ne produisent aucun son.

ii. Au laboratoire

Granulométrie

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire de sédimentologie de l'Institut de Géologie, permettant des mesures très précises. Le protocole de laboratoire utilisé (Chalumeau 2003) a subi de nombreuses adaptations liées aux spécificités des sols du Val de Ruz.

Les analyses s'effectuent en deux parties: le tamisage pour les fractions allant jusqu'à 63 microns et l'utilisation d'un système laser (Oriol) pour les fractions inférieures à 63 microns. Une série d'étapes préalables doivent aussi être respectées: choix des échantillons, pesage, élimination des carbonates, élimination de la matière organique, dispersion et défloculation.

- *Echantillons*

Des échantillons de 50 g de sol humide ont été préparés en veillant à toujours avoir une répartition homogène de ses différents constituants. Certains échantillons pèsent moins de 50g (20-30 g); ceci est dû à des difficultés d'échantillonnage, ou à des horizons contenant une majorité d'éléments grossiers.

Il faut éviter d'avoir de grosses racines dans la préparation car elles pourraient mettre plusieurs mois pour disparaître de la solution lors de la phase de destruction de la matière organique.

Les échantillons ont été pesés avec une précision au centième de gramme.

- *Elimination des carbonates*

- mettre les échantillons dans des gobelets de 200 ml allant à la centrifugeuse;
- ajouter de l'eau distillée jusqu'à moitié du récipient;
- mettre les gobelets dans un bain marie à 90° (thermostat 6);
- ajouter HCl à 10 % environ 10 ml;
- vérifier le pH à l'aide de papier bandelette car lors de l'ajout d'une trop grande quantité de HCl, le pH risque de tomber en dessous de 3. Dans ce cas seulement ajouter quelques gouttes de NaOH afin d'empêcher une attaque possible des particules argileuses;
- laisser 15 minutes à ébullition modérée en agitant fréquemment les échantillons;
- mettre à refroidir 15 minutes dans de l'eau froide;
- peser les échantillons et ajouter de l'eau distillée pour qu'ils fassent tous le même poids afin de ne pas perturber la centrifugation;
- centrifuger les solutions pendant 5 minutes à 3000 tr/min;
- aspirer l'eau claire avec la pompe à vide en prenant garde à ne pas perdre de matériel; ¹
- réhydrater les échantillons et recommencer toutes les étapes décrites ci-dessus une seconde fois;
- remplir les flacon à moins de la moitié d'eau distillée, les boucher et agiter jusqu'à ce que toutes les particules se décollent;
- peser les échantillons et ajouter de l'eau distillée pour qu'ils fassent tous le même poids;
- centrifuger 5 minutes à 3000 tr/min;
- si absence de défloculation (le liquide se trouble) et obtention d'un pH neutre² (soit élimination des carbonates), aspirer le liquide clair avec la pompe à vide et recommencer le processus de centrifugation autant de fois que nécessaire.

- *Elimination de la matière organique*

Il est indispensable d'éliminer la matière organique et tous les composés humiques, dont l'absorption par les particules argileuses peut modifier profondément les propriétés physiques (taille des particules, propriétés de suspension,...) au moment de l'analyse.

Pour nos échantillons cette étape peut être particulièrement longue, voir interminable quand il y a trop de matière organique surtout dans les horizons supérieurs. Nous avons stoppé le processus au bout de 10 jours. Les étapes suivantes sont à respecter:

- préparer des bains-marie froids sous la hotte;
- transvaser le matériel dans des béchers et les mettre dans le bain-marie;
- ajouter 40-50 ml d'eau oxygénée à 15%. Mettre le pH à 8 - 8.5 à l'aide de NaOH versé goutte à goutte en agitant.

La réaction due au dégagement de CO_2 va provoquer de la mousse. Il convient d'être très prudent avec des échantillons à forte teneur en matière organique comme ceux que nous avons étudiés. Si le contenu des bechers menace de déborder, ajouter quelques jets d'alcool éthylique.

- recouvrir la suspension d'un verre de montre et la laisser 12 heures;
- chauffer les bains marie à environ 50°C et rajouter des doses de 5ml d'eau oxygénée pour accélérer la réaction. Continuer cette étape quotidiennement jusqu'à l'absence de réaction (7-10 jours);
- porter à ébullition pour évacuer l'excédant d'eau oxygénée;
- mettre à sécher à l'étuve;
- peser une fois sec.

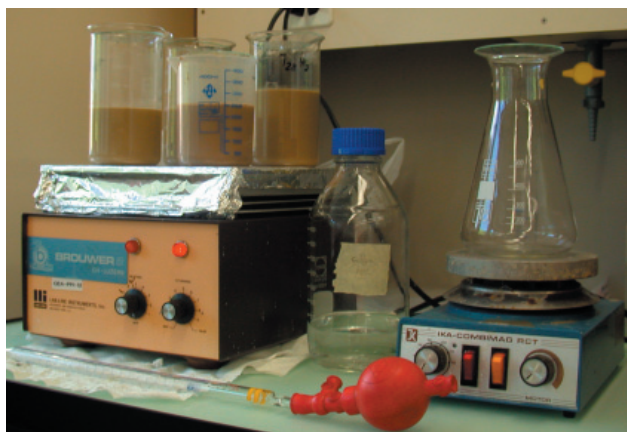


Figure 17. – Matériel de laboratoire pour défloculer les échantillons.

- *Dispersion et défloculation* (figure 17)

- réhydrater les échantillons avec de l'eau distillée;
- mettre l'échantillon en suspension en le secouant;
- ajouter 20 ml d'hexamétaphosphate de sodium (Calgon) à 40g/l qui est une solution défloculante;
- ajouter des barreaux magnétiques dans les bēchers, les mettre sur les agitateurs rotatifs et patienter 17 heures.

- *Tamissage*

- préparer la tamiseuse vibrante (figure 18);
- préparer les tamis suivants et les empiler de bas en haut : 63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm , 1mm, 2mm, 4mm, 8mm;
- ajouter l'échantillon dans le premier tamis et tamiser 10 minutes à une vitesse de vibration de 50. Ne pas oublier de mettre un bac à la sortie de la tamiseuse pour récupérer les argiles-limons;
- préparer des coupelles pour chaque tamis en les pesant puis en y indiquant le numéro d'échantillon et la maille de tamis à laquelle elle correspond;
- récupérer le contenu des tamis dans les coupelles correspondantes et les mettre à sécher dans l'étuve;
- pour les argiles, remettre la solution en suspension et prélever deux échantillons dans des petits flacons étiquetés pour pouvoir les analyser ultérieurement à l'aide d'Oriel. Les conserver à l'abri de la lumière et y ajouter une goutte d'alcool pour empêcher le développement d'algues;

- quand les coupelles sont sèches, les peser et transvaser leur contenu dans des petits sachets bien étiquetés.

Oriel



Figure 18. – Tamiseuse vibrante pour l'analyse granulométrique.

Oriel (figure 17) est un système laser qui permet de mesurer la concentration des différentes tailles de particules dans les échantillons de matériaux fins que nous avons prélevé.

Tous les échantillons sont analysés 3 fois pendant 160 secondes.

Oriel est un système très sensible et facétieux; il faut donc bien se référer au protocole de laboratoire (Chalumeau 2003) avant de l'utiliser et s'armer d'une grande patience.

Les échantillons peuvent être passés jusqu'à une dizaine de fois avant obtention d'un résultat satisfaisant, soit pas de valeur nulle pour les fractions allant de 32 à 63 μm . Dans de rares cas seulement ces valeurs peuvent être effectivement égales à 0 (très peu de matériau dans le tamis à 63 μm par ex.).



Figure 19. – Système Oriel pour l'analyse des fractions fines.

2. TRAITEMENT DES DONNÉES ET IMAGERIE

a. But

Rappelons-le, notre objectif est d'obtenir une carte de formations superficielles afin de représenter et de mettre en évidence toutes les formes et formations rencontrées sur le terrain et dans la bibliographie. Cela représente une grande quantité de données qu'il convient de traiter afin d'obtenir des représentations exploitables par la suite. Le SIG est l'outil adapté pour traiter et représenter ces données.

b. Notion de SIG

i. Pertinence

Le SIG (Système d'Information Géographique) permet un traitement numérique de données hétérogènes et spatialement distinctes. On le définit comme un environnement informatisé de traitement d'informations spatiales numériques et multivariées (Bouzelboudjen 1996).

Il s'agit donc d'un outil indispensable pour notre étude car, même si la superposition des données s'exprime sous forme de carte, il y a derrière le produit fini toute une information numérique représentée de manière dynamique et classifiée (calques) ce qui autorisant le croisement et la superposition des données spatiales.

Enfin le SIG offre de nombreuses possibilités d'analyse spatiale multicritère et permet la réalisation de cartes thématiques ciblées sur nos différentes problématiques (placage des formations superficielles sur le MNT par exemple).

ii. Logiciel employé

Nous avons utilisé les logiciels ESRI™: ArcInfo®, ArcView® avec les extensions Image Analyst, Spatial Analyst pour le traitement du MNT et SID pour l'exploitation des images Landsat 5 ([// www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)).

Enfin pour la réalisation de profils sur le MNT LIDAR et la réalisation d'une carte de convexité, nous avons employé le logiciel Envi® (Research Systems).

iii. Méthode de représentation des formations superficielles

En fonction des résultats de sondages de terrain, de l'analyse du MNT, des photos aériennes et des analyses granulométriques, on détermine des surfaces ayant les mêmes propriétés. Une limite est tracée dès qu'une surface se modifie notablement, ce qui définit différentes plages. Ces plages sont ensuite testées à divers endroits pour vérification.

Les limites que l'on trace sur la carte ne sont souvent pas aussi nettes dans la nature, où souvent le couvert végétal, les difficultés d'accès, les bâtiments ou les zones agricoles nous empêchent de les voir nettement.

c. Modèle numérique de terrain**i. Définition**

Un modèle numérique de terrain est une image numérique, composée de pixels définis géographiquement (x;y) qui représentent des éléments de la surface du terrain auquel on ajoute une troisième composante, l'altitude (z).

Le MNT LIDAR est un réseau régulier d'altitude comprenant des matrices de points régulièrement espacées. Sa résolution est d'un mètre, ce qui donne une grande finesse d'analyse.

Un MNT est donc une représentation discrète d'une surface continue sur laquelle on peut réaliser des opérations élémentaires comme des calculs de pentes, d'ombrages ou de convexité.

ii. Représentation

Un MNT est donc un gros fichier texte (ASCII en mode raster dans notre étude) composé de coordonnées xyz qu'il faut pouvoir représenter. Diverses solutions existent mais les ombrages (hillshades) sont une bonne solution; ils permettent de visualiser la surface en relief par un jeu d'ombres en niveaux de gris.

iii. Traitements

ESRI et simplifie grandement la réalisation de petits profils lorsque l'on cherche à se représenter et délimiter certaines formes; il permet la réalisation de graphes combinant des données comme la pente et l'altitude par exemple.

d. Photographies aériennes**i. Pertinence**

Les photographies aériennes aident l'observateur à délimiter des surfaces différentes par leurs facteurs de formation et leurs propriétés.

Il n'est toutefois pas possible d'en tirer des informations qualitatives sûres comme la granulométrie, l'hydrologie, la chimie du sol ou encore la détermination du type de sol. Pour cela, il est indispensable de prélever des échantillons sur le terrain (Schneider 1974).

De plus, la photographie aérienne est un instantané, elle ne montre en aucun cas le comportement sur la longue durée.

Pour notre étude nous avons utilisé des photographies couleur, achetées auprès de l'Office Fédéral de la Topographie. Nous les avons utilisées pour leur bonne précision, l'observation des aspects de surface et pour avoir une vision 3D de notre zone d'étude.

ii. Interprétation (OFEFP 1996)

L'interprétation consiste en une analyse du grisé et de la couleur (contraste). On peut aussi observer le relief grâce au stéréoscope.

Analyse de la couleur et du grisé

Les contrastes de couleur et le grisé aident au repérage et à la délimitation des sols humides et des sols superficiels.

On peut aussi se fonder sur la clé d'interprétation des photographies aériennes de l'OFEFP mais il faut toujours vérifier l'interprétation sur le terrain.

Analyse du relief

Grâce au stéréoscope, le relief devient visible de façon accentuée et permet ainsi la délimitation de plages cartographiques grâce à des éléments physiographiques.

Sur les cartes à grande échelle (1: 25'000 ou plus petites) ces limites correspondent bien aux limites de sols. Mais pour des cartographies de détail (1: 10'000 et plus grande) une analyse de relief ne suffit pas à fixer les limites de sol car les toutes petites différences de relief (souvent révélatrice d'un changement de sol) ne se voient pas au stéréoscope.

Pour notre étude cette analyse fait partie du travail préliminaire aidant à préparer la campagne de terrain. Elle a aussi contribué aux résultats ultérieurs.

FORMATIONS SUPERFICIELLES

*Ce qui compte, ce n'est pas l'énormité de la tâche,
mais la magnitude du courage.*

XIVème Dalai Lama

A. cartographie des formations superficielles



Dans cette partie nous nous attachons à décrire différents sondages et leur interprétation en termes de formations superficielles sur la base des données de terrain et des analyses de laboratoire. La figure 20 montre la localisation de tous les points de sondage effectués.

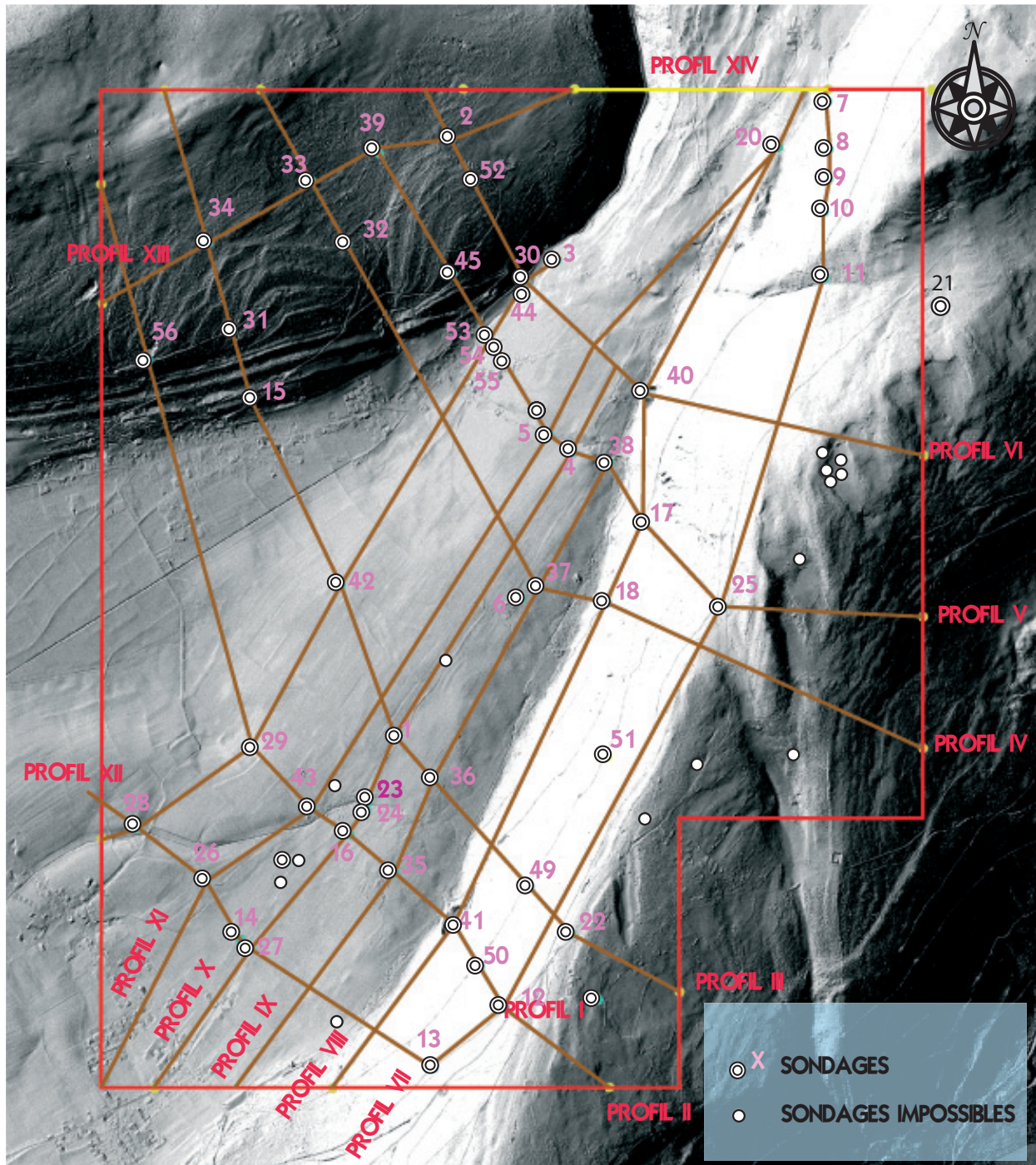
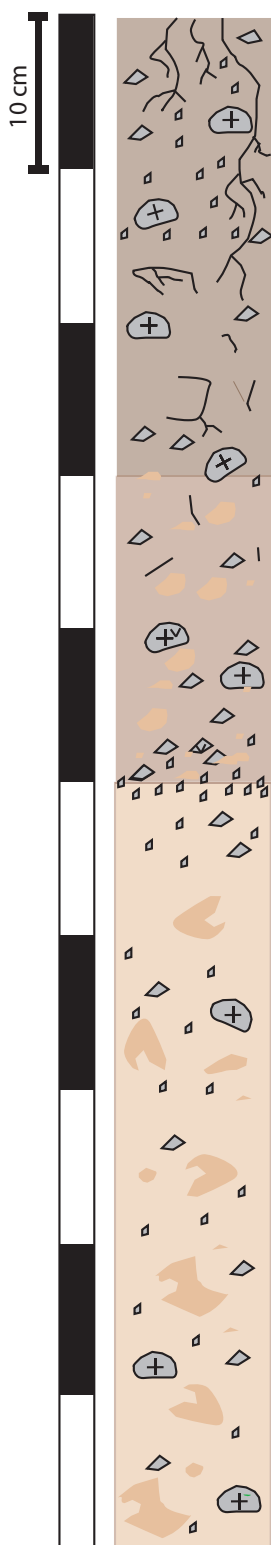


Figure 20. – Localisation des points de sondage sur un ombrage du MNT LIDAR. Les points numérotés représentent les sondages exploitables, les non-numérotés représentent les sondages inexploitable et les lignes brunes les lignes des profils topographiques réalisés sous Envi.

1. LES CRÊTES

Les formations superficielles des crêtes n'ont pas été le cœur de notre analyse, notamment à cause des difficultés de prospection. Les terrains n'étant pas labourés, ils sont très riches en blocs et cailloux, ce qui constitue un obstacle majeur au forage à la tarière au-delà de 30 centimètres. De plus la topographie est très peu marquée, ce qui exclut les affleurements pour le rafraîchissement de coupes.



a. Description

Pour la crête de Chaumont, nous décrivons, sur la base de 8 sondages, les 30 premiers centimètres comme une formation relativement homogène, constituée de terre brune foncée à très forte teneur en matière organique s'éclaircissant avec la profondeur. Les éléments grossiers sont d'ordre centimétrique à décimétriques et constitués uniquement de calcaire. Les racines sont souvent nombreuses sur les 15 premiers centimètres.

Pour un sondage (T22) nous avons pu atteindre la profondeur de 1 mètre. La formation superficielle révélée nous semble tout à fait représentative de l'ensemble de la zone de crêtes.

i. Description de la carotte T 22 (figure 21)

Localisation: (565067; 211526), à midi par temps nuageux, pluie la semaine précédente.

Horizon I (0-30 cm)

Horizon humide constitué de terre brune monochrome sans taches, et à matière organique directement décelable. Les racines, présentes dans la masse de l'horizon sont nombreuses, de toutes tailles avec un chevelu dense. La teneur en carbonates dépasse les 20%. L'horizon présente une forte activité organique: des débris de coquilles ainsi que turricules et lombrics sont facilement visibles.

La teneur en éléments grossiers est de 35% environ, essentiellement constituée de graviers; les cailloux et les blocs sont peu abondants. Les éléments grossiers, de forme irrégulière à arêtes anguleuses sont essentiellement constitué de calcaire localement faiblement altéré.

L'analyse granulométrique nous donne les résultats suivants: 4% d'argiles, 69% de silts et 27 % de sables.

La transition avec l'horizon 2 est nette, marquée par l'apparition de taches argileuses beiges.

Figure 21. – Représentation du sondage T22 sur la base des observations de terrain et de l'analyse granulométrique.

Horizon II (30-60 cm)

L'horizon est humide et constitué de terre brune avec quelques taches beiges peu étendues, de 10 mm environ, irrégulières ou arrondies, aux limites nettes très contrastées et plus cohérentes que leur matrice. Ces taches semblent être associées aux éléments grossiers. La teneur en carbonates de l'horizon dépasse toujours les 20%.

La matière organique demeure abondante et directement décelable. On compte encore quelques racines fines, entre les agrégats avec un chevelu visible. L'activité organique semble moyenne.

Les éléments grossiers sont des blocs, des cailloux et des graviers abondants (plus de 40% de l'horizon). Ils sont uniquement calcaires, aux formes irrégulières, aux arêtes anguleuses ou émoussées et faiblement altérés. On remarque aussi des revêtements argileux beiges jaunes sur les faces horizontales des agrégats. Le matériau est de consistance malléable et peu adhérent.

L'analyse granulométrique révèle une teneur en argiles de 12%, qui confirme l'analyse de terrain; les silts représentent 36% et les sables 52%.

La transition avec l'horizon III est distincte et marquée par un niveau très net de cailloux et graviers calcaires légèrement émoussés.

Horizon III (60-100 cm)

Cet horizon est légèrement humide et constitué de terre brune et beige à forte teneur en carbonates. Les taches sont nombreuses et contrastées, de 1 à 4cm de diamètre; elles ont une forme irrégulière aux limites très nettes et sont plus cohérentes que le reste de l'horizon. L'activité organique semble nulle et on ne note aucune présence de racines.

Les éléments grossiers sont très abondants, avec une majorité de graviers mais aussi quelques cailloux et blocs. Ces éléments sont exclusivement calcaires. Les arêtes sont anguleuses ou émoussées et les éléments sont altérés.

On constate aussi des revêtements épais et argileux qui semblent associés aux vides; ils sont de consistance malléable à pâteuse, de couleur beige jaune et peu adhérents.

L'analyse granulométrique révèle un taux d'argiles de 5%, 48% de silts et 48% de sables pour l'horizon III.

b. Représentation de la granulométrie

i. Diagramme ternaire

Si l'on représente les résultats de l'analyse granulométrique des 3 horizons sur un diagramme triangulaire des textures minérales (figure 22) de norme USDA (1975; Fig. 37, 38, 39, 40), on obtient le résultat suivant:

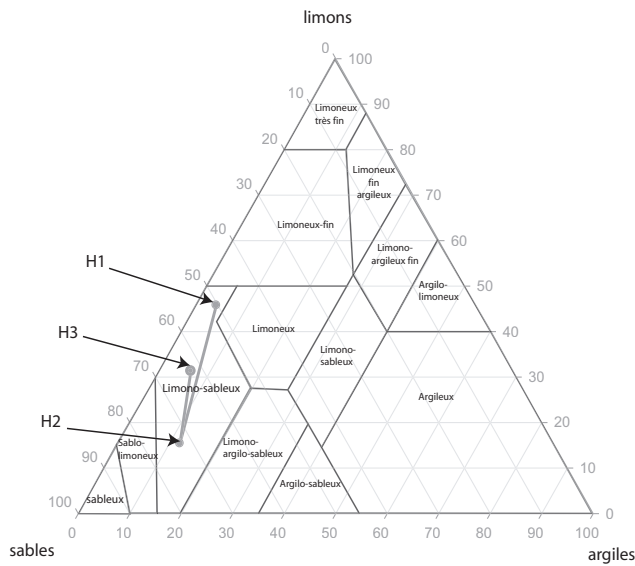


Figure 22. – Représentation dans un diagramme ternaire des 3 horizons du sondage T22.

- avec la profondeur nous passons d'un horizon limoneux fin à un horizon limoneux puis à un niveau limono-sableux.

ii. Courbes de fréquence et de distribution relative

Nous présentons ci-dessous (figure 22) les courbes de fréquences cumulées en échelle phi (Φ) et les courbes de distribution relative des fréquences des trois horizons de notre sondage. Trois indices ($\emptyset I$, S_K et K_G) ont été calculés pour les interpréter. L'annexe V explique la méthodologie employée.

L'horizon I est caractérisé par une répartition bimodale et une distribution leptokurtique autour de chaque mode. Le matériau est très mal trié et la courbe de distribution relative est quasi symétrique.

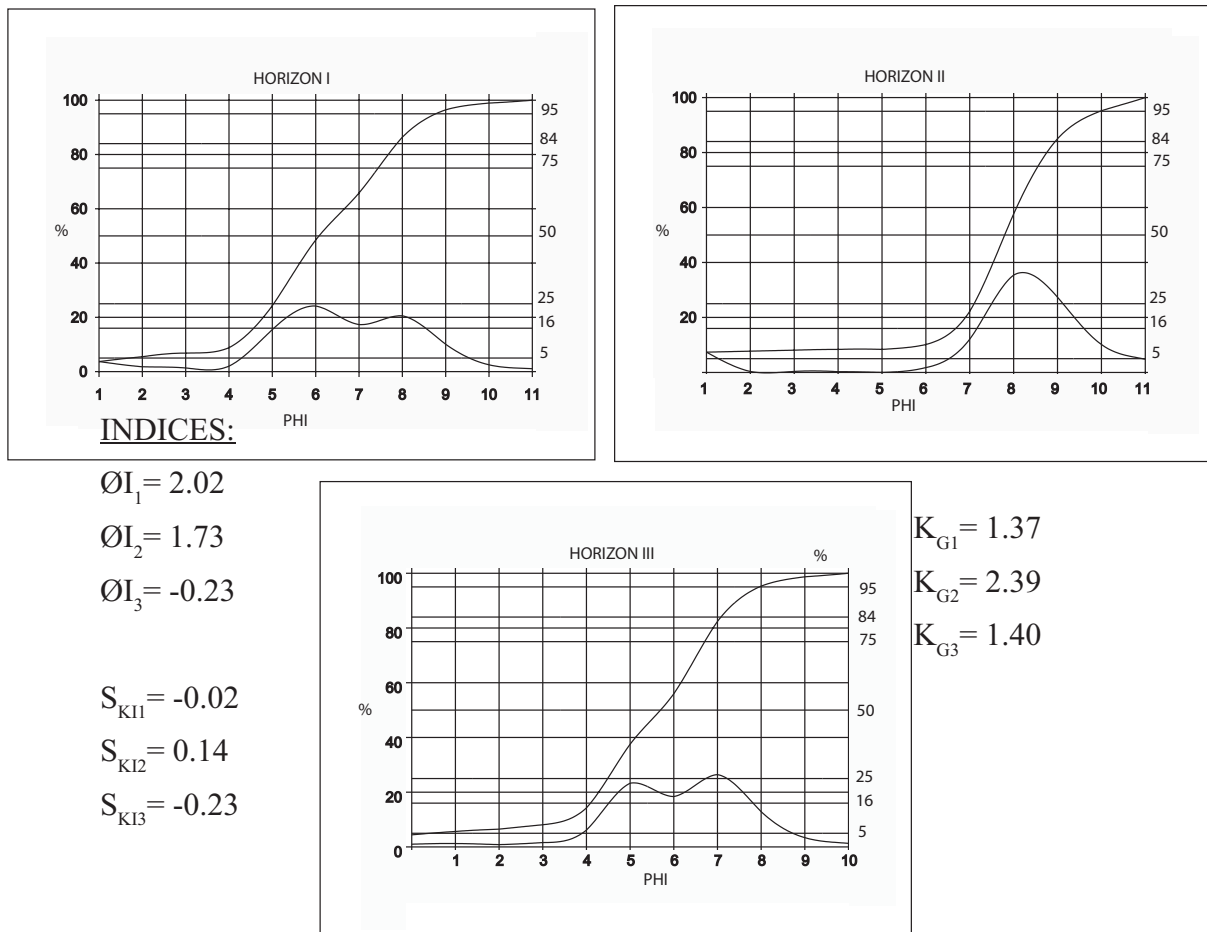


Figure 23. – Courbes de distribution et de fréquence du sondage T22.

Le premier mode de l'horizon I correspond à des fractions de taille loessique. Le deuxième mode est de taille supérieure aux fractions argileuses.

Le deuxième horizon a une répartition unimodale, il est faiblement trié avec une asymétrie marquée vers le fin et une distribution nettement leptokurtique.

L'horizon III est clairement bimodal, faiblement trié, avec une légère asymétrie vers le grossier et de courbe leptokurtique.

c. Interprétation dynamique

L'horizon I est nettement bimodal avec un premier mode correspondant à une phase de dépôt de poussières récentes, nettement post-glaciaires. Nous expliquons le second mode comme des argiles de décalcification qui malgré la dispersion et la défloculation seraient restées légèrement agglomérées.

Le pic unimodal de l'horizon II correspond nettement à une accumulation de loess.

Dans l'horizon III, nous observons un premier mode correspondant à une phase loessique et un second mode qui caractérise des argiles de décalcification.

Il est impossible d'expliquer l'ensemble du profil simplement par une phase de dépôt loessique suivie d'un lessivage dû aux alternances gel-dégel et à du ruissellement. La succession des distributions: bimodale-unimodale-bimodale ne plaide pas pour cette interprétation. De plus une «stoneline» très nette a été observée sur le terrain.

En admettant que la crête de Chaumont n'ait jamais été recouverte par le glacier du Rhône (Aubert 1986, Arn 1992), nous proposons l'interprétation suivante: une succession de deux phases loessiques d'âges différents. La première pourrait correspondre à la période durant laquelle le glacier remontait loin dans la vallée probablement jusqu'au-dessus du Pâquier; les dépôts loessiques sont très abondants et se mélangent au substrat. Cette première formation a ensuite subi une pédogenèse ce qui a permis le lessivage des particules fines que l'on retrouve dans l'horizon III. Des éléments grossiers probablement issus de la gélifraction sont restés dans l'horizon de dépôt créant ainsi un niveau de graviers.

A cela il faut associer une seconde phase de dépôt loessique dans un contexte où le glacier pénétrait moins en avant dans la vallée, ce qui a permis des dépôts très bien triés. Une nouvelle pédogenèse a eu lieu, expliquant bien l'abondance des éléments grossiers que l'on retrouve proche de la surface; une partie des particules fines est à nouveau lessivée vers la base du profil.

De plus, il ne faut pas négliger l'effet du ruissellement et du gel qui explique le 2^{ème} mode de l'horizon I comme des résidus de décalcification légèrement agglomérés.

Un taux silts de 69% dans l'horizon I ne peut s'expliquer que par une part très importante de poussières loessiques actuelles.

2. LES VERSANTS (OPPOSITION NORD-SUD)

Les versants ont un fort pouvoir sédimentogène; ils portent l'essentiel du matériau prélevé au substrat et pourvoient à l'alimentation ultérieure des autres formations superficielles avec pour facteur essentiel de mise en jeu: la gravité aidée par l'eau sous ses différents aspects, les variations de température, l'activité biologique ... (Campy 1989).

Le versant Nord (flanc de l'anticlinal de Chaumont) s'accorde bien avec la définition ci-dessus. Le versant sud au-dessus de Dombresson n'a en revanche pas une telle dynamique; il se résume, si on raisonne en termes de formations superficielles, en une surface structurale, recouverte d'un mince dépôt produit en dynamique glaciaire et périglaciaire, le tout ayant subi une pédogenèse holocène. Pour ces raisons, nous nous sommes très peu intéressés à ce versant présentant peu d'intérêt au niveau des formations superficielles.

Pour le versant de Chaumont (Nord), il faut tenir compte des facteurs passifs liés au substrat calcaire et à ses produits dérivés (failles et diaclases nombreuses, pendage élevé, versant peu ensoleillé) mais aussi des facteurs actifs liés aux différents agents d'érosion (gravité, climat, action biologique). C'est l'action conjuguée de tous ces facteurs qui mène à une morphogénèse propre dont la résultante est un versant transitoirement stable et possédant une pente d'équilibre (Campy 1989).

Mais le matériau n'est pas figé pour autant car le versant à une dynamique qui mobilise le matériau (météorisation par désagrégation ou altération) et extraction du matériau de sa position initiale (ablation) puis déplacement le long du versant (figure 24).

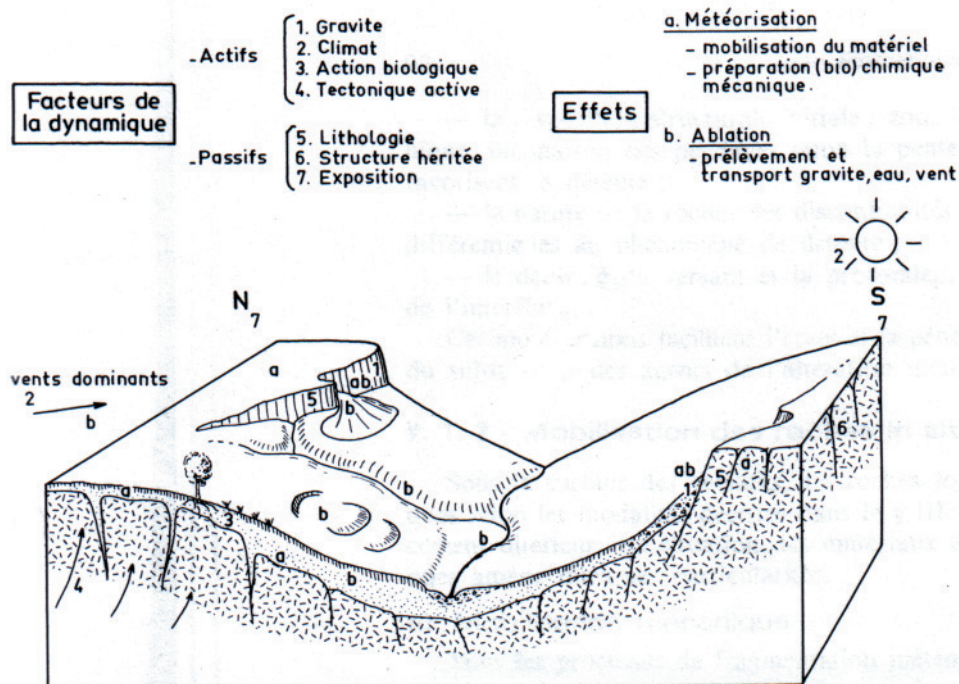


Figure 24. – Dynamique des versants. Les facteurs actifs et passifs et les effets (météorisation et ablation). Campy (1990).

2.1 ANALYSE DU VERSANT NORD

Un grand nombre de sondages ont été effectués sur ce versant (figure 25). Les formations sont homogènes sur tout le versant sauf à son pied à l'altitude des carrières de Villiers et Savagnier où le système change.

Afin de comprendre les processus qui ont mis en place ces formations, nous proposons ci-dessous la description de 3 sondages: F25 en haut du versant, F40 et F41 dans les gravières de Sous le Mont et de Savagnier, soit au pied du versant; leur interprétation en termes de formations superficielles est aussi proposée. Pour une interprétation de la dynamique du versant, on peut se reporter au point 3 de la partie C consacré aux structures géomorphologiques majeures.



Figure 25. – Panorama du versant nord de Chaumont.

2.1.1 SONDAGE F25

2.1.1.a. Description

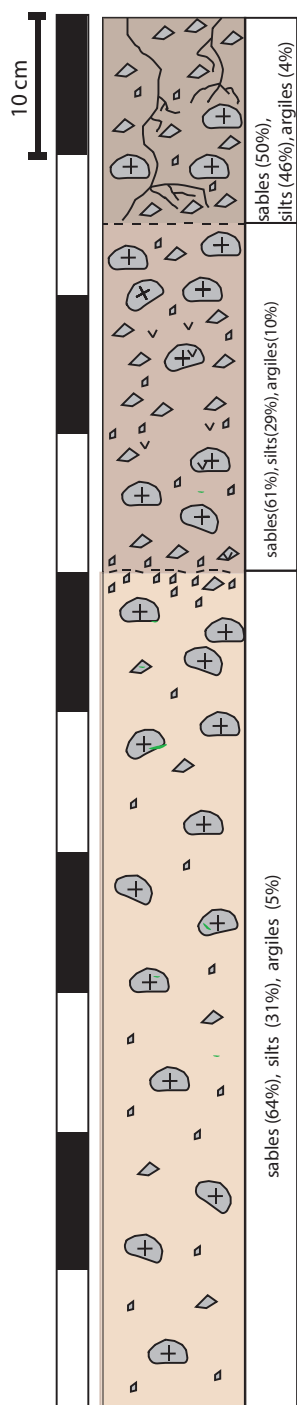
F25 (figure 15) n'est pas une fosse au sens strict, il s'agit d'un affleurement rafraîchi. Sa localisation est (565678;212871) et le sondage a été décrit à 14h par temps nuageux. La figure 26 résume les observations de terrain.

i. Horizon I (0-15 cm)

Les 15 premiers centimètres sont constitués de terre brune très foncée à très forte teneur en matière organique directement décelable. Les racines sont très nombreuses et de toutes tailles; elles dominent la masse de l'horizon et pénètrent les agrégats par un chevelu très dense.

Il n'y a pas de taches dans cet horizon. La terre a une structure fragmentaire moyenne et localement fine, avec des éclats anguleux, et ne réagit pas à HCl; en revanche, les éléments grossiers, constitués uniquement de calcaire gris, centimétriques à pluricentimétriques ont une effervescence généralisée. Les blocs et les graviers sont peu abondants, les cailloux représentant la majeure partie des éléments grossiers de l'horizon. Ces cailloux ont une forme irrégulière, anguleuse et sont faiblement altérés. L'horizon est aussi caractérisé par de nombreuses traces d'activité organique; on y note la présence de petites cavités et de nombreux lombrics.

Les analyses granulométriques pour les fractions inférieures à 1mm révèlent un taux d'argiles de 4%, un taux de silts de 46%, et 50% de sables. La transition vers l'horizon II est diffuse.



ii. Horizon II (15 à 40 cm)

Cet horizon est caractérisé par une terre brune, mais moins foncée que celle de l'horizon I; la matière organique devient difficilement décelable à l'œil nu. La couleur est homogène, aucune tache n'est visible et l'effervescence à HCl est faible (la teneur en calcaire dans la partie fine ne dépasse pas 10%).

Les éléments grossiers occupent presque la moitié de l'horizon; graviers, cailloux et blocs sont abondants et de toutes tailles. Leur forme est irrégulière, les arêtes anguleuses et ils sont faiblement altérés localement. On remarque un revêtement argileux mince à consistance pâteuse et peu adhérents sur les blocs et les cailloux.

La structure devient plus fragmentaire et l'horizon est aussi plus sableux mais les vides entre les agrégats demeurent faibles et l'horizon est relativement cohérent. La terre a une consistance plastique mais friable. Il reste quelques racines mais sans chevelu. L'activité organique semble nulle.

Les analyses granulométriques pour les fractions inférieures à 1 mm révèlent un taux d'argiles de 12%, un taux de silts de 15%, et 73% de sables.

iii. Horizon III (40-100 cm)

L'horizon est caractérisé par une terre beige et humide sans matière organique décelable à l'œil nu et à forte teneur en carbonates. Les éléments grossiers sont très abondants. La transition avec l'horizon supérieur est riche en cailloux et graviers. La base du profil s'enrichit progressivement en blocs et en gros cailloux aux arêtes anguleuses provenant de la roche-mère. On note à nouveau des revêtements argileux minces et peu adhérents associés aux éléments grossiers. Aucune tache n'est visible.

Les analyses granulométriques pour les fractions inférieures à 1 mm révèlent un taux d'argiles de 6%, un taux de silts de 32%, et 62% sables.

Figure 26. – Représentation des observations de terrain et des données granulométriques pour la fosse F25.

2.1.1b. Représentation de la granulométrie

i. Diagramme ternaire

En annexe III se trouve le diagramme ternaire de ce sondage qui montre que les 3 horizons sont limono-sableux.

ii. Courbes de fréquence et de distribution relative

En annexe IV se trouvent les graphes de fréquence et de distribution relative qui permettent les constats suivants:

- L'horizon I est mal trié, bimodal, avec une courbe subsymétrique et une distribution leptokurtique
- L'horizon II est faiblement trié avec une distribution très leptokurtique, asymétrique vers le grossier.
- L'horizon III est très faiblement trié, plurimodal, avec une courbe asymétrique vers le grossier et une distribution mésokurtique.

2.1.1c. Interprétation dynamique

Le premier et le troisième horizon avec leurs répartitions bimodales à multimodales, ressemblent beaucoup à ceux du profil T22 localisé sur les crêtes. On a certainement à nouveau deux phases de dépôt pour expliquer cette distribution. Le 2^{ème} horizon a également une répartition unimodale typique d'un dépôt de loess et l'on retrouve à nouveau à sa base une accumulation de cailloux et graviers ou «stoneline» confortant notre interprétation de mise en place en deux phases distinctes proposée pour les crêtes.

Les blocs à la base du profil viennent de la roche-mère; leur forme anguleuse explique certainement leur origine comme produits de gélifraction et de fragmentation mécanique.

Enfin il ne faut pas omettre l'importance du ruissellement sur le versant qui influe fortement sur la granulométrie et accélère le processus de lessivage des argiles.

1.1.2 SONDAGES F40 ET F41

Les profils F40 (565359; 213750) et F41 (564575;211564) ont été levés en fin de journée par temps ensoleillé.

2.1.2a. Description

i. F40 Horizon I (0-15 cm)

L'horizon I est constitué d'une terre brune foncée à forte teneur en matière organique directement décelable, et de structure légèrement grumeleuse. Le taux de calcaire total est de 27.42% , avec un pH de 8.2 sur la terre fine.

La teneur en éléments grossiers calcaires est de 40% environ. Ces éléments semblent légèrement altérés, ont une forme arrondie ou anguleuse et sont très légèrement émoussés. L'observation des éléments recueillis par tamisage (inférieurs à 8mm) révèle une teneur en éléments morainiques de 5% environ, non décelable directement sur le terrain. Les racines sont nombreuses et ont un chevelu très développé; elles pénètrent la masse de l'horizon.

La transition avec l'horizon II est très nette et de nature chromatique (brusque changement de couleur).

ii. F40 Horizon II (15-60cm)

Cet horizon est constitué de terre brune beige, humide à structure légèrement particulaire. La cohésion est beaucoup moins forte dans cet horizon qui semble plus limoneux que le précédent.

Un dosage du calcaire total de l'horizon nous donne une valeur de 66.79% , et un pH de 8.3 sur la terre fine.

La taille des éléments grossiers augmente, les blocs sont d'ordre centimétrique à pluricentimétrique. et représentent environ 60% de l'horizon. Les éléments sont de nature calcaire et morainiques; ils sont altérés localement et présentent des faces légèrement émoussées.

On remarque 2 classes distinctes d'éléments grossiers présents en abondance: les blocs et les graviers. Le tamisage humide montre qu'environ 50% des éléments inférieurs à 8 mm de cet horizon sont de nature allochtone (morainique).

On ne trouve aucune tâche dans cet horizon. Quelques racines pénètrent la partie supérieure mais sur quelques centimètres seulement. Des traces d'activité organique sont décelables à l'oeil nu.

La transition avec l'horizon III est graduelle.

iii. F40 Horizon III (60-115cm)

L'horizon humide de couleur beige claire à matrice finement limoneuse. La teneur en carbonates est de 72.3% et le pH est de 8.9 sur la terre fine. La structure de l'horizon est relativement massive, de consistance plastique peu collante et peu fragile.

On ne trouve aucune trace d'activité organique dans cet horizon. Les éléments grossiers sont essentiellement constitués de graviers et de cailloux de nature calcaire ou morainique. Ces éléments sont légèrement altérés dans la masse et leurs arêtes ont été légèrement émoussées. Le tamisage humide montre que pour les éléments inférieurs à 8mm, environ 10% semblent de nature morainique.

iv. F41 Horizon I (0-20cm)

L'horizon I, profond de 20 cm est semblable en tous points à l'horizon I de la fosse F40. La terre est brune foncée, riche en matière organique, de texture grumeleuse; les racines sont très présentes et pénètrent bien l'ensemble de l'horizon par un chevelu très dense.

La seule différence réside dans le fait que les éléments grossiers, même ceux révélés par le tamisage humide sont exclusivement de nature calcaire avec des formes moins anguleuses.

v. F41 Horizon II (20-60 cm)

Il est semblable à F40 HII.

vi. F41 Horizon I (60-130cm)

Il est semblable à F40 HIII.

2.1.2b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

La représentation de tous les échantillons dans un diagramme ternaire (figure 27) révèle bien l'évolution de notre formation avec la profondeur; de limono-sableuse, elle passe à une formation limoneuse très fine.

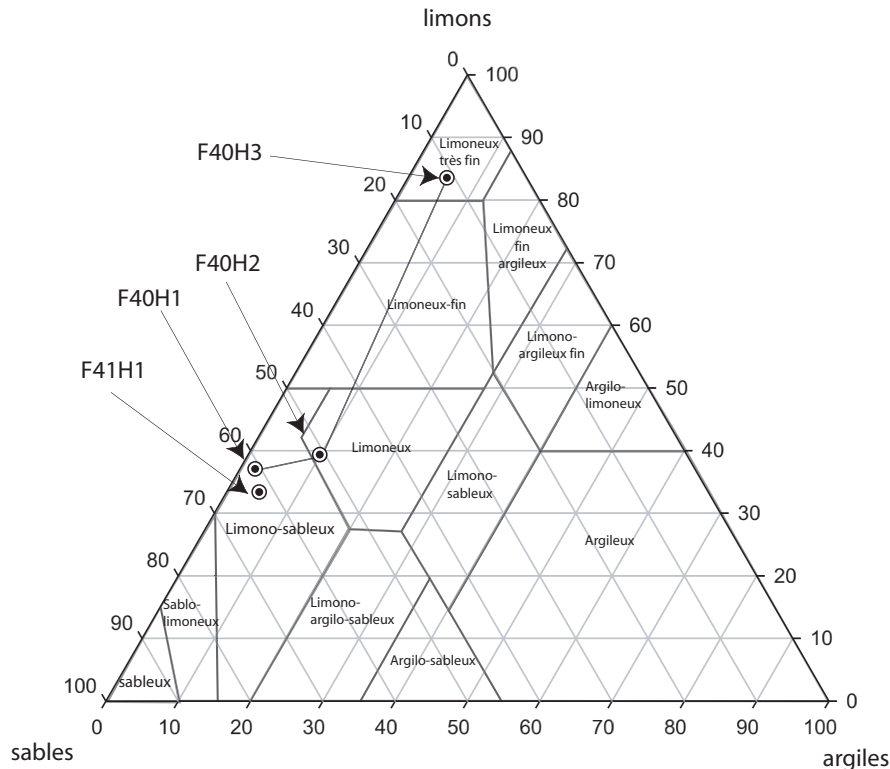


Figure 27. – Représentation ternaire des sondages F40 et F41.

Courbes de fréquence et de distribution relative (figure 28)

Les horizons I de F40 et F41 sont limoneux-sableux, mal triés et bimodaux avec une asymétrie marquée préférentiellement vers le grossier. La distribution de F40H1 est mésokurtique alors que celle de F41H1 est légèrement leptokurtique.

L'horizon F40 II limoneux est mal trié et très asymétrique vers le grossier; la distribution est leptokurtique et plurimodale.

L'horizon III limoneux très fin, est mal trié avec une asymétrie marquée vers le grossier et une distribution mésokurtique et bimodale.

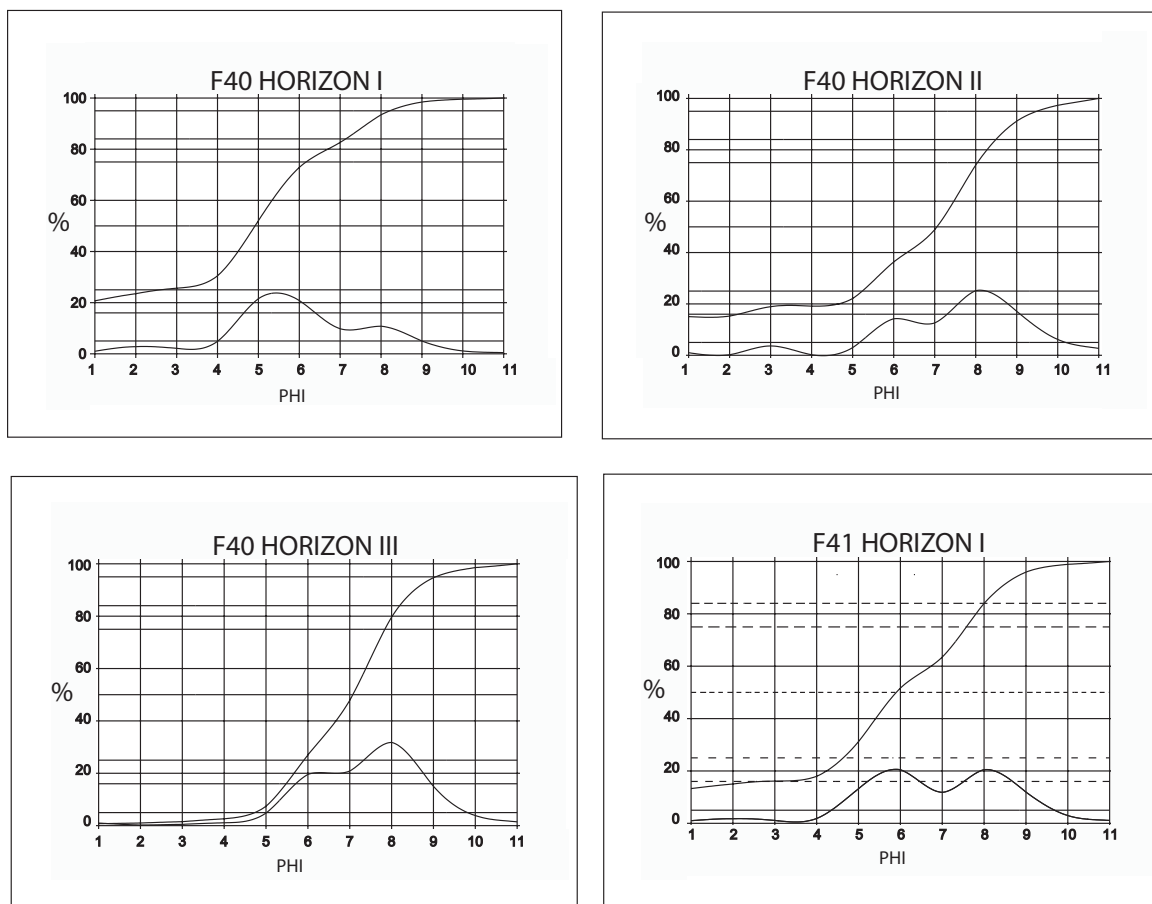


Figure 28. – Courbes de distribution et de fréquence des échantillons F40 et F41.

2.1.2c. Interprétation dynamique

Sur la base des observations de terrain et des résultats de l'analyse granulométrique nous proposons l'interprétation suivante: les deux modes des horizons I représentent les deux fractions de loess et d'argiles que nous avons plus haut sur le versant mais, qui ont été ruisselées.

En bas de versant le système s'est stabilisé; notamment à cause de la pluie, les argiles, fractions très fines sont descendues vers les horizons II et III, ce qui explique l'augmentation du taux de fraction fine avec la profondeur.

Dans l'horizon II, le taux de limons diminue car ils ont certainement enrichi la base du profil (horizon III) mais ce niveau est lui-même enrichi par les argiles de l'horizon I.

L'horizon III est caractérisé par un stock très important d'argiles et une accumulation loessique conséquente. Les accumulations de blocs et cailloux en dessus de ce niveau correspondent à la «stoneline» que l'on trouve sur la crête et en haut du versant, ce qui plaide à nouveau en faveur de deux phases de dépôts loessiques successives.

Cette proposition de deux phases loessiques est ici moins évidente que sur les crêtes. Mais, ces échantillons ont été prélevés presque au pied du versant, dans un système de colluvions et de ruissellement, proches de l'interface avec la moraine comme en témoignent les débris retrouvés dans nos tamis. Ceci explique la légère perturbation des profils.

Représentation cartographique

Sur la base de toutes les informations énoncées ci-dessus et des différents autres sondages de prospection compatibles avec nos interprétations dynamiques, nous cartographons le versant Nord de Chaumont comme un système de colluvions dominé par le ruissellement.

Nous proposons toutefois une distinction pour le bas du versant que nous définissons comme des groizes (figure 29) mises en place en environnement périglaciaire au cours de la dernière période froide et constituées de fragments anguleux de taille variable, non triés et sans organisation visible en lits individualisés. Cette formation est aujourd'hui stabilisée car elle a été colonisée par la végétation. Seules les zones du versant entaillées par les gravières sont encore très actives aujourd'hui, sous l'effet du gel et de la pluie.



Figure 29. – Panorama à 140° de la carrière de «Sous-le-Mont» montrant un dépôt de groizes.

2.2 ANALYSE DU VERSANT SUD

Nous nous limiterons ici à décrire brièvement le sondage T2 effectué à mi-côte du versant dans la clairière de Sarreyer, ce pour les raisons expliquées précédemment.



Figure 30. – Photographie du versant sud au dessus de Dombresson et Villiers .

2.2.a. **Description**

La localisation du site est (564560; 214794), le profil a été levé vers 15h par temps ensoleillé.

Description de la carotte T 2

- Horizon I (0-25 cm)

Les 25 premiers centimètres du profil sont caractérisés par une terre brune avec une teneur en carbonates de 10-20% et des débris de matière organique directement décelables. Les éléments grossiers semblent exclusivement composés de débris morainiques, ce que confirme l'analyse granulométrique. Il n'y a pas de blocs ni de cailloux mais seulement des graviers, peu abondants. Les éléments sont anguleux, de forme irrégulière et faiblement altérée. La terre a une structure particulaire généralisée, peu nette et à éclats anguleux. Le sol est relativement meuble, de consistance peu plastique, peu collante et relativement fragile. On remarque quelques racines et une activité organique moyenne.

- Horizon II (25- 40 cm)

Le deuxième horizon est constitué d'une terre brune-beige à teneur en carbonates inférieure à 1%. Il y a quelques débris de matière organique mais ils ne sont pas directement décelables à l'oeil nu. L'horizon présente quelques taches beiges claires, légèrement rousses irrégulières arrondies ou sous forme de traînées aux limites, de 10 à 20 mm environ. Les taches présentent des limites très nettes ou peu nettes et semblent sans relation visible avec le reste de l'horizon. Elles sont moins cohérentes que la matrice de l'horizon.

Les éléments grossiers sont exclusivement allochtones; on trouve des cailloux peu abondants et des graviers abondants. Leur forme est irrégulière avec des arêtes anguleuses. La matrice possède une structure fragmentaire peu nette à éclats anguleux. Le vide semble très faible entre les agrégats qui forment un ensemble cohérent sans pores visibles. La formation a une consistance peu plastique, non collante et reste friable.

On ne décèle aucune racine et l'activité organique semble nulle. La transition avec la base du profil est très irrégulière.

- Horizon III (40-100 cm)

Il s'agit d'un horizon de couleur beige rousse, très humide, de teneur en carbonates inférieure à 1%, sans matière organique directement décelable. Des taches brunes irrégulières et peu étendues de 10 à 20 mm sont présentes dans tout l'horizon. Elles semblent n'avoir aucune relation visible avec les éléments qui les entourent, ont des limites peu nettes et semblent aussi cohérentes que la masse de l'horizon. On remarque aussi quelques autres taches d'ordre millimétrique à centimétrique qui semblent associées aux éléments grossiers.

La teneur en éléments grossiers augmente considérablement et avoisine les 30%, les blocs deviennent abondants, de même que les cailloux. Les graviers sont très abondants. Ces éléments sont toujours essentiellement d'origine morainique mais on commence à déceler des petits fragments calcaires d'ordre millimétrique à centimétrique. Ils sont de forme anguleuse ou émoussée, faiblement ou fortement altérés et ce localement ou dans la masse.

La structure de l'horizon est nettement massive avec des structures moyennes et grossières associées à une autre très fine. L'horizon semble peu poreux, possède une consistance très plastique, collante et peu fragile.

2.2.b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

En annexe III se trouve le diagramme ternaire du sondage T2. Les trois horizons sont limoneux très fin.

Courbes de fréquence et de distribution relative

En annexe IV se trouvent les courbes de distribution et de fréquence relative dont les caractéristiques sont les suivantes:

- l'horizon I limoneux très fin est très mal trié avec une asymétrie marquée vers le grossier. Il possède une distribution mésokurtique très nettement plurimodale.
- l'horizon II limoneux très fin est faiblement trié, asymétrique vers le fin et de distribution platykurtique. La distribution est au moins bimodale.
- l'horizon III limoneux très fin est faiblement trié, quasi subsymétrique, mésokurtique avec une distribution nettement bimodale.

2.2.c. Interprétation dynamique

Les données granulométriques pour les horizons I et II sont parfaitement en accord avec les données de terrain, les courbes de distribution sont typiquement morainiques, caractérisées par la pluralité des modes.

L'horizon III avec sa distribution bimodale appelle une autre interprétation. Le premier mode est de type loessique et a probablement été déposé lors d'une première avancée glaciaire. Le second mode, soit un enrichissement net en argiles, provient très probablement du lessivage des horizons supérieurs.

Enfin les éléments calcaires que l'on commence à rencontrer dans l'horizon de base nous indiquent que l'on s'approche de la roche-mère calcaire.

Nous avons choisi de faire une analyse granulométrique pour ce profil car c'est un des sondages les plus profonds auquel nous sommes parvenus sur ce versant. Partout ailleurs, la séquence est semblable mais on trouve plus rapidement le contact avec la roche mère ou de ses régolithes.

Le versant sud n'a subi que du ruissellement de très faible intensité, probablement lié de sa régularité, sa faible pente et aux alternances marno-calcaires qui le caractérisent n'a subi que des ruissellements de faible intensité. Le matériel que l'on y trouve est formé fragments calcaires mélangés à du loessique avec au-dessus des accumulations morainiques.

Représentation cartographique

Sur la base du sondage T2 et des autres observations de terrain, nous avons choisi de cartographier le versant sud de notre zone d'étude comme une surface structurale recouverte d'un dépôt morainique diffus. Nous distinguons néanmoins quelques surfaces remarquables telles la clairière de Sarreyer par exemple qui présente des formes de creeping ou des zones très lapiasées recouvertes d'une mince formation superficielle.

3. LE FOND MORAINIQUE

Le fond du Val de Ruz (figure 31) est une zone cultivée. Tous nos sondages tiennent compte de cette particularité: une semelle de labours de 40 cm évite toute perturbation plus profonde des profils.

Les résultats obtenus dans cette partie concernent la zone nord en légère pente qui descend des carrières jusqu'à la plaine alluviale du Seyon dont nous parlerons plus loin. Les formations superficielles des deux talwegs qui entaillent notre zone d'étude ont aussi été étudiées séparément.



Figure 31. –Photographie montrant la mosaïque de champs du fond agricole du Val de Ruz.

Très peu de sondages ont été effectués sur la partie sud du Val de Ruz car cette zone est recouverte d'agglomérations, et d'aménagements divers qui perturbent beaucoup les profils.

Deux sondages T1 et T26 particulièrement représentatifs ont été retenus pour analyses granulométriques. Nous avons choisi de les présenter ici.

3.1 SONDAGE T1

3.1.a. Description

Le site est localisé en (564331; 211744) et a été levé vers 14h par temps ensoleillé.

- Horizon I (0-40 cm)

Horizon très humide constitué de terre brune avec une teneur en carbonates d'environ 5%. La matière organique est directement décelable, on ne constate aucune tâche dans cet horizon. Les éléments grossiers représentent environ 5%, ils sont constitués de graviers et de cailloux peu abondants (les gros cailloux et les blocs ayant probablement été retirés pour améliorer la fertilité des champs). Ces débris sont uniquement constitués de calcaire jaune de forme irrégulière aux arêtes anguleuses ou émoussées; ils sont faiblement altérés localement. Pour les fractions inférieures à 2mm, on trouve 32 % de sables, 60% de silts et 8% d'argiles.



H1
semelle de labours

La terre a une structure particulière mais néanmoins une consistance plastique friable. Les racines fines et moyennes, au chevelu très dense sont nombreuses sur les 10 premiers centimètres de l'horizon.

La transition avec l'horizon II est distincte.

- Horizon II (40-65 cm)

Il s'agit d'un horizon humide constitué de terre beige brune avec une teneur en carbonates de 10-20% et une faible teneur en matière organique, non directement décelable.

H2

Les éléments grossiers sont uniquement calcaires et constitués de blocs peu abondants, de cailloux et graviers abondants à la forme anguleuse ou émoussée et faiblement altérés. On note quelques traînées noires contrastées qui semblent associées aux éléments grossiers. Ces traînées forment des pellicules diffuses.

H3

Pour les fractions inférieures à 2 mm, les sables représentent 28%, les silts 68% et les argiles 4%.

La structure de l'horizon est nettement massive et la transition avec l'horizon III est graduelle.

- Horizon III (65-80 cm)

H4

Il s'agit d'un horizon humide de transition, de couleur beige, limoneux sans taches visibles avec une teneur en carbonates faible (sauf localement autour des éléments grossiers).

Les éléments grossiers sont constitués de blocs peu abondants, de cailloux et de graviers très abondants; ils sont de nature calcaire. On commence néanmoins à déceler quelques débris morainiques mais d'ordre millimétrique uniquement.

Figure 32. – Carotte représentative des 4 horizons des formations superficielles rencontrées au fond du Val de Ruz.

Pour les fractions inférieures à 2mm, la teneur en sables est de 22%, celle des silts de 70% pour un taux d'argiles de 8%.

L'horizon a une structure massive généralisée avec des pores très peu nombreux, sa consistance est très plastique, collante, peu fragile et peu friable. On ne dénote aucune présence racinaire et l'activité organique semble nulle. L'horizon semble inorganique. La transition avec l'horizon IV est diffuse et marquée par un éclaircissement progressif.

- Horizon IV (80-100 cm)

C'est un horizon humide constitué de terre beige semblant très argileuse avec une teneur en carbonates supérieure à 20% dans tout l'horizon. Il n'y a pas de matière organique directement décelable mais on trouve des taches brunes foncées irrégulières aux limites peu nettes sans relation visible avec le reste de l'horizon. L'activité organique semble nulle.

La teneur en éléments grossiers est de 35% environ. Ces éléments sont constitués de blocs, de cailloux et de graviers abondants de forme irrégulière, aux arêtes anguleuses, faiblement altérés, localement ou dans la masse. Les blocs et cailloux sont uniquement de nature calcaire. Environ 15% des graviers sont de nature morainique. L'étude des fractions inférieures à 2mm donne un taux de sables de 37%, 58% de silts et 5% d'argiles.

L'horizon a une structure massive nette à éclats anguleux; la consistance est plastique non collante et peu fragile.

3.1.b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

En annexe III se trouve le diagramme ternaire pour le sondage T1. Ce diagramme nous montre que les quatre horizons appartiennent à la classe limoneux-fin. Si l'on observe l'évolution du sondage avec la profondeur on remarque que l'horizon II est plus limoneux que le I. Puis le taux d'argiles

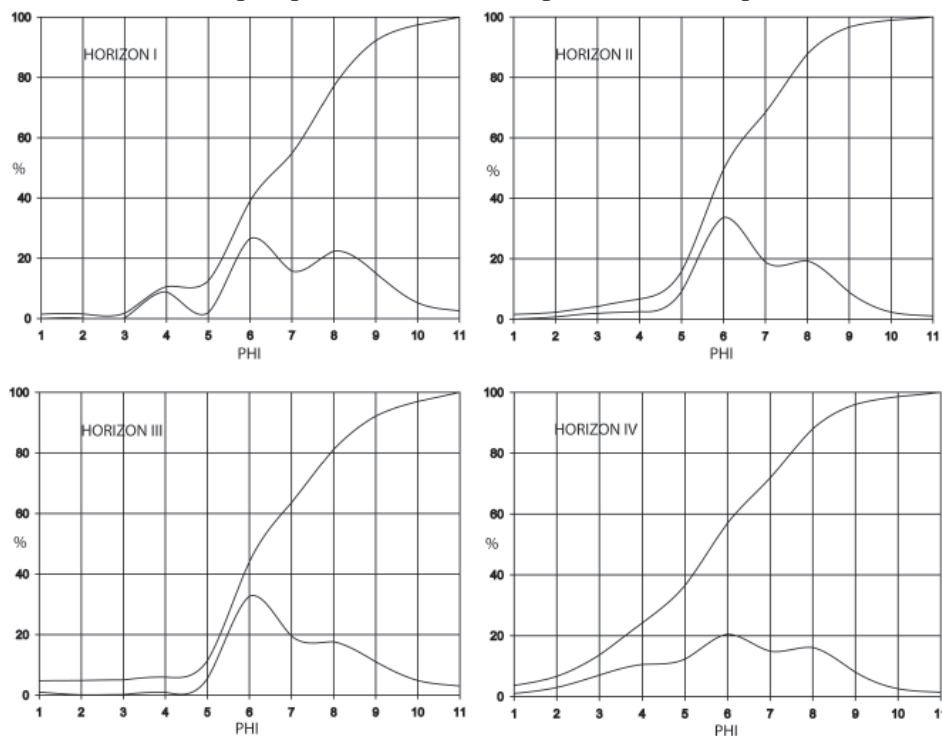


Figure 33. – Courbes de fréquence et de distribution relative des 4 horizons du sondage T1, représentatif du fond du Val de Ruz.

augmente dans l'horizon III pour passer à une texture plus sableuse dans l'horizon IV.

Courbes de fréquence et de distribution relative (figure 33)

Les valeurs des différents indices statistiques calculés se trouvent en annexe IV.

L'horizon I limoneux fin est mal trié, subsymétrique avec une courbe de distribution mésokurtique plurimodale. L'horizon II, limoneux fin est mal trié, avec une asymétrie marquée vers le fin et une courbe de distribution leptokurtique bimodale. L'horizon III, limoneux fin, est mal trié, et présente une asymétrie marquée vers le fin et une courbe de distribution leptokurtique bimodale. L'horizon IV, limoneux fin est très mal trié, subsymétrique, avec une courbe de distribution mésokurtique plurimodale.

3.1.c. Interprétation dynamique

L'horizon I correspond à l'horizon de labours ce qui donne un mélange avec une texture très hétérogène comme le montre la pluralité des modes qui le caractérise. Cet horizon que nous avons défini de 0 à 40 cm est comparable sur tout le fond du Val de Ruz.

L'horizon II nettement bimodal, a un premier pic qui correspond à des loess remaniés et un second qui représente des argiles de décalcification provenant certainement en grande partie du haut du profil (horizon I). Nous interprétons le pic loessique comme la continuité de ceux rencontrés sur les crêtes et sur le versant de Chaumont. Nous interprétons ce niveau comme une formation superficielle éolienne (ce que confirme la distribution leptokurtique) ruisselée.

L'horizon III est un horizon de transition qui se démarque bien sur le terrain dans certains profils mais qui possède presque les mêmes caractéristiques granulométriques que l'horizon II. Cet horizon est très décarbonaté. Il existe certainement dans tous les profils du fond du Val de Ruz mais on ne peut pas toujours le différencier car il possède les caractéristiques de l'horizon II mais avec quelques fragments morainiques annonçant l'horizon IV.

L'horizon IV appartient au système morainique dont il est typique. Il contient peu de stock des différents matériaux fluvio-glaciaires.

3.2 SONDAGE T26

Localisé en (563557; 211744), il a été levé un après-midi par temps ensoleillé.

3.2.a. Description

- Horizon I (0-40 cm)

Cet horizon correspond à la semelle de labours précédemment décrite (voir point 3.1.a.)

- Horizon II (40-80 cm)

Il s'agit d'un horizon constitué de terre beige brune avec une teneur en carbonates de 10-20% localisée, et une très faible teneur en matière organique non directement décelable.

L'activité organique est moyenne. Les éléments grossiers représentent environ 20% de la masse de l'horizon et sont constitués de blocs peu abondants, de cailloux abondants et de très peu de graviers. L'analyse des fractions inférieures à 2 mm donne: 17% de sables, 74.5% de silts et 8.5% d'argiles. Le tamisage humide révèle qu'environ 60% de ces éléments est de nature morainique.

Quelques taches de taille millimétrique, peu nombreuses, sont également visibles. Elles se présentent sous formes de traînées aux limites peu nettes de couleur beige et semblent associées aux éléments grossiers. Il y a aussi quelques autres taches noires, de taille millimétrique, sans relation visible avec le reste de l'horizon.

L'horizon a une structure fragmentaire moyenne nette et généralisée (Jabiol, 1995), à éclats anguleux. L'horizon a une consistance peu plastique, non collante, friable et fragile. On observe des revêtements minces, de consistance rigide et fortement agglomérés sur les éléments grossiers.

Cet horizon porte des traces d'activité humaine puisque des fragments d'un objet en céramique rouge non identifié y ont été retrouvés.

La transition vers l'horizon III est diffuse.

- Horizon III(80-97 cm)

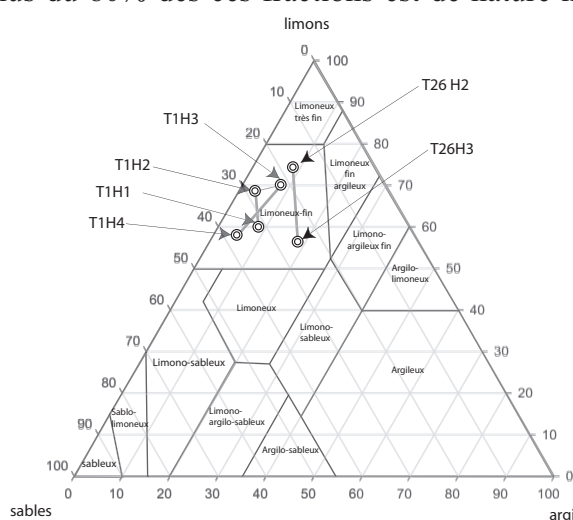
L'horizon est constitué de terre beige brune, humide avec une teneur en carbonates d'environ 20%, sans matière organique décelable et sans trace d'activité visible. Les éléments grossiers sont des blocs, cailloux et graviers abondants aux formes irrégulières, avec des arêtes anguleuses ou émoussées; ils représentent environ 35% de l'horizon. Les fractions inférieures à 2mm se répartissent en 25% de sables, 57% de silts et 18% d'argiles. Le tamisage humide montre que plus du 80% des ces fractions est de nature morainique (quartz, micas, plagioclases...)

mais les cailloux et les blocs sont essentiellement de nature calcaire.

Des oxydes correspondant à des éléments ferrugineux semblent décelables. Il y a aussi des éléments noirs-rouges non identifiés.

La structure est particulière, moyenne à éclats émoussés. La terre a une consistance peu plastique, non collante et est très friable et fragile.

Figure 34. – Représentation dans un diagramme ternaire des différents horizons des sondages T1 et T26, représentatifs du fond morainique du Val de Ruz.



3.2.b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

La représentation dans un diagramme ternaire (figure 34) montre que les horizons du profil appartiennent à la classe limoneuse-fine.

Courbes de fréquence et de distribution relative

En annexe IV se trouvent les courbes de fréquence et de distribution relative. Ces courbes montrent que:

- l'horizon II limoneux fin est faiblement trié, nettement bimodal, avec une courbe subsymétrique et une forme platykurtique.
- l'horizon III limoneux-fin est très mal trié, plurimodal avec une asymétrie marquée vers le grossier.

3.2.c. Interprétation dynamique

L'horizon I représentant la semelle de labours, nous en faisons abstraction.

L'horizon II est à nouveau typique d'une formation ruisselée où l'on retrouve deux modes. Ils contiennent probablement les dépôts loessiques remaniés que nous avons observés sur les crêtes ainsi que des argiles de décalcification. Mais la formation contient aussi beaucoup de débris morainiques, ce qui indique la présence d'une matrice mal triée composée de limons et d'argiles. Nous interprétons donc la courbe de distribution bimodale de cet horizon comme une combinaison entre des dépôts loessiques ruisselés et des dépôts morainiques tels des tills de fond.

L'horizon III est très clairement plurimodal, et caractérise très nettement une formation superficielle de nature morainique. La faiblesse du classement granulométrique en témoigne (des blocs de toutes tailles coexistent avec une matrice fine composée de limons et d'un peu d'argile).

Les deux sondages présentés ci-dessus sont représentatifs du fond du Val de Ruz. Les autres sondages de la zone ont tous à peu près les mêmes caractéristiques; la seule différence réside dans la profondeur de la transition entre la formation ruisselée et la formation morainique sous-jacente.

Autre point important, la validité de l'analyse granulométrique de l'horizon II du profil T26 pourrait être discutée étant donné que nous avons trouvé un débris de céramique à 60 cm de profondeur. Il aurait pu s'agir d'une ancienne fosse creusée par l'homme pour y mettre des débris mais l'ensemble du profil étant parfaitement cohérent avec les autres sondages, nous rejetons cette possibilité et acceptons le sondage comme représentatif. La présence de ce tesson peut être liée à un remaniement superficiel.

L'absence de gros blocs s'explique certainement par l'exploitation agricole des champs. Afin d'améliorer la fertilité des parcelles, les gros blocs ont été enlevés; on les retrouve par endroit entassés au bord des champs et ils ont surtout été exploités pour la construction des bâtiments des villages de Savagnier, Dombresson, et Villiers.

Une partie des dépôts est certainement constituée de tills de fond déposés par abandon de matériau à la base de la masse glaciaire en mouvement. Comme argument, nous avançons la présence de matrice fine souvent très abondante dans les tills de fond ainsi que la forte hétérométrie des courbes granulométriques. Sur ces tills de fond se trouve certainement une quantité non négligeable de tills d'ablation mis en place lors des différentes phases de retrait glaciaire.

3.2.d Interprétation cartographique du fond morainique

Si l'on résume les données acquises, le fond du morainique est une formation allochtone de grande diversité pétrographique recouvrant uniformément le fond du Val de Ruz mais avec des variations d'épaisseur et de profondeur. Le matériau morainique est de type rhodanien car le Val de Ruz correspond à un ancien vallum morainique würmien (Aubert 1965) où a été amené du matériau en provenance du massif du Mont Blanc. Ces alluvions de type glaciaire ou fluvio-glaciaire sont caractérisées par un classement granulométrique faible (des blocs de toutes tailles peuvent coexister avec une matrice fine mais hétérométrique composée de limons et d'argiles. Cette hétérométrie est d'ailleurs visible dans la carrière de Savagnier où le niveau morainique est directement observable.

Pour cette raison, la profondeur de chaque sondage, ainsi que la profondeur de l'interface morainique sont notés sur la carte de formations superficielles. La formation morainique est donc représentée comme un aplat uni avec par-dessus une formation superficielle ruisselée comprenant entre autre des loess remaniés.

4. LES TALWEGS SUR LE FOND MORAINIQUE

Le fond du Val de Ruz est entaillé perpendiculairement par 2 petits talwegs correspondant aux lits de 2 petits cours d'eau qui sont des affluents du Seyon. Nous présentons séparément leurs formations superficielles car elles diffèrent de celles du fond morainique.

Une série de sondages (T28, T4, T5, T23, T24, T43) a été effectuée, seul a été retenu pour analyse granulométrique T28 (figure 26) (563272; 211963) effectué un matin par temps nuageux, à quelques mètres du lit du d'un des cours d'eau.

a. Description

- Horizon I (0-20 cm)

Horizon sec constitué de terre brune à teneur en carbonates inférieure à 10% et à débris organiques directement décelables. On remarque des traces anciennes de travail agricole du sol même si la zone est dorénavant en zone naturelle protégée, recouverte de prairie. L'horizon présente une activité organique moyenne.

La teneur en éléments grossiers est de 10% environ, représentée par des graviers abondants et très peu de cailloux; les éléments sont de forme irrégulière, aux arêtes émoussées et sont altérés localement. Pour les fractions inférieures à 2 mm, on trouve 10.5% d'argiles, 73% de silts et 16.5% sables. Les fractions supérieures à 8 mm semblent exclusivement calcaires alors que celles inférieures à 8 mm sont de nature morainique pour 40% environ.

L'horizon ne présente aucune tache et a une structure particulière fine à éclats émoussés. La consistance est peu plastique, peu collante, et friable. Les racines sont nombreuses et de toutes tailles; elles ont un chevelu développé et pénètrent tout l'horizon.

La transition avec l'horizon II est distincte.

- Horizon II (20-40 cm)

L'horizon II est légèrement humide et constitué de terre brune à teneur en carbonates avoisinant les 20%. La matière organique est directement décelable avec quelques racines qui pénètrent l'horizon. L'activité organique semble moyenne. Les éléments grossiers représentent environ 40% de la masse de l'horizon et sont constitués de blocs et cailloux très abondants et de graviers abondants; ces éléments sont de nature calcaire ou morainique. On trouve des débris anguleux, aux formes irrégulières, associés à des blocs ou cailloux parfaitement lisses et arrondis.

Pour les fractions inférieures à 2 mm, on trouve un taux d'argiles de 5%, 82% de silts, et 13% de sables, ces fractions étant constituées à environ 60% de matériau morainique.

On remarque aussi quelques taches, peu étendues (5-10mm), de couleur noire. Ces taches semblent sans relation visible avec le reste de l'horizon.

La transition avec l'horizon III est nette.

- Horizon III (40-65 cm)

Il s'agit d'un horizon humide, constitué de terre brune argileuse à teneur en carbonates proche des 20% et à matière organique directement décelable. On note encore de très rares racines fines, qui pénètrent les agrégats.

Les éléments grossiers sont caractérisés par des blocs sous forme de galets ronds de dimension décimétrique à pluridécimétrique, des cailloux abondants et des graviers très abondants. Ces éléments sont de nature calcaire ou morainique, ils ont une forme irrégulière, des arêtes anguleuses, ou une forme légèrement arrondie. Pour les fractions inférieures à 2 mm, on trouve 7.5% d'argiles, 82% de silts et 5.5% de sables, ces éléments étant à 60 % de nature morainique.

L'horizon présente de nombreuses taches beiges à rouges, peu étendues, de forme irrégulière, se présentant en traînées ou en bandes et aussi cohérentes que le reste de l'horizon.

L'horizon présente une structure moyenne et grossière massive, nette mais légèrement grumeleuse associée à une autre structure fine pour les parties ressemblant à des argiles. La terre a une consistance très plastique, collante et peu fragile.

b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

La représentation sur un diagramme ternaire (figure 35) illustre l'évolution de la formation avec

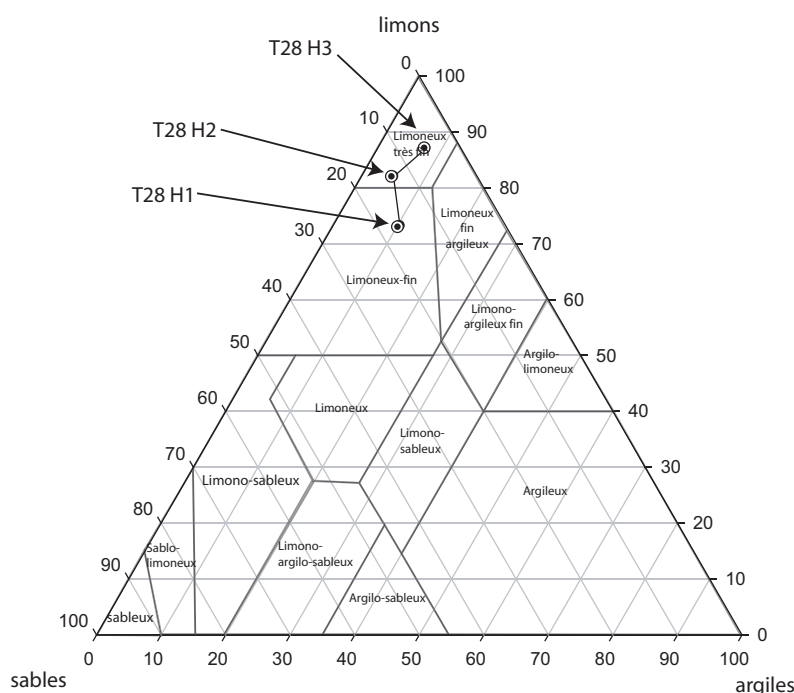


Figure 35. – Représentation dans un diagramme ternaire des différents horizons du sondage T28 représentatif des formations superficielles des talwegs du fond du Val de Ruz.

Les trois horizons sont bimodaux.

c. Interprétation dynamique

Ce profil se situe au bord du talweg d'un ruisseau qui a certainement connu des phases beaucoup plus actives qu'aujourd'hui. Les empreintes de l'action de l'eau sont très nettes, on trouve des galets parfaitement polis dans les horizons, alors que le débit moyen actuel est très faible.

L'horizon I montre une petite part de sédiments d'origine éolienne ainsi qu'un stock important de limons d'inondation. Dans l'horizon II le stock de loess augmente considérablement et correspond certainement aux loess remaniés dont nous détectons la présence depuis le haut du versant de Chaumont; mais il faut ici y ajouter les limons d'inondation. Les blocs trouvés dans cet horizon ont certainement pour une part été arrachés au versant et transportés ensuite, ce qui explique leur forme arrondie. L'horizon III montre un stock très important de loess et de limons d'inondation. Une partie des horizons supérieurs a certainement été lessivée ce qui explique cette accumulation relative.

Il nous semble donc important de différencier les formations superficielles des talwegs du fond morainique car le système ruisselé beaucoup plus important a permis un tri des matériaux, et malgré l'abondance de matériel morainique observée, les courbes ne sont pas typiques d'une formation morainique.

L'ensemble du profil illustre donc parfaitement les mécanismes d'une phase d'alluvionnement, et ce qui pourrait être pris pour des argiles de décalcification sur le terrain, s'avère en fait être des limons d'inondation.

la profondeur: de limoneux fin, elle devient limoneuse très fine.

Courbes de fréquence et de distribution relative

Les courbes en annexe IV montrent que:

- l'horizon I, limoneux fin est faiblement trié avec une courbe quasi symétrique et une distribution de forme mésokurtique.
- l'horizon II, limoneux très fin est faiblement trié avec une asymétrie marquée vers le fin et une distribution de type mésokurtique.
- l'horizon III, limoneux très fin est faiblement trié avec une asymétrie très nette vers le fin et une distribution de forme mésokurtique.

5. LA PLAINE ALLUVIALE

La plaine alluviale se distingue facilement sur le MNT et nous avons choisi de la représenter comme une formation homogène. Une analyse de détail de la zone aurait constitué un travail de mémoire à elle seule. Nous avons affiné les limites de la carte géologique par observation du MNT. Trois sondages T3, T30 et T44 ont été réalisés en amont de la plaine alluviale. Les autres secteurs ont été soigneusement évités car l'aménagement du Seyon et les agglomérations ont perturbé les profils. Enfin, les berges sont actuellement en zone naturelle protégée, ne permettant pas la réalisation d'une coupe.

Nous avons aussi eu accès aux données de trois sondages (S1, S2, S3) réalisés en 1998 sur le lieu de la construction de la nouvelle STEP qui nous renseignent sur la structure profonde de la plaine alluviale (annexe VI).

La fosse F30 est représentative de la zone. Nous nous attachons à la décrire dans les paragraphes suivants.

a. Description

La fosse F30 est localisée en 564867; 214211.

- Horizon I (0-25 cm)

L'horizon I est constitué de terre brune, comprenant environ 20% de carbonates, des débris organiques directement décelables ainsi que de nombreuses racines de toutes tailles pénétrant les agrégats. On trouve des débris de coquilles et l'activité organique semble forte.

Les éléments grossiers (30% de l'horizon) sont de nature calcaire et sont constitués de graviers, de cailloux peu abondants, et de très peu de blocs. Ces éléments ont des arêtes anguleuses ou émoussées et sont faiblement altérés. Pour les fractions inférieures à 2 mm on trouve 12% d'argiles, 7% de silts et 81% de sables. L'observation de ces fractions nous montre une teneur en matériau morainique de 20% environ.

La terre a une structure particulière peu nette, à éclats anguleux et est grenue très fine. La porosité semble importante dans ce matériau à nombreux pores interstitiels sans orientation dominante. La terre a une consistance non plastique, non collante, très friable et fragile.

La transition avec l'horizon II est distincte.

- Horizon II (25-45 cm)

L'horizon II est formé de terre brune foncée très humide, comprenant environ 20% de carbonates, des débris organiques directement décelables et quelques racines fines entre les agrégats. L'activité organique caractérisée par des cavités et des galeries est forte.

Les éléments grossiers représentent environ 10% de la masse de l'horizon et sont constitués de graviers et de blocs et cailloux peu abondants. Ces éléments, aux formes irrégulières sont de nature

calcaire et ont des arêtes anguleuses ou émoussées et sont faiblement altérés. On distingue aussi quelques éléments morainiques d'ordre centimétrique. Pour les fractions inférieures à 2 mm, on trouve 4% d'argiles, 77% de silts et 19% de sables. Environ 30% de ces fractions est de nature morainique.

L'horizon présente quelques taches noires sous forme de traînées contrastées, peu étendues et semblant aussi cohérentes que la masse de l'horizon. Ces taches semblent associées aux éléments grossiers. On distingue aussi quelques autres taches brunes claires.

L'horizon a une structure massive à fragmentaire, légèrement grumeleuse. Le vide entre les agrégats est faible et les pores sont peu nombreux, sans orientation dominante. On remarque quelques faces luisantes. La terre a une consistance plastique, peu collante et peu fragile.

La transition avec l'horizon III est irrégulière.

- Horizon III (45-90 cm)

Il s'agit d'un horizon très humide constitué de terre beige et ocre à teneur en carbonates avoisinant les 20%. Des débris organiques directement décelables sont présents sur les 10 premiers centimètres de l'horizon et on remarque quelques racines.

Les éléments grossiers représentent environ le 50% de l'horizon et sont constitués de blocs abondants, ainsi que de cailloux et de graviers. Ces éléments ont soit des formes arrondies soit des formes irrégulières, anguleuses altérés localement ou dans la masse. Ils sont soit calcaires soit morainiques.

L'observation des fractions inférieures à 2 mm donne 7% d'argiles, 65% de silts et 28% de sables. Environ 40% de ces fractions est de nature morainique.

L'horizon présente de nombreuses taches beiges irrégulières, d'une grande hétérogénéité de dimensions qui sont contrastées, aux limites très nettes et semblent aussi cohérentes que le reste de l'horizon. Elles sont associées aux éléments grossiers. On distingue aussi quelques autres taches noires, de taille millimétrique et semblant associées à la décomposition de la matière organique. Quelques oxydes non identifiés sont également visibles sous forme de taches.

La terre a une structure massive à fragmentaire mais est légèrement grumeleuse. Deux structures fines différentes semblent associées. Le vide est très faible entre les agrégats à pores peu nombreux et très fins. On ne remarque ni faces luisantes, ni faces de glissement.

La terre a une consistance très plastique et collante. Elle est peu fragile et peu friable.

On distingue de minces revêtements argileux de couleur beige, peu agglomérés et à consistance malléable sur les grains du squelette et associés aux vides.

b. Représentation de la granulométrie

Diagramme ternaire

La représentation dans un diagramme ternaire (figure 36) montre bien l'hétérogénéité de la formation superficielle.

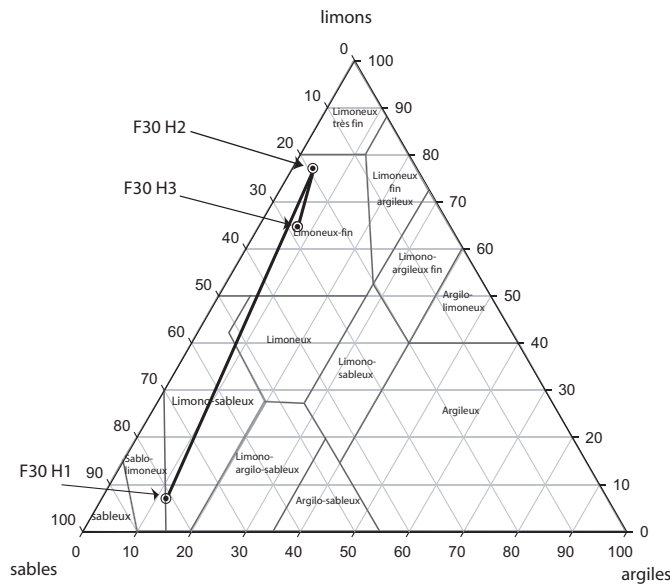
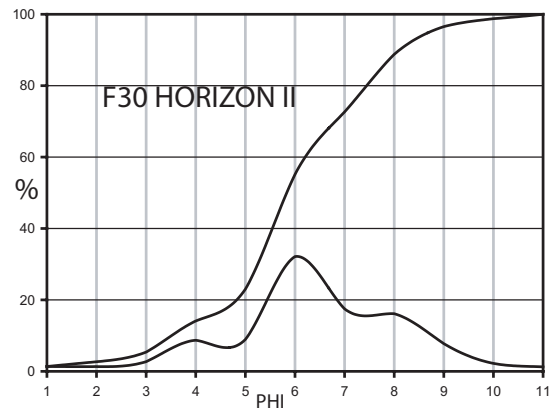
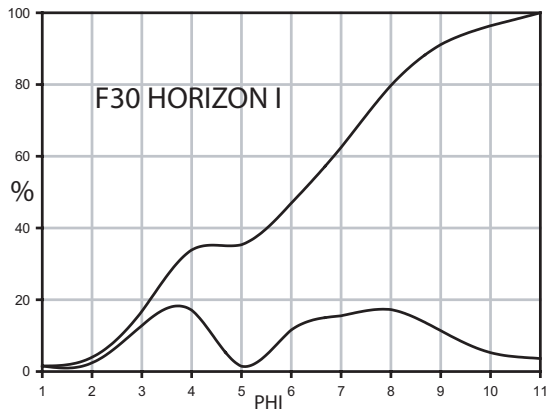


Figure 36. – Représentation dans un diagramme ternaire des différents horizons du sondage T30 représentatif des formations superficielles de la plaine alluviale du Seyon.

L’horizon I appartient à la classe limono-sableuse, alors que les horizons II et III appartiennent à la classe limoneuse-fine; l’horizon III contenant plus de sables que l’horizon II très limoneux.

Courbes de fréquence et de distribution relative (figure 37)

L’horizon I, limono-sableux est très mal trié avec une asymétrie marquée vers le grossier et une distribution platykurtique bimodale. L’horizon II, limoneux-fin est mal trié, quasi symétrique avec une distribution leptokurtique plurimodale. L’horizon III, limoneux fin est très mal trié, quasi symétrique avec une distribution légèrement leptokurtique bimodale.



INDICES:

$\emptyset I_1 = 2.44$

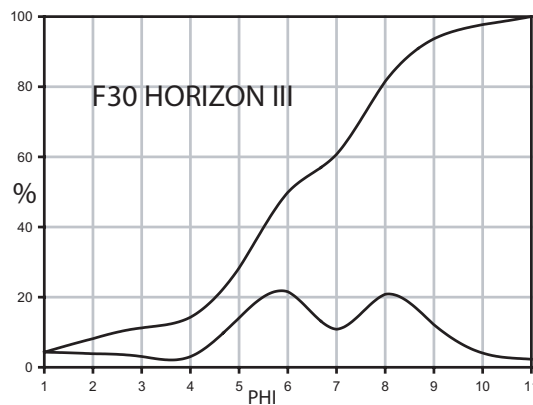
$\emptyset I_2 = 1.85$

$\emptyset I_3 = -2.45$

$S_{KI1} = -0.13$

$S_{KI2} = 0.0055$

$S_{KI3} = 0.032$



$K_{G1} = 0.75$

$K_{G2} = 1.27$

$K_{G3} = 1.178$

Figure 37. – Représentation des courbes de fréquence et de distribution relative du sondage T30.

c. Interprétation dynamique

Le premier mode de l'horizon I est interprété comme des limons d'inondation et le second comme un stock de poussières récentes. L'horizon I représente un sol sur des alluvions proches de la source. Le passage de l'horizon I à l'horizon II montre une diminution des fractions grossières et une augmentation des fractions fines. Une partie des fractions fine de l'horizon II est due au lessivage du premier horizon.

L'horizon II, multimodal, nous semble caractéristique de la dynamique sédimentaire sous climat périglaciaire à tempéré, il est très mélangé et se trouvait probablement sur la trajectoire d'un torrent sous-glaciaire.

L'horizon III nettement bimodal illustre parfaitement une formation superficielle antérieure à celle de l'horizon II. Le premier mode correspond certainement à de la farine glaciaire et le second à de l'éolien ou à des argiles de décalcification légèrement agglomérées.

d. Interprétation en profondeur

En 1998, 3 sondages semi-profonds ont été effectués dans le secteur des Prés-Royer avant la construction de la nouvelle STEP du Val de Ruz. Il s'agit d'un forage à 30.80 mètres, d'un à 12 mètres et d'un à 8.85 mètres.

Ces sondages ont été effectués pour préciser la délimitation d'une nappe artésienne dont le centre géométrique peut être établi entre la scierie Debrot et la station des Prés-Royer. Cet aquifère artésien est constitué de graviers grossiers à petits galets avec sables et limons assez abondant pour le niveau supérieur et de sables très fin limoneux pour le niveau inférieur.

En annexe VI on trouvera une copie des profils des 3 sondages effectués dans le fluvio-glaciaire. Les sondages sont en adéquation avec d'autres effectués en 1983 dans la région et montrent pour la plaine alluviale, l'existence d'une épaisse série limono-argileuse à cailloutis et galets plus ou moins abondants (cela peut aller jusqu'à leur absence), vraisemblablement d'origine glacio-lacustre (lors des reconnaissances de 1983, des dépôts varvés ont été observés).

Les sondages renforcent aussi la présomption de possibles niveaux artésiens dans la zone de la plaine alluviale. Ces niveaux ont été observés à 20, 30 mètres lors des campagnes précédentes.

En résumé la zone se caractérise par des dépôts argilo-limoneux qui peuvent contenir par endroits des épisodes graveleux ayant pu donner naissance à des nappes artésiennes.

Le sondage S1 a atteint 30.80 mètres de profondeur. Les 10 premiers centimètres sont constitués de terre brune végétale. L'horizon I de 10-50 centimètres est constitué de terre brune limoneuse, finement sableuse, à quelques graviers. L'horizon II de 50 cm à 4 m se caractérise par des limons bruns clairs, un peu argileux, et avec graviers. Entre 3.40 et 4 mètres, les graviers sont plus abondants; quelques petits galets (des graviers pour l'essentiel) ne sont pas d'origine locale. L'horizon III entre 4 mètres et 13.35 mètres est très finement sableux, un peu à très peu argileux, beige avec graviers, galets et petits blocs d'origine variable mais où les calcaires noirs dominant. Entre 10 et 13 mètres 35, la compacité augmente et le matériau devient gris, dur, sec, de type morainique.

L'horizon IV entre 13.35 et 15.10 mètres est limoneux à sableux, assez fortement cohérent, un peu plastique à graviers et petits blocs. L'horizon V entre 15.10 et 21 mètres est limoneux, finement sableux, un peu argileux, à graviers cohérents et peu plastique. Enfin, l'horizon VI entre 21 et 20.80 mètres est limoneux argileux gris beige, à rares graviers; cohérent, compressible, un peu plastique. Une mince passée sableuse de 10 cm, très humide a été constatée à 28.40 m il constitue probablement l'ultime manifestation vers le SO du niveau artésien observé en 1984.

Pour la description des sondages S2 et S3, se référer à l'annexe VI

e. Interprétation cartographique

Cette zone a été représentée sur la carte comme des formations alluviales sur un substratum morainique. Le haut de la plaine alluviale, à la sortie des gorges du Paquier porte une empreinte fluvio-glaciaire nette et a été cartographiée comme du fluvio-glaciaire remanié.

B. mise en place des formations superficielles



Ere glaciaire? *Photo B. Delacou*

INTRODUCTION

Un versant est l'espace compris entre la ligne de crête ou le rebord de plateau et le fond de la vallée ou talweg (Joly, 1997). Cette définition est très claire; il est en revanche nettement plus difficile d'expliciter la mise en place des formations sur un versant dans une région marquée par les empreintes glaciaires successives (Aubert, 1986). Elle ne peut être que complexe et le produit de plusieurs processus et phases successives.

Avant de présenter notre interprétation des versants, nous proposons une subdivision (figure 39) car les différentes parties qui les constituent ne sont pas liées aux mêmes processus de mise en place.

- I. Le haut du versant structural: soit la zone comprise entre la ligne de crête et la partie supérieure de la zone de groizes.
- II. Le bas du versant structural : soit la zone de groizes
- III. Le versant en pente douce: il va du pied du versant structural nord au fond de la vallée.
- IV. Le versant structural en-dessus de Dombresson.
- V. Le versant en pente douce du bas du versant structural sud au fond de la vallée.

Il convient de garder à l'esprit que des modifications majeures ont eu lieu entre et à l'intérieur même des différentes périodes glaciaires. Cela est lié aux variations d'importance et d'intensité des différents processus qui ont été mis en jeu: la gélifraction, la gélifluxion, le ruissellement, l'apparition ou la disparition d'un pergélisol (Campy et Macaire, 2003).

Il y a eu des périodes où le versant était recouvert par le glacier en témoignent les débris morainiques retrouvés le long de la crête; (Aubert, 1986), ce qui a certainement provoqué une abrasion du versant et après le retrait de la glace, des réajustements en milieu périglaciaire sous forme de gélifraction, de gélifluxion, de ruissellement et d'éboulis de gravité.

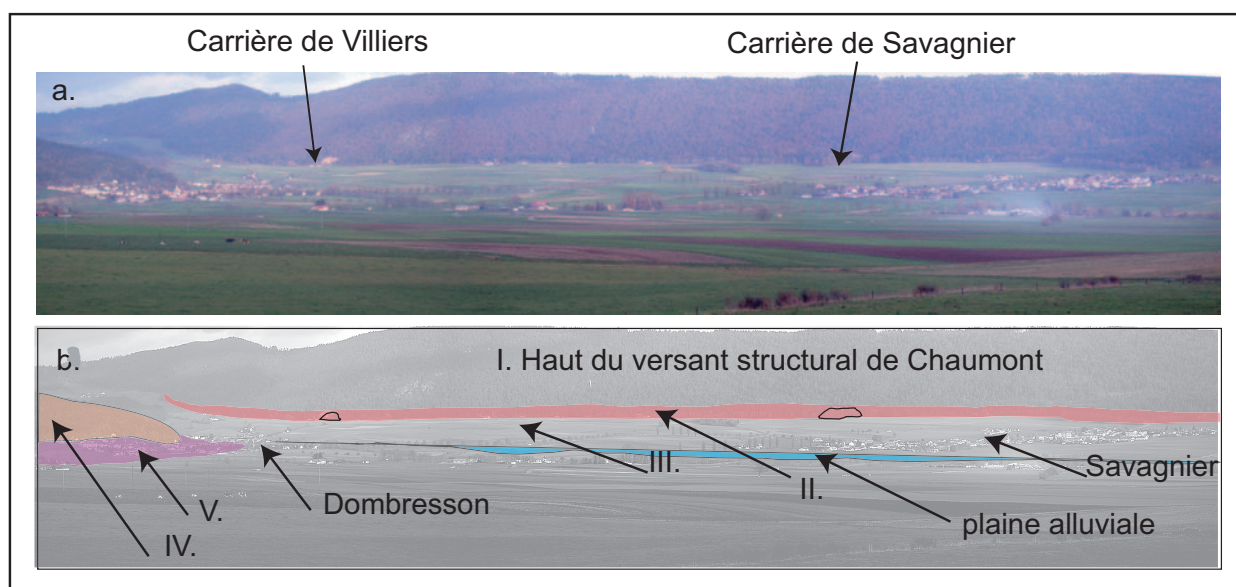


Figure 39 – Vue générale du Val de Ruz depuis Cernier. La photo a. montre la localisation des 2 carrières et la figure b. les différents versants de la zone d'étude. Voir le texte pour les détails.



Figure 40. – Le versant nord de Chaumont. a. vue depuis la crête de Chaumont. b. vue montrant des blocs fracturés. c. coupe typique du haut du versant (sondage T 49).

1. HAUT DU VERSANT (figure 40)

a. Fragmentation mécanique (gélifraction)

La gélifraction a donné lieu à des éboulis très développés (versant Nord) en contexte périglaciaire grâce aux fréquents affleurements de roche nue et à la pente. Les blocs ont pu se détacher et rouler individuellement. Des gélifracts sont clairement visibles sur le profil F25 et s'observent en d'autres endroits du versant (en vert sur figure 43). Une grande partie des accumulations du bas du versant structural est certainement aussi liée à cette dynamique.

b. Gélifluxion

Un versant façonné par gélifluxion est relativement peu incisé, avec des talwegs drainés rares et espacés. Le versant est façonné dans son ensemble, sur toute sa surface.

A la fin d'une période de gélifluxion, le ruissellement va s'intensifier et le nombre de talwegs va augmenter, sous forme d'entailles pas forcément localisées sur le lieu des précédentes. Il y a certainement eu plusieurs phases de gélifluxion sur le versant mais on ne peut en définir clairement l'empreinte si ce n'est une forme générale du versant (talwegs drainés, rares et espacés en bleu sur la figure 43).

c. Ruissellement

Le ruissellement fait des entailles localisées, son action est fonction de la roche, du climat et de l'exposition du versant. Le ruissellement va entraîner les débris fins vers la base du profil et entraver la gélifluxion. Il permet la conservation de pentes à inclinaison forte, ce qui explique en partie la raideur du versant nord et la faible densité de talwegs sur ce versant.

Le ruissellement a joué un rôle très important sur cette partie du versant. Une partie des débris des deux grandes phases d'accumulation loessiques identifiées dans nos profils a été ruisselée, permettant une grande accumulation de fractions fines non seulement au bas du versant structural et dans la plaine morainique mais aussi sur toute la zone du haut du versant.

2. BAS DU VERSANT STRUCTURAL (figure 41)



Figure 41. – Pied du versant de Chaumont. Photo prise dans la carrière de Villiers et qui montre une importante série de groizes. La barre blanche représente une hauteur de 3 mètres.

de sables grossiers mais jamais à matrice limoneuse ou argileuse car elles seraient alors le siège de phénomènes de géliturbation (Cailleux, 1967) ce qui n'est pas le cas ici. Il convient donc d'y associer du ruissellement.

b. Ruissellement

Le ruissellement explique la grande accumulation de particules fines d'origine essentiellement loessique, qui ont été progressivement ruisselées sur le versant et se sont en partie accumulées à son pied. Puis elles ont pour partie été ruisselées plus loin dans le vallum morainique jusqu'au lac qui occupait la plaine alluviale du Seyon. A cela, il faut associer un ruissellement généralisé des matériaux préparés plus haut par gélifraction et érosion. La figure 43 montre les principales zones de ruissellement (en vert).



Figure 42 - Formations superficielles dans la carrière de Savagnier. On observe des groizes sur de la moraine.

c. Tills glaciaires

Une grande partie des fractions fine est constituée de tills glaciaires accumulés lors des différentes phases glaciaires. Ces dépôts se voient clairement dans la carrière de Savagnier comme le montre la figure 42. Les caractéristiques de ces dépôts sont décrites dans la partie suivante.

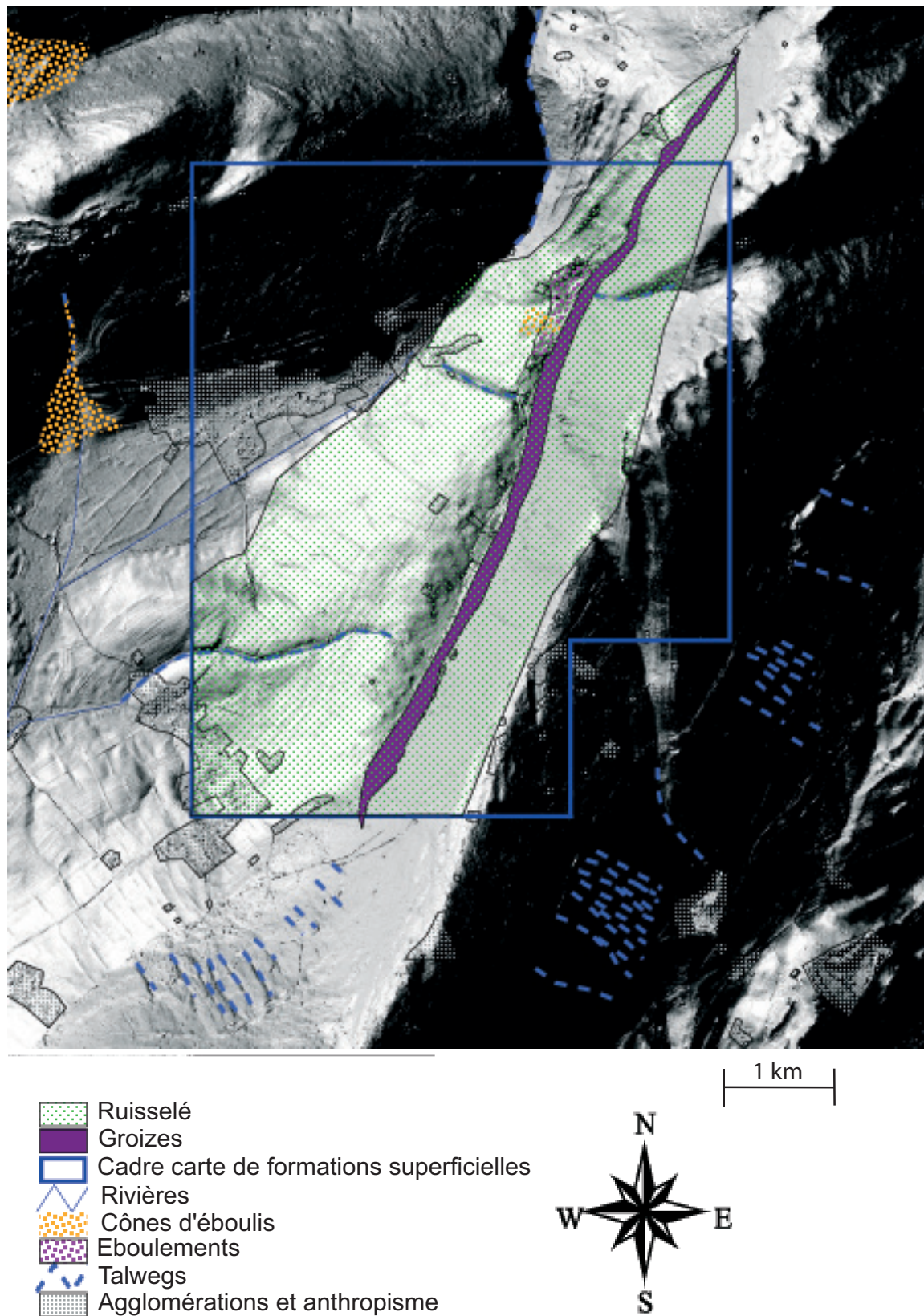


Figure 43. – Résumé des différentes informations sur la mise en place des formations superficielles.

3. LE VERSANT EN PENTE DOUCE

Cette zone (figure 44) est caractérisée par un fond morainique uniforme sur lequel se superposent différentes formations superficielles ruisselées ou alluviales.



Figure 44. – Panorama NE -SW du versant en pente douce du fond du Val de Ruz.

a. Caractéristiques des tills de fond et de leur remaniement

Les tills de fond sont caractérisés par un classement granulométrique faible ou des blocs de plusieurs mètres peuvent coexister avec des graviers, des sables et des particules fines (limons et argiles) constituant une matrice (Campy et Macaire, 2003). Le fond du Val de Ruz ayant été marqué par un remaniement des eaux de fonte en contexte fluvio-glaciaire et glacio-lacustre, cette hétérométrie est atténuée.

Les structures sédimentaires sont très rares, la glace n'ayant pas de compétence discriminantes vis à vis des particules qu'elle transporte puis abandonne. Cependant les tills de la plaine alluviale actuelle du Seyon montrent par endroit des structures varvées propres à un contexte glacio-lacustre et à l'importance des eaux de fontes (Bertrand, 1998).

Autre caractéristique générale, la nature pétrographique variée des dépôts rencontrés qui sont ici de type rhodanien (roches cristallines).

L'étude de Monbaron (1973) donne les caractéristiques locales suivantes à ces dépôts que nous n'avons qu'à peine effleurés par sondage. Le matériel passe d'une teinte beige à grise avec la profondeur, est constitué d'une matrice limono-argileuse très abondante à granules et galets. Cette matrice renferme rarement des blocs.

Le sédiment est très mal classé, le diamètre moyen des particules est d'environ 0.1 mm. Les fractions limoneuses et argileuses sont très importantes, il n'y a que peu ou pas de galets grossiers. Les minéraux majeurs de la matrice de la moraine sont le quartz, depuis la surface et dont la teneur se stabilise vers 10 mètres de profondeur, la calcite bien plus présente dans les premiers mètres du profil, la dolomite plutôt présente à la base du profil et dès 6 mètres de profondeur et enfin les feldspaths dont la teneur augmente avec la profondeur mais ne dépasse pas 7 à 8 %.

En ce qui concerne les argiles, le stock augmente vers la surface à partir de 8-9 mètres de profondeur; elles sont présentes sous forme d'illite, de chlorite et de smectites. Aucune trace de kaolinite n'a été décelée. Ces résultats sont conformes avec les caractéristiques des formations glaciaires de la bordure du Jura décrites par Peters (1969).

Les différents sondages anciens (Mornod, 1970, 1971, 1973) et plus récents (Bertrand, 1984; Bertrand, 1990; Bertrand, 1998) s'accordent sur les caractéristiques générales suivantes des différents niveaux rencontrés dans les tills glaciaires:

- un premier niveau très altéré de 0 à 5 mètres qui a subi des apports non constants et dont le matériel homogène lors du dépôt a subi des altérations in situ au niveau de sa matrice dans la plupart des cas (Monbaron, 1973) qui se caractérise par:
 - un enrichissement (relatif) en quartz, par disparition d'autres minéraux majeurs
 - un appauvrissement en calcite
 - la disparition de la dolomite
 - la dégradation des feldspaths
 - l'augmentation du stock argileux
 - la dégradation de l'illite.
- entre 5 et 9 mètres, on trouve une formation détritique granulométriquement mal classée, soit une zone de transition ayant pour caractéristiques:
 - un niveau d'accumulation de la calcite (les carbonates représentent 1/3 du ciment)
 - l'apparition progressive de la dolomite
 - une stabilisation de la teneur en argiles
- puis en dessous se trouve une zone non altérée, typique de la moraine de fond locale dont le spectre pétrographique présente les caractéristiques suivantes:
 - quartz 27.5 %
 - calcite 33.5 %
 - dolomite 5%
 - feldspath 5.5 %
 - argiles 28.5% avec 5% de smectites, 12.5% d'illites et 11% de chlorite.

b. Ruissellement

Une partie des sédiments ruisselés étudiés sur le versant de Chaumont se retrouve ici déposée et s'observe dans nos carottes.

Les profils sont toutefois très perturbés par l'exploitation agricole et le système de drainage mis en place dans la région.

On observe aussi des zones de ruissellement nettes, marquées par les différents talwegs qui entaillent le Val de Ruz. Les éléments grossiers rencontrés ont été roulés et polis par l'eau, ces éléments sont bien plus plats et arrondis que ceux des tills glaciaires qui ne présentent qu'un émoussé léger de leurs angles.

c. Alluvions fluvio-glaciaires et empreintes glacio-lacustres

L'empreinte fluvio-glaciaire est nette dans les sondages réalisés en amont de la plaine alluviale (pour plus de détails se référer à l'analyse du sondage T30 dans la partie consacrée à l'identification des différentes formations superficielles).

Les empreintes glacio-lacustres sont aussi claires. Une dizaine de sondages réalisés avant la construction des nouvelles stations d'épurations ont identifiés des dépôts varvés au fond de la plaine alluviale ainsi que d'épaisses séries limono-argileuses à cailloutis et galets plus ou moins abondants vraisemblablement d'origine glacio-lacustre.

Enfin l'observation du LIDAR montre des empreintes très nettes de paléo-chenaux et paléoterrasses en marge de l'actuelle plaine alluviale du Seyon.

4. LE VERSANT STRUCTURAL AU-DESSUS DE DOMBRESSON.



Figure 45. – Photos du versant sud du Val de Ruz.

Cette zone est très karstique et présente deux types de formations: un karst affleurant recouvert par endroits d'un mince mull forestier et un sol brun forestier à débris morainiques sur roche mère calcaire.

Ce versant dans son ensemble a certainement été recouvert par le glacier à plusieurs reprises. De plus il correspond à un système karstique bien développé et ne semble avoir été marqué ni par la gélifraction, ni par le ruissellement.

L'étude du MNT sur une zone plus grande montrent cependant un important talweg (au-dessus de Chézard), comprenant des blocs de grande taille de nature calcaire et morainique. Ce système n'est plus actif aujourd'hui mais la taille importante des éléments indique qu'il a eu une grande importance dans le passé et affecté les formations superficielles qui le délimitent.

5. LA PENTE DOUCE DU BAS DU VERSANT STRUCTURAL DE DOMBRESSON AU FOND DE LA VALLÉE.

Cette zone étant à 90% marquée par l'anthropisme, nous n'y avons effectué aucun sondage. Cependant l'étude du MNT et les observations du professeur A. Pancza dans son jardin de Dombresson montrent la succession de deux ou trois cordons de moraine de retrait.

6. INTER-RELATIONS ENTRE LE SOL ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES.

Si l'on raisonne en termes pédologiques, on observe une grande diversité de sols sur notre zone d'étude. Il seront ici traités de manière succincte car ils ne constituent pas le cœur de notre problématique.

Les crêtes se caractérisent par des sols bruns calcaires qui doivent leur couleur au fer et sont riches en argiles et en substances nutritives, les organismes du sol y étant très actifs. Ces sols sont très caractéristiques des vallées et sommets du Jura.

Les deux versants aujourd'hui recouverts de forêts sont constitués de sols brun calcaires très légèrement lessivés à mull forestier.

Le bas du versant de Chaumont porte des sols calcaires lessivés (argile contenue dans les sols bruns étant entraînée dans les couches profondes, le sol est de couleur plus claire) sur un substratum morainique.

Les deux flancs menant à la plaine alluviale sont constitués de sols bruns riches en matière organique, légèrement lessivés. Le fond de la plaine alluviale porte des sols alluviaux ayant été largement influencés par l'hydromorphie (inondations régulières ou périodiques). Ces sols sont meubles et riches, leur couche supérieure présente une concentration variable d'humus et un horizon de sable et gravier. Ils combinent des patches de gley, des systèmes varvés, du lessivage, le tout mêlé à des reliques de sédimentation fluvio-glaciaire.

7. CARTE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

Notre carte de formations superficielles au 1: 7500 se trouve en annexe F et G pour des raisons de format. Elle synthétise toutes les informations de cette partie ainsi que les informations morphologiques décrites dans la partie III grâce au MNT Lidar.

SYNTHÈSE MORPHOLOGIQUE

*S'il y a des obstacles, ce n'est pas l'infini,
Si cela se compte, il ne s'agit pas d'étoiles,
Si cela tremble ou s'agite, ce n'est pas une montagne,
Si cela croît et décroît, ce n'est pas un océan,
Si cela passe sur les ponts, ce n'est pas une rivière,
Si cela se capture, ce n'est pas un arc-en-ciel ...*

Milarepa

A. Remarques préalables



1. Représentation des données

Nous proposons ici un bref rappel sur les différentes manières de représenter l'information spatiale dans un programme de SIG, de dessin vectoriel ou d'analyse graphique. Il existe deux modes de représentation des données, le mode vectoriel et le mode raster.

Le mode vectoriel traite l'information sous forme d'éléments graphiques ou points avec des coordonnées (x,y) pixel (dans Illustrator ...) ou dans le système désiré pour un programme de SIG. Les lignes sont définies par coordonnées (x1,y1; x2,y2) et composent les objets linéaires. Les polygones sont définis par des coordonnées (x1,y1); (x2,y2) qui servent à représenter des surfaces.

L'information est représentée par les fichiers *Shapefile* de Arc, les dessins sous Illustrator ou encore par les lignes de profils avec IDL. Le mode vecteur garantit une excellente qualité de la représentation des données et un faible volume.

Le mode raster partitionne un plan en un nombre fini de pixels. Un point se trouve alors représenté par le pixel. Une ligne ou une zone se définissent comme un ensemble fini de pixels. Ce mode de représentation est beaucoup plus gourmand en mémoire. La taille

dépend de la qualité de l'approximation de la résolution.

Nous avons employé les formats raster suivants: Tiff, Geotiff, Grid et Tin. L'avantage de la représentation raster est une structure des données très simple, ce qui facilite les analyses spatiales (calcul des pentes, des orientations, d'ombrages, de la convexité...).

Cependant, à l'heure actuelle on se heurte vite aux limites de la technologie pour le traitement des données (temps de calculs interminables...) surtout si l'on travail sur des Modèles Numériques de Terrain de haute résolution comme le MNT LIDAR à 1m.

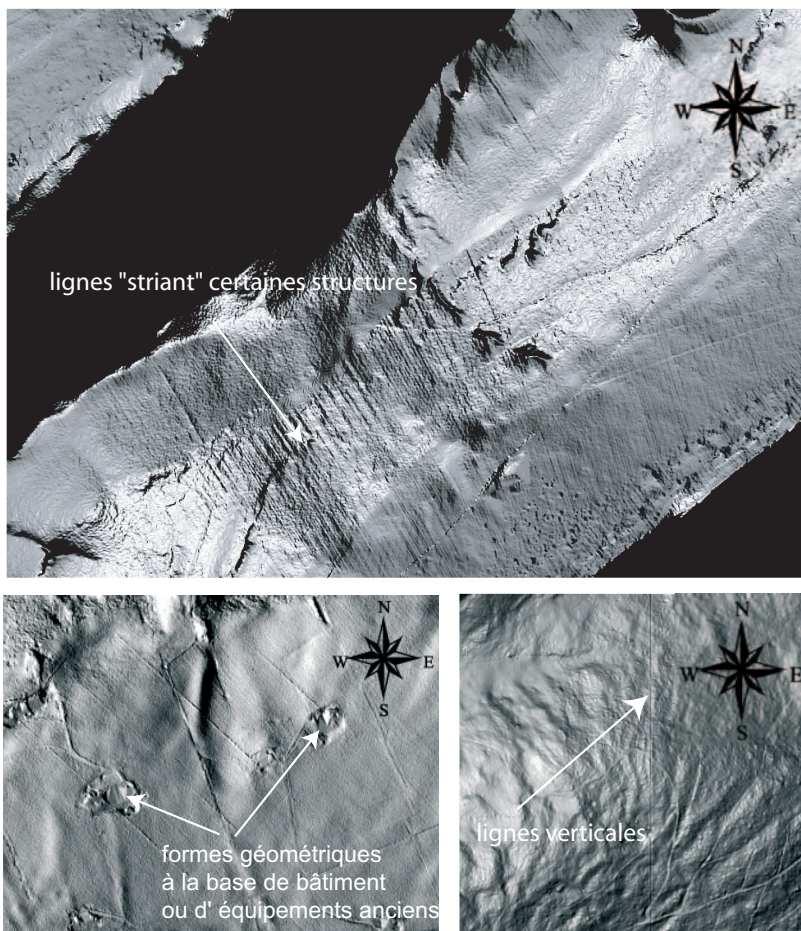


Figure 47. – Artefacts identifiés sur le MNT LIDAR. En haut des lignes qui strient le terrain, en bas à gauche, des formes polygonales liées aux bâtiments ou aux équipements anciens

B. Traitements



Image Landsat de la partie centrale du Jura neuchâtelois

Différents traitements ont été opérés sur les données GRID et BIL du MNT LIDAR. Nous nous attachons à les présenter et les interpréter séparément dans cette partie.

Il convient cependant garder à l'esprit que les formes, structures observables, sont parfois des artefacts comme le montre la figure 47 qui identifie tout ceux qui ont été observés.

a. Ombrages

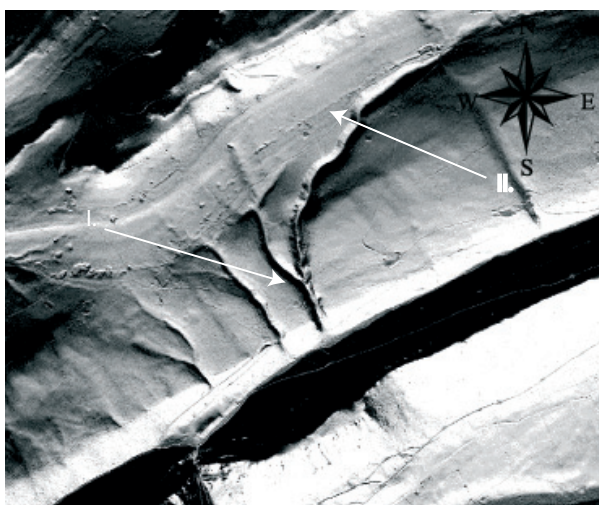
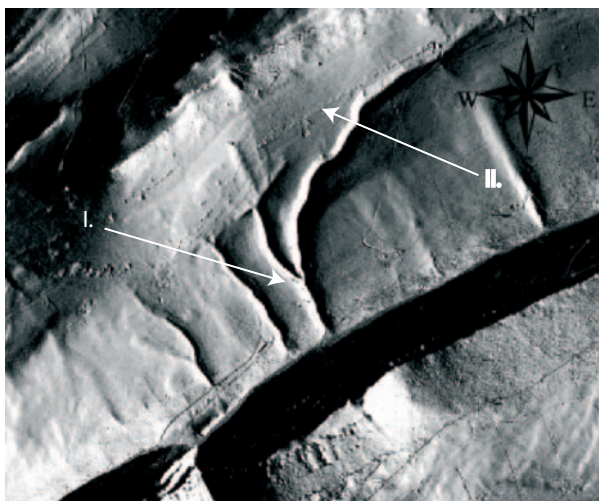


Figure 48. – Pertinence du choix de l'éclairage lors de la réalisation d'ombages. La figure du haut montre un éclairage 315/45 (NW) et celle du bas un éclairage 180/45 (S) qui a tendance à inverser notre perception des formes.

Un ombrage (*hillshade*) est le mode de représentation le plus simple des données xyz d'un MNT. Il est important de faire varier les différentes orientations et angles d'incidence du rayonnement pour mettre en exergue le relief des différentes structures. Les ombres créés sous Arc ont servi par exemple à l'identification des dolines, à la délimitation des grandes zones de notre carte, et à la visualisation des têtes de bancs.

Le point important, comme le montre la figure 48 est de faire très attention à «l'éclairage» que l'on a créé lorsque on cherche à identifier des formes. En effet un éclairage naturel (du Sud) a tendance à inverser la perception des formes (elles peuvent apparaître en relief alors qu'il s'agit en fait de creux comme une doline).

Dans le projet SIG (joint sur le DVD) se trouvent les différents ombres créés sous Arc, nécessaires, pour mettre toutes les zones du terrain en relief. La figure 49 présente un ombrage 135°/35° (NW) réalisé sous Arc.

En annexe A se trouve le même *hillshade* réalisé sous Envi, au format A3 pour une meilleure lisibilité du document.

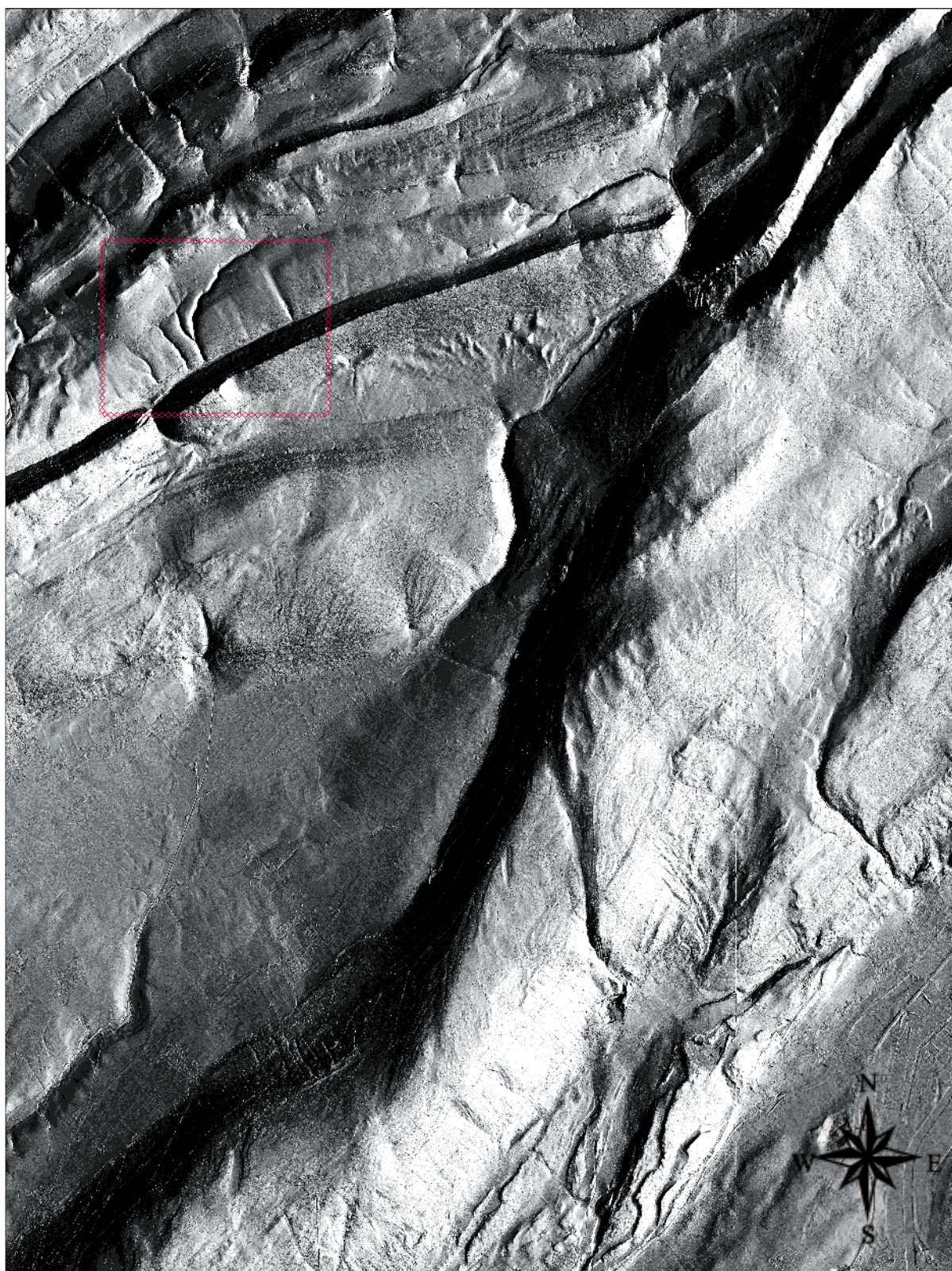


Figure 49. – Ombrage 315°/45 du MNT LIDAR. L'encart correspond à la figure 48.

b. Carte de pentes

La carte de pentes permet d'avoir une représentation quantitative des valeurs de pentes et de leur disposition. Sur la carte créée sous Arcview, nous avons pu classer les valeurs obtenues de plusieurs manières afin de mettre en évidence différentes formes (les barres, le replat au pied du versant de Chaumont) ou par exemple pour isoler toutes les pentes supérieures à 40° sur la carte de la synthèse morphologique présentée plus loin (figure 72). Le logiciel permet de changer simplement la classification et la présentation des données; ce qui permet de tester différentes représentations. La carte présentée ici (figure 50) a été réalisée avec IDL, le rendu graphique étant meilleur. Elle se trouve aussi en annexe B au format A3 pour une meilleure lisibilité.

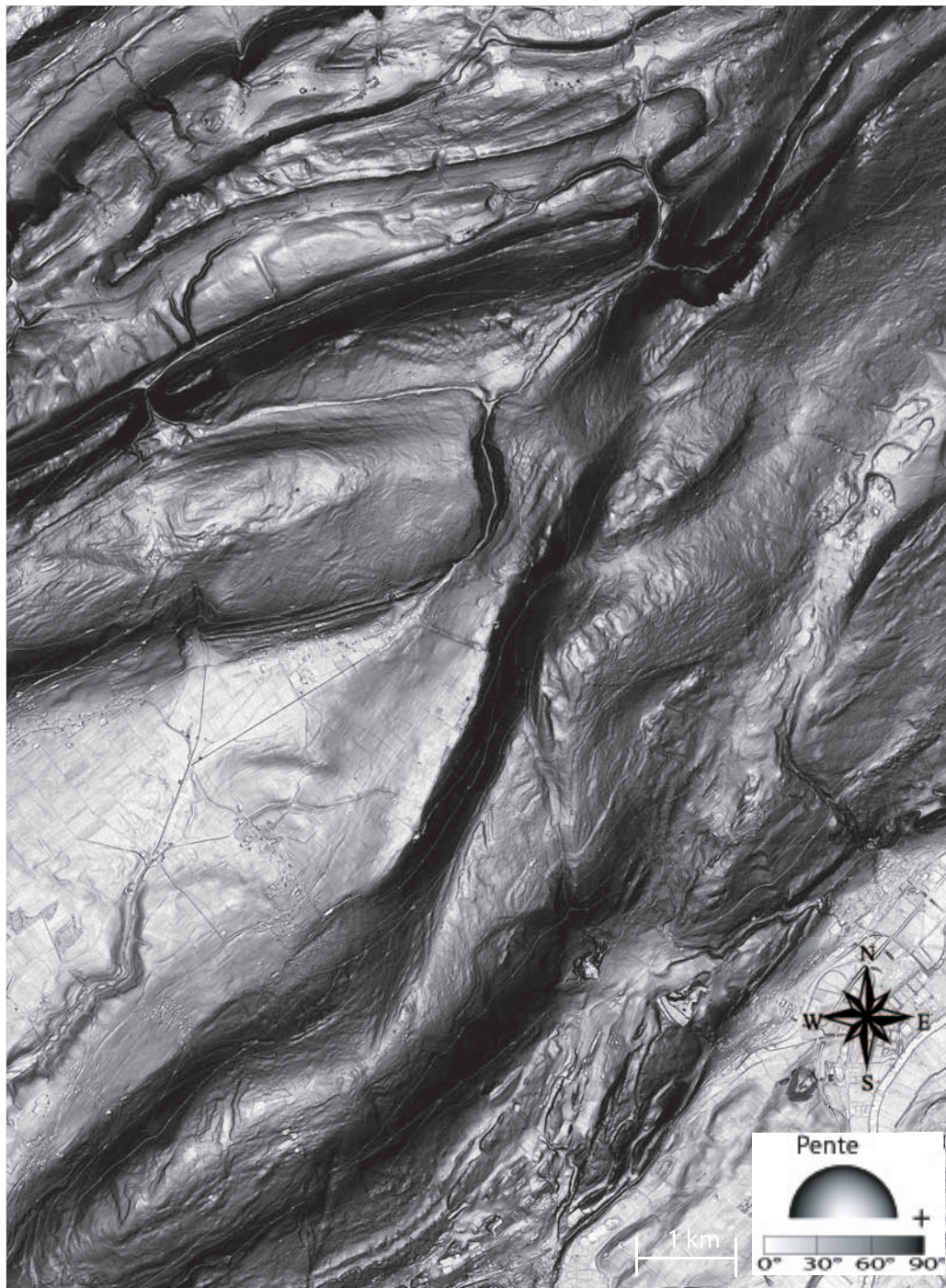


Figure 50. – Carte de pentes au Val de Ruz en noir et blanc correspondant à un ombrage avec un éclairage vertical. le blanc correspond à une pente nulle et le noir à une pente quasi verticale.

c. Carte d'orientation des pentes

Cette carte est un document important, l'orientation aidant notamment à caractériser l'orientation des versants et à détecter des contre-pentes..

La figure 51 présente une carte d'orientation des pentes et la figure 52, une carte représentant à la fois les pentes et leur orientation; les deux cartes ont été réalisées avec Envi et combinées sous Photoshop. Ce dernier document nous semble être l'outil par excellence de l'analyse morphologique, il regroupe toutes les formes observables et contrairement à un ombrage bénéficie d'une excellente lisibilité dans toutes les zones (la saturation représente les pentes et la couleur l'orientation). Cette carte permet une caractérisation complète de la topographie locale et une appréciation fine de ses caractéristiques géomorphologiques. En annexe C se trouve le même document au format A3 pour une meilleure lisibilité.

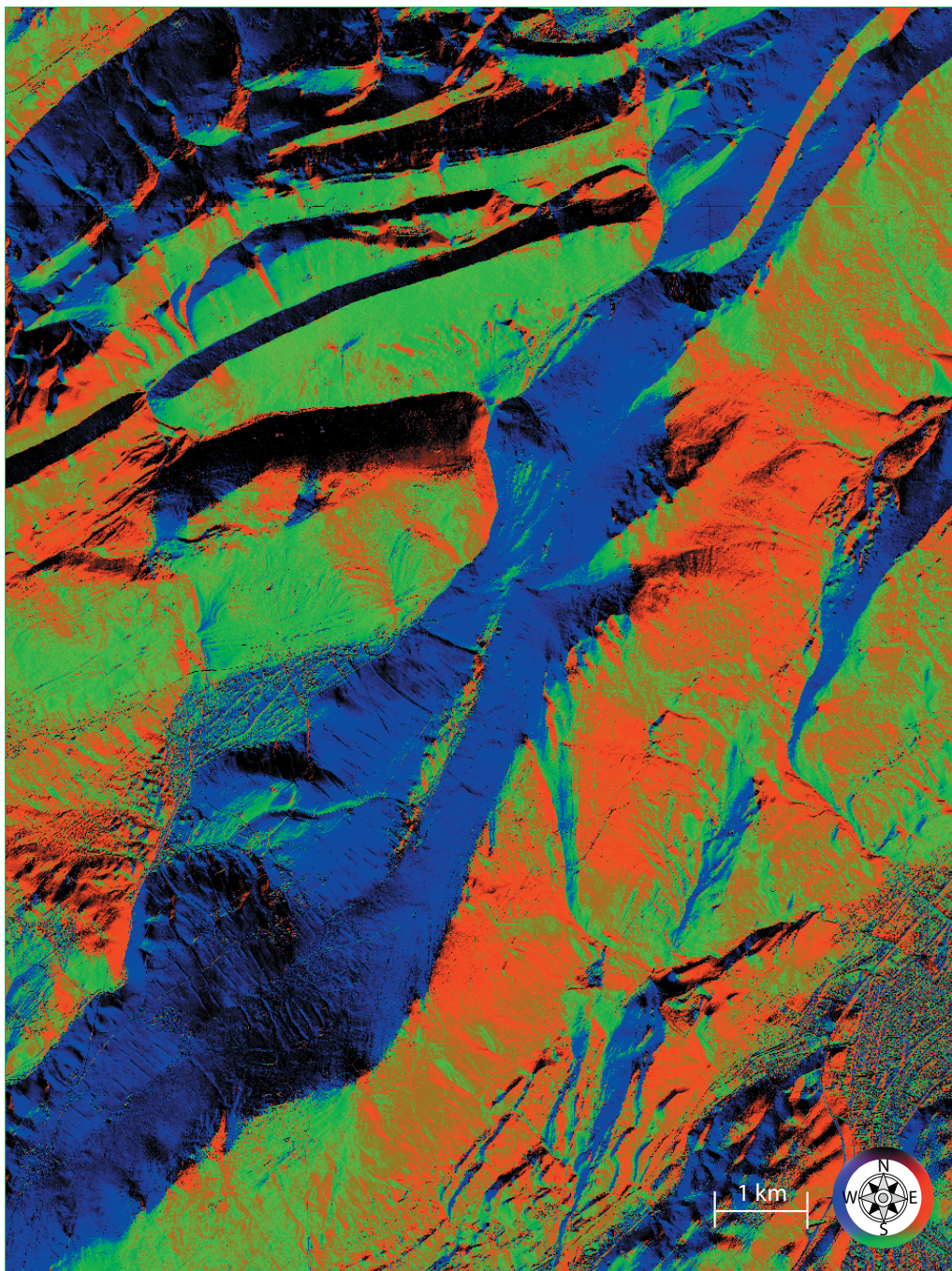


Figure 51. – Carte d'orientation des pentes. Le noir représente les pentes orientées au Nord, le rouge celles orientées à l'est, le vert celles au sud et le bleu les pentes orientées à l'ouest.

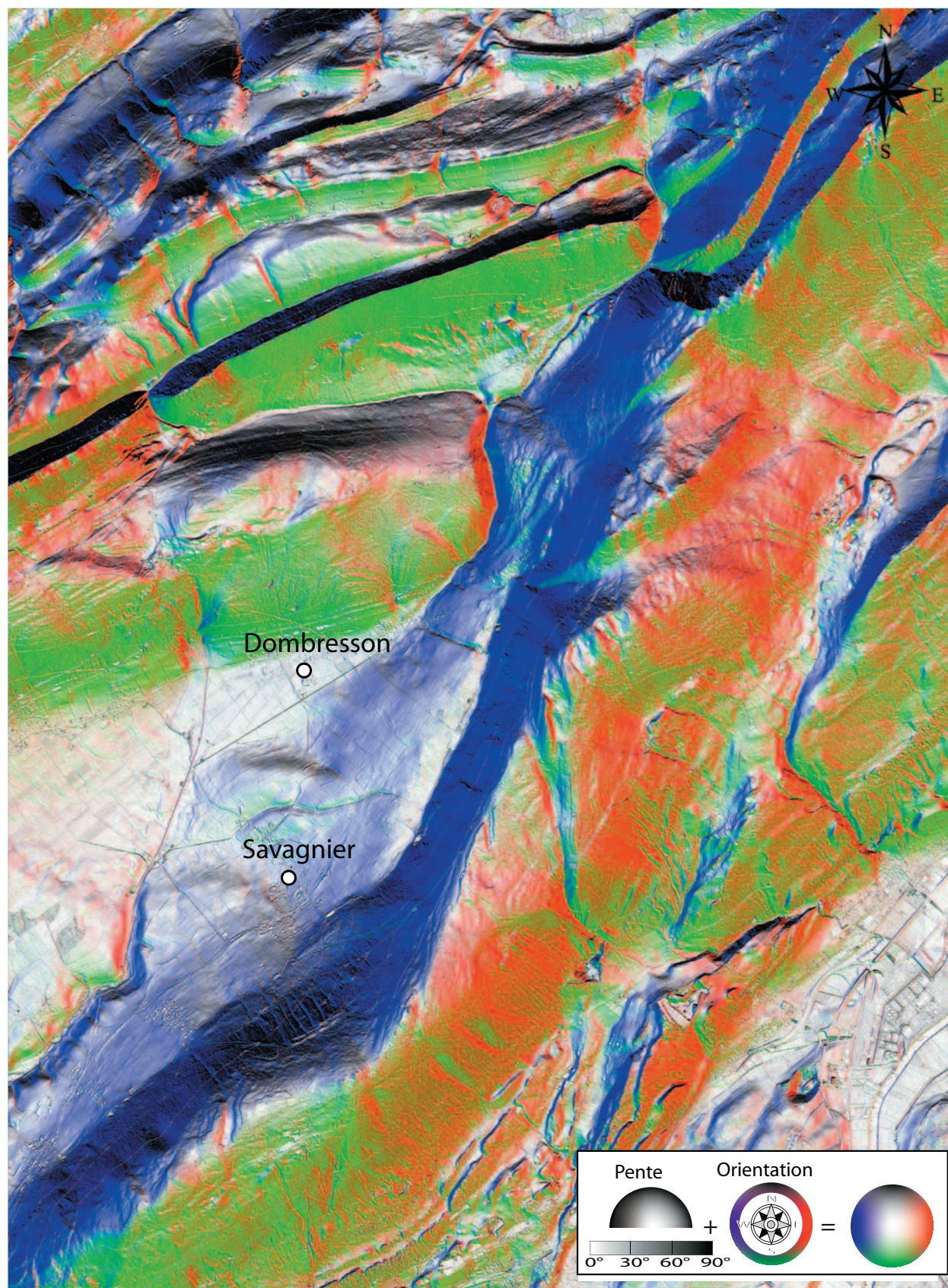


Figure 52. – Carte représentant à la fois les valeurs de pente en saturation et de l'orientation. Les couleurs faiblement saturées correspondent aux pentes faibles.

d. Courbes de niveau

L'étude des courbes de niveau numérisées permet aussi des observations morphologiques intéressantes comme le montre la figure 53 qui a servi à une première identification des différentes zones de notre carte de formations superficielles. Le contour de la plaine alluviale y est par exemple très facilement délimitable. Pour notre étude, les courbes nous ont été fournies par le SITN en format .shp donc directement visualisables dans Arcview. Le cas échéant, il aurait été très facile de les calculer à partir du MNT raster grâce à la fonction «*create contours*» de Arc qui permet de choisir l'intervalle désiré entre les courbes.

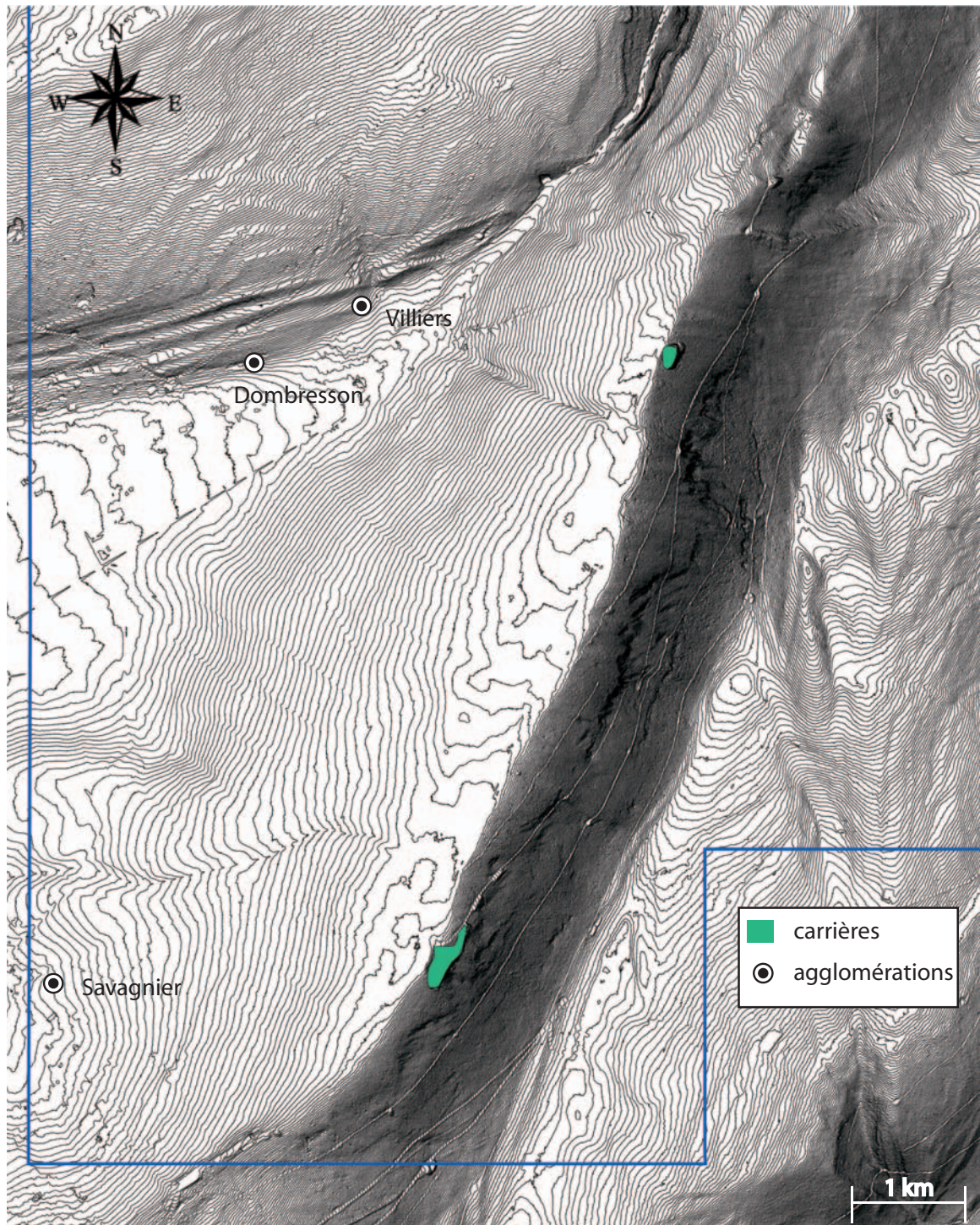


Figure 53 – Carte représentant les courbes de niveau à 2 m issues du MNT LIDAR ainsi que le fond géologique de la zone d'étude.

e. Carte de convexité

Nous attendions beaucoup de cette carte pour une analyse fine de la forme des versants. La première carte calculée à 3 mètre sous Envi donne un résultat beaucoup trop bruité. A 6 mètres ce n'est guère mieux. La limite de calcul atteinte a été 10 mètres; mais là encore le résultat n'est que moyennement satisfaisant, et sera discuté plus loin au point consacré à la forme des versants. La figure 54 montre la carte à 10 m pour notre zone d'étude. Il aurait fallu pouvoir faire le calcul sur environ 100 pixel (100 m) pour avoir une idée de la convexité du versant en entier. Cette carte donne toutefois une indication texturale, offre un accès à l'aspect de surface du MNT.

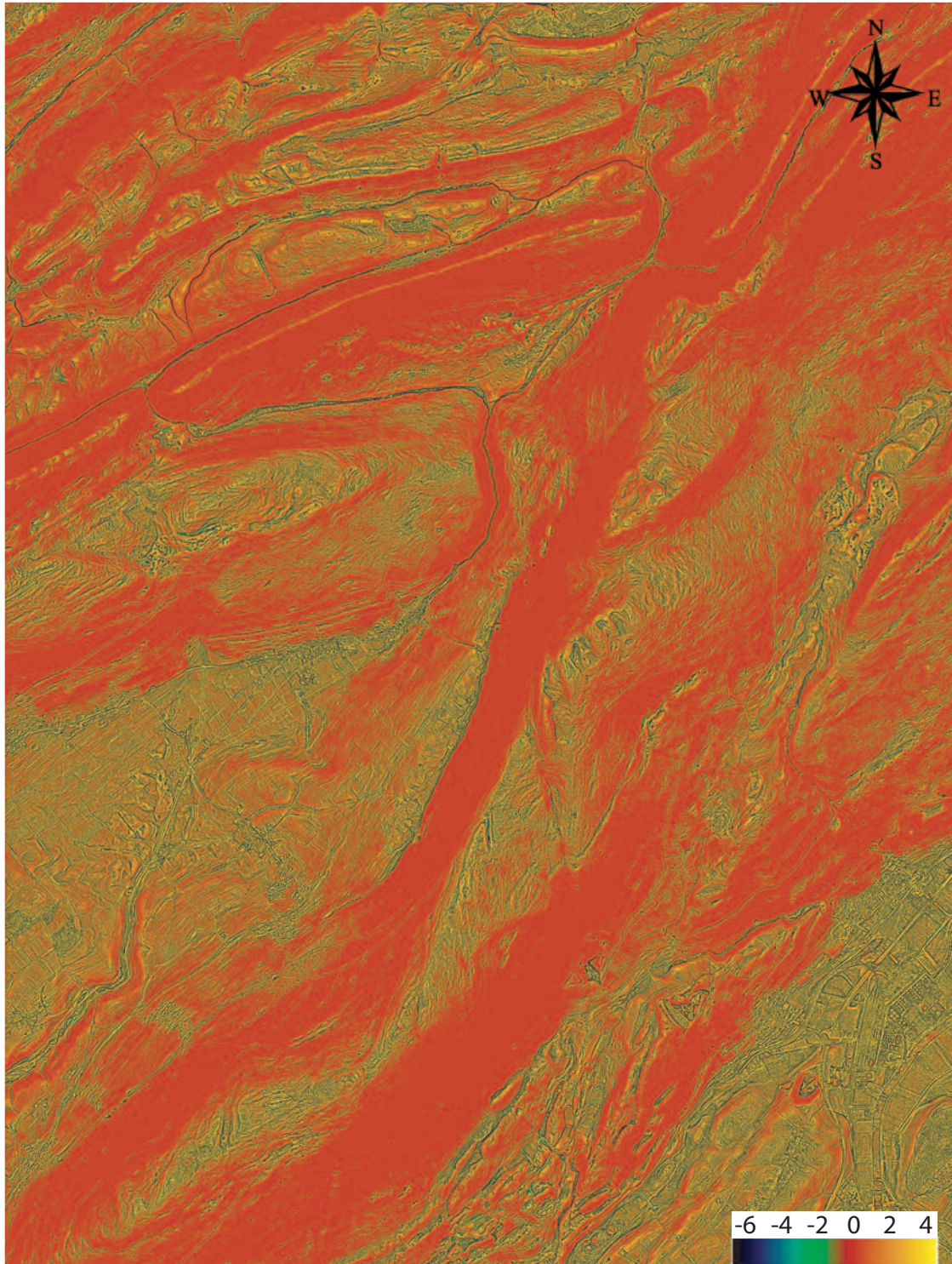


Figure 54. – Carte de convexité à 10 mètre de la zone d'étude des formations superficielles. Le rouge représente une convexité neutre.

f. Les profils

Comme le montre la carte de la figure 20 (page 49), une série de profils a été réalisée sur les données du LIDAR grâce à IDL. Ces profils ont aidé à la détermination de formes particulières, non directement visibles comme une forme convexe et allongée au pied du versant de Chaumont (discutée plus loin). Les profils ont été tracés non seulement de manière classique perpendiculairement aux courbes de niveau et passant par nos points de sondages mais aussi parallèles à celles-ci de manière à montrer les relations longitudinales entre les différents points de sondage. Le résultat de tous les profils est présenté en annexe VIII . La figure 55 en montre un exemple.

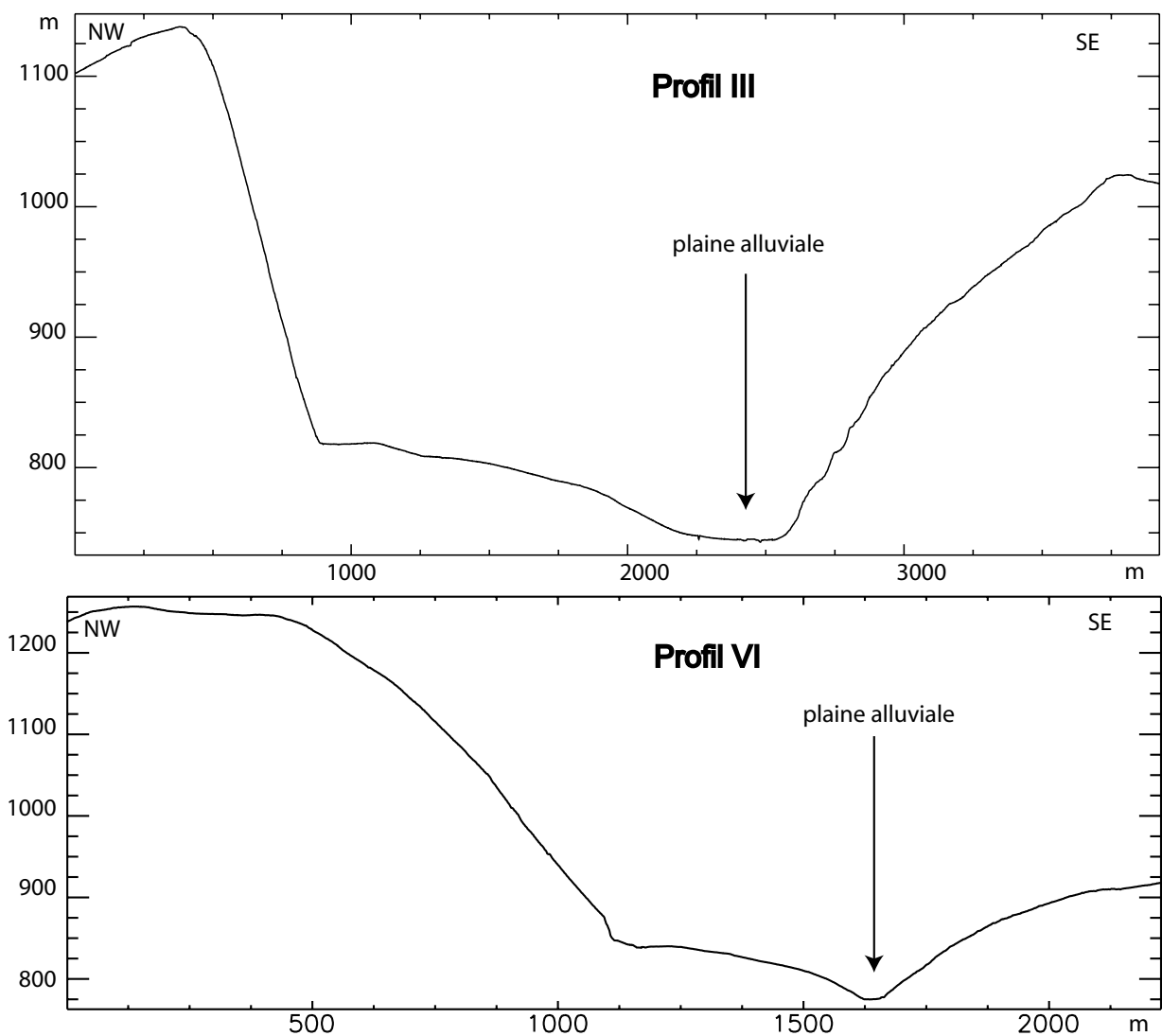


Figure 55. – Exemple de profils automatiques tracés grâce à Envi sur les données du MNT LIDAR.

Confrontation avec les résultats de sondage

La taille de notre zone d'étude et le nombre de sondages effectués ne permet pas d'obtenir une image claire de la structure en profondeur; toutefois quelques profils ont été sélectionnés pour cette représentation. Nous présentons les résultats de deux d'entre eux (figure 56). Il s'agit de deux profils NS au fond du vallum morainique. Le premier est parallèle à la structure en forme de dôme (moraine latérale que nous avons identifiée), Le deuxième a été tracé en dessous et traverse un des talwegs (points 25, 26).

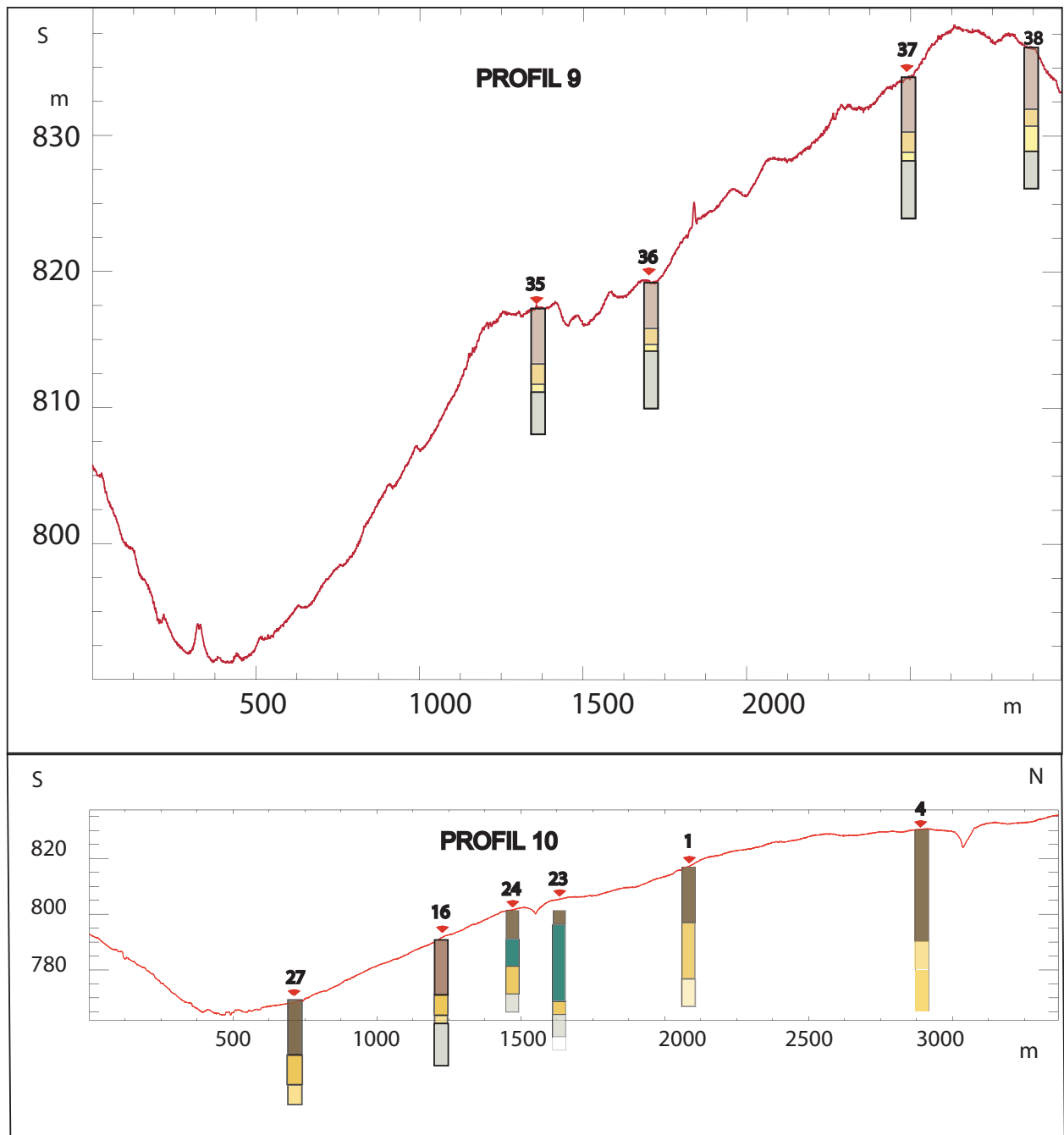


Figure 56 – Interprétation de 2 profils en profondeur. Le brun représente la terre brune agricole, le beige foncé un horizon légèrement plus clair et argileux, le beige clair l'horizon de transition avec l'interface morainique, le gris la moraine de fond et le bleu foncé un horizon marqué par l'empreinte alluviale.

C. Structures géomorphologiques majeures



INTRODUCTION

Nous analysons ici les grandes formes qui caractérisent la zone de cartographie et notre zone d'étude au sens large. La reconnaissance des grandes structures géomorphologiques est une étape indispensable à l'identification et la représentation des formations superficielles.

1. LES DOLINES**a. Genèse des dolines et des ouvalas**

La genèse des dolines serait liée au caractère discontinu du pergélisol, devenu lacunaire du fait de sa destruction en cours, sous l'effet d'un réchauffement climatique, ou à la présence de roches poreuses, fortement diaclasées, et permettant la circulation souterraine des eaux (Hopkins 1960). Les dolines du Val de Ruz appartiennent à ces deux types.

A l'origine, on trouve une accumulation superficielle d'eau dans une dépression à une période plus chaude, au point de recoupement de deux coins de glace par exemple (Tricart et Cailleux 1967). La présence de cette eau permet une fusion progressive de la glace sous-jacente. L'eau peu alors arriver au contact des fissures du sous-sol dans lesquelles elle s'infiltré.

Ensuite, l'évolution se fait de manière purement mécanique: elle attire les eaux qui suintent de ses bords par égouttement du mollisol. Progressivement il se produit un soutirage des matériaux fins par les eaux qui s'enfouissent. Ce phénomène se poursuit dans la mesure où les fissures ne se bouchent pas (roches très diaclasées par exemple). Cette évolution des dolines de cryokarst implique une faible activité de transport par les eaux courantes (condition parfaitement réunie au bout de la langue glaciaire qui pénétrait le Val de Ruz). Si des matériaux abondants avaient pu être mis en marche; elles auraient rapidement été bouchées (Tricart et Cailleux 1967).

Un ouvala représente une dépression formée par la coalescence de plusieurs dolines (figure 57).



Figure 57. – Ouvala formé par la coalescence de plusieurs dolines, localisé dans le vallon du Coty.

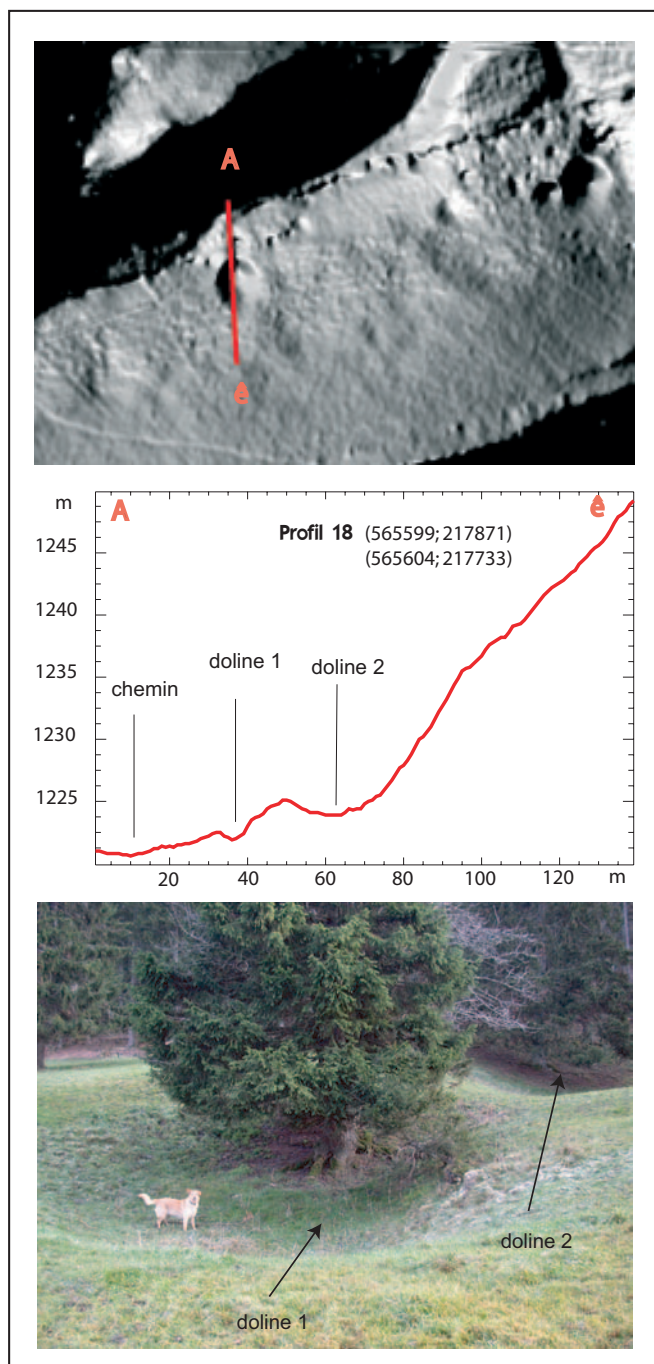


Figure 58 – Reconnaissance des dolines. a. dolines sur un ombrage, le trait rouge représente le profil de la figure b. La figure c. identifie les formes sur le terrain.

b. Identification

Le MNT permet de repérer aisément et sans ambiguïté ces structures circulaires.

Les photographies aériennes permettent d'identifier les plus grandes dolines mais pour une tentative de cartographie exhaustive, la manipulation des ombrages et des cartes de pentes nous semble la meilleure méthode.

Le SIG a permis le calcul d'une dizaine d'ombrages différents qui selon leur orientation et l'angle d'incidence du rayonnement montrent des formes en creux clairement identifiables comme des dolines ou des ouvalas. Une vérification sélective a ensuite été effectuée sur le terrain et/ ou en traçant des profils topographiques sous Envi. La figure 58 résume ces différentes étapes.

En tout 403 dolines ($1m < \text{diamètre} < xm$) ont été identifiées.

c. Représentation cartographique

Lors de la réalisation de la carte géologique du Val de Ruz en 1968 une soixantaine de dolines ont été cartographiées. La carte que nous proposons (figure 59), nous semble exhaustive pour notre zone d'étude cartographique de 12 km^2 (rectangle bleu) ainsi que pour la région plus grande analysée avec le MNT LIDAR. Les dolines ainsi détectées sont représentées en rouge, les ouvalas en vert.

2. LES VERSANTS

Une étude de la forme des versants peut être intéressante pour une meilleure compréhension de la mise en place des formations superficielles qui les composent. Dans cette optique nous avons calculé une carte de convexité à partir du MNT LIDAR.

La figure 54 (p. 98) montre un calcul de convexité sur 10×10 mètres, le résultat n'est pas pleinement satisfaisant même si le calcul a pris plus de 8 heures. L'idéal aurait été un calcul

sur une plus grande surface mais aucun ordinateur n'a pu s'acquitter de cette tâche, le MNT étant trop précis, il aurait fallu le dégrader. On constat toutefois que le versant de Chaumont est un plan alors que celui de Dombresson est convexe.

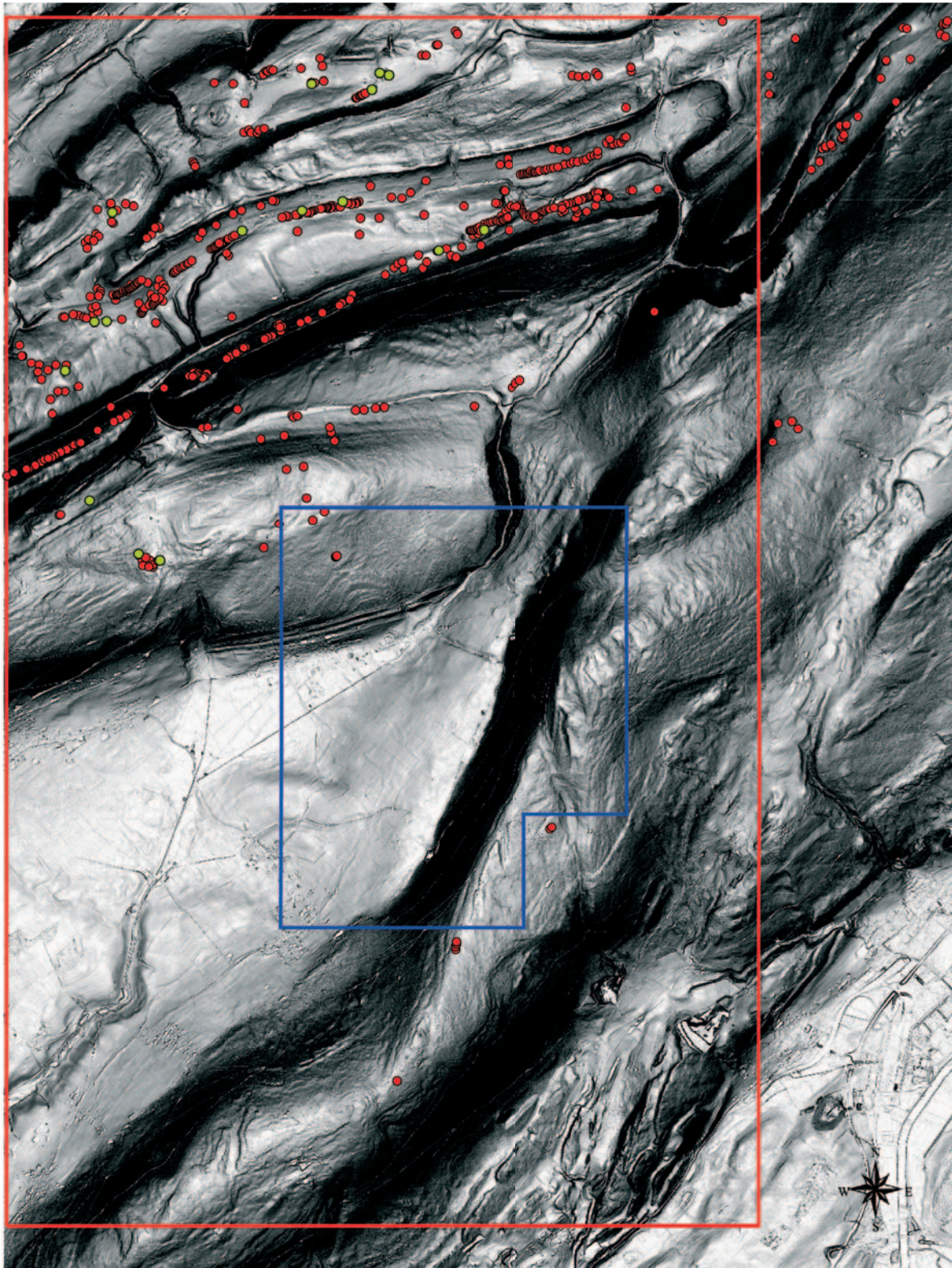
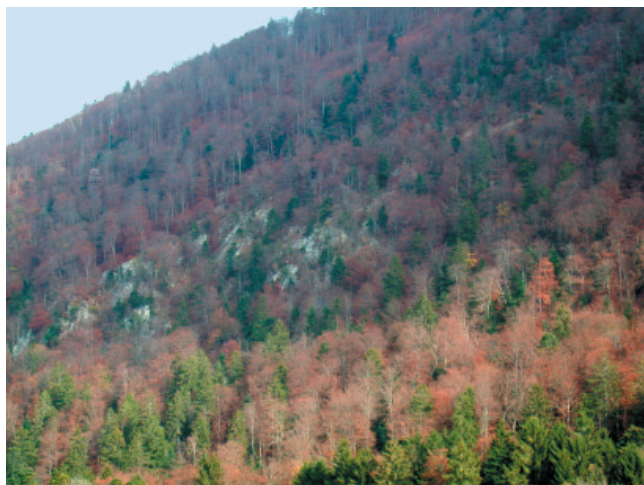


Figure 59 – Détection et reconnaissance des dolines et ouvalas sur une carte de pente au Val de Ruz. En rouge la zone d'analyse morphologique et en bleu le cadre d'étude des formations superficielles (12km²). Plus de 300 dolines et une vingtaine d'ouvalas localisés principalement dans le haut de la zone d'étude (zone très karstique) ont été identifiés.

3. LES BARRES ET LES TÊTES DE BANCS

a. Les barres



Le fond de carte topographique au 1:5000 représente la majeure partie des barres visible. Les variations d'ombrage sur le MNT et la carte de pentes ont permis d'en détecter d'autres (en bleu pâle sur la figure 72). Les barres sont constituées de calcaire dur kimmerigien et portlandien (figure 60). Elles sont très fracturées (diaclasses, failles, gélifraction). Sur le versant de Chaumont, elles sont localement constituées par un banc à Nérinées Kimmeridgien.

Figure 60. – Barres calcaires du versant nord de Chaumont.

b. Les têtes de bancs

Le MNT LIDAR est le seul outil pour mettre en évidence les têtes de bancs (figure 61); elles sont représentées en jaune sur la figure 72.

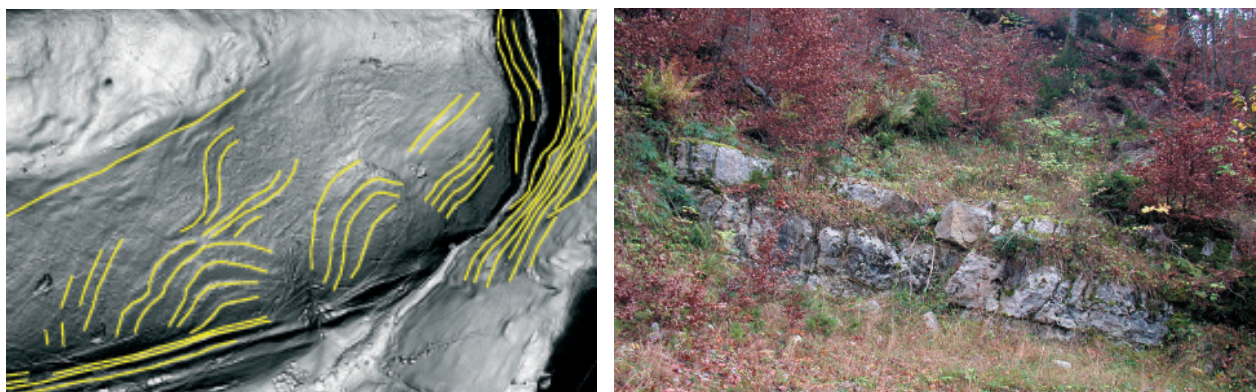


Figure 61. – Identification des têtes de banc sur la carte de pente du MNT LIDAR (à gauche) et observation de la forme sur le terrain (à droite).

4. LES MORAINES

Trois formes morainiques ont pu être clairement identifiées soit avec le MNT soit par le travail de terrain.

a. Les moraines de retrait à Dombresson

Ces formes ne sont pas clairement visibles sur le MNT à cause de l'importance du bâti et des aménagements. Elles ont cependant été clairement identifiées par le professeur A. Pancze en creusant dans son jardin à Dombresson.

b. La moraine latérale de Sous-le Mont

Cette forme a soulevé beaucoup de questions. Sur la figure 62a issue de la carte d'orientation des pentes, elle délimite un replat net. Des profils tracés à travers la zone montre qu'il s'agit en fait d'un léger dôme (figure 62b); ce qui soulève plusieurs hypothèses:

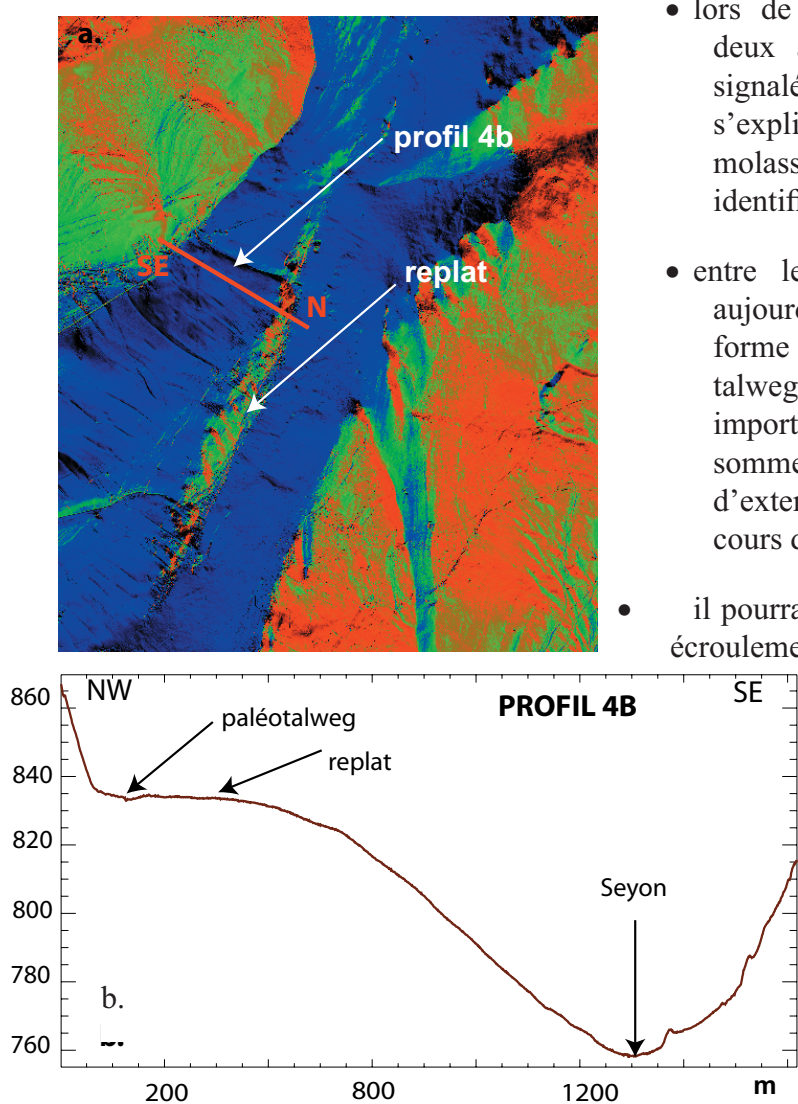


Figure 62. – Détection d’une moraine latérale. a. carte d’orientation des pentes. b. profil issu du MNT LIDAR montant la moraine latérale.

- lors de la levée de la carte géologique, deux affleurements de molasse ont été signalés dans cette zone. La forme pourrait s’expliquer comme une accumulation molassique, mais nous n’avons pu identifier ces affleurements;
- entre le dôme et le versant s.s. coule aujourd’hui un petit ruisseau. Selon la forme des profils, ce cours d’eau et son talweg pourraient avoir été beaucoup plus importants en contexte périglaciaire. Le sommet du dôme pourrait marquer la limite d’extension passée de la plaine alluviale du cours d’eau;
- il pourrait aussi s’agir des restes d’un ancien écroulement de versant, la forme étant située

juste en dessous de la zone de plus grande pente du versant de Chaumont. Mais les différents sondages réalisés sur cette forme ne révèlent aucun bloc. L’interface morainique se rencontre à plus faible profondeur (60 cm environ) que partout ailleurs. Vers 1 mètre on rencontre de vrais tills de fond de couleur grise observables nulle part ailleurs.

Nous interprétons cette zone comme une moraine latérale, recouverte de formations superficielles éoliennes et ruisselées. Le talweg en amont de cette moraine a certainement été plus important en contexte périglaciaire, le lit d’inondation du cours d’eau devait être plus étendu. Il en reste aujourd’hui un paléo-talweg remplis de matériel fluvio-glaciaire, périglaciaire.

Remarque sur les affleurements «molassiques»

Lors de l’étude de cette forme nous avons cherché les affleurements cartographiés comme de la molasse, nous ne les avons pas identifiés. En revanche, le sédiment que l’on rencontre vers 110 cm (sur le profil T38 par exemple), y ressemble étrangement même s’il s’agit de dépôts que nous avons identifié comme des tills de fond en observant les échantillons.

Dans une tranchée ouverte de 20 mètres de long en-dessus de Villiers, le même sédiment a été retrouvé. Il ressemble de prime abord à de la molasse, mais a été déposé *au-dessus* de matériel morainique. Nous croyons que les cartographes de l’époque (1968) ont confondu la molasse avec des tills.

Il s'agirait donc de tills de fond et/ou de dépôts fluviatils de milieu périglaciaire. De plus, l'affleurement molassique cartographié de «Sous le Mont» se trouve dans un talweg actuel (un profil juste à cet endroit montre qu'il est aussi probablement lié à l'ancien système parallèle au versant).

c. La moraine de front du Pâquier

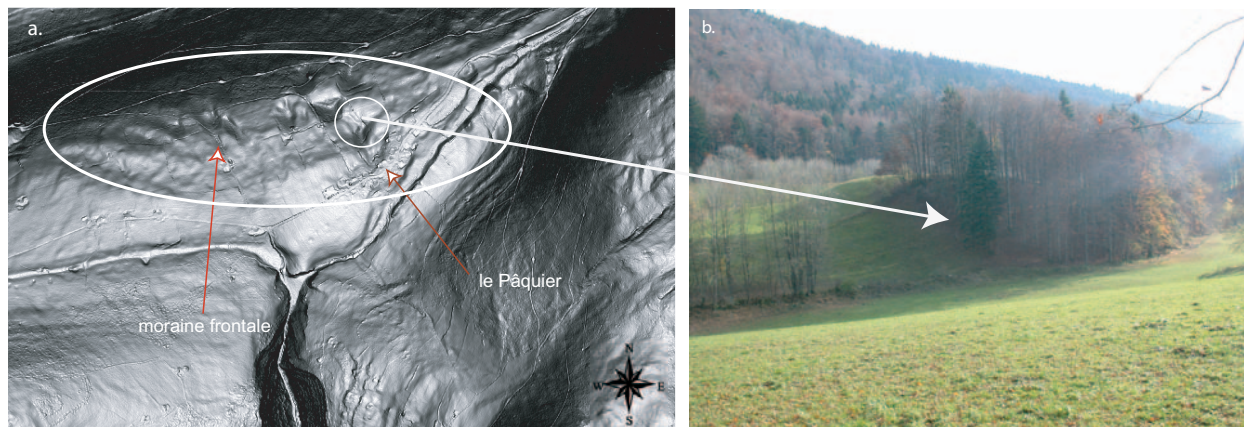
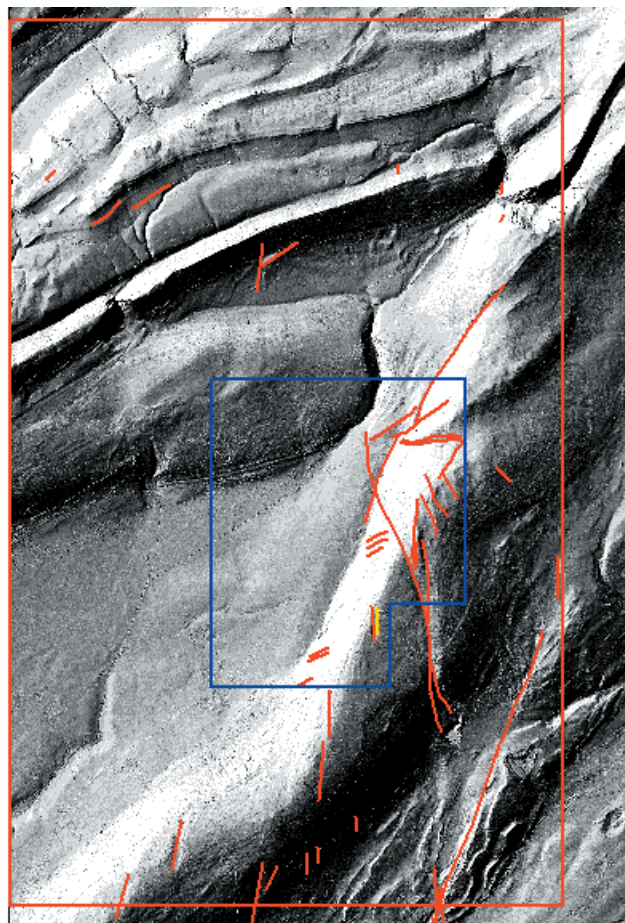


Figure 63. – Détection d'une moraine frontale aux abords du Pâquier. a. carte de pente du MNT LIDAR. b. photographie d'une des formes détectées.

Lors de l'analyse morphologique de la plus grande zone d'étude, nous avons remarqué la zone de la figure 63 (photo + MNT) . Cette zone correspond à la limite des blocs erratiques

observés sur le terrain et semble assimilable à des accumulations morainiques. Une autre interprétation en tant que terrasse de kame a été envisagée, mais la morphologie actuelle ne laisse que difficilement envisager l'existence d'un cours d'eau suffisamment important en contexte glaciaire. Nous interprétons donc ces formes comme une ancienne moraine frontale, légèrement remaniée.



5. LES FAILLES

Lors du levé de la carte géologique, très peu de failles ont été tracées. Le MNT a permis de confirmer l'existence de failles cartographiées précédemment, de confirmer l'existence des failles supposées et surtout d'en cartographier beaucoup d'autres (figure 64). Ces failles sont principalement orientées N-S et NNE-SSW.

Figure 64. – Failles observées sur la zone de cartographie et la zone d'étude morphologiques grâce à une variation des ombrages du MNT LIDAR (ici 300/35).

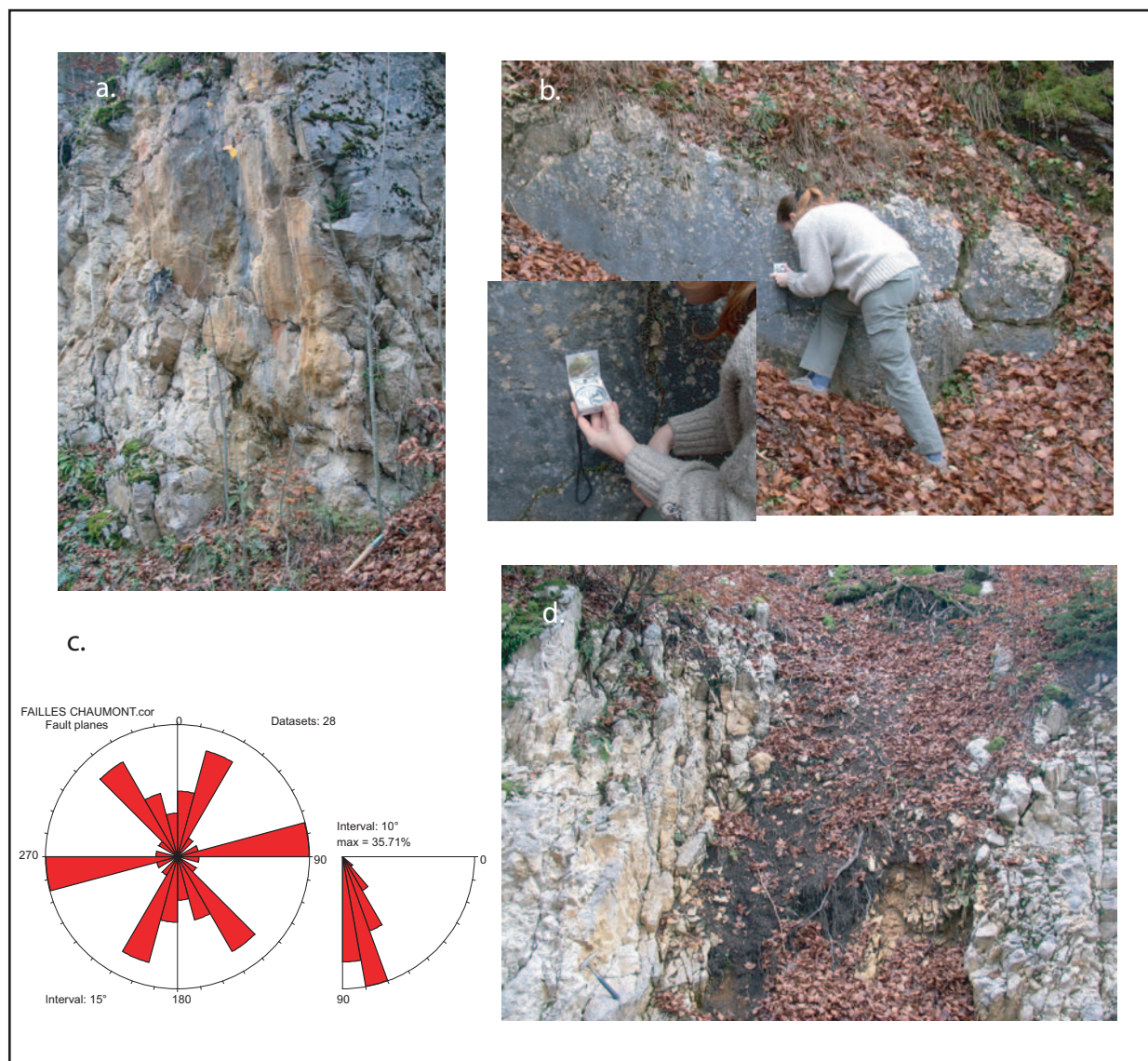


Figure 65 – Reconnaissance de failles. a. faille du versant nord de Chaumont. b. mesure du plan de faille et des stries. c. représentation sur un diagramme circulaire. d. gouge de faille (argile d’origine tectonique signant morphologiquement la présence d’une faille).

Le travail de terrain permet d’observer la signature morphologique d’une faille: la fracturation et les circulations de fluide provoquent localement une érosion plus importante et un relief négatif (figure 65 d). L’effet mesuré sur le terrain (Chaumont) permet de comparer leur orientation (figure 65) avec l’orientation des failles majeures observées grâce au MNT. Les critères de mouvements sur les failles (stries) permettent d’attribuer une cinématique au réseau de failles: les failles NW-SE à NE-SW sont dextres et/ou chevauchantes et les failles E-W sont senestres. Les deux premières familles sont bien représentées sur le MNT alors que la troisième famille ne présente pas de signature morphologique à l’échelle du MNT.

6. LES TALWEGS

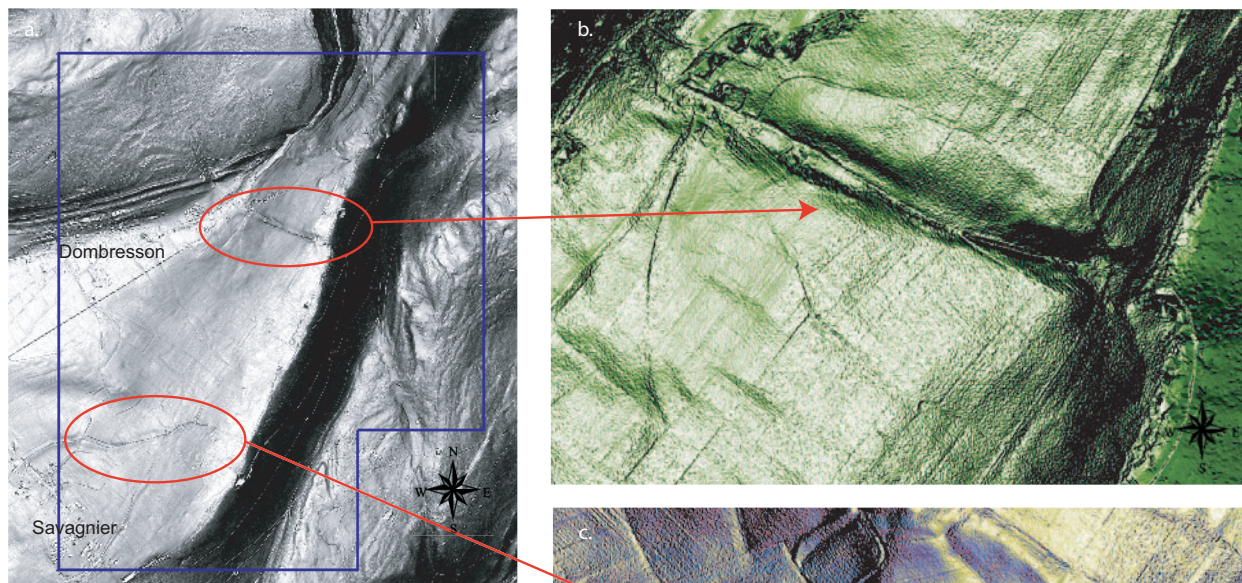


Figure 66. Reconnaissance de talwegs sur des ombres du MNT LIDAR. a. vue d'ensemble (Arc), b. talweg de Villiers (IDL). c. talweg de Savagnier (IDL).

Les grands talwegs se décèlent aisément sur une carte topographique; en particulier ceux du fond morainique du Val de Ruz qui sont occupés par le lit d'un cours d'eau. Le MNT permet de mettre en évidence (figure 66) des structures beaucoup plus petites, notamment celles cachées par la végétation (versant Nord de Chaumont) ou encore d'anciens talwegs liés à d'anciens écoulements (pied versant nord de Chaumont).

7. LES LAPIÉS

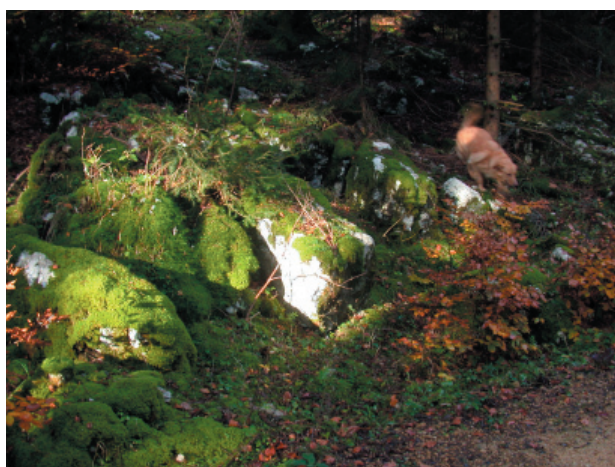


Figure 67. – Photo de lapiaz sur le versant au-dessus de Dombresson. Le chien donne l'échelle.

Ces structures de dissolution sont typiques d'une géologie karstique, c'est pourquoi on le rencontre sur le versant de Dombresson, marqué par des alternances marno-calcaires et très karstifié. Les lapiés observés (figure 67) sont des formes métriques, leur crêtes sont séparées par des rainures de dissolution espacées de quelques centimètres ou de quelques décimètres. Leurs rainures sont de profondeur centimétrique à métrique. Elles ont été colonisées par une végétation développée sur mull forestier.

Nous ne proposons pas ici une cartographie exhaustive de ces formes, seuls les plus grands ensembles ont été délimités. Elles ne sont pas visibles sur le MNT.

8. LES FORMES D'ACCUMULATION GLACIAIRE DE CLEMESIN

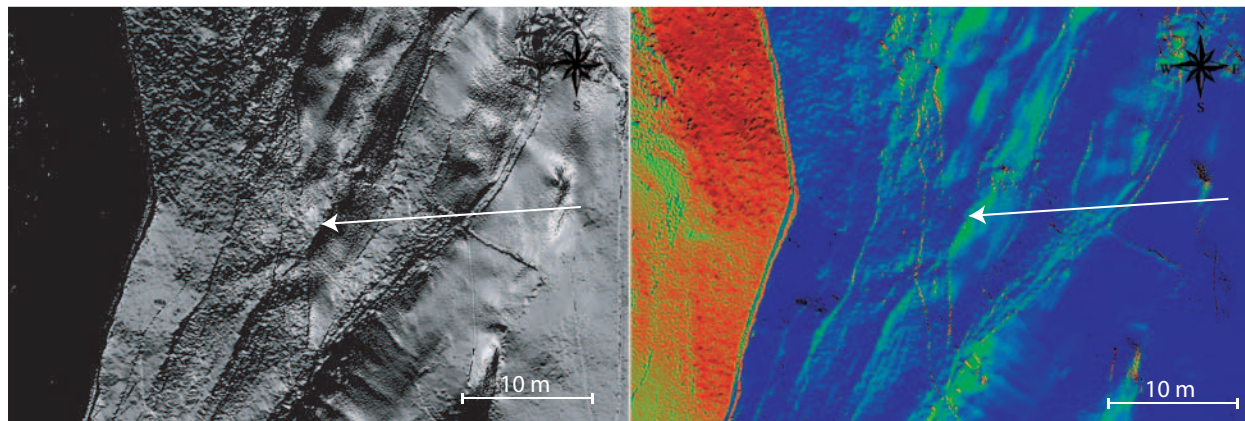


Figure 68. – Formes d'accumulation glaciaire aux abords de Clèmesin. la figure de gauche est issue d'un ombrage du MNT 350°/45 et la figure de droite d'une carte d'orientation des pentes..

Ces formes (figure 68) sont uniquement décelables à l'aide du MNT; elles représentent de petites accumulations métriques de matériel glaciaire, probablement abandonné lors de phases de retrait successives. Ces formes sont parallèles à la structure des têtes de bancs et finissent par se confondre avec celles-ci quand on remonte en direction du Pâquier, parallèlement aux gorges. Elles ont été observées sur le terrain.

9. LES HEAD ET CÔNES DE DÉJECTION

L'ensemble du pied du versant Nord de Chaumont avait été cartographié en éboulis. L'analyse de formations superficielles a clairement identifié une zone de groizes en pied de versant mais les ombrages du MNT ont révélés d'autres zones qui après analyse des formations superficielles se révèlent être une zone de head (en mauve sur la figure 69a).

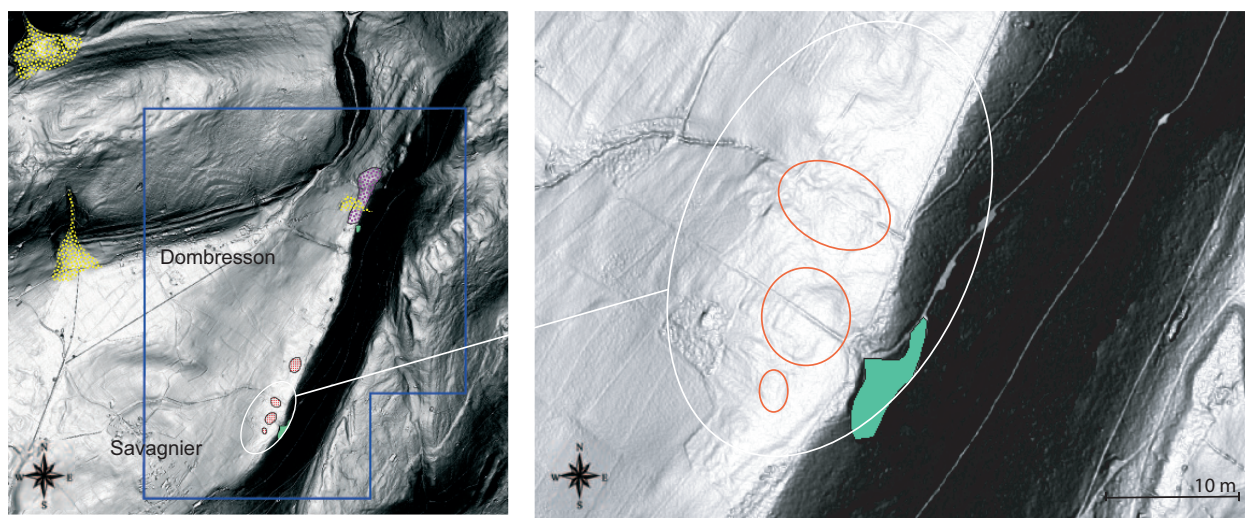


Figure 69. – Formes détectées sur le MNT. A gauche, les talwegs sont représentés en jaune, la zone de head en mauve et les culots de glace morte en rouge. En vert ce sont les carrières de Villiers et Savagnier. A droite, gros plan sur les culots de glace morte mis ici en évidence sur une carte de pentes.

Trois grands cônes de déjection sont clairement identifiables sur le MNT et avaient déjà été repérés lors du levé de la carte géologique (en jaune sur la figure 69b). Celui entre Dombresson et Chézard-St Martin mériterait une étude approfondie car les blocs retrouvés (locaux et allochtones) sont de très grande taille; trop grand pour la capacité de charge du ruisseau actuel.

10. LES CULÔTS DE GLACE MORTE

Ces formes d'origine périglaciaire (figure 69 b) ont uniquement pu être détectées grâce au MNT. Elle ne sont pas clairement visibles sur le terrain (couverture agricole du sol) et représentent d'anciennes masses de glace qui localement ont fondu très lentement en déposant leur charge sédimentaire.

11. LA PLAINE ALLUVIALE

Les limites de la plaine alluviale fixées lors de l'élaboration de la carte géologique ont été affinées grâce au MNT, qui permet de tracer un contours très net des lobes des versants qui la bordent.

De plus une forme de poljé ouvert (figure 70) sur la plaine alluviale a été identifiée en amont. Un poljé est une forme typiquement karstique, représentée par une dépression à fond plat parcourue par un cours d'eau (intermittent dans notre cas), tapissé de formations de décarbonatation et/ou de colluvions. De petites sources temporaires en rive gauche confirment cette interprétation car un poljé est parcouru par des cours d'eau souterrain.

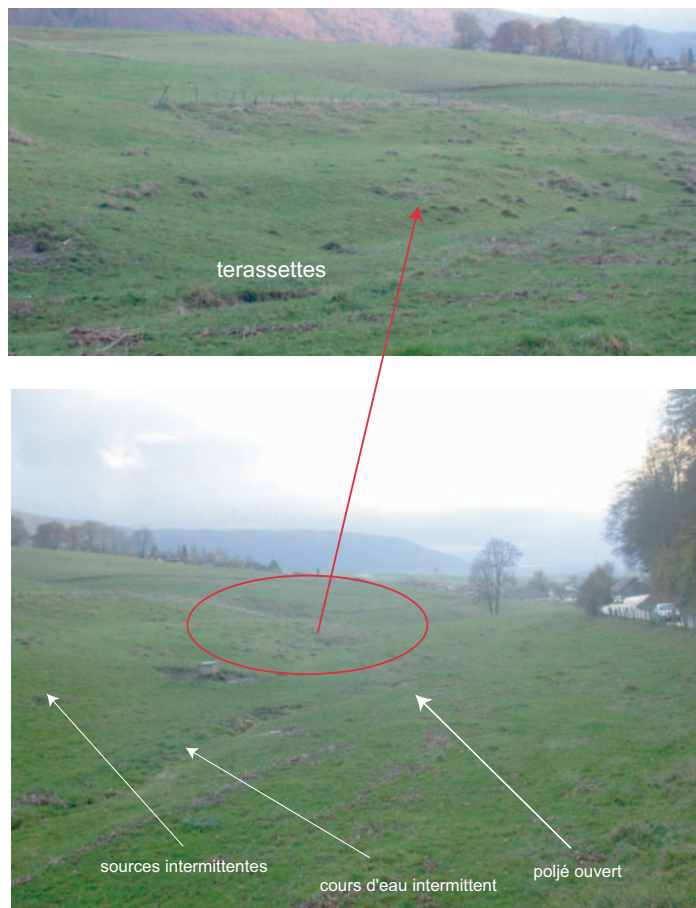


Figure 70. – Formes caractérisant la plaine alluviale et le bas du versant en pente douce. La photo du haut montre des terassettes. La figure du bas illustre les principales formes caractéristiques de l'amont de la plaine alluviale du Seyon.

Le versant doux descendant vers cette forme est aussi caractérisé par la présence de terassettes.

12. LES PALÉO-TERRASSES ET PALÉO-CHENAUX DE SEVARU

Ces formes (figure 71) ont pu être identifiées grâce au MNT LIDAR. Elles ne se situent pas dans la zone du levé de la carte de formations superficielles; elles n'ont donc pas fait l'objet de sondages. Mais des profils ont été tracés pour en mesurer l'amplitude.

Nous interprétons ces formes comme des paléo-terrasses (en bleu sur la figure 72) car l'examen minutieux des ombrages montre aussi des traces de paléo-chenaux associés (en mauve sur la figure 72). Le système se trouvait probablement en marge du lac péri ou proglaciaire qui occupait la zone.

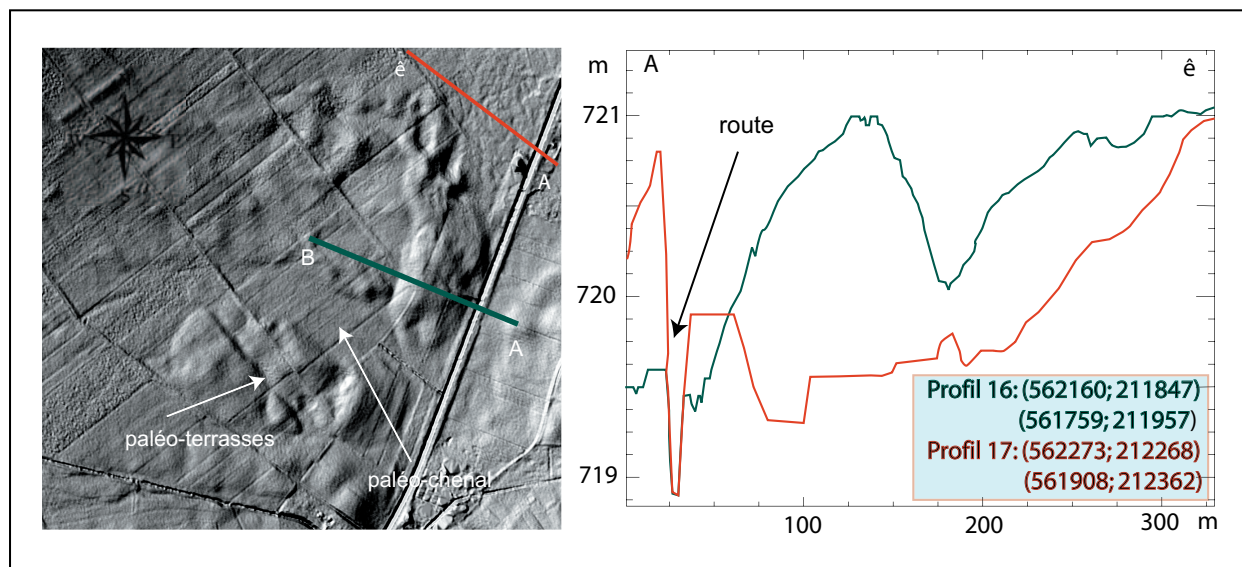


Figure 71. – Paléo-terrasses et paléo-chenaux observés aux abords de la nouvelle STEP. La figure de gauche les localise sur le MNT LIDAR. La figure de droite représente deux profils tracés à travers ces formes.

13. CARTE SYNTHETIQUE DES STRUCTURES GÉOMORPHOLOGIQUES MAJEURES

Cette carte (figure 72) regroupe les différentes observations effectuées sur le MNT LIDAR et les représente sur une carte de pentes. Elle montre ce qui est calculable et observable avec un tel outil.

L'aller-retour entre la représentation numérique (MNT) et naturelle (terrain) demeure néanmoins indispensable à toute étude de géomorphologie.

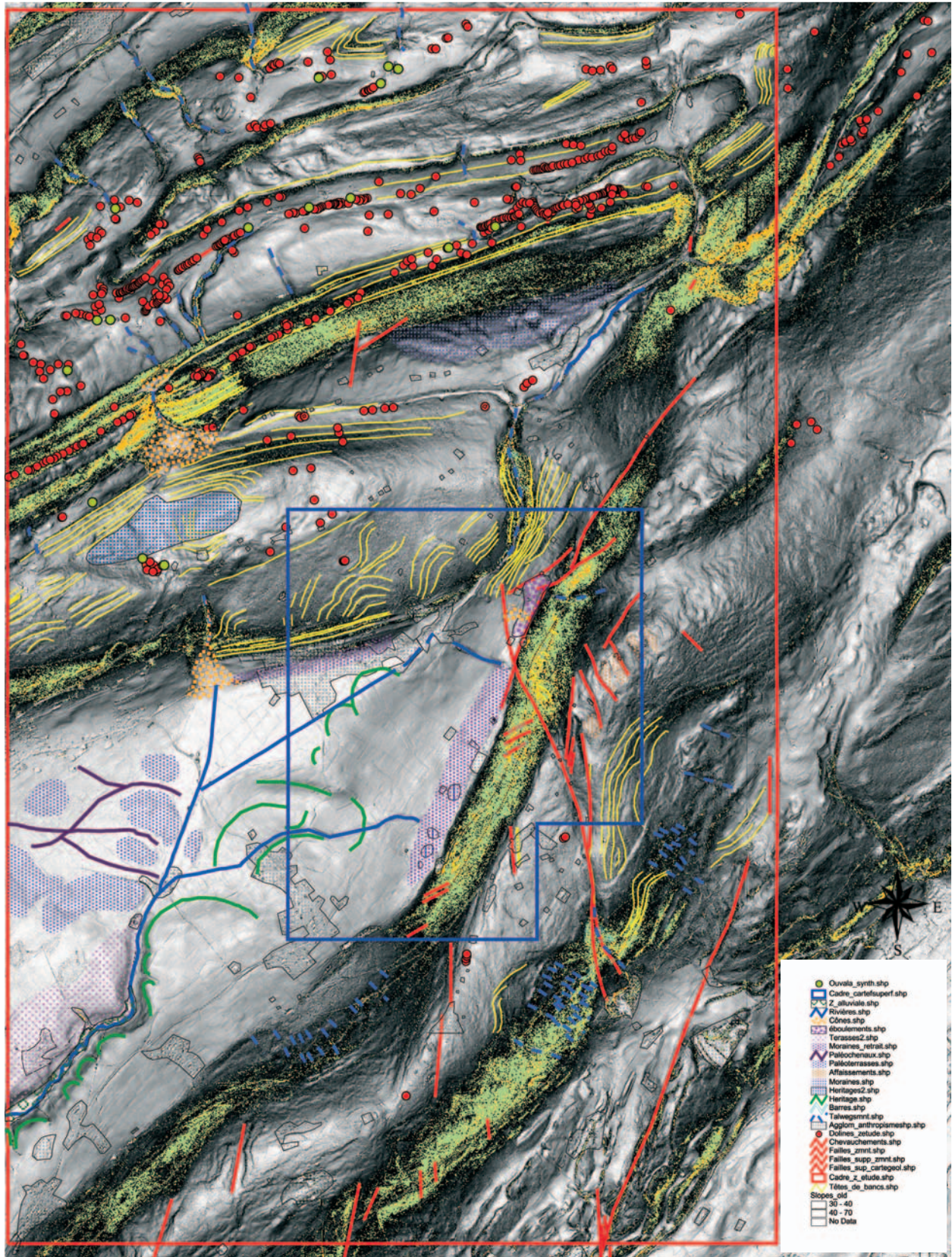


Figure 72. – Carte synthétique des observations morphologiques effectuées sur le MNT LIDAR. Réalisée avec ArcView.

CONCLUSION

Chaque individu apporte au monde sa contribution unique.

J. Kornfield

A. CONCLUSION À GRANDE ÉCHELLE (1:7500) EN TERMES DE GÉODYNAMIQUE EXTERNE

L'intégration de toutes les données existantes, de terrain et d'analyse devrait déboucher selon Campy (1989) sur une synthèse sous forme de carte de formations superficielles englobant les différents aspects suivants:

Synthèse stratigraphique:

«...soit le positionnement géométrique de toutes les unités élémentaires avec leurs caractéristiques. La localisation des changements latéraux de faciès et des horizons limites dans les trois dimensions. Tout cela permet de proposer une stratigraphie des formations étudiées et débouche sur un cadre chrono évènementiel ou toutes les phases sédimentologiques et/ou érosives sont repérées et placées dans le temps de façon absolue ou relative».

Les 55 sondages valables effectués lors de notre étude ont été regroupés en unités glaciaires, périglaciaires, alluviales et ruisselée. La poursuite de la prospection à la tarière pour vérification ainsi que l'étude des photographies aériennes et du MNT LIDAR ont permis de délimiter clairement ces unités dans l'espace. Pour chacune, la description de terrain a été approfondie par une analyse granulométrique en laboratoire (quantification de l'importance de la matière organique, tamisage humide, étude des fractions fines avec Oriol, dosage du calcaire total et mesures de pH. En termes de stratigraphie géologique notre étude est en général en accord avec la carte géologique levée en 1969, sauf sur les points suivants:

- les limites d'extension de la plaine alluviale ont été ici précisées grâce au MNT LIDAR;
- nous remettons en cause l'existence des affleurements molassique dans la région de «Sous le Mont»; il s'agit de matériel déposé sur de la moraine, probablement d'origine fluvio-glaciaire;
- les failles cartographiées ont été précisées, complétées et corrigées dans certains cas par le travail de terrain et l'analyse du MNT;
- la zone simplifiée sous l'appellation éboulis s'avère être constituée de groizes, de head et de tabliers d'éboulis. Les limites en ont aussi été modifiées grâce au MNT.

En deux dimensions notre étude répond parfaitement aux critères énoncés ci-dessus en 3D, le degré de précision est plus faible, il dépend de la distance entre nos points de sondage et de la taille de la zone étudiée. Néanmoins la chronologie relative de mise en place des formes et formations est bien établie. Une moraine de fond a été clairement identifiée sur la molasse, les crêtes et les versants portent les empreintes de deux phases loessiques successives, ruisselées sur les versants. Les actions de la pédogenèse et de l'altération sont clairement identifiables et situées dans le temps. Toutes ces informations sont représentées sur notre carte en annexe E.

Synthèse paléogéographique:

«L'étude lithologique des formations peut conduire à une reconstitution dynamique des conditions de leur mise en place et, par là, aboutir à une reconstitution paléogéographique ou les différents environnements marqués par le climat, la végétation, le milieu de vie (...) et leur distribution à

la surface des continents sont précisés. C'est ainsi que sera estimée l'extension d'une phase d'avancée glaciaire grâce aux dépôts morainiques, de même, les anciens cours fluviaux sont reconnus et leurs déplacements repérés.

En termes de paléogéographie, les différentes empreintes glaciaires ont été identifiées sans apporter toutefois de distinction à l'intérieur et entre les différentes phases glaciaires (Riss, Würm). Le contexte glaciaire au Val de Ruz est celui d'un bout de langue glaciaire qui pénètre depuis le plateau. Il n'y a aucune comparaison avec la dynamique glaciaire que nous rencontrons dans les Alpes. Les empreintes sont beaucoup moins nettes (il n'y a pas eu deux avancées nettes pendant les périodes Riss et Würm), l'étude de terrain et morphologique suggère plutôt la succession de petites avancées et reculées de ce glacier en bout de course. La figure 72 qui englobe la quasi totalité du Val de Ruz montre bien l'enchevêtrement des différentes formes glaciaires et périglaciaires.

Les empreintes périglaciaires ont été clairement mise en relief par l'étude du MNT LIDAR et le travail de terrain (culots de glace morte, paléo-terasses et chenaux...). Une partie de ces formes a toutefois aujourd'hui disparu à cause des infrastructures, des agglomérations, de la canalisation des cours d'eau, de l'assèchement des zones marécageuses et de l'installation d'un réseau de drainage au profit de l'agriculture. L'étude de la profondeur des formations superficielles combinée à nouveau à celle du MNT a aussi révélé l'importance des formations actuelles, perturbées par l'agriculture sur une grande partie de notre zone d'étude ou encore par les aménagements et l'exploitation forestière.

Synthèse chronologique:

«Chaque événement, interprété dynamiquement, caractérisé climatiquement, pourra être placé chronologiquement et l'étude des formations superficielles d'une région aboutira, au mieux, sur un cadre chronologique discuté et parfois discutable(...) il semble même que les principaux ensembles de formations superficielles (...) correspondent à des phases chronologiques de courte durée mais, très actives. L'essentiel du temps écoulé serait plutôt caractérisé par de longues phases de stabilité pendant lesquelles les formations superficielles ne subissent qu'un léger remaniement et, en particulier, une altération et/ou pédogenèse plus ou moins importante(s).

Le cadre chronologique de mise en place des formations superficielles est ici relativement simple. Un contexte d'avancée et de recul de bout de langues glaciaires avec dépôt de tills de fond dans le vallum morainique et de lœss glaciaires sur les crêtes. Lors de la succession des différentes phases de retrait, il y a eu abandon de moraines de retrait au-dessus de Dombresson et d'une moraine latérale dans la région de «Sous le Mont». Les versants sont alors marqués par de la gélifraction en milieu périglaciaire associée à du ruissellement dont les empreintes ont été localement clairement identifiées. Enfin, en contexte actuel, on constate une dominance du ruissellement de versant associé, en hiver à des phénomènes de géliturbation en pied de versant (versant de Chaumont), et une dominance de la pédogenèse (mise en place progressive de sols bruns forestiers sur les versants, déjà lessivés par endroits, précipitations secondaires de carbonate de calcium sur le versant Nord de Chaumont...

Notre étude a clairement défini les formations glaciaires, périglaciaires, alluviales et colluviales ainsi que les signes d'altérations de ces différentes formations et ce, sur une profondeur moyenne de un mètre.

B. CONCLUSION À PETITE ÉCHELLE (1:50 000)

Le Val de Ruz est un vallum morainique caractérisé par son ouverture directe sur le bassin molassique. Cette spécificité a permis à plusieurs reprises l'avancée et le recul de langues glaciaires du glacier du Rhône. Le paysage est clairement modelé par les empreintes glaciaires et périglaciaires.

Notre travail d'analyse morphologique à petite échelle sur le MNT LIDAR montre la richesse de cet outil et met en relief différentes structures. En particulier nous avons pu mettre en évidence un grand nombre de dolines (> 1 mètre de diamètre) et d'ouvalas, principalement localisés au contact de deux couches géologiques. Il a également été possible de mettre en évidence les têtes de bancs visibles exclusivement sur le MNT. Cette cartographie pourrait permettre un calcul semi-automatique du pendage dans une région non accessible et affiner le degré de précision d'une carte géologique.

Les failles, par leur signature morphologique particulière, ont pu être cartographiées avec une extension plus grande que ce que permet une analyse géologique traditionnelle (problème d'affleurements...). Nous avons pu grâce au MNT mettre en évidence deux familles de failles (NW-SE et NE-SW) mais une troisième (E-W non décelable sur le MNT) montre que l'analyse de terrain demeure une étape indispensable.

Tous ces objets ont pu être repérés grâce à différents ombrages et au calcul de différents paramètres (pentes, orientation, convexité) donnant lieu à des représentations cartographiques intégrées dans le projet SIG.

Pour exploiter au mieux les données à disposition, il serait intéressant de pousser plus avant le travail d'analyse qualitative avec des ressources informatiques plus performantes (pour limiter les temps de calcul). L'étude morphologique du canton grâce au MNT LIDAR pourrait probablement faire l'objet d'une thèse qui nécessiterait plus de moyens (sondages à la tarière mécanique, vérifications systématiques sur le terrain et analyses physico-chimiques plus poussées...) De plus cela permettrait encore d'affiner notre carte de formations superficielles.

Enfin pour exploiter au mieux les possibilités offertes par le MNT, un travail de géomorphologie quantitative serait très intéressant. Il conviendrait aussi de mener des analyses géostatistiques notamment grâce aux nouveaux outils fournis par ARCGIS 9.0 ou encore effectuer une analyse multi-spectrale en ondelettes.

BIBLIOGRAPHIE

-
- Amstutz, N.**, Etude d'un paléosol à la charnière crétacé-tertiaire en Périgord (France) ; Carte pétrographique de l'île d'Andros (Grèce), 92 pp., Neuchâtel, 2003.
- Arn, R.**, Les invasions glaciaires dans la région lémanique. Visions d'hier et d'aujourd'hui, *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 78.1, 21-46, 1992.
- Arn, R., & Campy, M.**, Un problème de paléographie glaciaire au maximum würmien dans la zone circumalpine: le glacier jurassien, *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 113, 115-131, 1990.
- Aubert, D.**, La récurrence des glaciers jurassiens entre la Venoge et Aubonne, *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 78.1, 28-46, 1986.
- Baize, D., & Jabiol, B.**, *Guide pour la description des sols*, 172 p. pp., Paris, 1995.
- Becker, A.**, Detached neotectonics stress field in the northern Jura mountains, Switzerland, *Geologische Rundschau*, 78, 459-475, 1989.
- Becker, A.**, The Jura Mountains - An active foreland fold-and-thrust belt?, *Tectonophysics*, 321, 381-406, 2000.
- Becker, A., & Blüming, P.**, Recent stress field and neotectonics in the eastern Jura mountains, Switzerland, *Tectonophysics*, 135, 277-288, 1987.
- Becker, A., & Werner, D.**, Neotectonic state of stress in the Jura Mountains, *Geodynamica Acta*, 8, 99-111, 1995.
- Bertrand, J.**, Rapport sur une campagne de recherches par forages dans le Val de Ruz sur l'aquifère artésien des Prés-Royer. Rapport inédit et introuvable., 1984.
- Bertrand, J.**, Résultats et enseignements de la campagne de reconnaissance par forage du site du réservoir. Rapport inédit et introuvable., 1990.
- Bertrand, J.**, Nouvelle STEP du Haut Val-de-Ruz - Reconnaissance hydrogéologique. Rapport inédit et difficilement trouvable., 1998.
- Bessac, J.**, Carte géomorphologique détaillée de Eyguières au 1'50000, CNRS, Paris, 1971.
- Bourquin, P., Buxtdorf, R., Frei, E., Lüthi, E., Muhlethaler, C., & Suter, H.**, Carte géologique du Val de Ruz au 1: 25 000 feuille N° 51, Aet. Institut Orell Füssli, Zürich, 1968.
- Bouvier, J.-F.**, Problèmes d'urbanisation du littoral neuchâtelois, *Bulletin de la société neuchâteloise de géographie*, 29, 57-84, 1985.
- Burkhard, M.**, Aspects of the large-scale Miocene deformation in the most external part of the Swiss Alps (Subalpine Molasse to Jura fold belt), *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83, 559-583, 1990.

-
- Burkhard, M., & Sommaruga, A.**, Evolution of the western Swiss Molasse basin: structural relations with the Alps and the Jura belt., in *Cenozoic Foreland Basins of Western Europe*, vol. 134, edited by A. Mascles, H.P. Luterbacher and M. Fernández, Geological Society Special Publication, London, 1998.
- Cailleux, J.T.A.**, *Traité de géomorphologie - Le modelé des régions périglaciaires*, 511 pp., Société d'édition d'enseignement supérieur, Masson, Paris, 1967.
- Campy, M., & Macaire, J.-J.**, *Guide pour la description des sols*, 375 pp., Masson, Paris, 1995.
- Campy, M., & Macaire, J.-J.**, *Géologie des formations superficielles : géodynamique - faciès - utilisation*, 125 pp., Paris ; Milan, 1989.
- Chardon, M., Marnezy, A., & Monjuvent, G.**, Carte géomorphologique de Grenoble au 1:50'000, Centre d'Etudes et de Réalisations Cartographiques Géographiques du C.N.R.S, Paris, 1980.
- Cosandey, A.-C., Guenat, C., Bouzelboudjen, M., & Maître, V.**, The modelling of soil-process functional units based on three-dimensional soil horizon cartography, with an example of denitrification in a riparian zone, *Geoderma*, 112, 112-129, 2003.
- D. Aubert, P.B., J. Cassedanne, W. Custer, & al.**, Riss und würmzeitliche Eistränder mit den zugehörigen Abflussrinnen in der Franche Comté im Neuenburger und Berner Jura, 1965.
- Dewolf, Y.**, *Intérêt et principes d'une cartographie des formations superficielles*, 183 pp., Association des publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Caen, 1965.
- Haugerud, R.A., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., & Weaver, C.S.**, High resolution Lidar Topography of the Puget Lowland, Washington, *GSA Today*, 4-10, 2003.
- Hoersch, B., Braun, G., & Schmidt, U.**, Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach, *Computers, Environment and Urban System*, 26, 113-139, 2002.
- Homberg, C., Bergerat, F., Philippe, Y., Lacombe, O., & Angelier, J.**, Structural inheritance and Cenozoic stress fields in the Jura fold-and-thrust belt (France). *Tectonophysics*, 357, 137-158, 2002.
- Homberg, C.**, Analyse des déformations cassantes dans le Jura et modélisation numérique des perturbations des contraintes tectoniques autour d'accidents majeurs, 299 pp., Univ. P. et M. Curie, Paris, 1997.
- J.-M. Gobat, M.A.W.M.**, *Le Sol vivant*, 520 pp., presses polytechniques et universitaires romandes, Lausannes, 1998.
- Joly, F.**, *Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie*, 325 pp., Masson, Paris, 1997.

-
- Joly, F., & Dewolf, Y.**, Cartographie des formations superficielles, *Géomorphologie et formations superficielles*, 9pp., sous presse.
- L. Ström, T.O.G.T.**, Differences between calcifuge and acidifuge plants in root exudation of low molecular organic acids, *Plant and Soil*, 167, 239-245, 1994.
- Laroche, F.**, Le Seyon: un cours d'eau neuchâtelois sous haute surveillance, *Bulletin de la Société Neuchâteloise de Géographie*, 45-46, 81-98, 2002.
- Mathieu, C., & Pielain, F.**, *Analyse physique des sols: méthodes choisies*, 300 p. pp., Paris, 1998.
- Monbaron, M.**, Etude roentgénographique d'une moraine de fond (Valangin/NE), in *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, vol. 96, pp. 123-134, 1973.
- Mornod, J.B.L.**, Rapport hydrogéologique sur une campagne de recherches par forages au Val de Ruz dans le secteur des Prés-Royer. Rapport inédit et introuvable., 1970.
- Mornod, J.B.L.**, Rapport sur la construction d'un puit filtrant dans la nappe artésienne des Prés-Royer, au Val de Ruz et sur l'essai de pompage qui en a résulté. Rapport inédit et introuvable., 1971.
- Pancza, A.**, Les particularités du climat neuchâtelois, in *Bulletin de la Société Neuchâteloise de Géographie*, vol. 45-45, pp. 51-80, 2002.
- Parriaux, P.C.J.**, *Le Jura*, 500 pp., Paris, 1974.
- Peters, T.**, Zur quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Albit und Kalifeldspat in peltischen Sedimentfraktionen, in *Bulletin suisse de Minéralogie et Pétrographie*, vol. 45, pp. 115-121, 1965.
- Peters, T.**, Tonmineralogie einiger Glazialablagerungen im schweizerischen Mittelland, in *Eclogae Geologicae Helveticae*, vol. 62(2), pp. 517-525, 1969.
- Pochon, M.**, Origine et évolution des sols du Haut-Jura Suisse. Phénomènes d'altération des roches calcaires sous climat tempéré humide, 324 pp., Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 1974.
- Portmann, J.-P.**, Pétrographie des formations glaciaires à l'E du lac de Bienne (Suisse), in *Eclogae geologicae Helveticae*, vol. 59 (2), pp. 697-721, 1966.
- Ruhe, R.V.**, *Geomorphology*, 245 pp., Houghton Mifflin Company, Boston, 1975.
- Schaer, J.-P.**, De la formation des roches et de leur utilisation en pays de Neuchâtel, *Bulletin de la Société Neuchâteloise de géographie*, 45-46, 23-50, 2001.

-
- Soltner, D.**, *les bases de la production végétale*, 467 pp., collection sciences et techniques agricoles, Angers, 1990.
- Sommaruga, A.**, Decollement tectonics in the Jura foreland fold-and-thrust belt, *Marine and Petroleum Geology*, 16, 111-134, 1999.
- Sorel, D., & Vergely, P.**, *Initiation aux cartes et aux coupes géologiques*, 96 pp., Paris, 1999.
- Suter, H., & Lüthi, E.**, Atlas géologique de la Suisse - 1: 25 000 - 1144 Val de Ruz, Kümmerly & Frey SA., Bern, 1969.
- Theurillat, C.**, Etat de la végétation du canton de neuchâtel en 1984, *Bulletin de la société neuchâteloise de géographie*, 28, 203-223, 1984.
- Theurillat, C.**, Les paysages neuchâtelois (Jura, Suisse), *Bulletin de la société neuchâteloise de géographie*, 29, 11-40, 1985.
- Tschanz, X.**, Deformation Analysis in the Central Jura between Neuchatel (Switzerland) and Besancon (France), *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83, 543-558, 1990.
- Zurich-Reckenholz, S.f.d.r.a.**, Cartographie des sols forestiers, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 1996.

RAPPORT SIG

*Prendre pour permanent ce qui n'est que transitoire est
comme l'illusion d'un fou.*

Kalou Rinpotché

Introduction

Mon travail de diplôme reposant sur une analyse de formations superficielles à des fins cartographiques, l'emploi des outils SIG est apparu comme une évidence. Un tel travail représente une grande quantité de données qu'il convient de traiter sous forme numérique pour obtenir des représentations exploitables.

Les logiciels Arcview, Arc Info et ArcGIS et les extensions Image Analyst, Spatial Analyst, 3D Analyst ont permis le traitement de toutes mes données. Cependant la carte finale de formations superficielles devant respecter les normes cartographique du glossaire de Joly (1997) a été réalisée sous Illustrator CS car les chartes couleur et la complexité des motifs employés excluait une réalisation sous Arview ou ArcGIS.

Les profils et certaines cartes thématiques comme celles de convexité, de pentes des ombrages ont été réalisés avec Envi, puis intégrées au projet en format Geotiff.

Le rapport SIG ci-dessous est un mémo des différentes étapes nécessaires à la réalisation d'un tel projet, les critères de réalisation, les observations, interprétations ce trouvent au chapitre synthèse morphologique de la partie traitement et discussion de ce mémoire de fin d'études.

But du travail

Le projet formations superficielles au Val de Ruz cherche à représenter l'ensemble des données allant de la roche mère à l'occupation du sol. Un tel travail implique l'élaboration d'un grand nombre de *layouts* pour organiser les différentes données (géologie, hydrologie, formations superficielles...) qu'il est intéressant de superposer pour la réalisation de cartes thématiques ciblées sur les différentes problématiques (placage des formations superficielles sur le MNT par exemple).

Le SIG est aussi un excellent outil d'analyse pour soumettre à des analyses multicritères des données spatiales en vue de dégager des observations non déductibles directement sur le terrain.

L'autre but de mon travail a été le traitement du MNT LIDAR à 1m fourni par le SITN grâce aux outils offerts par Arc et IDL. Pour ce faire, des cartes de pentes, d'orientation, de convexité, des hillshades et des profils ont été réalisés avec les 2 logiciels.

Données SIG à disposition

- Données de la carte hydrogéologique du canton au 1 : 25 000.
- MNT LIDAR à 1m du SITN.
- Courbes de niveau à 2 m du SITN.
- Landsat à 28.5 m.

Etapas du travail

- Création des dossiers et organigramme du projet.
- Scannage et géoréférencement de cartes.
- Mise en place d'une grille de travail.
- Numérisation d'information sous forme de points.
- Numérisation d'informations sous forme de lignes.

- Numérisation des données de terrain sous forme de polygones.
- Numérisation d'informations géologiques.
 - insertion d'azimuts, pendages.
 - réalisation de profils.
- Import de points GPS
- Insertion d'une table dans ArcView
- Joindre deux tables
- Travail sur les données du MNT LIDAR
 - traitement du fichier source (ASCII)
 - ouverture du MNT GRID dans ArcView
 - ouverture du MNT dans Envi
 - calculs d'ombrages (hillshades)
 - réalisation d'une carte de pentes
 - calcul de l'orientation des pentes

CREATION DES DOSSIERS

Il convient d'abord de créer un dossier sur l'ordinateur personnel comprenant les différents dossiers du projet soit : D:\unine\diplôme\GISvdr. Puis il faut créer des sous dossiers ou seront classés les différents types de fichier créés.

Attention, les logiciels Arc ne tolèrent pas les espaces pour les noms de fichiers !

Voici la liste des sous-dossiers:

arcinfo_data
arcview_data
arcview_projet
ascii_data
grid_data
image_data
shapefile_data
tin_data
tmp_data

SCANNAGE ET GEOREFRENCEMENT DES CARTES

carte topographique

Le fond de carte utilisé est celui au 1:5000 de l'Office Fédéral de la Topographie suisse. Cette carte nous a été fournie par le service de l'Aménagement du Territoire de Neuchâtel sous forme de 2 grands posters. Ces posters ont ensuite été scannés grâce au scanner A0 de l'institut de géologie. Puis les 2 moitiés de la carte ont été «recollées» sous Photoshop CS.

Arc Info n'a pas été employé pour le référencement de ce fond; Envi a été préféré pour des raisons de praticité. Une série de coordonnées xy pixels correspondant à une série xy géographique a été entrée afin d'arriver à un RMS (residual minimum square) le plus petit possible.

Les paramètres d'interpolation suivants ont été appliqués lors de la création de la carte: polynomial (degré 2) bicubic afin de corriger les imperfections du scan (les posters sont flottants lors du scan A0).

Après vérification du résultat, enregistrer la carte en format geotiff pouvant être lu par Arcview.

L'avantage de cette méthode est la convivialité d'Envi et l'obtention d'un fichier Tiff sans hdr associé (fichier en tête de Envi).

carte géologique

Le fond de carte géologique a été référencé sous Arc :

- Démarrer > Programmes > Arcgis > Arcinfo workstation > Arc
- Workspace c:\unine\diplôme\GISvdr\image_data
- Register geolvdr25.tif
- Dans la fenêtre qui s'ouvre, cliquer le premier point référence puis introduire ses coordonnées XY dans « Link Action ». le bouton gauche de la souris permet de modifier la taille du champ de vision.
- Référencer 3 autres points
- Cliquer sur « Register »
- Cliquer sur « Done »
- Cliquer sur « Save transformation »
- La carte peut ensuite être ouverte dans Arcview : View → Add Theme → et aller chercher l'image dans : c:\unine\diplôme\GISvdr\image_data.

MISE EN PLACE D'UNE GRILLE DE TRAVAIL

Cette étape se fait sous Arc. Une grille de 500 mètres de côtés a été créée.

- Démarrer > Programmes > arcgis > Arcinfo workstation > Arc
- Arc: generate grill
- Generate: fishnet
- Fishnet origine coordinate (Xmin Ymin): 560415 206997 (en mètres)
- Y-axis coordinate (Xmin Ymax): 560415 220002
- Cell size (width Height): 500 500
- Number of row, collumns: 25, 19
- Generate: quit
- Arc: build grill lines
- Arc: describe grill
- Arc: export cover grill grill.e00

Puis transférer le fichier de Arcinfo_Data vers c:\unine\diplôme\GISvdr\Arcview_data en utilisant le programme Import 71.

NUMERISATION D'INFORMATION SOUS FORME DE POINTS

Il suffit de créer un nouveau thème dans Arcview :

- “View”
- “New Theme”
- Choisir l'option “Points”
- Nommer le thème : « dolines » par exemple
- Enregistrer dans c:\unine\diplôme\GISvdr\Shapefile_Data

- Pour commencer à numériser : choisir l'option « Start Editing » dans le menu « Theme ».
- Placer les points
- Quand le travail est fini : choisir l'option « Stop Editing » dans le menu « Theme ». les changements seront enregistrés dans le fichier dolines.shp.

Il suffit de répéter ces étapes pour toute autre information numérisée sous forme de points: blocs erratiques, sources ...

NUMERISATION D'INFORMATION SOUS FORME DE LIGNES

La marche à suivre est semblable à celle pour les points sauf qu'il faut choisir l'option « Line ».

- Dans "View", choisir "New Theme"
- Choisir l'option "Line"
- Nommer le thème par ex : « routes »
- Enregistrer dans c:\unine\diplôme\GISvdr\Shapefile_Data
- Pour commencer à numériser : choisir l'option « Start Editing » dans le menu « Theme ».
- Tracer les lignes
- pour fermer une ligne, il existe une commande dans « Theme » → « Properties ». Choisir la fonction « editing » puis dans « snapping » cocher « general » et « interactive ». On peut alors choisir la marge pour qu'un nouveau point se mette à la même place qu'un point existant pour fermer la ligne en question.
- Il est aussi possible de joindre plusieurs lignes en les sélectionnant toutes et en utilisant la fonction « join feature ».
- Quand le travail est fini : choisir l'option « Stop Editing » dans le menu « Theme ». les changements seront enregistrés dans le fichier routes.shp.

Il suffit de répéter ces étapes pour toute autre information numérisée sous forme de lignes comme les têtes de bancs, les rivières, les barres...

NUMERISATION D'INFORMATION SOUS FORME DE POLYGONES

Pour cette étape, il est possible de choisir l'option polygone. Mais dans ce projet, les polygones ont été créés à partir de lignes élaborées dans Arcview et transformées dans Arc Info.

- Démarrer > Programmes > Arcgis > Arcinfo workstation > Arc
- Arc : arctools
- Dans "edit tools" taper workspace c:\unine\diplôme\GIS\tmp_data
- Dans "tools" choisir "command tools » puis « ok »
- Ouverture d'une 2^{ème} fenêtre, dans « conversion » choisir « shape to arc »
- Input : c:\unine\diplôme\GISvdr\Shapefile_data
- Output: c:\unine\diplôme\GISvdr\temp_data\geolg (nom provisoire)
- File > Open > OK
- sortir de l'environnement graphique: LC ←
- describe geolg
- continue : y
- copy landuse geolg2

- build geolg2
- pour corriger les erreurs, copier le fichier sous un autre nom: copy geolg2 geolg 2b
- clean geolg2b
- describe geolg2b
- une fois toutes les corrections effectuées, exporter le fichier sous le format *.e00: export cover geolg2.e00 puis transférer le fichier dans Arcview grâce à Import71.

Procéder identiquement pour toute autre donnée de ce type.

Les formes observées sur le MNT ont directement été numérisées sous forme de polygones car leur représentation finale s'est faite sous Illustrator.

NUMERISATION D'INFORMATIONS GEOLOGIQUES

Insertion d'azimuts / pendage

Dans le menu « File », choisir « Extensions » et cocher l'option « plot_geodata2 ». puis dans la barre de menu sélectionner le bouton « ⊥ » cliquer chaque point et dans la fenêtre qui s'ouvre, entrer la direction, la grandeur du symbole et la pente de l'affleurement.

Attention il n'y a pas de lien entre la taille du symbole et l'échelle affichée. Faire attention à cela avant l'impression.

Les pendages se simplifiant en 3 sigles sur une carte de formations superficielles, ils ont ici été entrés comme des points puis les sigles ont été créés sous Illustrator.

Réalisation de profils

Pour réaliser des profils topographiques sur la base des données du MNT.

- Dans Thème Properties, vérifier que l'on travaille bien en mètres.
- Créer un nouveau thème.
- Tracer le trait de profil (pas nécessairement une ligne droite).
- Convertir le thème en 3D Shapefile.
- Choisir "Surface".
- Choisir un fichier contenant un z (par ex. un Grid ou un Tin).
- Sauvegarder dans 3D Shapefile.
- Le nouveau trait de profil s'ouvre dans un nouveau Thème.
- Créer un nouveau layout dans la fenêtre layout.
- Cliquer sur l'icône graphe qui est maintenant active.
- Tracer l'espace du graphe.
- Choisir les paramètres qui conviennent (exagération verticale...) dans la fenêtre qui s'ouvre.

Des essais ont été réalisés avec cette fonctionnalité mais nos profils définitifs ont été réalisés avec IDL Envi puis exportés en Post Script sous Illustrator (meilleure qualité graphique)

IMPORT DE POINTS GPS

Pour introduire les points, réaliser premièrement un fichier Excel contenant les coordonnées des points à importer. Convertir ce fichier en .txt.

Dans Arc Info:

- comme précédemment définir le workspace
- generate pointsGPS
- input pointsGPS.txt
- points
- quit
- build pointsGPS points
- export cover pointsGPS pointsGPS.e00
- récupérer les données dans Arcview avec Import71

INSERTION D'UNE TABLE DANS ARCVIEW

- Cliquer sur "Tables" puis sur "Add".
- Sélectionner la table désirée.
- Cliquer sur "View" et choisir "Add event theme".

JOINDRE 2 TABLES

- Cliquer dans chaque table sur une des colonnes communes par ex. "granulos".
- Dans le menu "Table" choisir "join" puis choisir "Properties, nommer la nouvelle table et enregistrer le fichier.
- Insérer la table dans ArcView.

TRAVAIL SUR LES DONNEES DU MNT LIDAR

Traitement du fichier source (ASCII)

Le document fourni par le SITN se présentait sous la forme d'un CD contenant un fichier shp. pour les courbes de niveau à 2m (directement exploitable dans Arcview) et un fichier ASCII d'un gigaoctet comprenant les informations du MNT. La première étape consiste à transformer le fichier texte au format GRID pour ce employer ArcToolbox.

- Dans ArcGIS, choisir ArcToolbox.
- Dans "Import to Raster" choisir "Ascii to Grid".
- Sélectionner le fichier Ascii dans «Input ASCII file» et donner un nom et un chemin pour le fichier sous «Output grid».
- Si les données comportent des décimales choisir «float» et si elles sont entières, choisir «integer».
- Attendre ... (parfois plus de 30 minutes...)
- On obtient 2 dossier ici VDR et INFO à ranger dans le répertoire grid_data du projet.

Ouverture du MNT GRID dans Arcview

- Vérifier que l'extension Grid Analyst est activée.
- Dans "View", choisir "Add Theme", sélectionner «Grid Data source» dans «Data Sources Types» et ouvrir le fichier, ici «MNT».

Ouverture du MNT dans Envi

IDL Envi ne prenant à notre connaissance pas en charge les données en «floating point», il faut donc préalablement multiplier les données du fichier grid_data.

- Activer le thème «mnt».
- Sans "View", sous "Properties" vérifier choisir meters pour Map Units et Distance Units.
- Vérifier que l'extension «Spatial Analyst» est activée.
- Dans "Analysis", choisir "Map Calculator".
- Choisir "Arithmétique et multiplier par 10".
- Enregistrer le nouveau fichier (par ex. mntIDL).
- Ouvrir ArcToolbox.
- Dans "Export from Raster" choisir "Grid to Image".
- Dans Input grid choisir mntIDL, choisir un nom pour Output Image.
- Sous Color Map sélectionner «none» et «BIL» sous Image format.

CALCUL D'OMBRES (HILLSHADES)

Vérifier que les extensions Spatial Analyst et Grid Analyst soient activées

- Dans "Surface", choisir "Compute Hillshade".
- Sous "Azimuth" indiquer la direction de l'éclairage désirée.
- Sous Altitude, indiquer l'angle de l'éclairage désiré.
- Sauvegarder l'ombrage dans le répertoire désiré.
- On peut varier changer le code couleur en cliquant deux fois sur le thème, puis sélectionner les teintes désirées dans «Color Ramps».

NB. L'ombrage calculé est automatiquement sauvegardé dans le workspace sous le nom «hlshd1». Ne pas oublier de le déplacer pour l'intégrer au projet!

CALCUL DES PENTES

Vérifier que les extensions Spatial Analyst et Grid Analyst soient activées

- Dans "Surface", choisir "Derive Slope".
- Pour modifier les classes, les couleurs... cliquer deux fois sur le thème obtenu.

NB. Les pentes calculées sont automatiquement sauvegardées dans le workspace sous le nom «slope1». Ne pas oublier de le déplacer pour l'intégrer au projet.

CALCUL DE L'ORIENTATION DES PENTES

Vérifier que les extensions Spatial Analyst et Grid Analyst soient activées

- Dans "Surface", choisir "Derive Aspect".
- Pour modifier les couleurs, cliquer deux fois sur le thème obtenu.

NB. Les pentes calculées sont automatiquement sauvegardées dans le workspace sous le nom «aspct1». Ne pas oublier de déplacer le fichier pour l'intégrer au projet.

FINALISATION DU PROJET (source cours SIG)**Objectif : Rendre un projet ArcView indépendant du lecteur**

(éliminer les boîtes de dialogue « Where is... » avant de pouvoir lancer le projet).

1. Rechercher le fichier *.apr dans le répertoire concerné.
Faire une copie de ce fichier et l'enregistrer.
2. Cliquer sur le fichier copy avec le bouton droit et ouvrir avec Wordpad.
3. Aller dans Edition/Rechercher et inscrire « path ». Cliquer sur Suivant et Annuler. On voit dans le texte **Path : d:/...**
4. Aller dans Edition/Remplacer... , copier avec ctrl C **Path :d:/...** du texte et le coller dans les champs « Rechercher » et « Remplacer par ». Eliminer manuellement **d :** du champ « Remplacer par ».
5. Cliquer sur Remplacer tout et sur Ok. Ensuite cliquer sur Annuler. On voit dans le texte que le **d :** a disparu.
6. Sauver le fichier et fermer la fenêtre. Répondre OUI à la suppression du formatage.
7. Double-cliquer sur le fichier pour constater l'ouverture instantanée du projet.

Attention : Il faut vérifier que les données soient dans les bons répertoires (vérifier dans Wordpad que le chemin est le même qu'au point 1.)

Le but de cette manipulation est que le CD gravé du travail final soit accessible facilement et démarre automatiquement.

NOTA BENE

- EN ENREGISTRANT DE NOUVELLES DONNEES LES METTRE DIRECTEMENT AU BON ENDROIT ET NE PAS LES LAISSER SUR LE TEMPORAIRE WINDOWS !
- NE PAS OUBLIER DE FIXER LES UNITES DESIREES QUAND ON COMMENCE UN NOUVEAU PROJET : « VIEW » → « PROPRIETES »
- ATTENTION AUX EXTENSIONS COCHEES DANS LE MENU EXTENSION!

RAPPORTS UTILISES

N. Amstutz, 2003. *Etude d'un paléosol à la charnière crétacé-tertiaire en Périgord (France) ; Carte pétrographique de l'île d'Andros (Grèce)*, Neuchâtel, 92 pp.

F. Joly, 1997. *Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie*, Paris, 325 pp.

E. Weber, 2004. *Etude des mouvements récents dans les karsts de Melchsee-Frutt (OW : apport de la modélisation 3D et comparaison avec la grotte de Milandre (JU) et le réseau des Siebenhengste (BE)*, Neuchâtel, 167 pp.

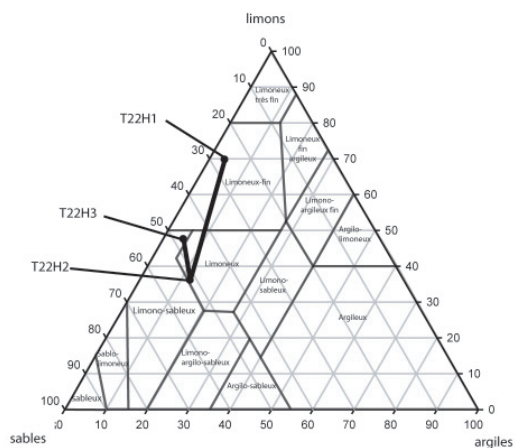
n° GEA	échantillon	poids (g)	poids récipient + éch sec traité	poids récipient	poids ech traité	perte	> 8 mm				>4mm				>2mm		
							bol	bol + ech	ech sec	%	bol	bol + ech	ech sec	%	bol	bol + ech	ech sec
20438	T28H1	50.62	92.05	50.82	41.23	9.39	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	23.64	4.56
20439	T28H2	50.05	92.2	50.74	41.46	8.59	0	0	0	0	18.79	20.6	1.81	4.37	19.12	20.72	1.6
20440	T28H3	50.12	91.38	50.93	40.45	9.67	0	0	0	0	19.38	20.41	1.03	2.55	18.84	19.38	0.54
20441	T30H1	50.04	93.24	50.75	42.49	7.549	0	0	0	0	18.83	19.16	20.69	48.7	19.18	20.57	1.39
20442	T30H2	50.37	89.4	50.91	38.49	11.88	0	0	0	0	18.81	19.85	1.04	2.7	19.16	20.01	0.85
20443	T30H3	50.04	90.59	50.92	39.67	10.37	0	0	0	0	19.08	22.03	2.95	7.44	19.15	21.54	2.39
20435	T2H1	50.02	88.2	50.88	37.32	12.7	0	0	0	0	18.79	19.08	0.29	0.78	18.84	19.41	0.57
20436	T2H2	50.42	91.55	50.67	40.88	9.54	0	0	0	0	19.4	20.97	1.57	3.84	19.08	20.51	1.43
20437	T2H3	50.35	91.39	50.86	40.53	9.82	19.12	20.22	1.1	2.71	19.38	20.7	1.32	3.26	19.15	19.57	0.42
20624	F40H1	50.64	91.62	50.94	40.68	9.96	19.41	21.02	1.61	3.96	19.4	26.83	7.43	18.3	18.84	26.53	7.69
20625	F40H2	50.85	100.2	50.85	49.35	1.5	19.16	21.77	2.61	5.29	19.35	29.35	10	20.3	19.38	27.06	7.68
20626	F40H3	51.75	97.4	51.01	46.39	5.36	0	0	0	0	19.39	22.07	2.68	5.78	18.89	20.16	1.27
20627	F41H1	52.71	92.28	50.81	41.47	11.24	19.52	20.24	0.72	1.74	19.4	31.27	11.87	28.6	18.88	28.93	10.05
20628	T22 H1	50.78	87.27	50.92	36.35	14.43	19.08	21.42	2.34	6.44	19.37	21.76	2.39	6.57	18.82	20.49	1.67
20629	T22H2	25.86	186.01	163.19	22.82	3.04	19.41	23.21	3.8	16.65	19.4	25.41	6.01	26.3	18.84	20.71	1.87
20630	T22H3	51.73	141.61	96.99	44.62	7.11	18.91	21.77	2.86	6.41	19.09	32.31	13.22	29.6	18.99	22.13	3.14
20631	T1H1	50.45	84.69	50.93	33.76	16.69	19.41	25.96	6.55	19.4	19.4	19.84	0.44	1.3	18.84	19.92	1.08
20632	T1H2	50.63	91.04	50.99	40.05	10.58	19.41	25.96	6.55	16.35	19.4	20.35	0.95	2.37	18.84	19.93	1.09
20633	T1H3	52.03	92.94	50.85	42.09	9.94	18.69	19.61	0.92	2.19	19.47	23.11	3.64	8.65	18.82	21.14	2.32
20634	T1H4	50.53	94.51	50.78	43.73	6.8	19.52	22.17	2.65	6.06	19.39	22.28	2.89	6.61	18.89	20.41	1.52
20635	T25H1	27.1	73.67	50.96	22.71	4.39	18.91	25.33	6.42	28.27	19.09	21.87	2.78	12.2	18.99	20.19	1.2
20636	T25H2	50.34	100.39	51.15	49.24	1.1	18.69	47.62	28.93	58.75	19.47	27.16	7.69	15.6	18.82	21.1	2.28
20637	T25H3	51.37	100.59	50.96	49.63	1.74	19.18	27.06	7.88	15.88	19.09	30.94	11.85	23.9	18.96	24.56	5.6
20638	T26H2	51.73	98.6	51.03	47.57	4.16	18.97	22.33	3.36	7.06	18.55	20.38	1.83	3.85	19.35	20.42	1.07
20639	T26H3	50.07	97.78	51.09	46.69	3.38	0	0	0	0	19.35	21.23	1.88	4.03	19.38	21.12	1.74

63-32		32-16 µm		16-8 µm		8-4 µm		4-2 µm		2-1 µm		1-0 µm	
oriel	%	oriel	%	oriel	%	oriel	%	oriel	%	oriel	%	oriel	%
0.00	0.00	17.02	14.18	21.63	18.02	31.62	26.34	19.06	15.87	6.79	5.66	3.87	3.22
21.89	19.03	33.35	28.99	16.81	14.61	15.19	13.20	7.70	6.69	3.31	2.88	1.75	1.52
7.66	7.24	41.10	38.82	15.71	14.84	17.62	16.64	10.39	9.81	4.99	4.71	2.54	2.40
2.22	0.20	17.53	1.58	23.49	2.12	26.10	2.35	17.23	1.55	7.96	0.72	5.47	0.49
10.38	8.38	37.41	30.22	20.37	16.45	18.78	15.17	9.02	7.29	2.59	2.09	1.45	1.17
16.40	11.69	25.13	17.91	12.64	9.01	24.28	17.30	14.15	10.08	4.74	3.38	2.66	1.90
4.77	4.28	19.44	17.44	22.86	20.51	28.99	26.01	14.44	12.95	5.84	5.24	3.67	3.29
5.70	5.10	22.27	19.92	17.56	15.70	28.86	25.81	16.45	14.71	5.90	5.28	3.26	2.92
4.38	4.02	29.22	26.85	22.24	20.43	22.27	20.46	13.65	12.54	4.67	4.29	2.57	2.36
30.98	11.83	29.97	11.45	14.09	5.38	15.51	5.92	7.18	2.74	1.61	0.62	0.66	0.25
3.67	1.70	17.57	8.16	15.55	7.22	31.09	14.44	21.16	9.83	7.63	3.54	3.32	1.54
4.93	4.38	20.09	17.85	21.43	19.04	32.64	29.00	15.44	13.72	3.98	3.54	1.49	1.32
16.10	5.81	24.94	9.00	14.43	5.21	25.00	9.02	14.56	5.26	3.63	1.31	1.34	0.48
16.98	12.44	26.51	19.43	19.02	13.94	22.56	16.53	11.05	8.10	2.75	2.02	1.16	0.85
0.00	0.00	6.43	2.87	16.98	7.57	37.79	16.86	25.54	11.39	9.25	4.13	4.01	1.79
6.70	3.44	25.32	12.99	20.05	10.29	28.76	14.76	14.04	7.21	3.72	1.91	1.41	0.72
2.14	1.44	29.71	20.02	17.62	11.87	25.03	16.87	16.81	11.33	5.85	3.94	2.85	1.92
9.80	7.03	36.10	25.88	20.25	14.52	20.69	14.83	9.56	6.85	2.50	1.79	1.10	0.79
5.80	4.50	34.72	26.97	20.85	16.19	18.62	14.46	11.67	9.06	5.03	3.91	3.32	2.58
16.23	10.09	27.04	16.81	19.65	12.22	21.26	13.22	10.57	6.57	3.39	2.11	1.86	1.16
18.22	8.87	29.06	14.14	18.38	8.94	20.67	10.06	9.65	4.70	2.72	1.32	1.31	0.64
1.47	0.29	8.20	1.61	13.61	2.68	36.99	7.28	26.40	5.20	9.03	1.78	4.29	0.84
5.84	2.04	22.50	7.85	18.24	6.36	30.25	10.55	16.68	5.82	4.50	1.57	2.00	0.70
11.77	9.70	28.04	23.12	14.78	12.19	23.48	19.36	13.40	11.05	5.28	4.35	3.24	2.67
4.86	3.58	14.00	10.31	18.38	13.53	27.81	20.47	15.73	11.58	10.59	7.80	8.63	6.35

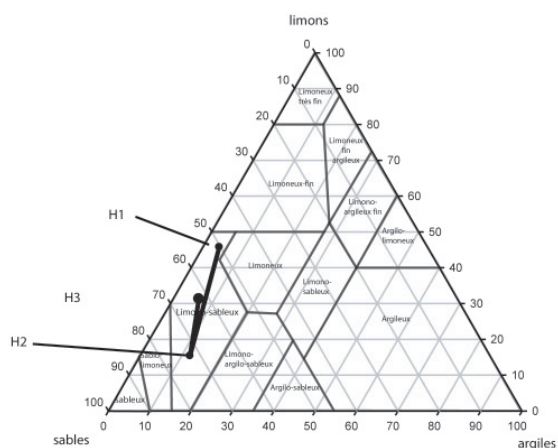
VALEURS BR

Argile	silt	g
%	%	
10.66	74.40	
5.06	82.53	
7.53	87.36	
13.43	7.80	
4.04	77.51	
7.40	65.99	
9.51	81.19	
9.16	81.24	
7.24	84.31	
2.27	37.33	
10.95	41.35	
5.47	83.99	
4.97	34.30	
3.91	70.44	
13.26	38.69	
5.13	48.69	
8.70	61.53	
3.60	69.10	
8.35	71.19	
5.25	58.91	
4.03	46.70	
13.32	17.06	
6.50	32.61	
8.52	75.41	
19.22	59.46	

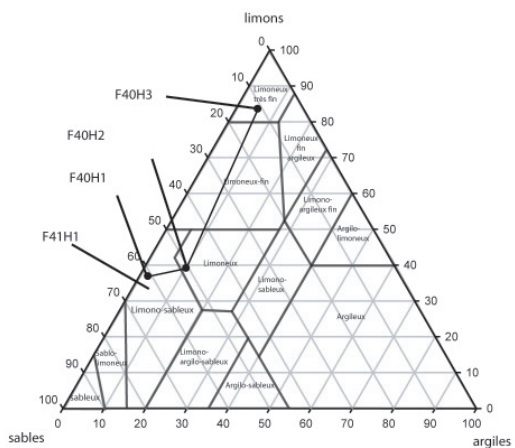
Total > 63 µm		Total < 63 µm	
	%		%
6.89	16.71113	34.34	83.29
5.42	13.07284	36.04	86.93
2.24	5.537701	38.21	94.46
38.66	90.98611	3.83	9.01
7.4	19.22577	31.09	80.77
11.4	28.73708	28.27	71.26
3.84	10.28939	33.48	89.71
4.32	10.56751	36.56	89.43
3.29	8.117444	37.24	91.88
25.14	61.79941	15.54	38.20
26.43	53.55623	22.92	46.44
5.17	11.14464	41.22	88.86
26.5	63.90162	14.97	36.10
9.71	26.71252	26.64	73.29
12.64	55.39001	10.18	44.61
21.72	48.67772	22.9	51.32
11.01	32.61256	22.75	67.39
11.34	28.31461	28.71	71.69
9.4	22.3331	32.69	77.67
16.54	37.823	27.19	62.18
11.66	51.34302	11.05	48.66
39.55	80.32088	9.69	19.68
32.32	65.1219	17.31	34.88
8.35	17.55308	39.22	82.45
12.32	26.38681	34.37	73.61



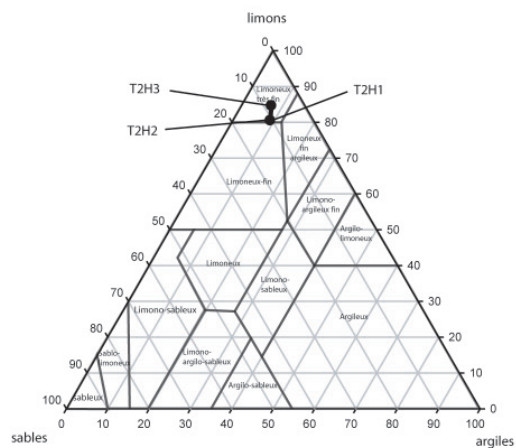
Echantillons T22



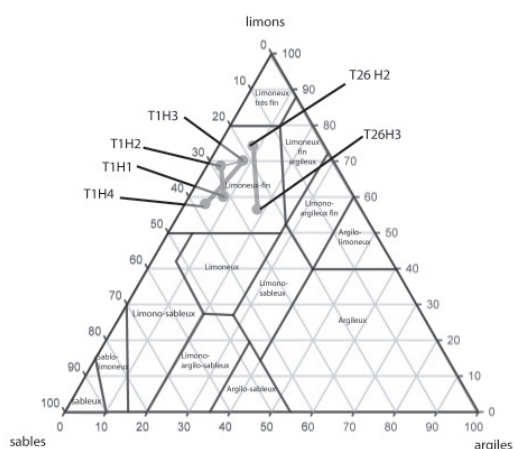
Echantillon F 25



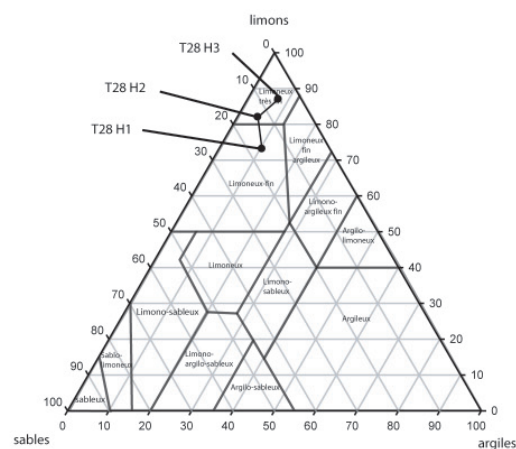
Echantillons F 40 et F41



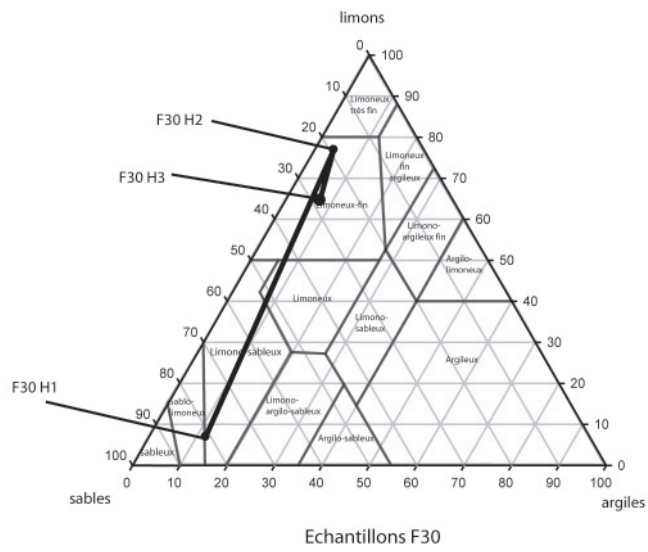
Echantillons T2

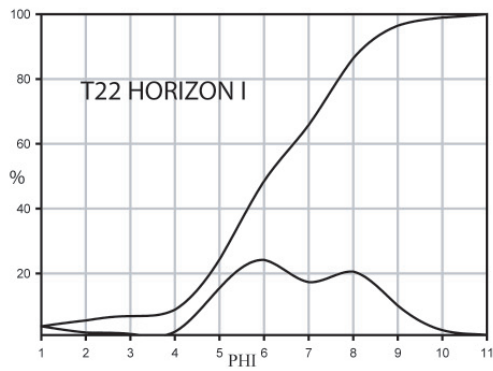


Echantillons T1 et T26

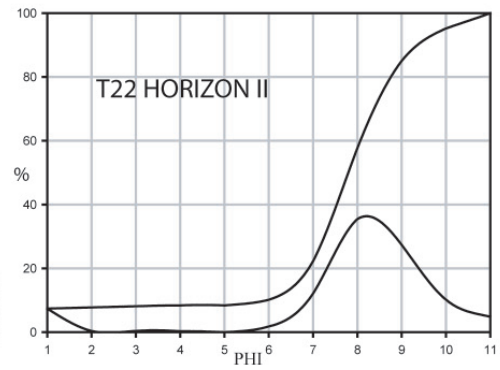


Echantillons T28

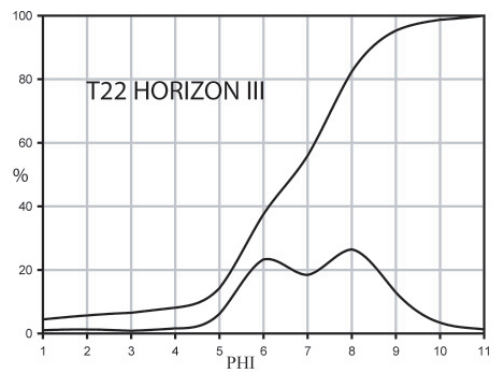




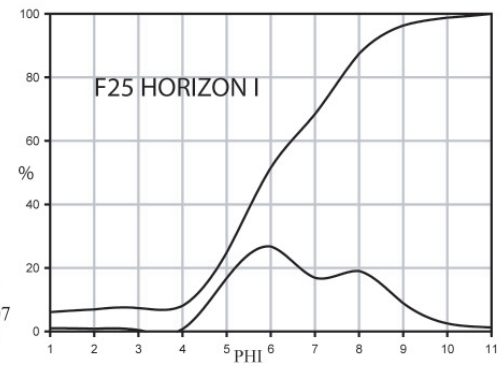
INDICES:
 $\text{OI} = 2.02$
 $S_{ki} = -0.02$
 $K_G = 1.37$



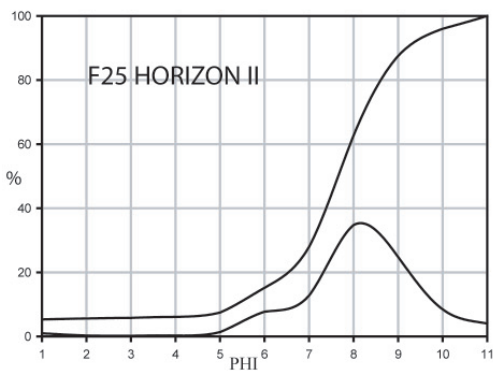
INDICES:
 $\text{OI} = 1.73$
 $S_{ki} = 0.14$
 $K_G = 2.39$



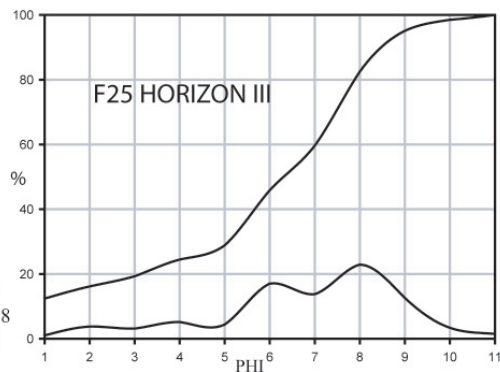
INDICES:
 $\text{OI} = 1.85$
 $S_{ki} = -0.23$
 $K_G = 1.40$



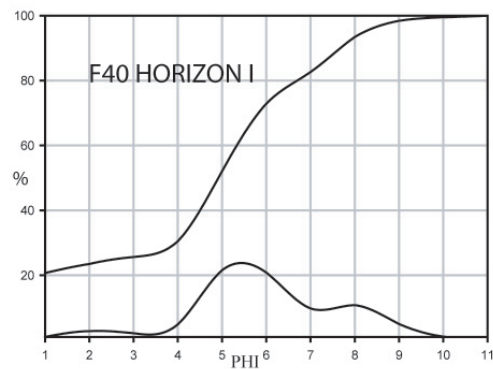
INDICES:
 $\text{OI} = 2.01$
 $S_{ki} = -0.07$
 $K_G = 1.41$



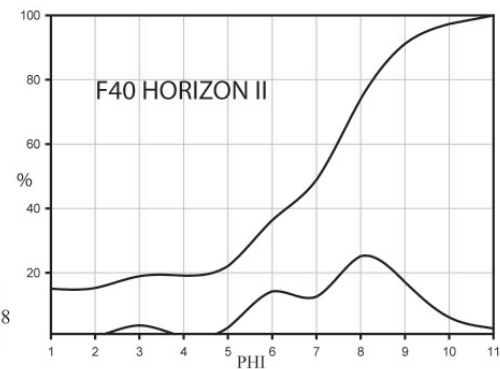
INDICES:
 $\text{OI} = 2.00$
 $S_{ki} = -0.28$
 $K_G = 2.29$



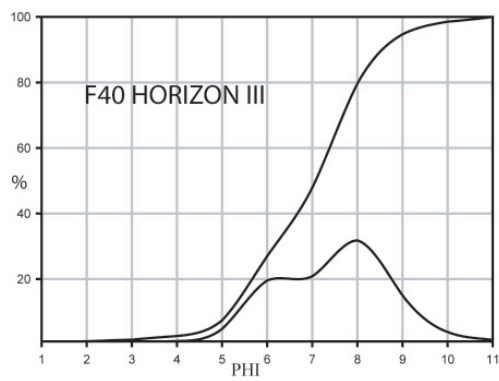
INDICES:
 $\text{OI} = 2.84$
 $S_{ki} = -0.38$
 $K_G = 1.01$



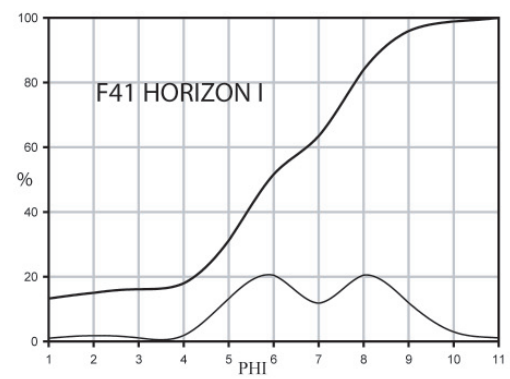
INDICES:
 $\text{OI} = 2.80$
 $S_{ki} = -0.23$
 $K_G = 0.91$



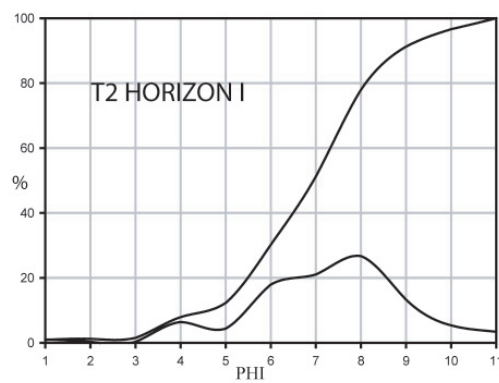
INDICES:
 $\text{OI} = 2.99$
 $S_{ki} = -0.48$
 $K_G = 1.35$



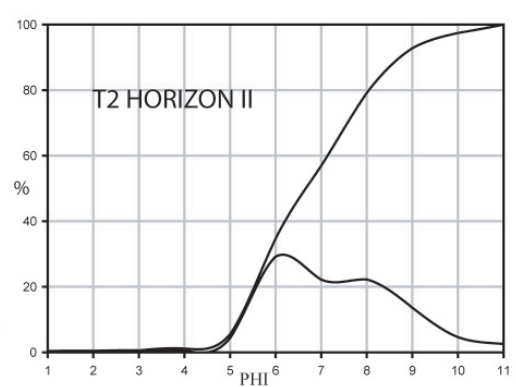
INDICES:
 $\emptyset I = 1.32$
 $S_{KI} = -0.12$
 $K_G = 0.94$



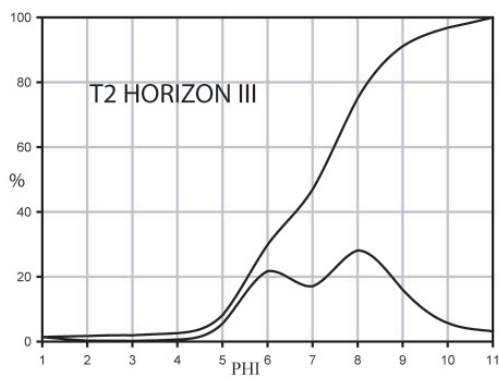
INDICES:
 $\emptyset I = 2.70$
 $S_{KI} = -0.27$
 $K_G = 1.17$



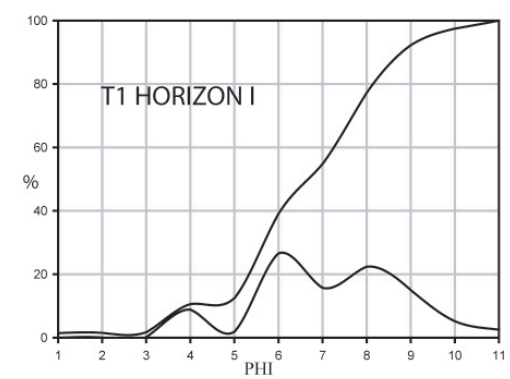
INDICES:
 $\emptyset I = 2.01$
 $S_{KI} = -0.22$
 $K_G = 0.96$



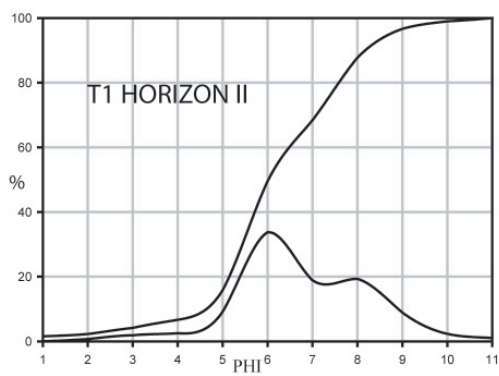
INDICES:
 $\emptyset I = 1.48$
 $S_{KI} = -0.06$
 $K_G = 0.92$



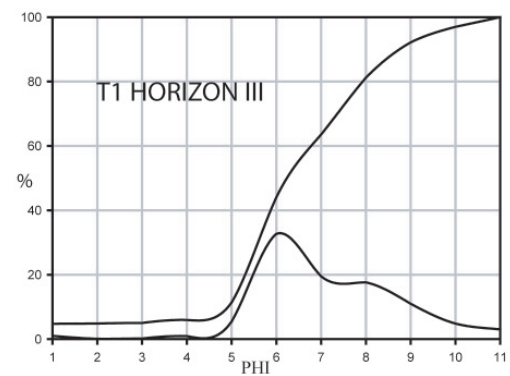
INDICES:
 $\emptyset I = 1.39$
 $S_{KI} = 0.10$
 $K_G = 0.87$



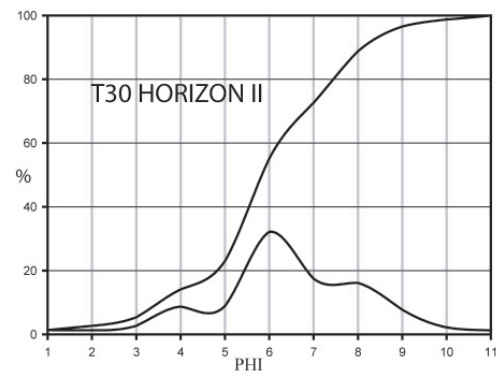
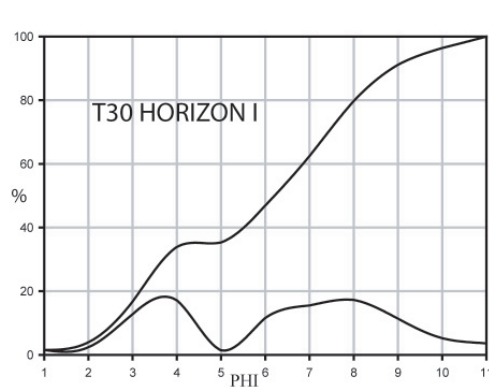
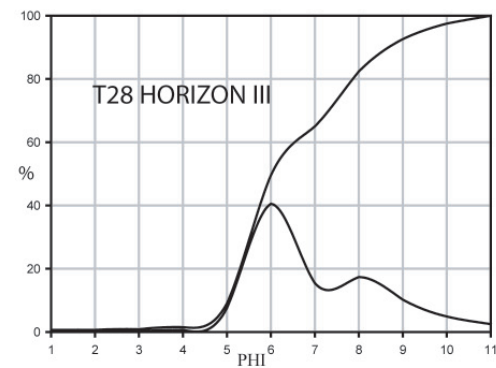
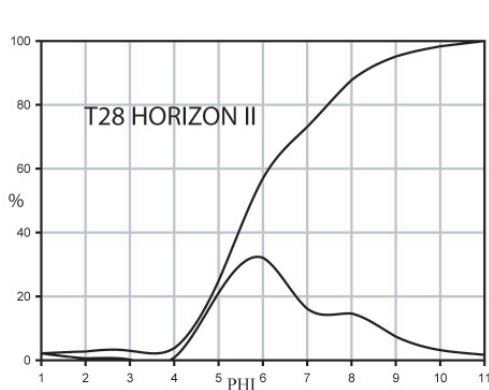
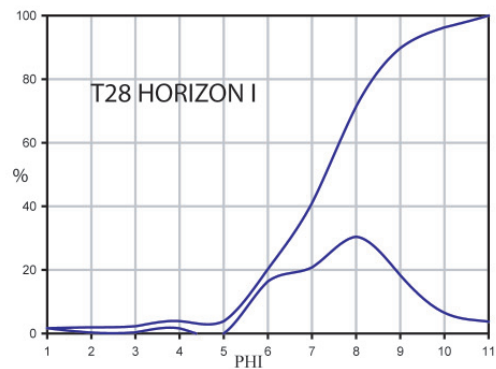
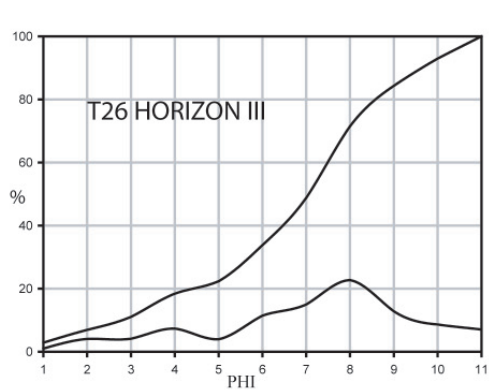
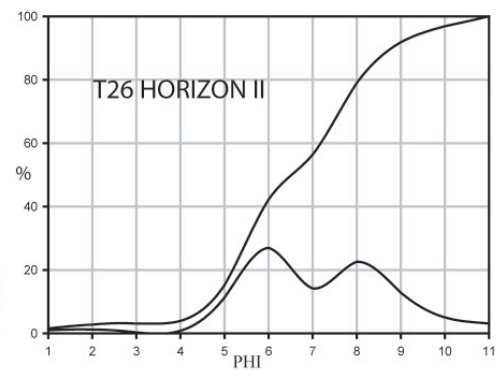
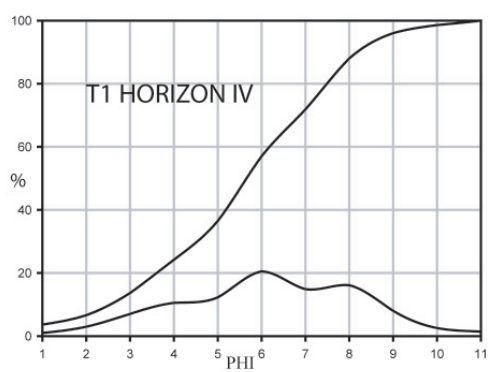
INDICES:
 $\emptyset I = 1.69$
 $S_{KI} = 0.02$
 $K_G = 1.037$

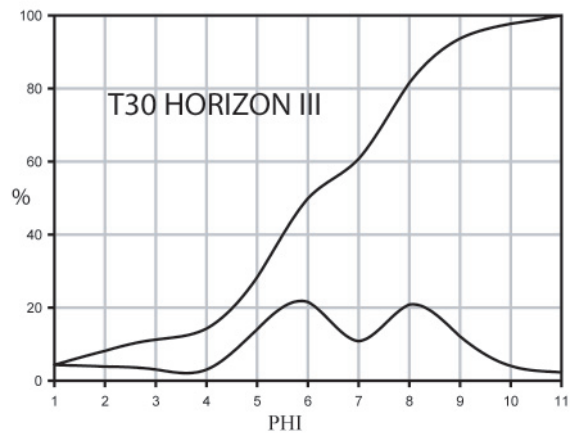


INDICES:
 $\emptyset I = 1.53$
 $S_{KI} = 0.14$
 $K_G = 1.12$



INDICES:
 $\emptyset I = 1.8$
 $S_{KI} = 0.123$
 $K_G = 1.32$





INDICES:
 $\emptyset I = 2.45$
 $S_{kl} = 0.032$
 $K_G = 1.178$

Sur la base d'une analyse granulométrique on peut calculer différents indices pour définir des disparités de dispersion spécifiques. Dans cette étude, trois indices ont été calculés de manière graphique: l'écart graphique standard, l'asymétrie graphique globale, et la mesure de la dispersion autour d'un pic gaussien ou kurtose graphique.

Les valeurs nécessaires à l'obtention des différents indices se calculent de manière graphique, une méthode permettant un gain de temps considérable consiste à tracer les courbes de fréquence, de distribution relative et des droites pour les valeurs $y= 5, 16, 50, 84$ et 95 sous Sigma-Plot™. Ensuite il faut imprimer les graphes sur du papier millimétré et projeter les valeurs d'intersection sur l'axe des x pour obtenir les valeurs ϕ nécessaires au calcul des indices.

Une page Excel est à la disposition de tous ceux qui auraient besoin d'effectuer ces calculs. Il suffit d'entrer les valeurs graphiques obtenues pour avoir la valeur des indices. Cette page se trouve sur le CD-ROM de mon travail.

Les trois indices doivent se calculer sur des données en échelle de ϕ , échelle définie par Krumbin en 1934 et qui se calcule de la manière suivante:

$$n(\phi) = -\log n(\text{mm}) / \log 2$$

L'écart graphique «global standard» σ_{ϕ} (Folk & Ward 1957) se calcule ainsi:

$$\sigma_{\phi} = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 4 + (\phi_{95} - \phi_5) / 6.6.$$

Les valeurs de l'indice s'interprètent ainsi:

- < 0.35 = très bien trié
- $0.35-0.50$ = bien trié
- $0.50-0.71$ = moyennement bien trié
- $0.71-1.00$ = moyennement trié
- $1.00-2.00$ = faiblement trié
- $2.00-4.00$ = très faiblement trié
- > 4.00 = extrêmement mal trié

L'asymétrie graphique globale S_{ϕ} se calcule ainsi:

$$S_{\phi} = (\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / (\phi_{84} - \phi_{16}).$$

Une courbe avec une symétrie parfaite à une valeur 0.00 pour l'indice S_{ϕ} . Si la valeur est >0 cela signifie que l'on a beaucoup de fractions fines au contraire si la valeur de l'indice est <0 on a beaucoup d'éléments grossiers. D'une manière plus précise, on peut dire que si l'indice est compris entre:

- $1.00-0.30$ = très asymétrique vers le fin
- $0.30-0.10$ = asymétrique vers le fin
- $0.10--0.10$ = sub-symétrique
- $-0.10--0.30$ = asymétrique vers le grossier
- $-0.30--1.00$ = très asymétrique vers le grossier

Le troisième indice K_G représente la mesure de dispersion autour d'un pic gaussien c'est à dire l'écartement ou le resserrement du pic central de la distribution. L'indice se calcule ainsi:

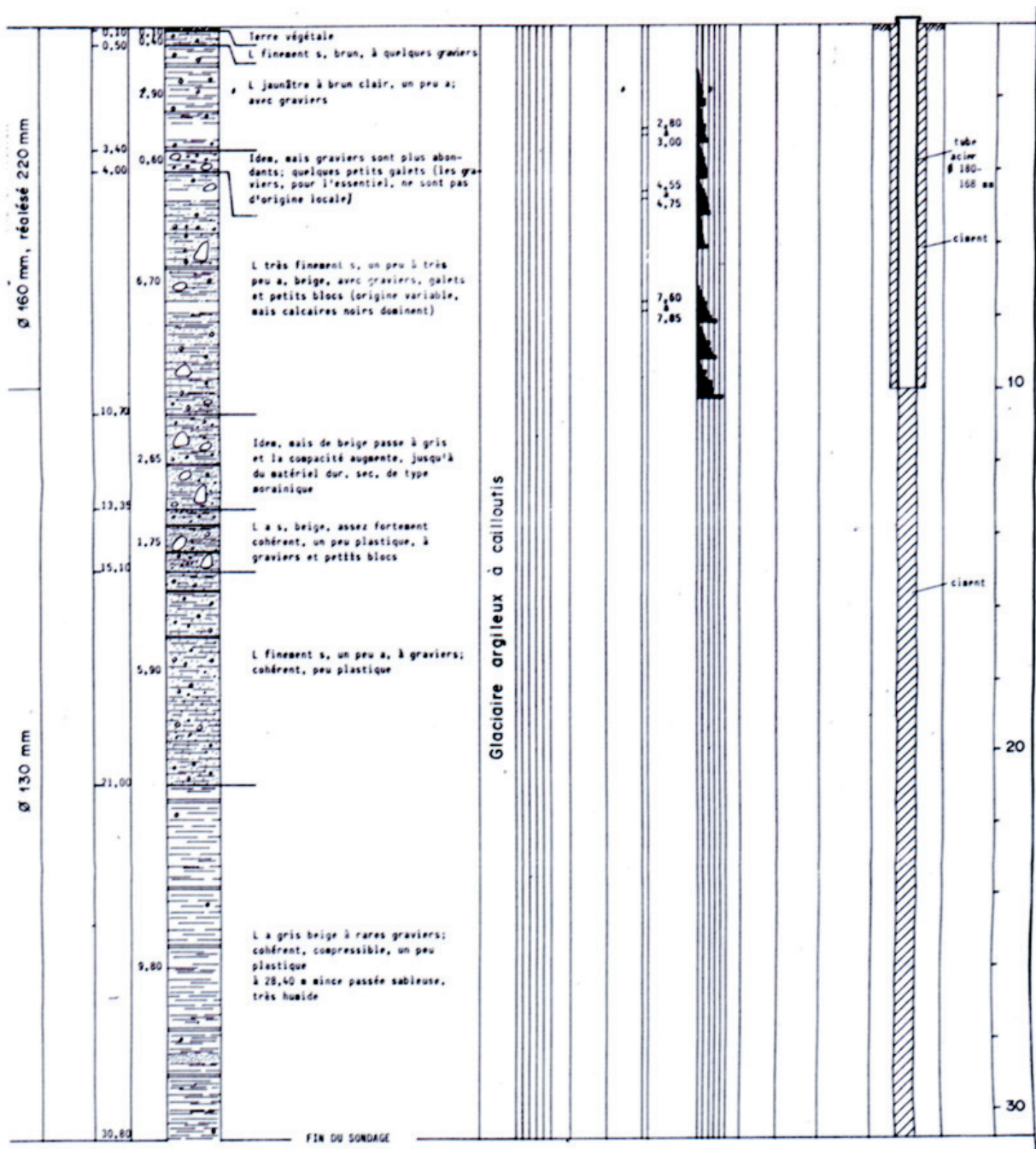
$$K_G = (\phi_{95} - \phi_5) / 2.44(\phi_{75} - \phi_{25})$$

Une courbe normale à une valeur $K_G = 1.00$. Toutes les valeurs de l'indice sont comprises entre 0.60 et 5.00. Les valeurs de fourchette suivantes définissent la forme de la courbe de distribution relative:

- < 0.67 = très platykurtique
- $0.67-1.90$ = platykurtique
- $0.90-1.11$ = mésokurtique
- $1.11-1.50$ = leptokurtique
- $1.50-3.00$ = très leptokurtique
- > 3.00 = extrêmement leptokurtique

TEXTURE		STRUCTURE		POROSITE		CONSISTANCE		REVETEMENTS		RACINE	
1: % argile	% sable	1: 2 3 4 5 6	particulaire	1: 2 3 4 5 6	V vides très faible entre agrégats	1: 2 3 4 5 6	non plastique	1: 2 3 4 5 6	pas de revêtement	1: 2 3 4 5 6	débris coquilles
2: _____	_____	2: 2 3 4 5 6	massive	2: 2 3 4 5 6	V vide faible entre agrégats	2: 2 3 4 5 6	peu plastique	2: 2 3 4 5 6	argileux	2: 2 3 4 5 6	cavités
3: _____	_____	3: 2 3 4 5 6	fragmentaire	3: 2 3 4 5 6	V vides assez important entre agrégats	3: 2 3 4 5 6	plastique	3: 2 3 4 5 6	organo-argileux	3: 2 3 4 5 6	terriers
4: _____	_____	4: 2 3 4 5 6	peu nette	4: 2 3 4 5 6	V vides important entre agrégats	4: 2 3 4 5 6	très plastique	4: 2 3 4 5 6	argilo-ferrugineux	4: 2 3 4 5 6	nids
5: _____	_____	5: 2 3 4 5 6	nette	5: 2 3 4 5 6	V vides très important entre agrégats	5: 2 3 4 5 6	très plastique	5: 2 3 4 5 6	silicieux	5: 2 3 4 5 6	galleries
6: _____	_____	6: 2 3 4 5 6	très nette	6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	non collant	6: 2 3 4 5 6	limoneux	6: 2 3 4 5 6	territicules
1: _____	_____	1: 2 3 4 5 6	localisée	1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	peu collant	1: 2 3 4 5 6	sableux	1: 2 3 4 5 6	horizon labouré
2: _____	_____	2: 2 3 4 5 6	généralisée	2: 2 3 4 5 6	1: cm de larg _____ distantes cm	2: 2 3 4 5 6	collant	2: 2 3 4 5 6	complexes	2: 2 3 4 5 6	semelle de labour
3: _____	_____	3: 2 3 4 5 6	fibreuse	3: 2 3 4 5 6	2: cm de larg _____ distantes cm	3: 2 3 4 5 6	peu collant	3: 2 3 4 5 6	minces	3: 2 3 4 5 6	trace de travail du sol
4: _____	_____	4: 2 3 4 5 6	feuilletée	4: 2 3 4 5 6	3: cm de larg _____ distantes cm	4: 2 3 4 5 6	collant	4: 2 3 4 5 6	très épais	4: 2 3 4 5 6	horizon défoncé
5: _____	_____	5: 2 3 4 5 6	à éclats anguleux	5: 2 3 4 5 6	4: cm de larg _____ distantes cm	5: 2 3 4 5 6	très collant	5: 2 3 4 5 6	sur agrégats	5: 2 3 4 5 6	trace d'irrigation
6: _____	_____	6: 2 3 4 5 6	à éclats émoussés	6: 2 3 4 5 6	5: cm de larg _____ distantes cm	6: 2 3 4 5 6	très collant	6: 2 3 4 5 6	sur agrégats	6: 2 3 4 5 6	activité nulle
1: 2 3 4 5 6	à sable fin	1: 2 3 4 5 6	en plaquettes obliques	1: 2 3 4 5 6	6: cm de larg _____ distantes cm	1: 2 3 4 5 6	non friable	1: 2 3 4 5 6	très épais	1: 2 3 4 5 6	activité moyenne
2: 2 3 4 5 6	à sable grossier	2: 2 3 4 5 6	grumeleuse	2: 2 3 4 5 6	1: 2 3 4 5 6 agrégats sans pores visibles	2: 2 3 4 5 6	non friable	2: 2 3 4 5 6	sur agrégats	2: 2 3 4 5 6	activité forte
3: 2 3 4 5 6	ferrugineux	3: 2 3 4 5 6	très fine	3: 2 3 4 5 6	2: 2 3 4 5 6 agrégats à pores peu nbx	3: 2 3 4 5 6	non fragile	3: 2 3 4 5 6	sur la face horz des agrégats	3: 2 3 4 5 6	activité très forte
4: 2 3 4 5 6	quartzeux	4: 2 3 4 5 6	fine	4: 2 3 4 5 6	3: 2 3 4 5 6 agrégats à pores nbx	4: 2 3 4 5 6	peu fragile	4: 2 3 4 5 6	sur la face verticale des agrégats	4: 2 3 4 5 6	
5: 2 3 4 5 6	silicieux	5: 2 3 4 5 6	grossière	5: 2 3 4 5 6	4: 2 3 4 5 6 agrégats à pores très nbx	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	sur les grains du squelette	5: 2 3 4 5 6	
6: 2 3 4 5 6	micacé	6: 2 3 4 5 6	très grossière	6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	associés à des vides	6: 2 3 4 5 6	
1: 2 3 4 5 6	calcaire	1: 2 3 4 5 6	très grossière et très grossière	1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	recouvrant % 1: 2: 3: 4: 5: 6:	1: 2 3 4 5 6	
2: 2 3 4 5 6	dolomitique	2: 2 3 4 5 6	et	2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 1:	2: 2 3 4 5 6	
3: 2 3 4 5 6	gypseux	3: 2 3 4 5 6	1: 2 3 4 5 6 très fine	3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 2:	3: 2 3 4 5 6	
			2: 2 3 4 5 6 fine	4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
			3: 2 3 4 5 6 moyenne et fine	5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
			4: 2 3 4 5 6 moyenne et fine	6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
			5: 2 3 4 5 6 moyenne et grossière	1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
			6: 2 3 4 5 6 grossière et très grossière	2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 3:	2: 2 3 4 5 6	
			1: 2 3 4 5 6 très fine	3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 4:	3: 2 3 4 5 6	
			2: 2 3 4 5 6 fine	4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 5:	4: 2 3 4 5 6	
			3: 2 3 4 5 6 moyenne	5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 6:	5: 2 3 4 5 6	
			4: 2 3 4 5 6 grossière	6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 3:	6: 2 3 4 5 6	
			5: 2 3 4 5 6 très grossière	1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 4:	1: 2 3 4 5 6	
			6: 2 3 4 5 6 associée	2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 5:	2: 2 3 4 5 6	
			1: 2 3 4 5 6 juxtaposée	3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 6:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 3:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 4:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 5:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 6:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 3:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 4:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 5:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 6:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 3:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 4:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 5:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 6:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 3:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 4:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 5:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 6:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 3:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 4:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 5:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 6:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 3:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 4:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 5:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 6:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 3:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 4:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 5:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 6:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 3:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 4:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5 6	couleur 5:	2: 2 3 4 5 6	
				3: 2 3 4 5 6	_____	3: 2 3 4 5 6	très fragile	3: 2 3 4 5 6	couleur 6:	3: 2 3 4 5 6	
				4: 2 3 4 5 6	_____	4: 2 3 4 5 6	très fragile	4: 2 3 4 5 6	couleur 3:	4: 2 3 4 5 6	
				5: 2 3 4 5 6	_____	5: 2 3 4 5 6	très fragile	5: 2 3 4 5 6	couleur 4:	5: 2 3 4 5 6	
				6: 2 3 4 5 6	_____	6: 2 3 4 5 6	très fragile	6: 2 3 4 5 6	couleur 5:	6: 2 3 4 5 6	
				1: 2 3 4 5 6	_____	1: 2 3 4 5 6	très fragile	1: 2 3 4 5 6	couleur 6:	1: 2 3 4 5 6	
				2: 2 3 4 5 6	_____	2: 2 3 4 5 6	très fragile	2: 2 3 4 5			

SEVARU	Plan n° 542/B 607			
Nouvelle STEP du Haut Val-de-Ruz		Date	Dessin.	Contr.
		- 05.01.98	CB	JB
COUPE DU SONDAGE S 1		a		
		b		
		c		
		d		
		e		
HYDRAP		Echelle 1 : 100		
J. BERTRAND Dr hydrogéologue		ANNEXE : 2		
RAPPORT DU : 16.01.1998				
Coordonnées : Inclinaison : 0,00 Date d'exécution : 13-19.11.1997				
Altitude terrain : Direction :				
Direction des travaux :		Entreprise : AB Forages		
Méthode de forage et diamètre de perforation (mm.)		Type de sondeuse :		
Altitude (m.s.m.)	Profondeur (m.)	Epaisseur des couches (m.)	Profil	Description des terrains
Identification géologique	Récupération carottes (%)	Coefficient RQD (%)	Classification USCS	Prélèvements d'échantillons
Essais in situ	Essais d'eau et tubes par battage (N/10 cm.)	Cisaillement (kgN/m2)	Essais d'eau et valeur de k (m./s.)	Venues/ pertes d'eau
Niveau piézom.	Essai de sondage			
		<p>Abréviations</p> <p>Description des terrains</p> <p>G : gravier g : graveleux S : sable s : sableux L : limon l : limoneux A : argile a : argileux T : tourbe t : tourbeux</p> <p>Prélèvements d'échantillons</p> <p>NR : non remanié (type APM) PR : peu remanié R : remanié P : paraffiné</p>		



SEVARU	Plan n° 543/B 607			Abréviations	
	Date	Dessin.	Contr.		
Nouvelle STEP du Haut Val-de-Ruz	-	05.01.98	CB	JB	Description des terrains G : gravier g : graveleux S : sable s : sableux L : limon l : limoneux A : argile a : argileux T : tourbe t : tourbeux
	a				
	b				
	c				
	d				
	e				Prélèvements d'échantillons NR : non remanié (type APH) PR : peu remanié R : remanié P : paraffiné
Echelle 1 : 100					
COUPE DU SONDAGE S 2	ANNEXE : 3				
	RAPPORT DU : 16.01.1998				
HYDRAP J. BERTRAND Dr hydrogéologue					

Coordonnées :

Inclinaison : 0,00

Date d'exécution : 19-20.11.1997

Altitude terrain :

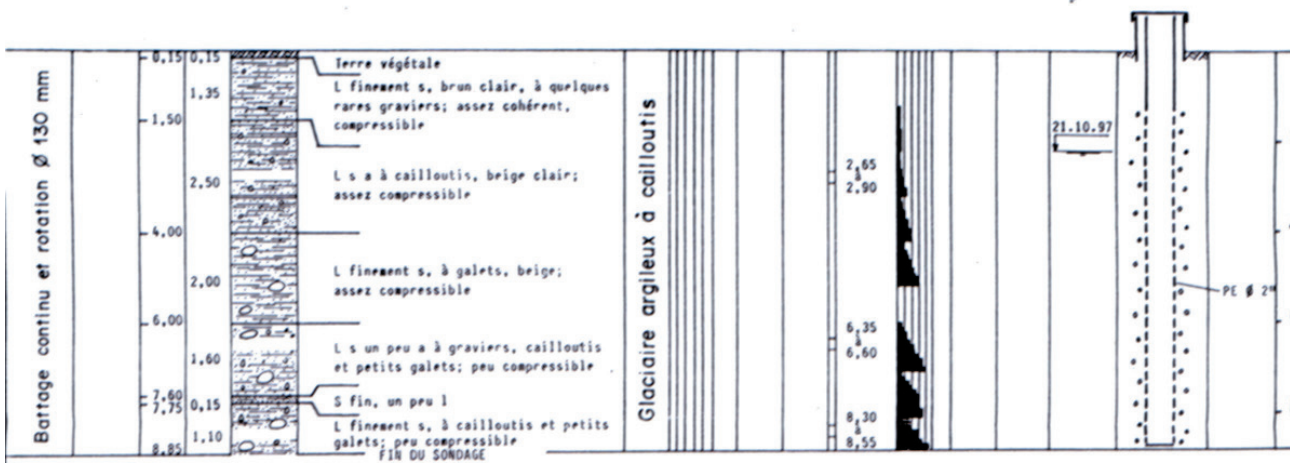
Direction :

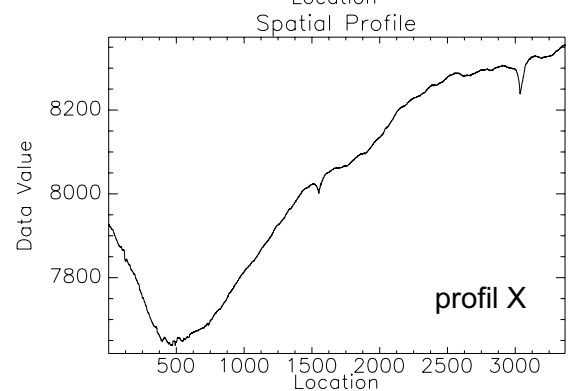
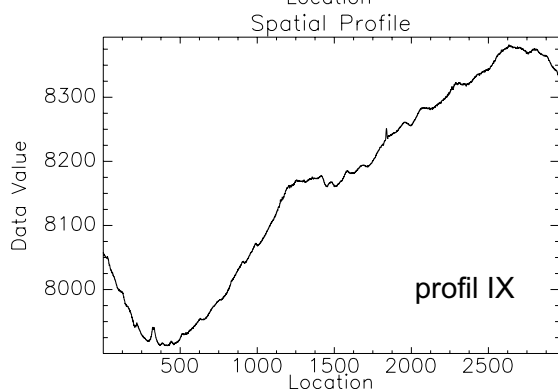
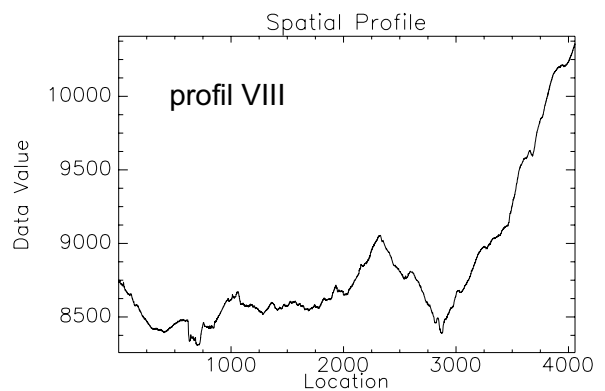
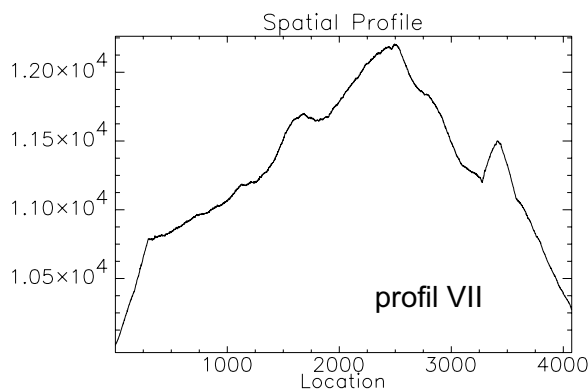
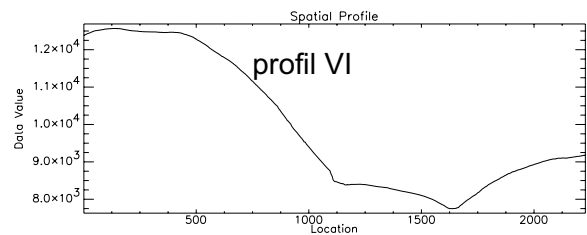
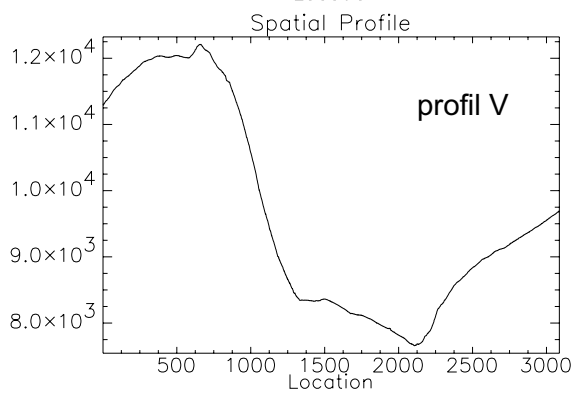
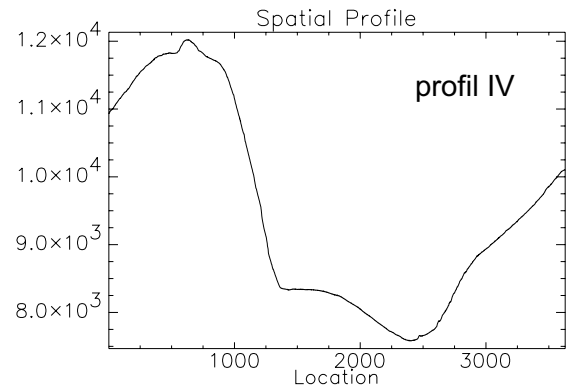
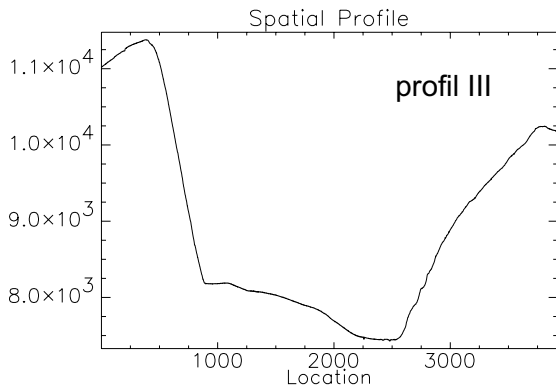
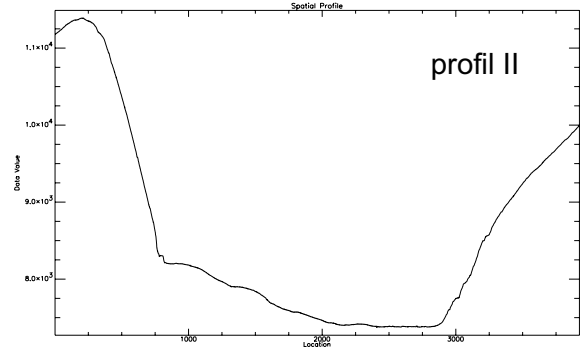
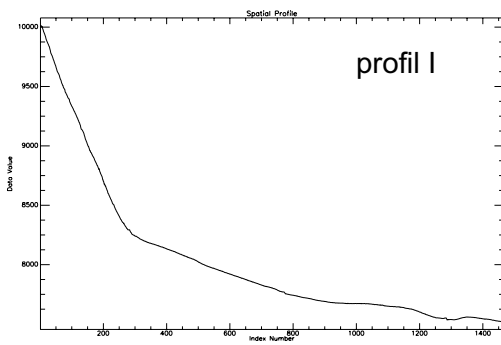
Direction des travaux :

Entreprise : AB Forages

Type de sondeuse :

Méthode de forage et diamètre de perforation (mm.)	Altitude (m.s.m.)	Profondeur (m.)	Épaisseur des couches (m.)	Profil	Description des terrains	Identification géologique	Récupération carottes (%)	Coefficient RQD (%)	Classification USCS	Prélèvements d'échantillons	Essais in situ	Venues/pertes d'eau	Niveau piézom.	Equipment du sondage
							0 50 100%							





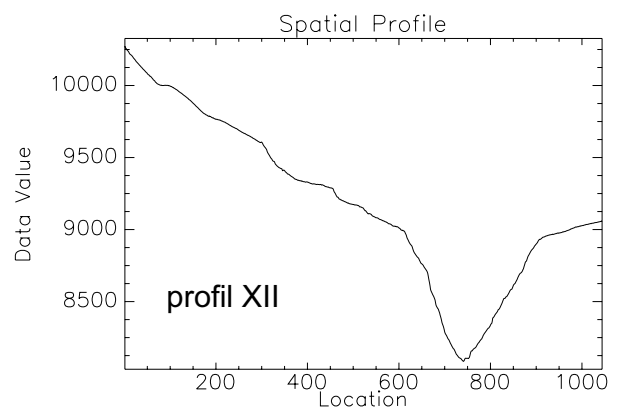
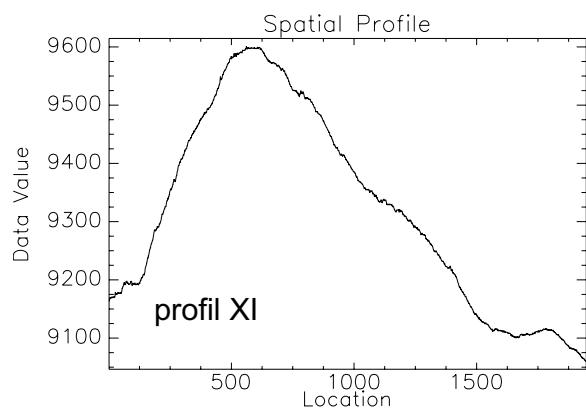
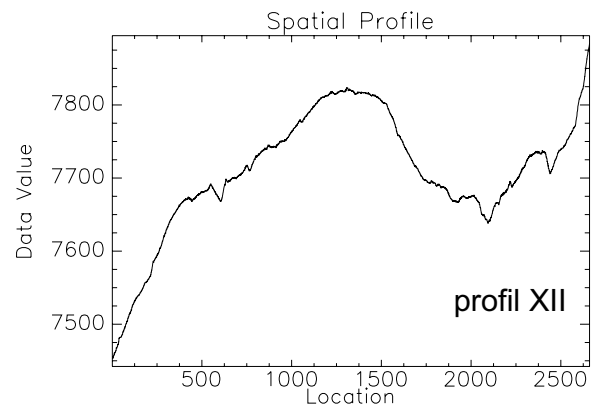
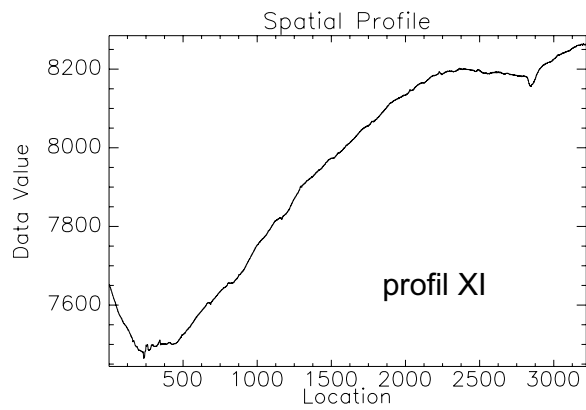


TABLE DES MATIERES

page de titre
remerciements
résumé
liste des figures

Introduction

CADRE ET METHODES

A. le cadre régional	8.
1. Situation géographique	9.
2. Géologie	10.
a. Généralités sur le Jura	10.
b. Le Val de Ruz	12.
c. Histoire tectonosédimentaire résumée	14.
d. Carte géologique au 1:10000	16.
e. Hydrologie	17.
3. Le cadre climatique	18.
a. Climat actuel	18.
b. Paléoclimats quaternaires	18.
4. Pédologie	19.
5. Le relief	20.
6. La végétation	21.
a. Historique sommaire	21.
b. Végétation et activité humaine	22.
c. Carte (minute) de l'utilisation des sols	22.
B. Méthodes	24.
1. Etude des formations superficielles	25.
a. Définition	25.
b. Cartographie	25.
c. Pertinence de la démarche	31.
d. Echantillonnage	32.
e. Carte de localisation des trous et des fosses	34.
f. Méthodes d'analyse	34.
2. Traitement des données et imagerie	44.
a. But	44.
b. Notion de SIG	44.
c. Modèle numérique de terrain	45.
d. Photographies aérienne	45.

FORMATIONS SUPERFICIELLES

A. Cartographie des formations superficielles	48.
1. Les crêtes	50.
a. Description	50.
b. Représentation de la granulométrie	51.
c. Interprétation dynamique	53.
2. Les versants	54.
2.1 Analyse du versant Nord	55.
<i>Sondage F25</i>	
a. Description	55.
b. Représentation de la granulométrie	56.
c. Interprétation dynamique	57.

<i>Sondage F40 et F41</i>	
a. Description	57
b. Représentation de la granulométrie	59.
c. Interprétation dynamique	60.
2.2 Analyse du versant Sud	61.
a. Description	62.
b. Représentation de la granulométrie	63.
c. Interprétation dynamique	63.
3. Le fond morainique	64.
<i>Sondage T1</i>	
a. Description	64.
b. Représentation de la granulométrie	66.
c. Interprétation dynamique	67.
<i>Sondage T26</i>	
a. Description	67.
b. Représentation de la granulométrie	68.
c. Interprétation dynamique	
d. Interprétation cartographique	69.
4. Les talwegs sur le fond morainique	70.
a. Description	70.
b. Représentation de la granulométrie	71.
c. Interprétation dynamique	72.
5. La plaine alluviale	73.
a. Description	73.
b. Représentation de la granulométrie	74.
c. Interprétation dynamique	76.
d. Interprétation en profondeur	76.
e. Interprétation cartographique	77.
B. Mise en place des formations superficielles	78.
Introduction	79.
1. Haut du versant	80.
a. Fragmentation mécanique	80.
b. Gélifluxion	80.
c. Ruissellement	80.
2. Bas du versant structural	81.
a. Eboulis de gravité et gélifraction	81.
b. Ruissellement	81.
c. Tills glaciaires	81.
3. Le versant en pente douce	83.
a. Caractéristiques des tills de fond et de leur remaniement	83.
b. ruissellement	84.
c. alluvions fluvio-glaciaires et empreintes glacio-lacustres	85.
4. Le versant structural au-dessus de Dombresson	85.
5. La pente douce en bas du versant structural de Dombresson	85.
6. Inter-relations entre le sol et les formations superficielles	86
7. Carte des formations superficielles	86.
<u>SYNTHESE MORPHOLOGIQUE</u>	
A. Remarques préalables	88.
a. Représentation des données	89.
B. Traitements	90.
a. Ombrages	91.
b. Carte de pentes	93.
c. Carte de l'orientation des pentes	94.

d. Courbes de niveau	96.
e. Convexité	97.
f. Profils	98.
C. Structures géomorphologiques majeures	100.
Introduction	101.
1. Les dolines	101.
a. Genèse des dolines et des ouvalas	101.
b. Identification	102.
c. Représentation cartographique	102.
2. Les versants	102.
3. Les barres et les têtes de bancs	104.
a. les barres	104.
b. les têtes de bancs	104.
4. Les moraines	104.
a. les moraines de retrait à Dombresson	104.
b. la moraine latérale de Sous-le-Mont	104.
c. la moraine de front du Pâquier	106.
5. Les failles	106.
6. Les talwegs	108.
7. Les lapiés	108.
8. Les formes d'accumulation glaciaire de Clémesin	109.
9. Les head et les cônes de déjection	109.
10. Les culôts de glace morte	110.
11. La plaine alluviale	110.
12. Les paléo-terrasses et paléo-chenaux	110.
13. Carte synthétique des structures géomorphologiques majeures	111.
 CONCLUSION	 113.
 BIBLIOGRAPHIE	 117.
 ANNEXE I rapport SIG	 122.
ANNEXE II résultats granulométrie	131.
ANNEXE III représentations ternaires	132.
ANNEXE IV. graphes	134.
ANNEXE V indices statistiques	138.
ANNEXE VI feuille de terrain	139.
ANNEXE VII données rapport SEVARU	141.
ANNEXE VIII profils	145.
 TABLE DES MATIERES	 147.
 CARTE A	carte des ombrage zone d'étude A3
CARTE B	carte de pentes zone d'étude A3 (Envi)
CARTE B1	carte des pentes zone d'étude A3 (Arcview)
CARTE C	carte des orientations zone d'étude A3
CARTE D	carte orientations/pentes zone d'étude A3
CARTE E	carte des lithologies du Val de Ruz au 1: 50 000
CARTE F	carte des formations superficielles au format A3
CARTE G	carte de formations superficielles au 1: 7500 (A1)