

sensiblement la même orientation, part du Sud du terrain de football (Chemin de la Groisière) pour rejoindre les premiers bungalows du camping. Ces deux ensembles recourent les fouilles de Vouga (Fig. 4.5). Le dernier groupe (3799C, Pl. 14) relie les deux premiers au sud des anciennes fouilles selon une orientation SW-NE.

- 3799A

De L037 à L034, donc dans la partie NW de la coupe, seule la base est en place, des remblais ayant été traversés dans la partie supérieure. La base de L035 et L036 présente un dépôt de galets à matrice sableuse (PLT-13), correspondant au toit d'un cordon littoral, observé jusqu'à environ 431,10 m. Il est surmonté d'une couche de sables en L035 (PLT-14). Ces deux premières unités sont recouvertes par un deuxième cordon (PLT-17), dont l'altitude sommitale culmine à 431,50 m dans L037. Mais, du fait de la présence de remblais, il est impossible de définir la valeur exacte de son toit. Entre ces deux cordons (PLT-13 et 17), une couche de terre végétale a été observée dans L036.

- 3799B

Dans la partie aval de ce transect les personnes qui ont fait les relevés de terrain ont noté en marge d'un grand nombre de couches "T.V. ?" (Terre Végétale) ou "Remblais" et ce, même en dehors des limites des fouilles de P. Vouga. Ainsi seuls les relevés amont, de L000 à L012 sont pris en compte ici (Pl. 13). La base de la séquence présente une alternance de limons tourbeux et de limons crayeux (PLT-10) marquant respectivement des périodes de bas et de hauts niveaux lacustres. Cette séquence est recoupée de L008 à L011 par un ensemble de galets et graviers sableux, pouvant correspondre à un cordon littoral (PLT-13), et atteignant 431,50 m dans le L009. Elle est surmontée d'une couche de terre végétale dans L012. Au-dessus, en L010, L011 et L012, une formation de galets à matrice limono-sableuse, qui pourrait correspondre à un deuxième cordon littoral plus récent (PLT-17), atteint 431,58 m dans L010. Dans L002 à L009, un troisième cordon (PLT-18), d'altitude maximale 432,30 m, est présent. Il recouvre en partie les deux premiers cordons (PLT-13 et 17) et l'alternance de limons (PLT-10).

La base de la séquence des relevés aval est décrite comme une "argile grise très compacte grasse (collante) homogène contenant des restes de matière organique et des débris de coquilles". Cet même ensemble apparaissant sous forme de craie lacustre dans L031, il est fort probable que cette formation soit un limon crayeux (PLT-05/07).

- 3799C

La grande majorité des couches observées correspond à des remblais. Seuls les limons crayeux inférieurs (PLT05/07) observés précédemment et dont le toit atteint 430 m (Pl. 14), peuvent être considérés comme naturels.

1.2.3. Coupe 3798

Les données du sondage 3798, vue nord-est, ont été relevées lors des dernières fouilles du site de Marin-La Tène, et complétées par une analyse micromorphologique (Becze-Deák, 2003, 2004; Reginelli, 2007). Les découpages des couches sont repris de (Reginelli, 2007), mais la numérotation est homogénéisée avec celle du secteur.

La base est constituée de limons compacts gris contenant des bivalves (Pl. 15) et une planche en chêne dendrodatée de 3824 av. J.-C. Elle correspond aux limons lacustres observés dans la partie aval des transects 3799A, L016 à L020, et 3799C, L032 à L020. Ces dépôts (PLT-05/07) sont constitués de limons crayeux, biseautés à l'est, épais de 15-20 cm et dont l'altitude atteint 429,90 m. Par comparaison des descriptions et des positions altitudinales, PLT-05/07 correspond à la séquence inférieure des axes XII et "Camping1998" au sein de la S17 par exemple (Pl. 11).

Entre les cotes 429,90 et 430,30 m, suivent des limons organiques brun noir tourbeux (PLT-08), d'une épaisseur de 40 cm, également biseautés aussi à l'est. Un sable jaune blanc très riche en galets et graviers (PLT-12a) continue la séquence. Il contient de nombreux fragments de coquilles et des tessons de poterie, peu roulés, attribués au Hallstatt C-D1 (~ 650 av. J.-C.). Tous ces éléments sont recouverts d'une croûte calcaire pouvant atteindre 1 cm d'épaisseur. Ces précipitations sont possibles en eaux peu profondes, oligotrophes à mésotrophes, sous un taux de sédimentation relativement bas, principalement en été (Schneider *et al.*, 1983). Ainsi, cette couche peut être considérée comme un dépôt d'avant plage ou de rive de cours d'eau au niveau de l'embouchure. Dans tous les cas, sa mise en place fait suite à une phase érosive qui recoupe PLT-08.

La séquence continue par une couche de sable gris beige (PLT-12b) qui témoigne d'une sédimentation par courant faible, donc de la poursuite du comblement du chenal par la Thielle, commencé avec PLT-12a. En aval une lentille de limons crayeux indique une hausse du niveau du lac.

Ensuite une formation de galets et graviers alpins pris dans une matrice sableuse, caractérise un cordon littoral (PLT-13) et présente une alternance oblique grise et jaune. La partie NW de ce cordon littoral culmine à 431,30 m sous une couche de terre végétale. De 110

cm d'épaisseur maximale, il s'amincit vers l'est. Il contient du mobilier archéologique, tel que du métal et des céramiques de la période de La Tène, mélangé à des éléments modernes au sommet, en limite NW. Cet ensemble a déjà été observé et traversé par S15 à 20 de l'Axe "Camping1998", où il dépasse la cote de 431,60 m (Pl.11). La présence de terre végétale et de matériel moderne à son sommet laisse penser qu'il a été érodé au niveau de la coupe 3798.

Un sable gris beige avec des intercalations de limons fins crayeux (PLT-14a) légèrement organiques pour certains est ensuite présent. Il contient du mobilier daté vraisemblablement de La Tène moyenne (260 à 150 av. J.-C.). Ces dépôts sont biseautés à l'est par la couche PLT-14b, sable gris beige à intercalations de bancs limoneux crayeux, parfois organiques, avec un pendage vers l'est. Ils sont eux-mêmes érodés antérieurement au dépôt de PLT-14c, couche constituée de sables gris beige subhorizontaux dont les dépôts intercalaires de sédiments fins crayeux organiques contiennent de rares galets et graviers. Des tessons de céramiques, mobilier daté de La Tène C2 (200 à 150 av. J.-C.), et des fragments d'os peu roulés et peu fragmentés ont été découverts dans cet dernier ensemble, PLT-14c.

La formation suivante, composée de limons argileux gris foncé riches en galets et sables (PLT-19a), constitue la base d'une dépression semblable à un petit chenal. Cette couche contient de la céramique de La Tène C2 qui provient probablement de la couche PLT-13, ainsi que des éléments modernes, attestant un fonctionnement récent du chenal. Les couches de comblement comprennent de nombreux vestiges anthropiques modernes (PLT-19b à d). Elles sont composées de sables grossiers gris à graviers et galets (PLT-19b), d'un remplissage hétérogène avec des blocs, graviers, galets, tuiles, *etc.* (PLT-19c) et de galets, graviers et vestiges modernes (PLT-19d). Une couche de terre végétale s'intercale entre PLT-19c et d, alors que la partie supérieure de la coupe est composée de remblais apportés lors de l'aménagement du camping en 1978.

Remarque :

L'analyse proposée par G. Reginelli (2007) diverge quant à la chronologie de la mise en place des couches (PLT-12 à 13). Elle suggère que, suite au dépôt d'avant plage (PLT-12a), le cordon littoral (PLT-13) se met en place. Postérieurement à sa formation, une forte baisse de la cote du lac provoque l'incision de la rivière. Celle-ci fonctionne encore pendant une durée indéterminée, puis est abandonnée au profit d'un autre bras. La couche PLT-12b témoigne alors du début du processus de comblement de ce chenal. Elle est surmontée d'un niveau de galets, provenant du cordon littoral (PLT-13), emportés par la migration latérale du cours d'eau.

1.2.4. Coupe 3801-N

Cette coupe se situe sur la berge Nord de l'ancien chenal de la Thielle moyenne fouillé par P. Vouga (Fig. 4.5). Les formations rencontrées sont globalement identiques à celles de la coupe 3798. Les découpages des couches sont repris des travaux de Reginelli (2007).

Les limons compacts gris de la base de la séquence, interprétés comme un dépôt détritique lacustre (Reginelli, 2007), atteignent 429,36 m (Pl. 16). Ce dépôt est recouvert d'environ 50 cm de limons crayeux (PLT-05/07) qui sont observés jusqu'à la cote 429,80 m. Puis, le limon tourbeux (PLT-08) culmine à 430 m au NW de la coupe, alors qu'il disparaît progressivement vers le SE, où une phase érosive le biseaute, comme le toit du limon crayeux. Ces deux dernières formations sont recouvertes d'un sable jaune blanc riche en galets et coquillages fragmentés (PLT-12a), dans lequel des encroûtements similaires à ceux de la couche 3798. PLT-12a ont été découverts. Ces deux couches PLT-12a, stratigraphiquement, lithologiquement et altitudinalement identiques sont interprétés comme étant de même âge.

Le dépôt de sable qui suit (PLT-14) a une épaisseur maximale supérieure à 1 m et dépasse 431 m au SE. Son faciès le rapproche des couches 3798. PLT-14a, b et c, mais il est difficile de le corrélérer avec une de ces dernières en particulier.

Une couche de galets et graviers (PLT-17), apparentée à un cordon littoral, recouvre le tout jusqu'à la cote 431,60 m.

1.2.5. Coupe 3801-S

Cette coupe se situe sur la berge Sud de l'ancien chenal de la Thielle moyenne fouillé par Vouga, dans le prolongement de la coupe 3801-N. Seules les deux formations de la base de cette coupe n'ont pas été démantelées lors des fouilles de 1907 à 1917.

Ainsi, les limons crayeux (PLT-05/07) apparaissent à la base de cette coupe (Pl. 17) jusqu'à l'altitude 429,80 m, correspondant aux observations des sondages 3801-N et 3798. Ils sont surmontés par des limons tourbeux (PLT-08) dont le toit a été enlevé lors des fouilles de Vouga. Le tout est recouvert par des remblais dont l'épaisseur peut atteindre 1,30 m.

1.2.6. Coupe 3802

La coupe 3802 se situe sur la rive Nord de l'ancienne Thielle moyenne, non loin du pont Desor (Vouga, 1923), à 35 mètres en aval de la coupe 3801-N. La séquence sédimentaire rencontrée est semblable à celle de la coupe 3798, à l'exception du niveau de limon tourbeux (PLT-08), qui est absent dans ce sondage.

La base est constituée de limons crayeux (PLT-05/07) qui culminent à 429,70 m (Pl. 18). La séquence se continue par des sables riches en galets, gravillons et coquillages fragmentés (PLT-12a) dont les éléments sont encroûtés. Ce dépôt d'avant plage est donc présent sur toutes les coupes de la rive Nord.

La couche suivante, constituée de galets et graviers sableux (PLT-13) est interprétée comme appartenant au cordon littoral observé sur la coupe 3798. Il est ici compris entre 429,60 m, altitude de base semblable à celle observée sur la coupe 3798, et 430,24 m, mais son sommet semble être érodé. Il est recouvert par un ensemble sableux, laminé de limons crayeux (PLT-14), qui peut être rapproché des unités sédimentaires 3798.PLT-14a, b et c, donc de formations fluviales. Enfin, le sommet de la séquence sédimentaire est composé d'un ensemble de galets et graviers (PLT-17), correspondant à un cordon littoral dont l'altitude maximale est supérieure à 431,90 m. En comparant sa position et l'altitude de sa base, voisine de 430,80 m, aux observations précédentes, il pourrait correspondre au cordon littoral observé sur la coupe 3801-N (PLT-17).

Tout le sommet de la coupe ainsi que sa partie sud-est a été entaillé puis recouvert de remblais et de terre végétale.

Dans cette coupe, deux alignements de pieux ont été découverts durant les fouilles de 2003 (Reginelli, 2007 ; Fig. 4.6). L'étude dendrochronologique de P. Gassmann des pieux de chêne sessile 156, 157, 159 et 184, qui constituent le premier alignement (pile de pont XII), montre qu'ils sont contemporains. Par ailleurs, l'analyse des cernes indique qu'ils sont originaires d'un milieu non favorable à leur croissance, à savoir une forêt dense non entretenue. La datation de cette construction n'étant pas possible par manque de référentiel de dendrochronologie régional, elle est estimée par une première analyse ^{14}C d'un pieu puis affinée par comparaison avec des courbes de références de l'est de la France et du sud de l'Allemagne. Ainsi, par corrélation avec deux autres pieux, la date de construction est estimée entre 660 et 655 av. J.-C. (Reginelli, 2007). La date par ^{14}C obtenue dans le cadre de ce doctorat, à partir d'un prélèvement effectué au centre du pieu 159, est de 850-800 cal BC (Tab. 4.1). Pour obtenir la date de la construction de la pile du pont, il faudrait alors ajouter, à la date obtenue du prélèvement au centre, les années de croissance du chêne jusqu'à son abattage. La différence entre la deuxième analyse ^{14}C et l'estimation de l'âge du pont suite à la première analyse étant de 150 à 200 ans, cette théorie est plausible. Une analyse des cernes est en cours afin de valider cette hypothèse.

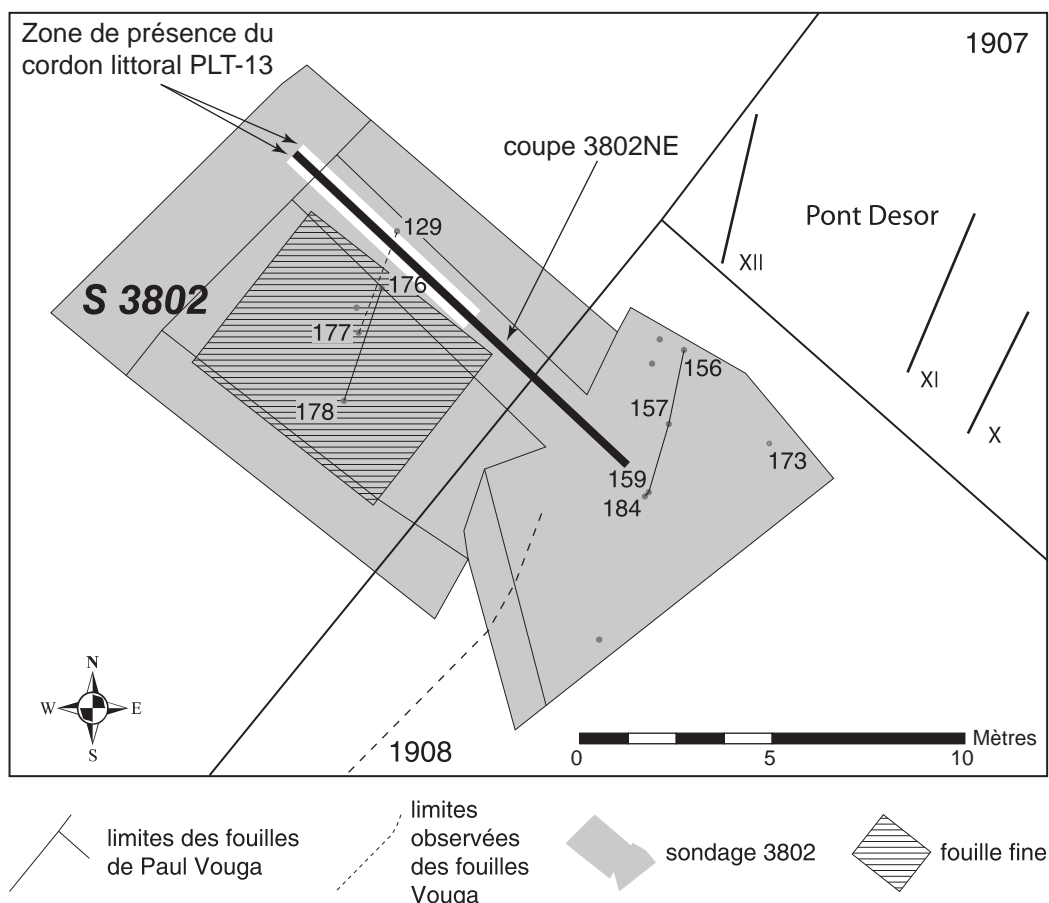


Fig. 4.6 : Plan du sondage 3802 d'après Réginielli (2007).

En chiffres romains : les piles du pont Desor telles que relevées lors des fouilles "officielles".

En chiffres arabes : les numéros des pieux mis au jour en 2003.

Les pieux 159, 176 et 178 ont été datés au radiocarbone pour ce travail.

Le deuxième alignement (piles de pont XIII) constitué des pieux 129, 176, 177 et 178 se situe à 8 m au NW du premier. L'analyse de ces quatre pieux de chêne pédonculé, apparus au sommet de la couche PLT-12a, permet d'affirmer qu'ils constituent un seul édifice (Reginielli, 2007). Leurs cernes, peu nombreux et larges, démontrent qu'ils ont poussé dans un milieu très favorable, à savoir une forêt en bordure de rivière ou de lac. Les pieux 176 et 178 ont été datés pour la première fois durant ce travail. Ils ont livré respectivement les dates ^{14}C 770-530 cal BC et 670-480 cal BC. Ainsi, la construction du pont aurait été réalisée après 670 cal BC, date correspondant aux âges trouvés pour la pile de pont XII par Reginelli (2007). A noter enfin, qu'une partie de la base du cordon littoral (PLT-13) recouvre cet alignement mais qu'aucune trace de pieux n'a été observée au sein de ce niveau graveleux (Fig. 4.6). Cette constatation entraîne trois hypothèses : soit le cordon PLT-13 s'est mis en place après la disparition sommitale des pieux, donc dans la partie située au-dessus du niveau PLT-12a, soit les pieux n'ont jamais

été plantés dans le cordon, ce dernier se serait alors effondré après la destruction du pont, soit les pieux se sont entièrement décomposés sans laisser de trace dans le cordon.

1.2.7 Coupe 3803

Cette coupe, réalisée durant les fouilles de 2003 par l'OMAN, est constituée de trois relevés qui se situent dans le prolongement de la coupe 3802 au niveau des fouilles de Vouga (Fig. 4.5). Seuls les deux couches inférieures ne sont pas des remblais.

Ces couches correspondent à ceux numérotés PLT05/07 dans les autres axes. La base est constituée de limons compacts gris contenant des bivalves, déjà observés dans la partie aval du transect 3799 et lors de la réalisation de la coupe 3798. Ils sont surmontés de limons crayeux blanc.

En conclusion, dans ce secteur périphérique du site de Marin-La Tène, la même séquence générale se retrouve dans les axes, rendue plus complexe par la présence de cordons et chenaux (Tab. 4.3). Cette complexité témoigne d'une autre influence que celle du lac dans les environnements de dépôts, confirmant l'importance de la Thielle moyenne dans ce secteur.

1.3. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz

Ce paragraphe présente l'ensemble des sondages réalisés en rive gauche de l'actuel canal de la Thielle, du site de Marin-La Tène à celui de Marin-Pré de la Mottaz (Fig. 4.7). L'Axe XI est tracé perpendiculairement aux Axes II et III (périphérie du site de Marin-Les Piécettes), à l'Axe XII (entre les sites de Marin-Les Piécettes et Marin-La Tène) et aux axes XIII et X (entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz). Il fait donc le lien entre les transects des trois secteurs. Les autres axes permettent de relier les séquences du site de Marin-La Tène aux sites de Marin-Prébit et Marin-Pré de la Mottaz. Pour ce secteur, tous les numéros des niveaux sédimentaires sont précédés de LTM.

1.3.1. Axe XI

Vingt sondages ont été réalisés le long des 348 m de ce transect. D'orientation SW-NE, il reprend les carottes AII.C11 et AIII.C11 et recoupe les Axes XII, XIII et X.

La base, constituée de limons crayeux à passées graveleuses ou sableuses (LTM-03), est recouverte d'un niveau de sable à oncolithes (LTM-04). L'altitude maximale de la craie observée (LTM-03) est de 428,52 m en C10 (Pl.20). Le dépôt de limons crayeux suivant (LTM-05) atteint la cote de 429,54 m en C13. Il est recoupé au SW par la couche archéologique néolithique

Lithologie	Niveau	Axe XII-Camping	3799A	3799B	3799C	3798	3801N	3801S	3802	3803	Environnement
Humus de surface et colluvions en haut du site		432,33 m	432,28 m	432,43 m	431,14 m	432,22 m	431,96 m	431,10 m	432,22 m	431,30 m	Emergé
sable	PLT-19					base < 430,58 m					Fluviaile
dépression											
graviers, sables et galets cordon	PLT-18	432,06 m		432,28 m							Eulitoral à supralittoral
graviers, sables et galets cordon	PLT-17	431,54 m	431,64 m	430,58			431,60 m		431,96 m		Eulitoral à supralittoral
limons sableux jaune	PLT-16	?									Infralittoral
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	PLT-10c	431,88 m		431,88 m							Infralittoral Rive
sable	PLT-14	431,04 m	431,11 m < 430,08 m	< 430,20 m		< 429,66 m	431,02 m < 429,95 m		430,95 m < 430 m		Fluviaile
chenal											
graviers, sables et galets cordon	PLT-13	431,64 m	431,11 m	431,56 m		431,36 m			430,58		Eulitoral à supralittoral
sables et graviers	PLT-12								430,24 m < 429,60 m		Fluviaile
chenal											
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	PLT-10b	431,88 m		431,88 m							Infralittoral Rive
sables et graviers	PLT-11	431,54 m < 429,30 m									Fluviaile
chenal											
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	PLT-10a	431,14 m									Infralittoral Rive
sables et graviers	PLT-09	430,52 m < 428,60 m									Fluviaile
chenal											
Limons tourbeux	PLT-08	430,50 m				430,24 m	430 m	429,82 m			Rive
Limons crayeux	PLT-05/07	430,20 m		429,92 m	430,04 m	429,92 m	429,78 m	429,76 m	429,72 m	429,81 m	Infralittoral
Sables à oncolithes	PLT-04	429,50 m									Infralittoral sup. à rive
Limons crayeux	PLT-03	428,80 m									Infralittoral

Tab. 4.3 : Synthèse des formations du secteur périphérique au site de Marin-La Tène.
La position verticale des altitudes indique si la valeur concerne le toit ou la base de la formation.

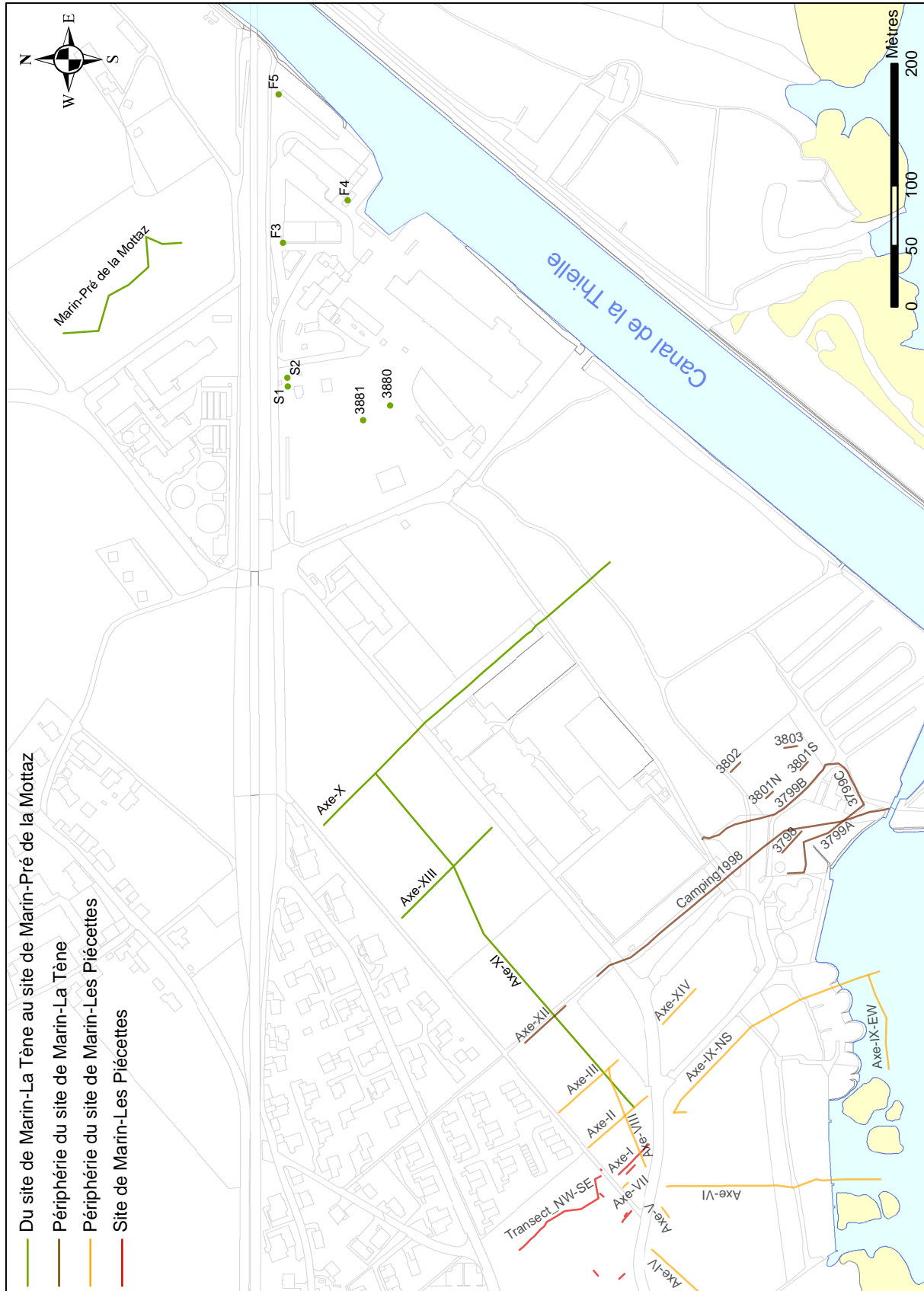


Fig. 4.7 : Carte des transects réalisés entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz.

(LTM-06) qui disparaît à partir de C4. Quelques petits charbons sont présents dans les carottes suivantes, avec une densité qui diminue de C5 à C13. Ils correspondent à un niveau lessivé ou plus vraisemblablement à un épandage en bordure de site.

Des limons crayeux de transgression post-occupation (LTM-07) apparaissent nettement en C2 et C3 (Pl. 20). Les limons tourbeux (LTM-08) observés dans l'ensemble des autres transects sont également présent dans toutes les carottes de cet Axe XI. Les limons argileux gris clair et brun foncé suivants (LTM-10) sont entaillés, tout comme le toit des limons tourbeux, par une couche de terre végétale et de remblais rapportés lors de la réalisation du terrain de football. Dans C17, l'alternance des limons gris clair et brun foncé est recoupée par un dépôt de sable fin homogène (LTM-22).

1.3.2 Axe XIII

Ce transect long de 105 m, est composé de quatre sondages et recoupe l'Axe XI au niveau de C17 (Pl. 21).

A la base, une couche de sable est recouverte de limons crayeux (LTM-03) qui atteignent environ 429,50 m dans C1. Suit une couche de sable fin à limons crayeux et oncolithes (LTM-04) qui culmine à 429,76 m. Le tout est recouvert de limons crayeux (LTM-05/07) puis de limons tourbeux (LTM-08) comme cela a déjà été observé dans l'Axe XI. Ce dépôt tourbeux s'amincit vers le NW.

Une couche de limons crayeux plus ou moins foncée et plus ou moins riche en matière organique (LTM-10), atteignant la cote 430,45 m dans C2, recouvre la séquence. Elle est à son tour recouverte de limons brun foncé, assimilés à de la terre végétale dans C1, C3 et C4. Pour C2 et l'AXI.C17, c'est une couche de sable fin homogène (LTM-22) qui vient recouvrir le mince dépôt crayeux. Ainsi, cet ensemble grossier recoupe l'alternance de limons gris clair et brun foncé qu'il est possible d'observer dans C3 et C4.

Ce transect se distingue donc par l'absence de niveau archéologique.

1.3.3. Axe X

Trente et un sondages se répartissent le long des 255 m de ce transect, qui recoupe l'Axe XI au niveau de C19. Ce transect présente la même séquence sédimentaire que celle observée précédemment avec, comme dans l'Axe XII-Camping1998, des dépôts plus grossiers qui la recourent.

La base de la séquence observée commence par des limons crayeux qui culminent à 428,57 m (C2, LTM-03 ; Pl. 22). Ils sont recouverts de sables limoneux à oncolithes (LTM-04),

eux-mêmes enfouis sous des limons crayeux (LTM-05/07) dont le toit atteint 430,9 m en C31. Cette dernière couche s'amincit progressivement vers le NW passant de 76 cm d'épaisseur en C3 à 6 cm en C31. Ainsi, toute la séquence inférieure se biseaute sur les flancs de la butte de Wavre. La séquence se poursuit avec des limons tourbeux (LTM-08) dont la cote maximale atteint 430,57 m en C31. Ces limons riches en matière organique sont interrompus dans C3 entre 430,30 et 430,37 m par une mince couche de limons clairs. Les deux couches LTM-05/07 et 08 sont recoupées de C5 à C10 par des sables et des graviers, assimilés à un chenal. Le fond de ce chenal (LTM-09) atteint 428,30 m alors que les remplissages les plus hauts se situent autour de 430,30 m.

La mise en place des limons argileux suivants, plus ou moins foncés et plus ou moins crayeux (LTM-10a), indique une hausse du niveau lacustre. Cet ensemble est recoupé entre C4 et C10 par un nouveau chenal (LTM-11), développé durant une période de bas niveau lacustre. Sa cote minimale observée se situe vers 429,20 m en C8 et les sables de remplissage les plus hauts sont observés en C4, à une altitude voisine de 431,70 m. Ce chenal est recouvert en partie par des limons crayeux (LTM-10b) correspondant à une phase de haut niveau lacustre et dont l'altitude atteint 431,10 m dans C22.

Une phase érosive semble avoir recoupé la partie est de ce chenal. Dans C9 et C23, la granulométrie plus grossière, composée de graviers sableux et de galets, traduit la présence d'un cordon littoral (LTM-13). Cette composition en éléments grossiers empêche une prospection en profondeur.

Une deuxième formation sableuse (LTM-15) est présente au sud-est en C15. Elle incise les limons tourbeux (LTM-08) ainsi que le toit des limons crayeux inférieurs (LTM-05/07).

La fin de la séquence se compose de niveaux de limons (LTM-10c), marquant une nouvelle alternance de hauts et bas niveaux lacustres, recouverts d'un ou deux cordons littoraux (LTM-18 et peut être LTM-17) de C15 à C19. Le cordon LTM-18, qui culmine à 434,3 m, est visible dans le paysage (Fig. 4.8) ce qui permet de le cartographier. Constitué principalement de galets, il a rendu toute prospection par sondages impossible.

Ainsi, le niveau de sable de l'Axe XIII est ici inexistant, et aucune phase d'occupation anthropique n'est recoupée.

cordon, flanc sud



situation de la photographie
du flanc sud



Fig. 4.8 : Photographie du cordon littoral (LTM-18) traversé lors de la réalisation de l'Axe X.

1.3.4. En périphérie du site Marin-Prébit

Pour cette partie de secteur, les séquences peuvent être directement corrélées aux autres axes jusqu'au dépôt de la couche tourbeuse (LTM-08). Ensuite, la présence de chenaux dans la périphérie du site de Marin-Prébit perturbe la séquence pour laquelle, une numérotation indépendante est réalisée, afin de détailler le plus fidèlement possible les différents niveaux.

- 3881

Le site de Marin-Prébit a été découvert en septembre 2005 à l'occasion d'une intervention préventive sur la parcelle de l'entreprise E. Buhler & Fils SA, à Marin-Epagnier. Plus précisément, il se situe à une centaine de mètres au sud de la voie ferrée et à environ cent cinquante mètres du canal de la Thielle (Fig. 2.17). Deux sondages distants d'une quinzaine de mètres (3880 et 3881) et d'orientation NNW-SSE ont été réalisés à la pelle mécanique et prolongés en profondeur par un carottage à la tarière (Fig. 4.7). Les deux relevés stratigraphiques sont globalement semblables, mais le sondage 3881 présentant une séquence plus complète à son sommet, est étudié plus précisément (Pl. 23).

La base de la séquence est celle observée dans la majorité des transects déjà décrits, avec les sables à graviers et les sables à oncolithes et débris de végétaux fibreux (LTM-04). Les limons crayeux suivants (LTM-05/07), dont le toit atteint 429,81 m, contiennent dans leur partie supérieure les restes de rhizomes de phragmites (Fig. 4.9). C'est dans cette couche, et à la base du suivant, que sept pieux ont été découverts dans le transect 3880. Le pieu numéro 5 a fait l'objet d'une datation au radiocarbone qui a livré comme date 620-780 cal AD (Tab. 4.1). Se retrouve ensuite le niveau de limons tourbeux (LTM-08), constitué de restes de phragmites entre les cotes 429,81 et 430,11 m et dont la date ^{14}C est de 3030-2910 cal BC (Tab. 4.1).

La couche suivante est la première des formations qui remplissent le chenal qui perturbe la séquence. Elle est constituée de graviers sableux ronds très oxydés (17-LTM-15), contenant des restes de bivalves et de gastéropodes. Elle est recouverte d'un ensemble de couches (20, 16, 15, 01, 02, 03, 04a, 04b, 04c, 05, et 6-LTM-15) sablo-graveleuses plus ou moins grossières dont les pendages, d'orientation principale proche de N 30°, s'horizontalisent à la base. A noter que la couche 05-LTM-15 vient en discordance sur les couches 04abc-LTM-15, marquant ainsi une période d'étiage entre la mise en place de ces deux unités. Tous ces dépôts se caractérisent par une absence de matière organique et quelques restes de coquilles de gastéropodes. Enfin, les quatre couches sommitales de cette séquence sont constituées de limons carbonatés (08-LTM-10c et 10-LTM-10c) ou de limons crayeux (07-LTM-10c et 09-LTM-10c).

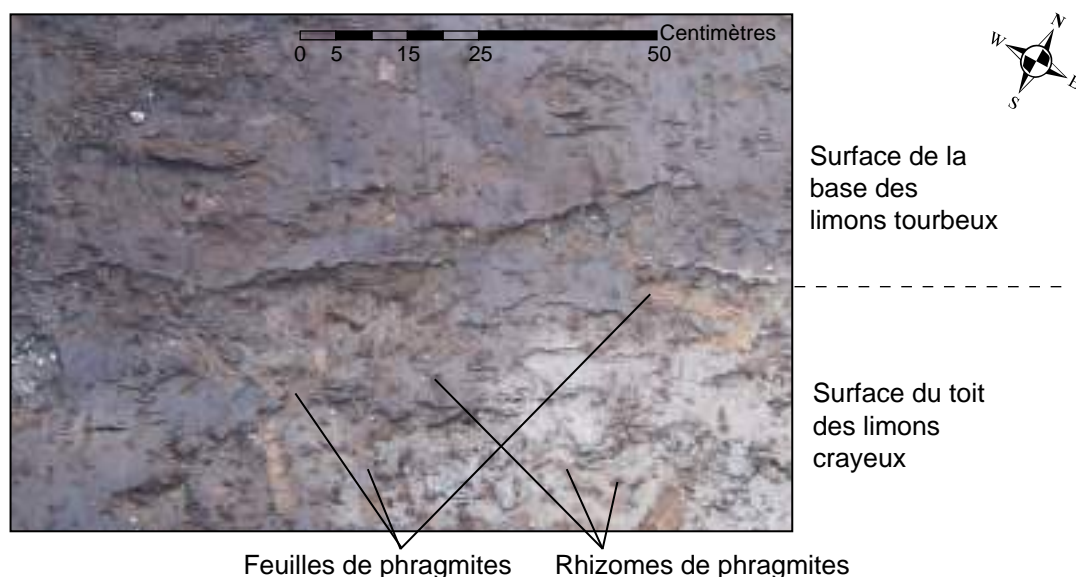


Fig. 4.9 : Vue en plan du toit des limons crayeux et de la base des limons tourbeux lors du décapage du sondage 3881.

L'analyse granulométrique d'un certain nombre de ces couches a été réalisée par Constandache (2007). Afin de caractériser granulométriquement les sédiments, ils sont placés dans le diagramme des textures de Folk (1954 ; Fig. 4.10). Il en ressort que les limons crayeux (LTM-05/07) et les limons tourbeux (LTM-08) de la base de la séquence sont semblables aux limons supérieurs (07 à 10-LTM-10c). Tous les autres échantillons se répartissent le long de l'axe sables-graviers, marquant ainsi un milieu à hydrodynamisme significatif.

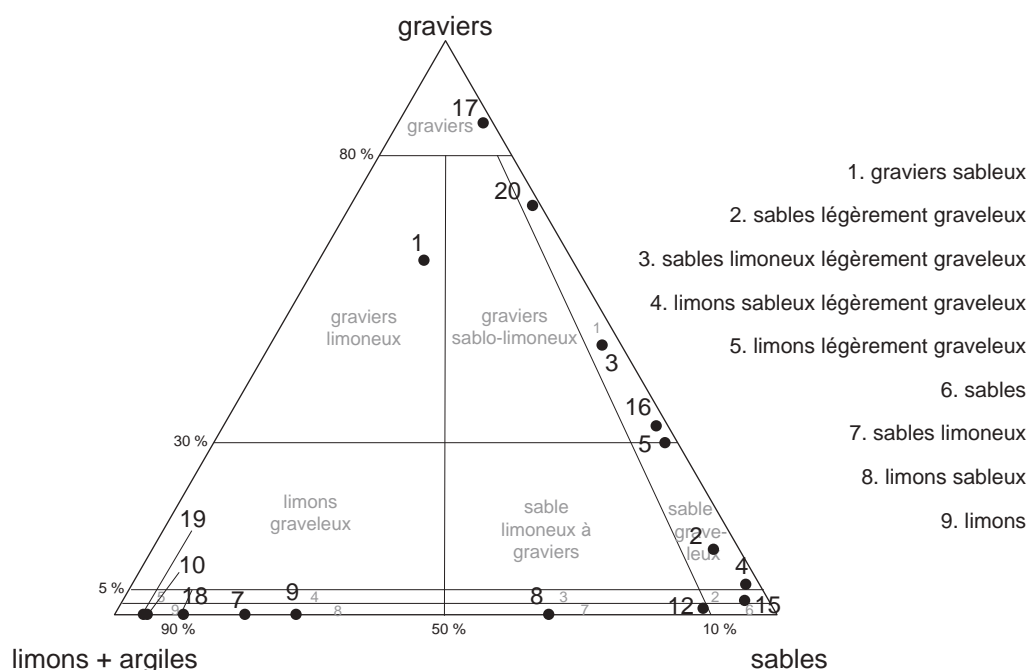


Fig. 4.10 : Diagramme triangulaire des textures pour la granulométrie totale des prélèvements de la coupe 3881 du site de Marin-Prébit selon Folk (1954).

Les dépôts post-limons tourbeux (LTM-15) correspondent à des dépôts de comblement de chenal, dont le premier serait le 17-LTM-15. Puis, les dépôts grossiers sont interprétés comme une barre de méandre qui progresse vers le NNE, traduisant une migration du chenal dans cette même direction, et par conséquent un tracé convexe vers le NNE. Les couches fines supérieures correspondent, quant à elles, au colmatage des dépressions lors de crues (07 à 10-LTM-10c).

- S1 et S2

Ces deux sondages distants de 7 m ont été relevés en septembre 2005, à la suite de forages entrepris par une entreprise en vue de l'implantation de nouveaux équipements industriels. D'une profondeur de 4 m chacun, ils sont constitués en grande partie de remblais et ne recoupent aucun niveau archéologique (Pl. 24). Le nom des forages est repris de l'étude, expliquant le suffixe S, en remplacement du C des carottes des axes précédents.

La base de la séquence présente des limons crayeux gris (LTM-05/07), dans la partie sommitale desquels se trouve, en S2, des restes de rhizomes, correspondant aux observations réalisées dans les coupes 3880 et 3881. Une mince couche de sable est présente dans S1. Ces deux sondages présentent un ensemble de dépôts sableux à graviers et petits galets (LTM-15). Dans ces couches, le pourcentage de chaque élément varie mais les graviers restent prédominants. L'épaisseur maximale observée est de 1,10 m dans S2, mais le toit de cette formation étant recouvert de remblais, l'altitude maximale observée à 429,73 m est la cote minimale pour cette formation.

Dans S1, l'ensemble grossier est recouvert d'un limon crayeux (LTM-10) englobant de nombreux restes de matière organique, en particulier des racines et des coquilles de gastéropodes. Cette couche est recouverte de remblais à partir de la cote de 429,93 m.

- F3, F4 et F5

En 1991 l'entreprise De Cérenville Géotechnique SA a réalisé trois sondages géotechniques sur la parcelle de la société Buhler et fils SA, près du site de Prébit, laquelle a mis à disposition le rapport de cette étude. La position altitudinale des sondages n'étant pas précisée dans le rapport, elle a été reprise sur le terrain à l'aide d'un niveau de chantier. La position exacte des sondages étant déterminée à partir de la carte de situation du rapport d'étude, les altitudes ainsi que les distances entre les sondages ne sont qu'approximatives. Seuls les sondages S3 et S4, décrits précisément dans le rapport, peuvent être pris en compte dans cette étude (Pl. 25). Distants d'environ 64 m, les corrélations sont très risquées.

Dans le sondage F3, la base de la séquence est constituée d'une alternance de limons

crayeux et de sables. Dans le forage F4, les limons crayeux inférieurs sont recouverts de graviers et sables, puis au sommet, de sables riches en matière organique.

Le forage F4 présente ensuite, entre les altitudes 429,77 et 430,06 m, une couche de tourbe assez décomposée brun noirâtre (LTM-08). Cette couche de 30 cm se situe à la même altitude que l'épaisse couche de limon tourbeux observée dans les sondages 3881.

La suite de la séquence est constituée d'un ensemble à graviers (LTM-15). Dans le sondage F3, les graviers sont accompagnés de sable grossier beige brun alors que dans le sondage F4, ce sont des limons beige clair, donc certainement crayeux, qui servent de matrice. La description entre les deux forages n'étant pas la même, il n'est pas certain que ce soit la même formation. Dans les deux forages, des remblais recouvrent la séquence.

Ainsi, la couche de tourbe observée dans le forage F4 est à la même altitude (~ 430 m) que les couches tourbeuses des sondages 3881 (LTM-08). Elle est absente du sondage F3, mais comme la couche qui la "remplace" est constituée de graviers, il est envisageable qu'elle ait été érodée lors de la mise en place d'un chenal par exemple LTM-15.

1.3.5. Marin-Pré de la Mottaz

Lors des fouilles du site de Marin-Pré de la Mottaz réalisées en 1996, de nombreuses stratigraphies ont été relevées par l'OMAN. Une étude approfondie de celles-ci a été réalisée par N. Plumettaz et N. Thew mettant ainsi au jour une succession de chenaux. Entre ces derniers, les quelques stratigraphies, comme celles présentées ici, S2025 et S2018, qui n'ont pas été recoupées par les dépôts de la Thielle, présentent la même séquence sédimentaire que celle observée sur le secteur (Pl. 26).

Ainsi, la base de la séquence est constituée de limons crayeux (LTM-03) sur lesquels repose un dépôt important de près de 1 m de sable limono-crayeux à oncolithes (LTM-04). Suit une couche de limon crayeux (LTM-05/07) qui atteint la cote de 430,14 m. Les limons tourbeux observés (LTM-08) entre 430 et 431 m ont fait l'objet de datations au radiocarbone. La base de ces derniers a livré la date 3130-3000 cal BC et le sommet 1970-1754 cal BC (Tab. 4.1).

La suite de la séquence est constituée d'une alternance de limons plus ou moins foncés (LTM-10) dont le toit atteint 432,19 m dans le sondage S2025.

Concernant les différents chenaux, leur délimitation a été réalisée par N. Plumettaz et N. Thew (Fig. 2.20), leur numérotation est reprise dans cette présente étude. Les corrélations avec les chenaux présents dans le secteur seront discutées dans le chapitre 5.

Le chenal 2 a été daté archéologiquement de l'Age du Fer par l'analyse de tessons découverts dans son lit. Cette période est confirmée par l'obtention d'une série de cinq datations

au radiocarbone effectuées sur des éléments organiques provenant de la base du chenal. Les dates obtenues sont les suivantes : 1466-1190 cal BC, 1501-1290 cal BC, 1635-1421 cal BC, 2210-1954 cal BC et 2205-1938 cal BC (Tab. 4.1; Plumettaz, com. pers.). L'altitude du fond de ce chenal n'a pu être déterminée précisément, car il n'a pas été atteint lors des sondages, mais elle se situe sous 429,20 m.

Les deux pieux - H411 et No833 - découverts dans le chenal 3 ont été datés durant cette étude par analyse au radiocarbone, respectivement de 670-780 cal AD et 890-990 cal AD (Tab. 4.1). Ainsi ce chenal présent sur le site de Marin-Pré de la Mottaz aurait fonctionné entre la fin du VII^e siècle et le X^e siècle. L'altitude du fond de ce chenal est comprise entre 428,80 et 429,50 m.

Le chenal 4 dont le fond est inférieur à 428,50 m contient la pêcherie médiévale. Les objets ainsi que les bois de la pêcherie permettent de dater ce chenal du XII^e siècle. Lors des fouilles, il a été possible de distinguer un lit mineur profond et large d'une quinzaine de mètres dans sa partie la plus étroite, et un lit dit "moyen" moins profond mais pouvant atteindre 45 m de largeur.

Le chenal 5 correspond à une migration latérale du chenal 4. Il a fonctionné principalement entre les XIII^e et XV^e siècles.

En conclusion, pour le secteur du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz, la base de la séquence est relativement homogène jusqu'au dépôt des limons tourbeux (LTM-08). Ensuite, la séquence varie selon les Axes en raison de la présence de nombreux chenaux (Tab. 4.4), dont certains ont divagué au cours du temps, comme en témoigne l'analyse stratigraphique de la coupe 3881.

1.4. Rive gauche, en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz

Ce secteur est étudié grâce au transect 911centre, regroupant sept carottes situées sur la commune de Thielle-Wavre, en rive gauche du canal de la Thielle (Fig. 4.11). Il se situe plus précisément entre l'ancien canal NW-SE de Montmirail et la dépression correspondant à un ancien méandre de la Thielle moyenne à l'ouest du canal actuel. Ces sondages se répartissent le long du transect géophysique 911centre décrit ci-dessous, permettant ainsi de caler les résultats de la prospection géophysique. Plusieurs facteurs limitent les corrélations et l'interprétation de ces sondages. Tout d'abord, la distance relativement importante entre les points d'observation a été déterminée en fonction des relevés du transect géophysique. De plus, il semble que la

Lithologie	Niveau	Axe XI	Axe XIII	Axe X	3881	S1-S2	F3-F4	2025-2018	Environnement
Humus de surface et colluvions en haut du site		431,19 m	431,27 m	434,30 m	432,21 m	432,57 m	432,04 m	432,65 m	Emergé
Canaux anthropiques	LTM-22	X							Emergé
graviers, sables et galets cordon	LTM-18			434,30 m					Eulitoral à supralittoral
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	LTM-10c			432,30 m		429,93 m			Infralittoral Rive
sables et graviers chenal	LTM-15			431,64 m	base à 30,11	429,96 m	430,55 m		Fluviatile
graviers, sables et galets cordon	LTM-13			431,36 m					Eulitoral à supralittoral
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	LTM-10b			431,10 m					Infralittoral Rive
sables et graviers Chenal	LTM-11			431,70 m 429,20 m					Fluviatile
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	LTM-10a	430,72 m	430,80 m	X				432,19 m	Infralittoral Rive
sables et graviers Chenal	LTM-09			430,30 m 428,30 m					Fluviatile
Limons tourbeux	LTM-08	430,50 m	430,40	431,20 m	430,11 m		430,06 m	431 m	Rive
Limons crayeux	LTM-07	430,34 m	430,24 m	430,90 m	429,81 m	428,88 m		430,14 m	Infralittoral Emergé
site archéologique néolithique	LTM-06	430,08 m							Infralittoral
Limons crayeux	LTM-05	429,54 m							Infralittoral
Sables à oncolithes	LTM-04	430,00 m	429,76 m	430,82 m	428,45 m			429,61 m	Infralittoral sup. à rive
Limon crayeux	LTM-03	428,52 m	X	428,57				428,42 m	Infralittoral

Tab. 4.4 : Synthèse des formations du secteur compris entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz.

Les croix sans chiffre indiquent des formations présentes mais dont les altitudes ne peuvent être données du fait d'une grande variation de la topographie ou de la présence de remblais.

Au sein de chaque cellule, la position verticale indique si la valeur concerne le toit ou la base de la formation.

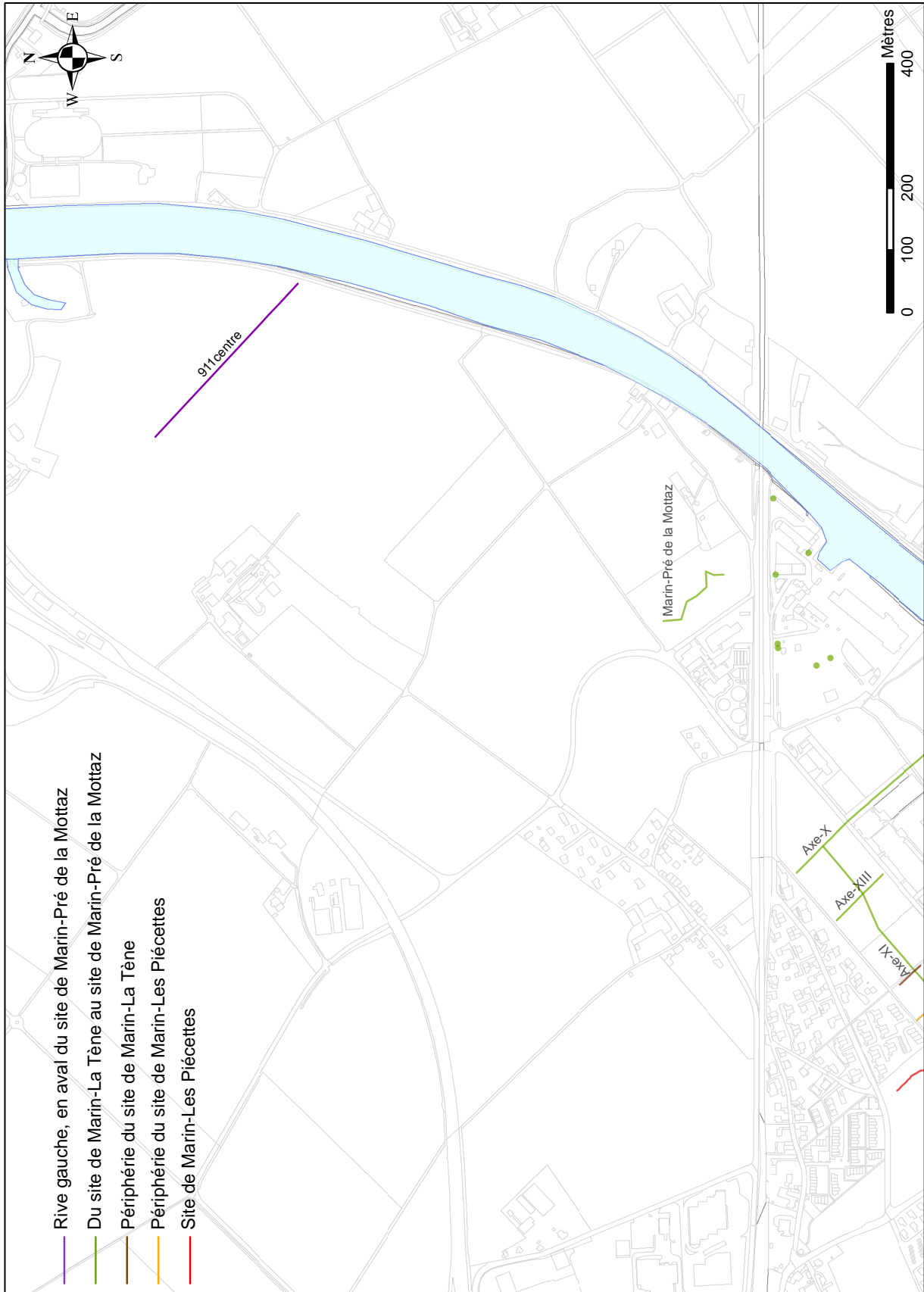


Fig. 4.11 : Carte du transect réalisé en aval du site de Marin-Prè de la Mottaz.

compaction des niveaux rencontrés n'ait pas été la même partout, ce qui engendre des différences altitudinales relativement importantes entre des niveaux sédimentaires équivalents (Pl. 27).

La base de C1 est constituée de sables limono-crayeux à oncolithes et restes de matière organique fibreuse (AM-04). Cette couche est recouverte de 71 cm de limons crayeux lacustres contenant des gastéropodes (AM-05/07). Suit une couche de limon tourbeux (AM-08) entre 429,44 et 430,10 m dont l'analyse d'un prélèvement à 10 cm de son mur a livré la date au radiocarbone 2810-2660 cal BC (Tab. 4.1). Vient ensuite une alternance de limons gris clair et de limons brun foncé plus riches en matière organique (AM-10). La dernière couche de cet ensemble qui culmine à 430,60 m, est recouverte de terre végétale.

La C2 est constituée à la base d'une couche sableuse pouvant contenir des graviers ainsi que des galets. C'est d'ailleurs une couche de galets qui a bloqué la progression du sondage à 429,96 m. Cette couche est recouverte de limon tourbeux noir (AM-08) qui culmine à 430,71 m. Il est recouvert d'une alternance de niveaux plus ou moins riches en matière organique (AM-10) comme dans la carotte précédente.

La base de C3 est composée de galets et graviers qui ne permettent pas de sonder plus profondément le terrain avec une tarière à main. Le sondage a été bloqué à 430,25 m. Cette couche est recouverte de sable contenant un passage plus grossier avec quelques graviers. Le tout est recouvert de terre végétale.

En faisant abstraction de la couche de graviers de la base de C4, les C4, C5 ont une composition similaire. En effet, C4 est composée de dépôts de graviers sableux contenant de petites couches de matière organique. Ils sont recouverts du même sable moyen propre, plus fin vers le haut de la couche, que celui qui constitue la base de C5. Dans cet épais dépôt de sable, s'intercalent de petites couches de matière organique fibreuse, de limons crayeux ou de galets. Cet ensemble est recouvert de limons crayeux un peu sableux dans C5. Enfin, une couche de limon tourbeux (AM-08) entre 430,60 et 430,76 m est recouverte d'une alternance de limons plus ou moins foncés dans les deux carottes.

La base de C6 est constituée de sable fin homogène contenant de rares petits graviers et des débris de coquilles de gastéropodes. Suit une couche de limons crayeux (AM-05-07) qui atteint la cote 429,68 m. Il est recouvert de limons tourbeux (AM-08) qui culminent à 430,10 m. Ce dépôt est interrompu à la base par une mince couche de 2 cm de limons crayeux puis est recouverte de terre végétale.

C7 n'est profonde que de 56 cm car la réalisation du sondage à la tarière a été bloquée par un ensemble de galets. Hormis la terre végétale, une couche de sable à graviers et galets a pu être traversé sur 22 cm.

En conclusion, C1 présente une séquence constituée de sables et limons dont les dépôts sont liés aux variations du niveau du lac (Tab. 4.5). Dans les autres carottes, cette séquence se complique, comme pour C3 où des dépôts de sable la recourent. Il existe des différences d'altitude des couches entre les carottes C4 à C6 et C1, associées à un changement de lithologie de la base, constituée de sable. Par ailleurs, ce secteur est le seul de la rive gauche où aucune couche archéologique n'a été retrouvé dans les sondages.

Lithologie	Niveau	911centre	Environnement	Datation
Humus de surface et colluvions en haut du site		431 m	Emergé	
Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	AM-10	430,60 m	Infralittoral Rive	
Limons tourbeux	AM08	430,10 m	Rive	2810-2660 cal BC
Limons crayeux	AM-05/07	429,44 m	Infralittoral	
Sables à oncolithes	AM-04	428,70 m	Infralittoral sup. à rive	

Tab. 4.5 : Synthèse des formations du secteur aval du site de Marin-Pré de la Mottaz.

La position verticale des altitudes indique si la valeur concerne le toit ou la base de la formation.

Les sondages ayant subi des compactions trop importantes, il est impossible de mettre les altitudes maximales du toit des formations compilées de l'ensemble de l'Axe. C'est pourquoi seules les altitudes de la carotte A911centre.C1 sont reportées dans ce tableau. Cependant, il est à noter que cet Axe présente deux chenaux dont les corrélations avec les autres secteurs seront discutées en chapitre 5.

1.5. Rive droite du canal de la Thielle

Onze carottes ont été réalisées sur le canton de Berne, en rive droite du canal de la Thielle. Le sondage Berne 1 est situé à environ 150 m du canal de la Thielle, à la même latitude que le site de Marin-Prébit (Fig. 4.12). Les autres sondages se situent le long des transects I et II de Lüdi (1935). Ils permettent de corroborer les observations réalisées par ce dernier et de réaliser une série de trois datations au radiocarbone qui vérifient et complètent le calage chronologique (Tab. 4.1). Ces dix sondages s'intercalant entre ceux de Lüdi, ils sont trop éloignés les uns des autres pour qu'il soit possible de les corrélérer entre eux.

1.5.1. Sondage Berne 1

Ce sondage de 1,60 m présente une stratigraphie composée de deux couches (Pl. 28).

La base est constituée de sables fins limono-crayeux gris clair renfermant quelques débris de matière organique à son sommet. Cet ensemble culmine à 429,80 m. La couche

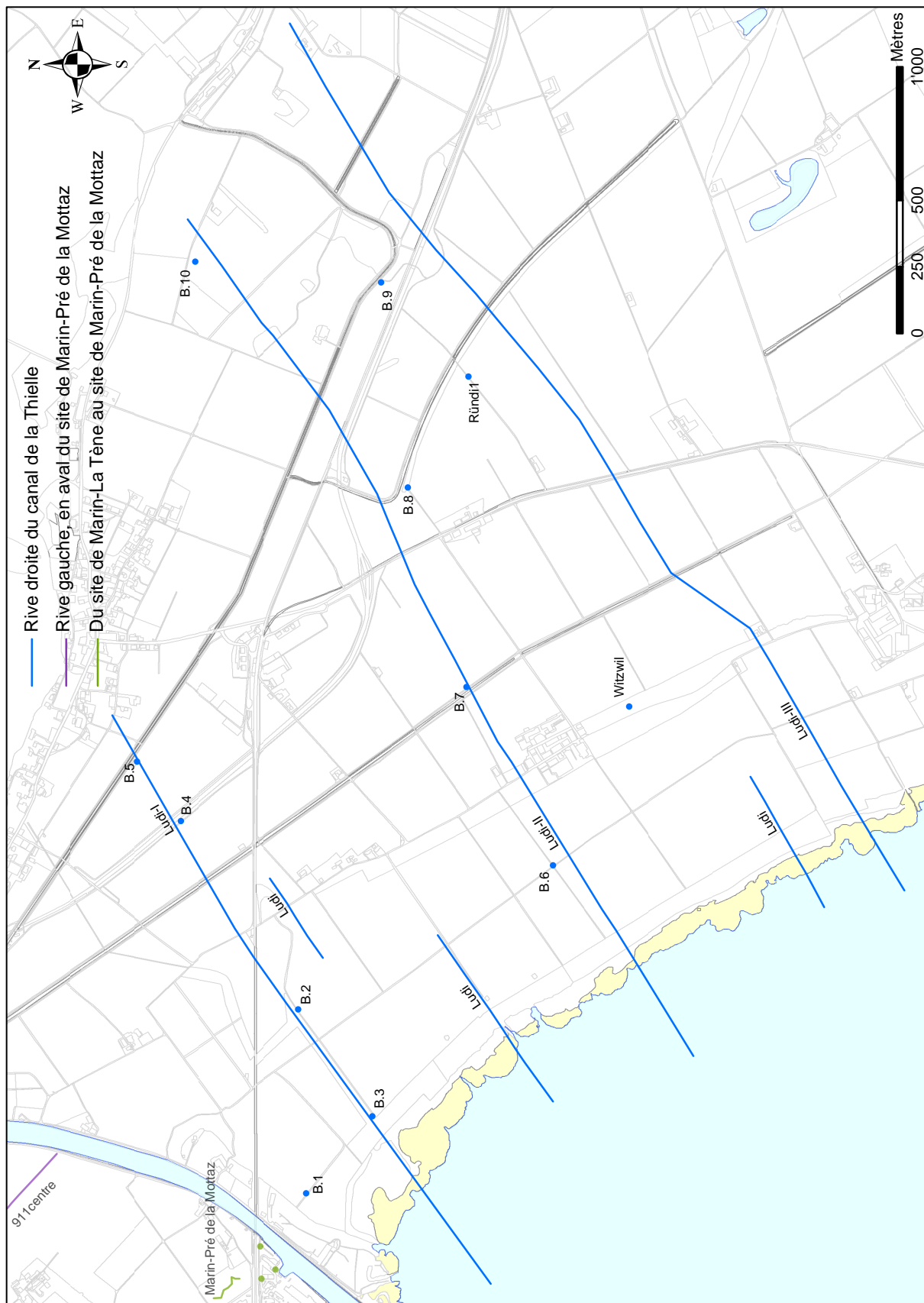


Fig. 4.12 : Carte des sondages réalisés en rive droite au canal de la Thielle avec l'implantation des profils de Lüdi (1935).

supérieure correspond à une couche de limons crayeux gris beige clair dans lequel s'intercalent de petites couches un peu plus grossières, similaires à un sable carbonaté fin. Cet ensemble dont le sommet est pollué par la terre végétale qui le recouvre, culmine à 430,60.

Ce sondage se situe au niveau de l'électrode 32 du panneau électrique Gampelen_NeueZeit décrit ci-dessous.

1.5.2. Périphérie du profil I de Lüdi (1935)

Les quatre sondages 2, 3, 4 et 5 sont réalisés dans l'alignement du profil I de Lüdi (1935). Ils sont présentés d'ouest en est c'est-à-dire du lac de Neuchâtel au pied de la colline de Jolimont (Fig. 4.12). Constitués en majorité de sables, ils présentent toutefois des différences (Pl. 28).

- Sondage Berne 3

Ce sondage se situe entre les observations 16 et 15 de Lüdi. Suite à des effondrements successifs des parois du sondage, la profondeur atteinte n'est que de 0,95 cm.

La base du sondage est composée sur 57 cm de sables moyens à grossiers, jaunes, homogènes, contenant quelques débris de coquilles. Cette couche est recouverte de sables moyens dans lesquels quelques petits graviers et des racines peuvent être observés. De plus, entre les grains, des particules originaires de la terre végétale supérieure apparaissent. Cette terre végétale observée entre 430,97 et 430,77 m correspond à un limon tourbeux sableux.

- Sondage Berne 2

Cette carotte se situe à quelques mètres au SW du sondage 11 de Lüdi.

La base de ce sondage est constituée de sables très fins limono-crayeux. Ensuite une couche de limons crayeux atteint la cote 430,36 m. Cette couche est recouverte de 27 cm de limons tourbeux, le toit de cette formation se situe alors à 430,63 m. Le haut de la séquence est composé uniquement de sables fins jaunes contenant quelques débris de coquilles. Ce dépôt est recouvert de terre végétale semblable à une couche de tourbe sableuse.

- Sondage Berne 4

Ce sondage de 2,95 m se situe entre les observations 5 et 4 de Lüdi, au Nord de la route.

La base est constituée de limons crayeux grossiers qui passent progressivement, en remontant la colonne, à un sable très fin limono-crayeux vers 428,20 m puis à un sable fin jaune. Cette couche de sable culmine à 429,60 m. La partie supérieure de la séquence est constituée

d'une couche de limons crayeux jusqu'à 429,90 m qui passent à un sable limoneux puis à un limon sableux. La terre végétale est présente à partir d'une couche de tourbe entre 430,28 et 430,68 m.

- Sondage Berne 5

Ce carottage se situe entre les sondages 4 et 3 de Lüdi, au sud du Canal Isleren. Comme le sondage Berne 3, il est de taille réduite et la profondeur atteinte n'est que de 1 m, la nature et surtout la cohésion de la formation inférieure limitant la progression.

La base du sondage est constituée de sables fins jaunes très compacts. La limite supérieure de cette couche se situe à 430,25 m. La couche supérieure est une couche de tourbe peu décomposée englobant quelques graviers entre 20 et 40 cm de profondeur. Cette couche est légèrement sableuse en surface. A noter, la présence de galets mous de limons crayeux à la limite entre les sables et la tourbe, indiquant une période de fort hydrodynamisme en bordure de lac.

Tous ces sondages corroborent les observations de Lüdi (1935, Fig. 2.23 et 2.24). La seule différence qui apparaît est la présence de limons tourbeux sableux au sommet des sondages Berne 2 et Berne 3. Sur les relevés de Lüdi (1935), la formation affleurante correspond au dépôt de sables rencontré sous la couche de matière organique.

1.5.3. Périphérie du profil II de Lüdi (1935)

Les sondages Berne 6, 7, 8 et 10 sont proches du profil II de Lüdi et le sondage 9 est entre les profils II et III (Pl. 28). Le sondage Ründi 1 est décalé au niveau de la dune de Ründi qui est figurée dans les profils II et III de Lüdi (Fig. 2.20) et sur sa carte géologique (Fig. 2.19).

- Sondage Berne 6

Ce sondage se situe entre les observations 45 et 44 de Lüdi au sud-ouest de la dune de Witzwil.

Cette carotte de 2,10 m n'a traversé que des couches sableuses. La base est constituée de sable fin jaune qui devient un sable moyen dans les 51 cm supérieurs. La litière se trouve incorporée aux 15 cm supérieurs de ce niveau.

- Sondage Berne 7

Ce carottage a été réalisé entre les sondages 44 et 43 de Lüdi, à l'est du canal de Seeboden.

D'une profondeur de 2 m, ce sondage est composé de sables à la base. Ils sont recouverts entre 430,11 et 430,48 m de limon crayeux contenant des tests de gastéropodes. Cette couche correspond à l'enregistrement d'une période de haut niveau lacustre. Une couche de limons tourbeux - tourbe relativement peu décomposée - à passages sableux s'est ensuite formée entre 430,48 m et 431,16 m. Elle est recouverte de limons crayeux qui atteignent la cote 431,36 m. Les 34 cm supérieurs de ce sondage sont constitués de tourbe.

- Sondage Berne 8

Ce sondage, décalé d'une centaine de mètres vers le sud-est, se situe entre les relevés 39 et 38 de Lüdi, au Sud du canal.

La base de ce sondage est constituée de sables moyens gris recouverts de limons crayeux contenant des gastéropodes. Le toit de cette couche atteint 430,60 m. La couche supérieure du relevé, épais de 80 cm, est composée de tourbe noire peu évoluée.

- Sondage Ründi 1

Ce sondage est réalisé sur la bordure sud de la dune de Ründi, cartographiée par Lüdi (Fig. 2.23). La réalisation de sondages au centre de la dune n'a pas été possible car elle a été exploitée et présente actuellement en son centre des dépressions plus ou moins remplies d'eau (Fig. 4.13). Des tentatives ont été menées dans la dépression mais la proximité de l'eau fait que le sondage se remplit très rapidement entraînant le fluage des sables et l'effondrement des parois. Un sondage avec le système de carotteur mis au point durant cette thèse a aussi échoué du fait de la saturation en eau des sables. C'est pourquoi, ce sondage a été réalisé en bordure de la dune.

La base de la séquence est constituée de sable moyen à grossier, interrompu entre 429,10 et 429,13 m par un dépôt limoneux très riche en matière organique peu décomposée. Une couche de limon sableux fins, épais de 2 cm, recouvre les sables. Suit une couche de sable fin à moyen de 1,32 m contenant des morceaux de bois plus ou moins gros et d'écorces non décomposés entre la base de cet ensemble et 429,88 m. Ces sables sont recouverts de limons crayeux. Cette couche, d'altitude comprise entre 430,43 et 430,60 m, contient de nombreux tests de gastéropodes et de bivalves. Suit une couche de tourbe très aérée, constituée de restes de roseaux, qui est interrompue à 430,88 m par un mince dépôt de limons crayeux de 2 cm d'épaisseur. Le reste du sondage est constitué de tourbe sableuse noire, moins évoluée à la base qu'au sommet, et qui contient quelques graviers anguleux provenant du chemin bordant le sondage à son sommet.

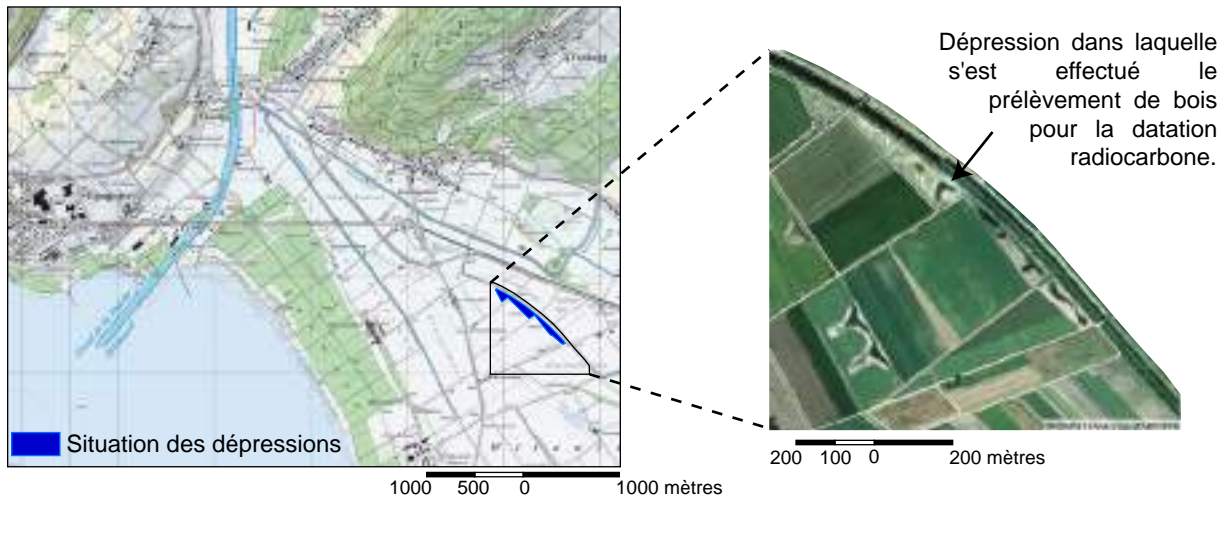


Fig. 4.13 : Situation du niveau de bois de la dépression de la dune de Ründi dont est issu le prélèvement pour la datation.

Il faut préciser que lors de l'observation des dépressions situées dans l'axe de la dune, un niveau de gros morceaux de bois peu évolués affleure à une altitude de 429,90 m dans les sables de tous les bassins. Dans ce même niveau, une pomme de pin a été trouvée. Les bois sont disposés horizontalement selon une orientation majoritairement NE-SW. Or l'altitude de cet affleurement correspond à celle des morceaux de bois supérieurs observés dans le sondage (429,88 m). Un prélèvement réalisé dans la dépression la plus proche du sondage a été daté par radiocarbone de 10100-9730 cal BC (Tab. 4.1). Du fait de la proximité entre le sondage et les dépressions de la dune, il s'agit d'un même dépôt et la datation peut donc être utilisée pour dater le dépôt du sondage.

- Sondage Berne 9

Ce sondage se situe entre les profils II et III de Lüdi. Il est au nord de la route Neuchâtel-Berne, entre les dunes de Ründi et d'Isleren.

Ce sondage de 90 cm est constitué de sable fin à la base sur lequel repose, entre 431,95 et 431,97 m, une couche de limons crayeux. Cette dernière est recouverte de 76 cm de tourbe noire. La base de ce dépôt est datée par radiocarbone de 5320-5210 cal BC (Tab. 4.1).

- Sondage Berne 10

Ce carottage est situé au Nord du sondage 32 de Lüdi, entre la dune de Isleren et la colline de Jolimont.

La base de ce sondage est constituée de sable un peu limoneux recouvert d'une couche de limons crayeux dont le toit atteint 430,87 m. Les dix derniers centimètres de cette couche sont constitués presque uniquement de coquilles de gastéropodes. Ceci indique une baisse rapide du plan d'eau. Le tout est recouvert d'une couche de tourbe noire dont la base a été datée par radiocarbone de 6611-6471 cal BC (Tab. 4.1).

Ainsi, tous ces sondages corroborent les observations des profils II et III de Lüdi (1935). A noter que le sondage Berne 6 se situe sur une petite dune à l'ouest de la dune de Witzwil d'après le relevé de Lüdi. De plus, dans la carotte Berne 7, le dépôt de tourbe est recoupé par une couche de limons crayeux marqueur d'un haut niveau lacustre. Ce dépôt n'avait pas été observé par Lüdi dans les carottes 44 et 43.

En conclusion, tous les sondages réalisés sur le canton de Berne entre les transects de Lüdi (1935) valident ses observations. Le petit décalage observé entre l'altitude des carottes réalisées et la topographie de Lüdi peut être dû à la situation des sondages légèrement décalés

par rapport à ses observations. Par ailleurs, entre la réalisation de ces deux études, espacées de soixante-dix ans, des aménagements anthropiques et une compaction naturelle des terrains ont affecté les dépôts. Ainsi les sondages de Lüdi peuvent être intégrés à la discussion pour la compréhension des variations du niveau du lac.

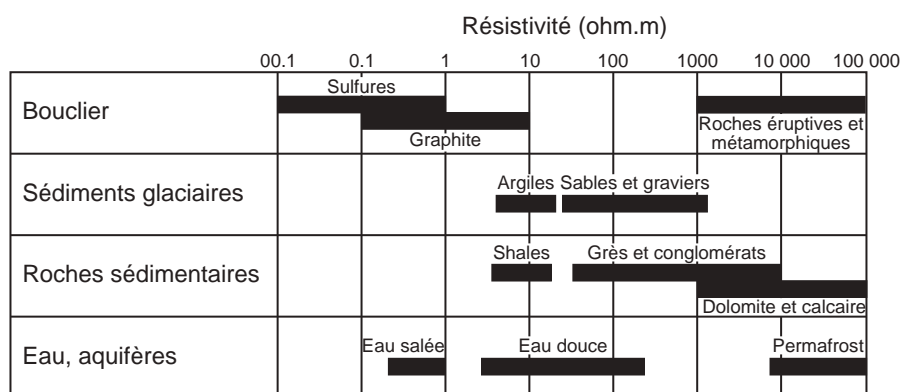
2. Apports de la prospection géophysique

En complément des observations réalisées à partir des sondages pour les descriptions et analyses sédimentaires, et afin d’observer les changements de faciès en continu sur plusieurs secteurs, neuf panneaux électriques ont été réalisés. Sept se répartissent en rive gauche du canal de la Thielle entre le site de Marin-La Tène et le transect 911centre (Fig. 2.28). Deux autres transects se situent en rive droite dans le Seeland bernois, le premier au niveau du sondage Berne 1 et le second plus au nord.

L’ordre de présentation des panneaux est le même que celui utilisé pour les transects sédimentaires ; les panneaux en périphérie du site de Marin-La Tène sont décrits en premier, puis ceux de Marin-La Tène à Marin-Pré de la Mottaz et ceux de la rive gauche du canal de la Thielle, en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz, et enfin ceux de la rive droite, dans le Seeland bernois.

2.1. Principe de la tomographie électrique :

L’interprétation des relevés est fondée sur la résistivité des différents matériaux, propriété physique variant dans de grandes proportions. Dans la nature, la gamme des résistivités est très étendue, variant de 1 Ωm à plusieurs milliers (Tab. 4.6 ; Marescot, 2006).



Tab. 4.6 : Gamme des valeurs de résistivité électrique pour différents matériaux géologiques d'après Marescot (2006).

En se fondant sur les valeurs de résistivité présentées dans le tableau ci-dessus, il est possible pour les différents panneaux électriques de différencier des ensembles lithologiques. Ces lithologies sont vérifiées par comparaison avec les sondages réalisés le long de l'Axe X, du transect 911centre et du sondage Berne 1. Ainsi, les niveaux limoneux ont des résistivités comprises entre 0 et 30 Ωm , les sables entre 40 et 60 Ωm environ et pour les particules plus grossières la résistivité continue d'augmenter. Ainsi les cordons littoraux constitués uniquement de galets présentent des résistivités pouvant dépasser 7000 Ωm . A noter que la résistivité d'un milieu est aussi liée à la présence d'eau. Celle-ci va, par sa simple présence, améliorer la conductivité et donc diminuer la résistivité d'un même milieu. Les profondeurs des ensembles observés sont estimées mais, en fonction de la valeur de résistivité limite choisie pour séparer deux formations, les altitudes proposées sont un peu différentes.

2.2. Périphérie du site de Marin-La Tène

2.2.1. Marin-Ep 3348W-le long du camping

Ce panneau électrique de 124 m se situe en arrière du camping de Marin-Epagnier et recoupe les anciennes fouilles du site de Marin-La Tène selon un axe NW-SE (Fig. 4.14). La zone anciennement fouillée se situe entre les électrodes 20 et 36 qui sont respectivement à 38 et 70 m de l'électrode 1. L'acquisition est effectuée avec un dispositif de 63 électrodes espacées de 2 m (Fig. 4.15).

A l'Ouest, ce panneau permet de distinguer un ensemble de formations très résistantes, plus de 1159 Ωm , interprétées comme trois cordons littoraux. Le cordon le plus au NW, entre 116 et 96 m, affleure et a permis de vérifier sur le terrain cette proposition d'interprétation. Une zone un peu résistante apparaît entre 42 et 74 m et plus particulièrement vers 64 m. Cet ensemble de résistivité modérée marquant la présence de sables graveleux correspond à la zone fouillée par Vouga (1923). L'altitude de la base de cette anomalie se situe vers 429 m ce qui coïncide avec le plan de synthèse de Vouga (1923) et la carte des fouilles de Borel (1907-14 ; Fig. 4.14). Plus à l'Est, entre 34 et 0 m, apparaissent une ou plusieurs dépressions sableuses à graveleuses d'une trentaine de mètres de large, peu épaisses et dont l'altitude de base minimum se situe approximativement vers 428,50 m.

Ainsi, ce panneau électrique permet d'observer trois cordons littoraux, les fouilles de P. Vouga et au moins deux chenaux.

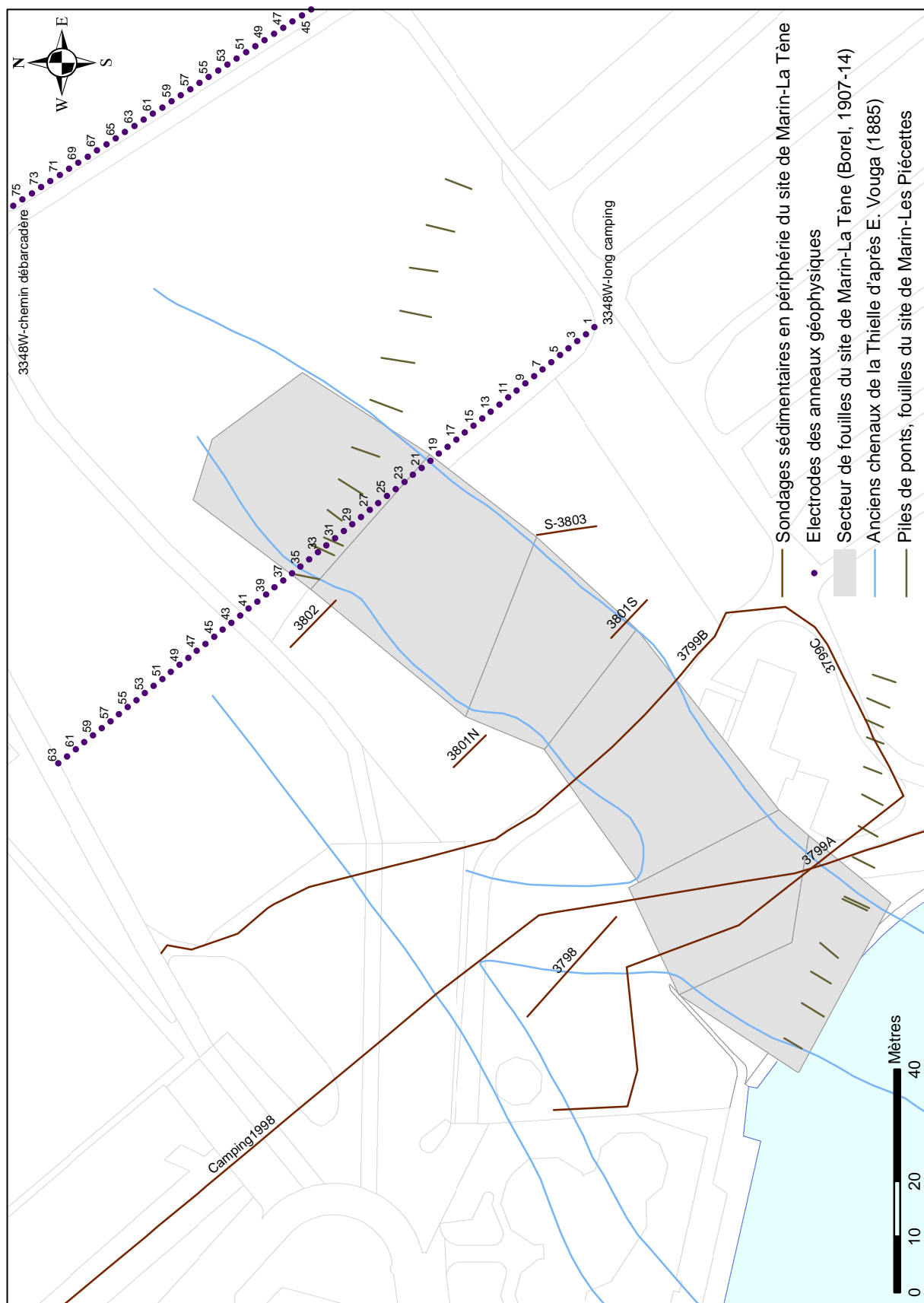


Fig. 4.14 : Situation du transect géophysique Marin-Ep 3348W-le long du camping par rapport aux fouilles officielles du début du XX^e siècle.

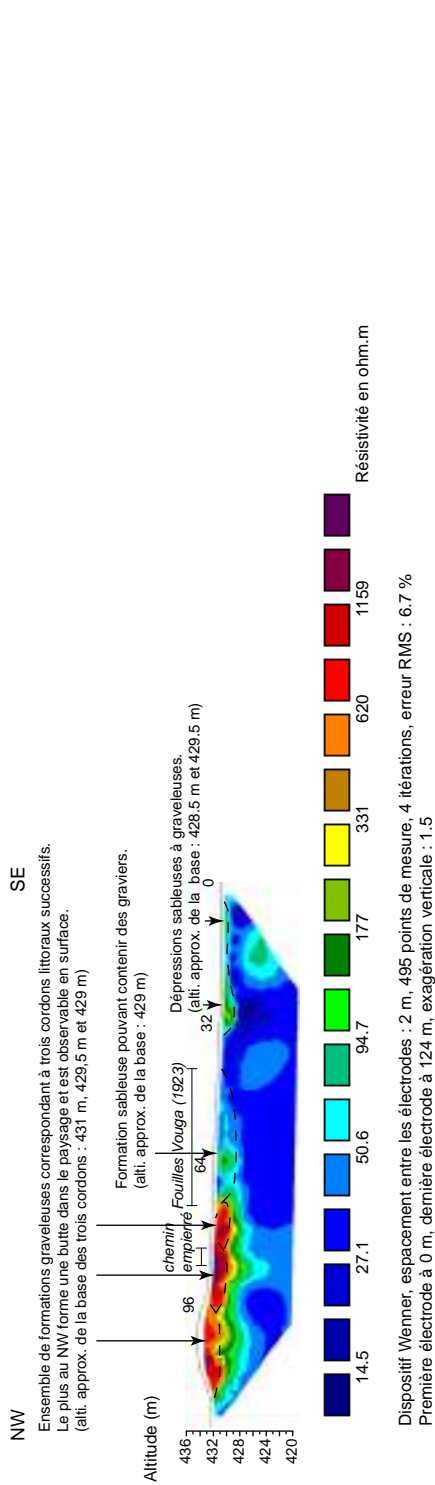


Fig. 4.15 : Panneau électrique Marin-Ep_3348W-le long du camping.

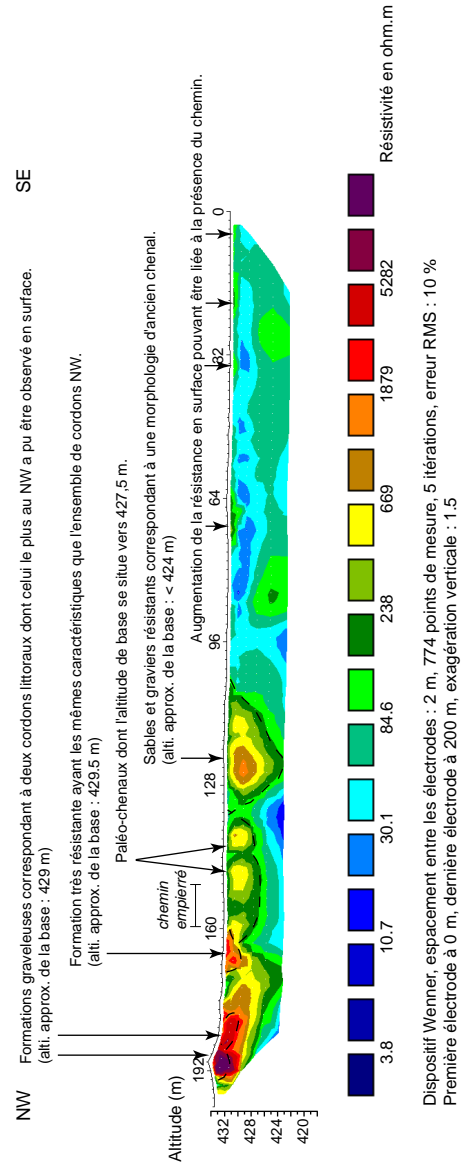


Fig. 4.16 : Panneau électrique Marin-Ep_3348-Chemin du débarcadère Est.

2.2.2. Marin-Ep 3348W-Chemin du débarcadère Est

Ce panneau de 198 m se situe dans les bois en arrière du site de Marin-La Tène, le long du chemin NW-SE menant au débarcadère. Il est réalisé avec un dispositif de 100 électrodes (Fig. 4.16).

Dans la partie ouest de ce panneau, deux ensembles de résistivité supérieure à 5000 Ωm , caractérisant des galets, correspondent à des cordons littoraux. Le premier de ces ensembles, situé entre 194 et 178 m, forme une butte et peut être observé en surface. Deux formations successives peuvent y être distinguées. Le deuxième ensemble de 170 à 160 m marque lui aussi la présence d'un cordon littoral.

Plus à l'est, entre 160 et 136 m, se distingue un secteur dont la résistivité maximale est proche de 670 Ωm . Celle-ci n'est pas homogène au sein de cet ensemble et permet de différencier trois zones de résistivités voisines de 670 Ωm qui pourraient correspondre à trois phases de migration latérale d'un chenal. L'altitude de base de cet ensemble est voisine de 428 m. Entre 132 et 106 m, une zone de résistivité comprise entre 90 et 1879 Ωm marque la présence d'un chenal dont la base se situerait vers 427 voire 424 m d'altitude.

Ainsi, ce panneau électrique a permis de repérer trois cordons littoraux à l'ouest et deux ensembles d'anciens chenaux plus à l'est.

2.3. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz

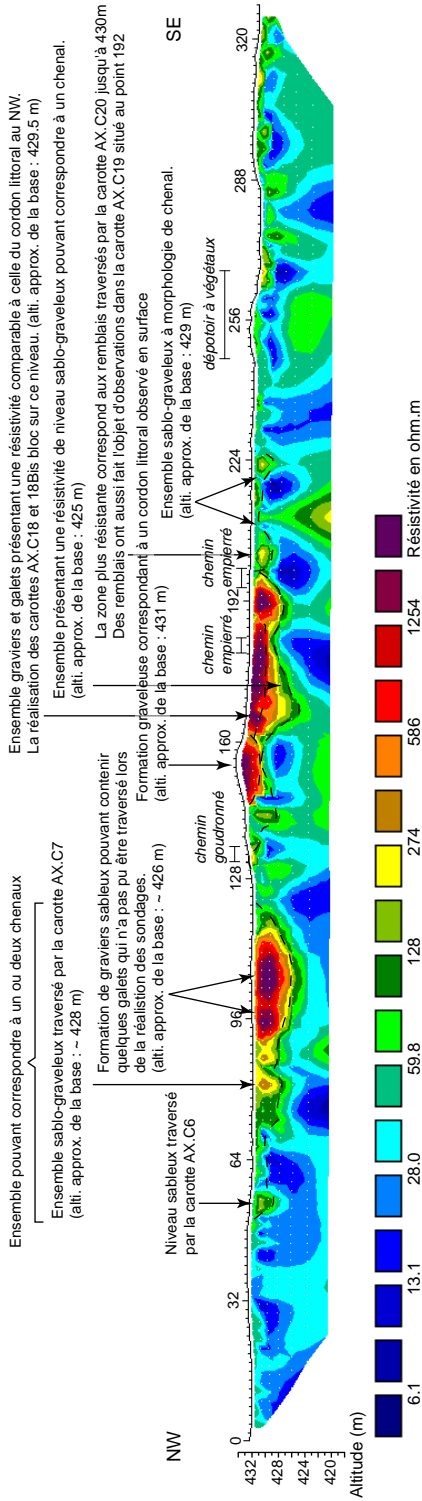
2.3.1. Marin-Ep 3305-3348

Ce panneau électrique d'orientation NW-SE relie à travers les bois, le long de l'Axe X, le canal de la Thielle à la route des Marais. L'acquisition de ce transect long de 322 m est effectuée avec un dispositif de 162 électrodes (Fig. 4.17).

Une zone de résistivité comprise entre 60 et 280 Ωm , traduisant la présence de formations sableuses, apparaît entre 52 et 116 m. Au sein de cette zone, entre 92 et 116 m, un secteur dont la résistivité dépasse 1254 Ωm indique la présence de graviers et galets dans une matrice sableuse. L'ensemble de ces formations peut marquer l'existence d'un ou deux chenaux dont l'altitude de base se situerait entre 426 et 428 m. La présence de la partie résistante large au sommet peut engendrer une erreur lors de l'interpolation en augmentant la profondeur de la base de cette formation.

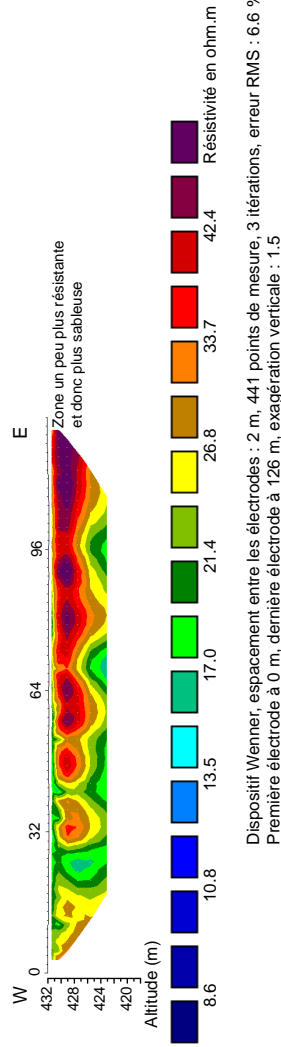
Entre 146 et 160 m, une zone de résistivité très importante, présumant une formation de galets, est détectée. Il s'agit d'un cordon littoral comme celui observé sur l'Axe X.

Sous ce cordon littoral et jusqu'à 198 m, se trouve une zone de résistivité comprise entre



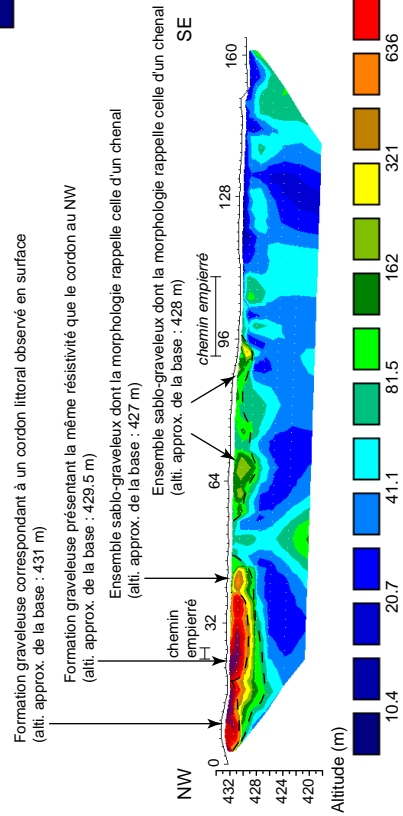
Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 1606 points de mesure, 5 itérations, erreur RMS : 10 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 330 m, exagération verticale : 1,5

Fig. 4.17 : Panneau électrique Marin-Ep_3305-3348.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 441 points de mesure, 3 itérations, erreur RMS : 6,6 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 126 m, exagération verticale : 1,5

Fig. 4.18 : Panneau électrique Marin-Ep_3302NE.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 715 points de mesure, 4 itérations, erreur RMS : 8,3 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 164 m, exagération verticale : 1,5

Fig. 4.19 : Panneau électrique Marin-Ep_3348E.

60 et 568 Ω m. Elle indique un ensemble de sables graveleux pouvant correspondre à un chenal dont la base se situerait aux environs de 425 m. La partie supérieure est beaucoup plus résistante ($> 1254 \Omega$ m) indiquant la présence de graviers sableux et de galets. Ceci est vérifié lors de la réalisation des carottages 18 et 18Bis de l'Axe X. Cet ensemble résistant peut être relié soit au remplissage du chenal soit à autre formation non déterminée. A noter que le sondage AX.C19 qui se situe à 192 m, donc dans la partie est de cet ensemble, a rencontré des remblais.

Entre 198 et 226 m, une entité de résistivité comprise entre 60 et 274 Ω m apparaît. Elle indique la présence de sables et graviers jusqu'à une profondeur de 429 m traduisant la présence d'un chenal dont deux parties pourraient être séparées par un ensemble moins résistant. A noter la présence de remblais dans le sondage AX.C20 qui se situe à 202 m, jusqu'à une profondeur 430,10 m qui apparaît dans cet ensemble comme la zone de plus forte résistivité.

Ce panneau électrique témoigne de la présence d'un cordon littoral et de trois ensembles caractérisant des chenaux.

2.3.2. Marin-Ep 3302NE

Ce panneau électrique orienté W-E mesure 126 m et son acquisition a nécessité 64 électrodes (Fig. 4.18). Il a été réalisé parallèlement à la voie de chemin de fer afin de vérifier l'absence supposée de chenaux dans cette zone qui se situe au SW du site de Marin-Pré de la Mottaz. Il s'avère que rien de très contrasté ne ressort de ce panneau dont la résistivité traduit la présence de limons. Une faible augmentation de la résistivité, de 25 à 42 Ω m, peut être liée à un possible enrichissement en sable à l'est du panneau électrique. Ainsi, il corrobore l'hypothèse émise suite aux carottages des Axes X et XI, à savoir qu'aucun chenal ne traverse directement cette zone.

2.3.3. Marin-Ep 3348E

Ce panneau orienté NW-SE est situé au SW du site de Marin-Prébit et mesure 164 m, nécessitant 83 électrodes lors de son acquisition (Fig. 4.19).

Au nord-ouest de ce panneau une formation très résistante ($> 1261 \Omega$ m) est détectée entre 0 et 18 m. Après vérifications sur le terrain, il s'agit d'un cordon littoral.

Sous cet ensemble, de 0 à 47 m, une zone de résistivité comprise entre 80 et 636 Ω m traduit la présence de sables graveleux. La morphologie de cet ensemble fait penser à un chenal dont l'altitude de la base avoisine 427 m. Entre 19 et 38 m, au-dessus de ce chenal, apparaît une zone dont la résistivité peut atteindre et dépasser 1261 Ω m indiquant la présence de graviers et de galets.

Au SE de ces formations, un ensemble de résistivité comprise entre 80 et 636 Ωm environ traduit la présence de sables graveleux entre 56 et 96 m. La morphologie de cet ensemble fait penser à un chenal dont la base serait à une altitude voisine de 428,5 m.

Ainsi, sur l'ensemble du panneau électrique sont mis en évidence : un cordon littoral et deux ensembles de chenaux. L'origine de la partie la plus résistante au sommet du chenal le plus au NW de ce panneau reste à déterminer.

2.3.4. Marin-Ep 3244-2545W_Chemin de la Mottaz Est

Ce panneau situé en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz a une orientation NW-SE. Il mesure 450 m de long nécessitant un dispositif de 226 électrodes (Fig. 4.20).

Entre 328 et 348 m, une zone se distingue par une plus grande résistivité, comprise entre 96 et 562 Ωm environ, traduisant un ensemble de sable graveleux avec une morphologie de chenal, dont la base se situe aux alentours de 428,5 m. Un deuxième ensemble avec des résistivités comprises entre 53 et 312 Ωm , donc sablo-graveleux, est formé de deux dépressions entre 134 et 156 m. Cette morphologie rappelle celle de deux chenaux dont la base atteint 431 m. Deux zones plus résistantes, supérieures à 173 Ωm , sont visibles entre 96 et 124 m. Du fait de leur proximité et de leurs valeurs proches, il est difficile de savoir si ce sont deux formations distinctes ou si elles n'en forment qu'une. Les altitudes observées de leur base sont comprises entre 429 et 429,5 m.

Ainsi, l'ensemble de ce panneau électrique permet de distinguer trois ensembles de chenaux.

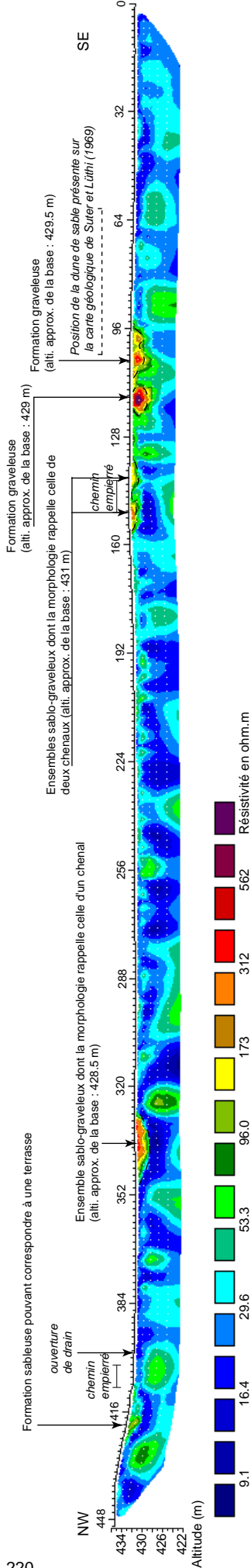
2.4. Rive gauche, aval du site de Marin-Pré de la Mottaz

2.4.1. Thielle-Wavre 911 W

Ce panneau électrique d'orientation NW-SE mesure 376 m. L'acquisition est effectuée avec un dispositif de 189 électrodes (Fig. 4.21).

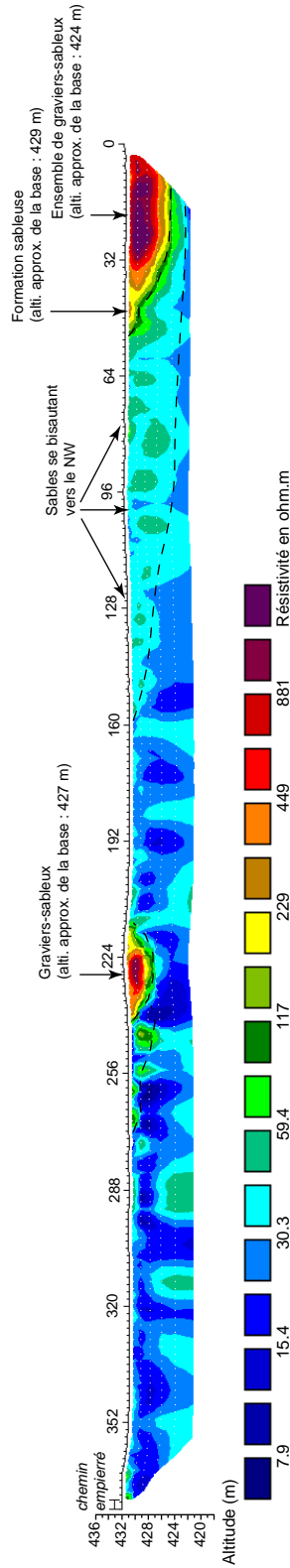
Un premier ensemble dont la résistivité est comprise entre 60 et 881 Ωm environ, indiquant la présence de graviers sableux, se distingue entre 214 et 242 m. Cette formation dont la base se situe vers 427 m a une morphologie de chenal. Un deuxième ensemble de résistivité 59,4 à plus de 881 Ωm est observable au SE de ce panneau entre 0 et 52 m. Il traduit lui aussi l'emplacement d'un ancien chenal dont le fond se situait à environ 424 m. A noter qu'au NW des deux chenaux observés ici, une zone traduisant la présence de sable se développe jusqu'à la surface du sol actuel.

Deux chenaux se distinguent sur ce panneau électrique.



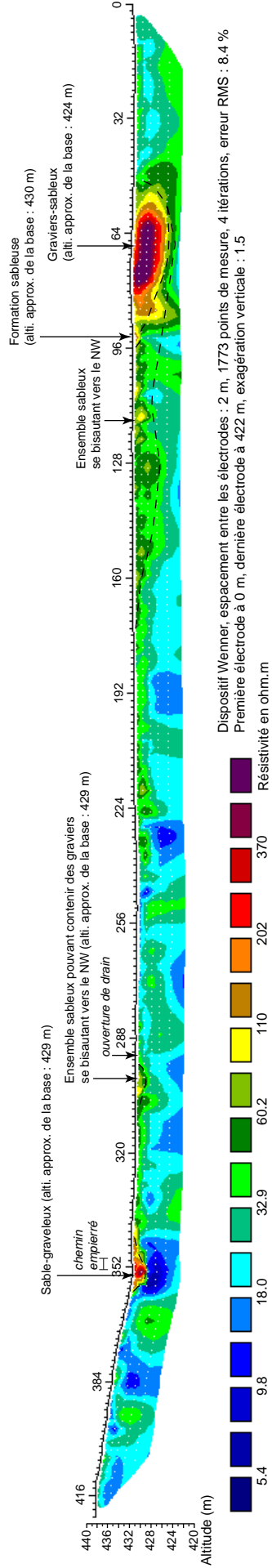
Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 1899 points de mesure, 4 itérations, erreur RMS : 8.8 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 450 m, exagération verticale : 1.5

Fig. 4.20 : Panneau électrique Marin-Ep_3244-2545W_Chemin de la mottaz Est.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 1566 points de mesure, 3 itérations, erreur RMS : 9.8 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 376 m, exagération verticale : 1.5

Fig. 4.21 : Panneau électrique Thielle-Wavre_911 W.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 1773 points de mesure, 4 itérations, erreur RMS : 8.4 %
Première électrode à 0 m, dernière électrode à 422 m, exagération verticale : 1.5

Fig. 4.22 : Panneau électrique Thielle-Wavre_911 centre.

2.4.2. Theille-Wavre 911 centre

Ce panneau électrique se situe le long du transect 911W, il est donc orienté NW-SE. Il mesure 422 m et a nécessité 212 électrodes (Fig. 4.22).

L'ensemble de ce transect présente trois secteurs plus résistants que l'encaissant. Le secteur le plus au NW se situe entre 342 et 360 m. Constitué de sable graveleux, sa base se situe vers 429 m. Le carottage de A911centre.C7 a été bloqué par les graviers de cette formation. Une zone sableuse dont la base avoisine 429 m d'altitude se situe à 298 m de l'électrode 1. Le dernier ensemble résistant de ce panneau se situe entre 50 et 96 m. De résistivité comprise entre 60 et plus de 370 Ω m, il est constitué des graviers sableux qui ont limité la progression des carottes A911centre.C2 et C3. La base de cet ensemble se situe à environ 424 m. Comme sur le panneau 911W, des sables bordent l'ouest de la formation graveleuse.

Ainsi, sur ce panneau électrique se distinguent deux chenaux et une petite zone sableuse dont l'attribution à un petit chenal n'est pas certaine du fait de sa proximité avec une ouverture de drain.

2.5. Rive droite du canal de la Thielle

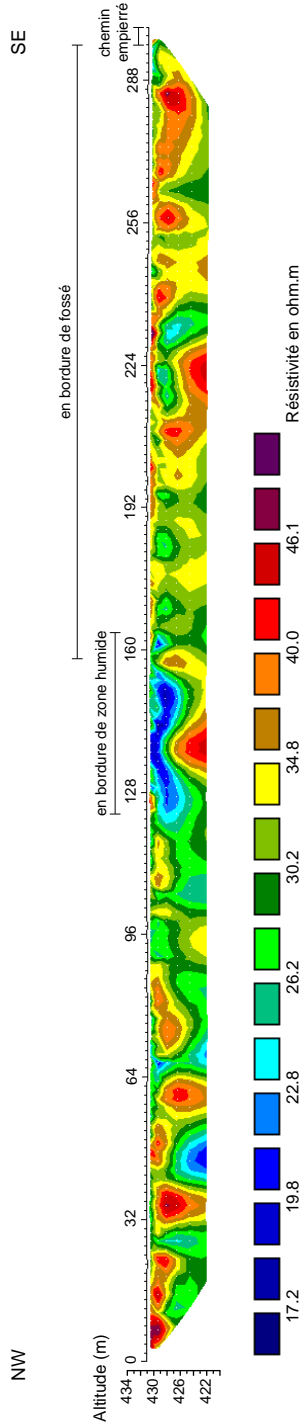
Deux panneaux sont réalisés dans le Seeland bernois : Gampelen NeueZeit et Gampelen Seewald. Le panneau Gampelen NeueZeit se situe au niveau du sondage Berne 1 (Fig. 4.23). Il mesure 300 m de long et son acquisition a nécessité 151 électrodes. Le panneau Gampelen Seewald est quant à lui beaucoup plus restreint puisque 32 électrodes ont suffi à couvrir ses 62 m (Fig. 4.24).

La résistivité observée au sein de ces deux panneaux traduit des lithologies de type limons ou de sables fins ce qui corrobore les observations réalisées dans le sondage Berne 1. A noter la présence d'une zone très conductrice dans le panneau Gampelen NeueZeit qui coïncide avec une zone très humide observée lors de la réalisation de ces mesures, perturbant ainsi les valeurs réelles de résistivité des formations.

3. Cordon littoral et dune

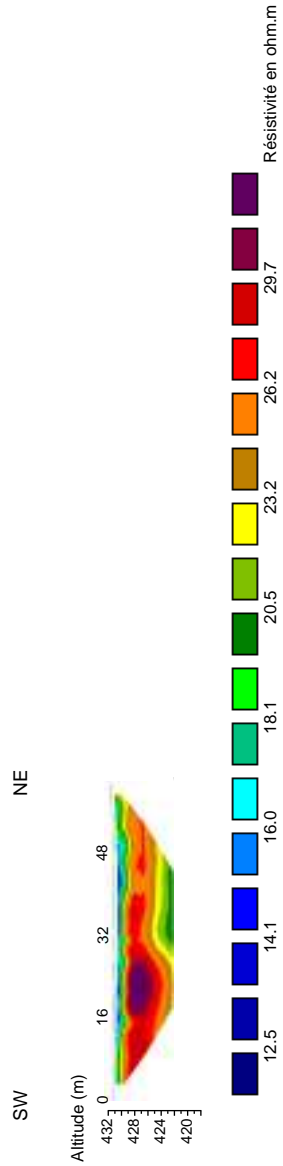
3.1. Cordon littoral

La mise en place de ces cordons littoraux du lac étant encore discutée, il paraît important de faire ici une synthèse de leur position géographique. Leur âge respectif, et leurs corrélations entre les secteurs, seront discutés dans le chapitre 5.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 1224 points de mesure, 3 itérations, erreur RMS : 5.7 %
 Première électrode à 0 m, dernière électrode à 300 m, exagération verticale : 1.5

Fig. 4.23 : Panneau électrique Gampelen_NeueZeit.



Dispositif Wenner, espacement entre les électrodes : 2 m, 153 points de mesure, 3 itérations, erreur RMS : 4.7 %
 Première électrode à 0 m, dernière électrode à 62 m, exagération verticale : 1.5

Fig. 4.24 : Panneau électrique Gampelen_Seewald.

Les observations de cordons littoraux ont été réalisées dans les sondages de quatre secteurs, au sein du site de Marin-Les Piécettes, en périphérie des sites de Marin-Les Piécettes et de Marin-La Tène, et entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz. Leur densité dans les axes est variable. Alors que certains axes, comme l'Axe XIV, n'en recourent aucun, l'Axe XII-Camping1998 en comprend quatre de différentes époques. Lors de la réalisation des carottes, quatre sections de cordons ont pu être entièrement traversées, US1b, PLP17, PLP18 et PLT09, permettant l'observation de l'évolution de leur faciès.

3.1.1. Site de Marin-Les Piécettes

Au sein du site de Marin-Les Piécettes, deux cordons d'âge différent ont été observés.

Le premier cordon, US6, est observé dans les carottes 398-F8, 398-O5, 397-F2, 365-IK1 du transect NW-SE, 3206SE, 2802W. Du fait de sa lithologie, composée de galets, graviers et sables, ce cordon n'a pu être traversé. Son épaisseur est estimée à 50 cm.

Le second cordon, US1b, est traversé par les carottes A1.C5Bis, C7 et C2 (Fig. 3.2, Tab. 3.3), situées au Nord de la route des Marais. Il présente une succession de couches de plus en plus grossières de la base vers le haut (Fig. 4.25). La base est composée de limons sableux qui peuvent être recouverts d'une couche de sable (A1.C7) à laquelle succède une couche de graviers puis une couche de graviers et galets. Ainsi, ces couches ont un granoclassement inverse ce qui prouve une augmentation de l'hydrodynamisme.

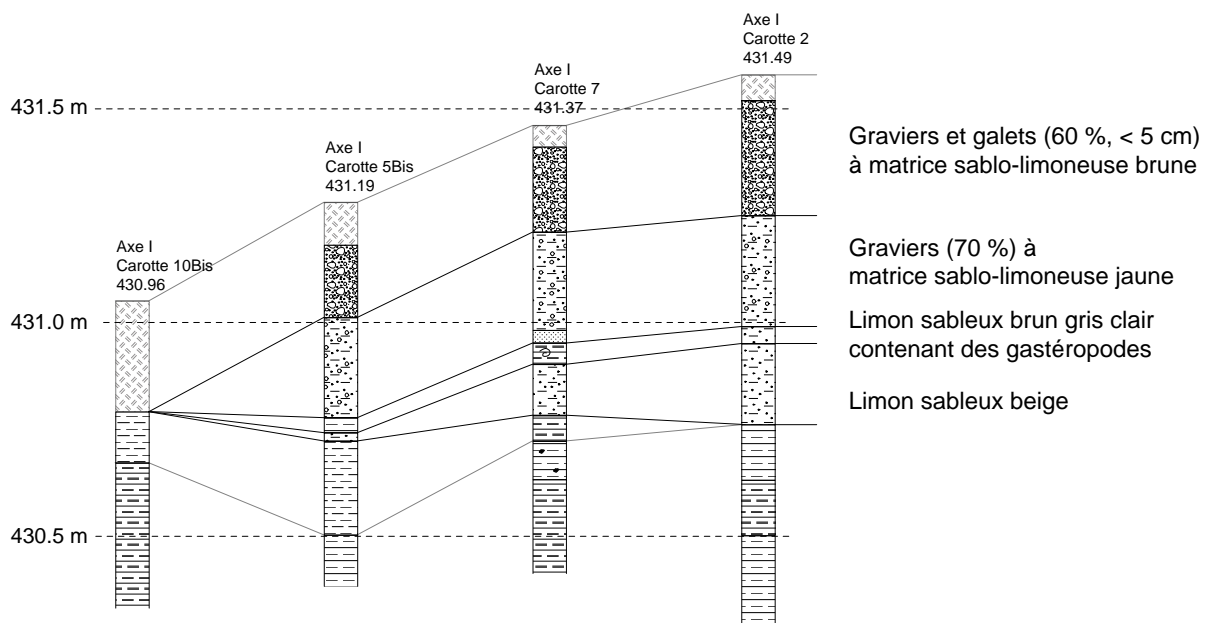


Fig. 4.25 : Carottages traversant le cordon littoral récent lors de la réalisation de l'Axe I.

3.1.2. Périphérie du site de Marin-Les Piécettes

Dans ce secteur, deux cordons littoraux ont été traversés. Le premier, référencé PLP-17 (Tab. 4.2), est traversé par les carottes AII.C12, à C14Bis, AIV.C1 à C3, AVI.C1 à C3, AVIII.C3 et AIX N-S.C1 et C2, (Pl. 2, 5, 7, 4 et 8). Ces carottes sont présentes de part et d'autre de la route des Marais. Il apparaît généralement sous la forme d'un ensemble de graviers sableux, contenant des galets pouvant atteindre 15 cm de diamètre. Cette formation, d'une épaisseur maximale de 75 cm, repose sur la couche de limons bruns et silts jaunes, PLP-16. Le cordon littoral se retrouve de manière diffuse dans les trois carottes de l'Axe V, dans lesquelles des galets et des graviers sont mêlés à la terre végétale.

Le deuxième cordon littoral de ce secteur, PLP-21, se situe dans les bois au niveau des carottes AVI.C9 à C15 (Pl.7). Ce dépôt, dont l'épaisseur maximale ne dépasse pas 20 cm, se trouve entre le limon crayeux le plus récent, PLP-10, et la terre végétale. Les graviers et galets qui le constituent ont pour matrice un mélange de sable et de terre végétale. Par ailleurs, il se situe en amont d'un pavement de plage, PLP-20, observé dans les carottes AVI.C17 et C18. Il formerait alors un monticule en arrière d'une plage. De par sa position stratigraphique, ce cordon est probablement postérieur aux 1^{ère} C.E.J. mais il faudrait d'autres données pour mieux le cerner.

3.1.3. Périphérie du site Marin-La Tène

Dans ce secteur trois cordons ont été repérés et traversés dans différents relevés.

Le premier de ces cordons (PLT-13) est traversé par les stratigraphies S20 à S15 de l'Axe Camping1998, L035 et L036 du transect 3799A, L008 et L009 du transect 3799B et les coupes 3798 et 3802 (Pl. 11, 12, 13, 15 et 18). Les descriptions de cet ensemble précisent que les galets et graviers sont dans une matrice sableuse. Ces sables présentent une alternance oblique de couleur jaune ou grise due à un remaniement par les vagues d'après Reginelli (2007). La base de ce cordon se situe globalement vers 430,20 m, même si des graviers et galets qui lui sont rattachés forment un petit banc qui descend jusqu'à 429,5 m dans la coupe 3798. Son sommet est souvent recoupé par des remblais. Il est toutefois observé entre 431,50 et 431,60 m dans les relevés S20 et S19 du transect Camping1998 et L008 et L009 de 3799B.

Le deuxième cordon (PLT-17) a été observé et traversé dans les relevés Camping1998. S17, S16 et S15, 3799A.L34 à L37, 3799B.L10 à L12 et dans les coupes 3801N et 3802 (Pl. 11, 12, 13, 16 et 18). Légèrement sableux, il est composé principalement de galets et de graviers. Son altitude maximale atteint 431,64 m.

Le troisième cordon observé dans ce secteur (PLT-18) a été traversé dans les stratigraphies

Camping1998.S18 à S21, puis S23 et S24 et dans 3799B.L002 à L009 (Pl.11 et 13). Constituée de galets et de graviers, cette unité culmine à 432,28 m dans le transect 3799B alors que sa base se situe vers 431,20 m. Ce cordon est visible dans le paysage à la lisière nord-ouest du Bois d'Epagnier (Fig. 4.26).



Fig. 4.26 : Photographie du cordon littoral traversé au niveau de l'Axe 3799B.

3.1.4. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz

Dans ce secteur, deux voire peut être trois cordons ont été repérés dans les sondages de l'Axe X. Le plus ancien, LTM-13, fait suite à une phase érosive. Le plus récent (LTM-18) est composé de galets, graviers et sables, limitant la prospection à 70 cm et empêchant de connaître la formation sous-jacente. Il culmine à 434,3 m et est visible dans le paysage. Il est possible qu'un troisième cordon, LTM-17 ?, se situe, décalé vers le sud-est, sous LTM-18.

3.2. Dune de Witzwil

Mme Aleksandra Heer réalisant actuellement une thèse dont le sujet traite des dunes de sable du Seeland à l'Université de Berne, seule la grande dune de Witzwil est étudiée dans ce travail. Une coupe de 4,35 m de hauteur a été dégagée et creusée afin de décrire et prélever les 35 niveaux rencontrés (Fig. 4.27 et 4.28). Deux séries de prélèvements de volume différent (S et M) ont été réalisées et permettent d'avoir au moins un échantillon de tous les niveaux rencontrés. Tous les niveaux ont fait l'objet d'observations en laboratoire afin de compléter celles réalisées sur le terrain. L'analyse granulométrique des niveaux rencontrés a été effectuée. Les rejets de tamis de la fraction 250-500 μm de huit échantillons ont fait l'objet d'observations au microscope électronique à balayage afin de déterminer la morphoscopie des grains de quartz et de repérer d'éventuelles traces de chocs, révélatrices d'un mode de transport éolien. Afin de compléter cette étude, Nigel Thew a réalisé une étude de l'assemblage faunistique, incluant les gastéropodes et les lamellibranches, des 20 niveaux inférieurs de la séquence.



Fig. 4.27 : Coupe et fosse réalisée dans la Witzwil Düne.

a. Partie supérieure de la dune qui a été décapée en escalier, b. Partie inférieure de la dune où une fosse a dû être creusée.

R : racine observée sur les deux photos.

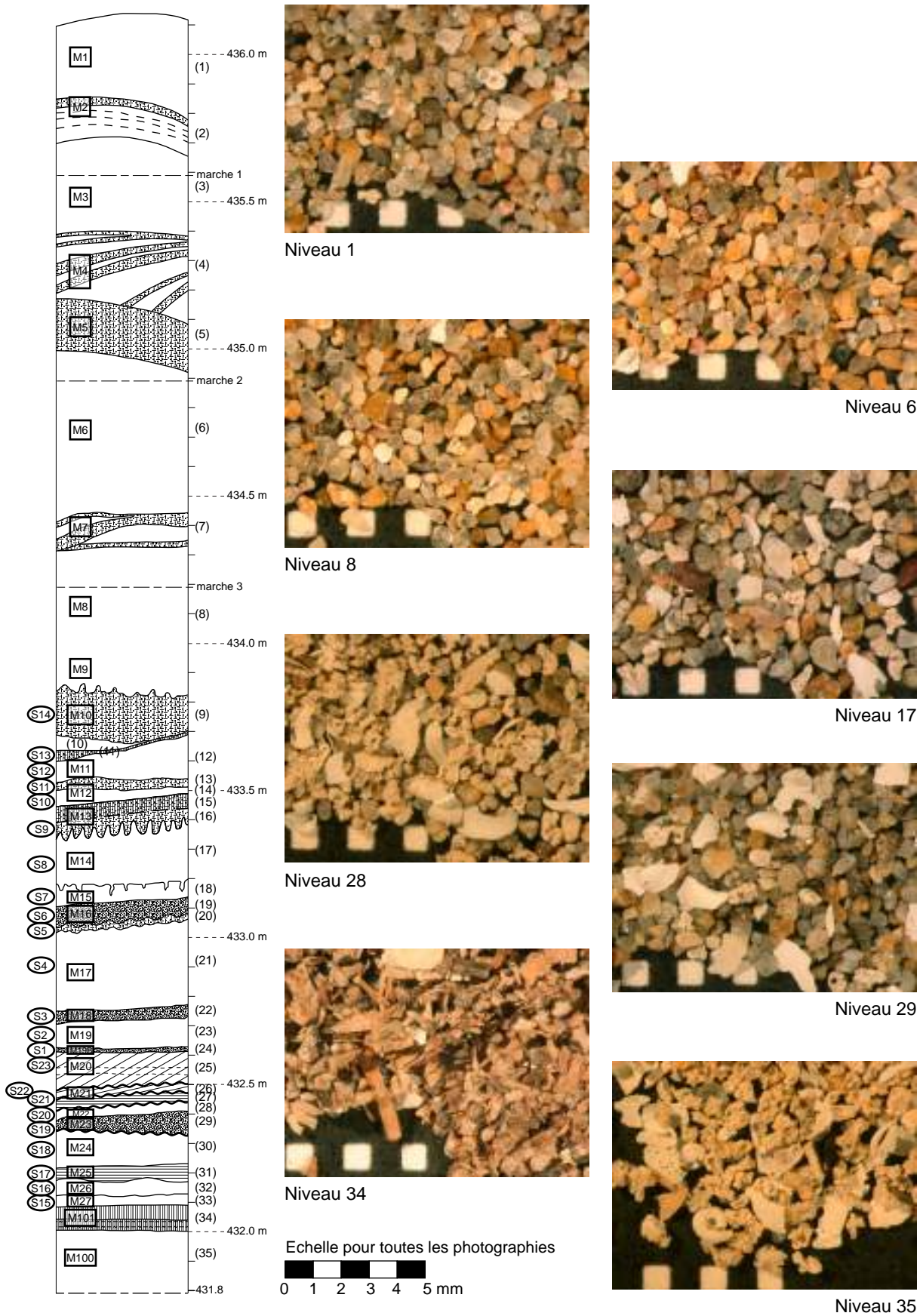


Fig. 4.28 : La séquence sédimentaire échantillonnée au niveau de la grande dune de Witzwil avec quelques photographies d'échantillons. Les numéros des niveaux sont à droite de la stratigraphie entre parenthèses.

3.2.1. Description de la séquence

Les numéros des couches sont indiqués à droite de la séquence entre parenthèses alors que les prélèvements sont à gauche et précédés des lettres S et M (Fig. 4.28). La séquence sédimentaire se présente de bas en haut comme suit :

(35) est un sable fin contenant un grand nombre de débris de coquilles de bivalves et de gastéropodes. Ce sable est constitué de concrétions carbonatées de type chou-fleur et plus rarement de tubes.

(34) limons organiques brun - tourbeux - constitués de restes de roseaux dans lesquels quelques lamines de limons crayeux sont perceptibles. Ces lamines crayeuses sont plus nombreuses à la base de ce niveau dont l'altitude coïncide avec celle de la tourbe qui affleure dans les champs situés au nord-est de la dune, soit 432,10 m pour le toit. Il a été daté par radiocarbone de 663-776 cal AD (Tab. 4.1).

(33) est constituée d'une alternance de limons sableux crayeux clairs et de limons organiques foncés légèrement sableux. Les lamines claires sableuses prédominent dans cette couche. La matière organique est principalement fibreuse et peu décomposée.

(32) et (31) correspondent à une alternance de limons sableux gris et de limons organiques peu sableux et finement lités interrompue par des bancs de sable fin limono-crayeux de 1 cm d'épaisseur. L'observation des grains de sable révèle qu'il s'agit principalement de concrétions carbonatées. Le niveau (32) contient moins de bancs sableux et d'Ostracodes que le (31). Ce dernier contient en plus quelques oogones de Charophytes.

(30) et (29) sont toutes les deux composées d'une alternance de sables fins, sables fins légèrement limoneux et limons organiques sableux. Dans ces deux couches séparées par une surface d'érosion, les sables fins sont les plus fréquents. Ces sables sont principalement composés de concrétions lacustres carbonatées et de débris de coquilles. Quelques Ostracodes sont observés dans ces couches. La couche inférieure (30) présente des structures ondulantes de rides chevauchantes.

(28) est constituée de sable moyen et de fragments de coquilles. Les sables sont ici plus quartzeux que carbonatés. Une valve d'une coquille de moule de 1 cm ainsi que quelques Ostracodes ont été observés. Cette couche semble présenter des traces de litage mais elles ne sont pas très nettes. En revanche, sa base repose clairement sur une surface d'érosion.

Cette couche (28) est recouverte d'une couche de 0,5 cm d'épaisseur constituée de limons organiques bruns contenant quelques sables fins. Cette couche, très fine, n'a pu être prélevée sans contamination par les niveaux limitrophes.

(27) et (26) sont constituées d'une alternance de couches de sables fins et de sables fins limoneux. Les grains de sable sont uniquement des concrétions carbonatées dans la couche (27) alors que des grains détritiques, principalement de quartz, apparaissent dans la couche (28). Quelques Ostracodes ont été observés. Les litages sont horizontaux dans la couche (27) alors qu'ils présentent une inclinaison d'environ 15° vers le SW dans la couche (26).

(25) présente elle aussi une alternance des sables fins limoneux et de sables moyens. Les grains de sable sont ici presque exclusivement détritiques, quartzeux. Les litages obliques observés ont une inclinaison de 30° vers le SW.

(24) présente un granoclassement inverse allant des limons sableux fins gris aux sables fins légèrement limoneux. Cette couche est relativement pauvre en fragments.

(23) et (21) sont des couches de sable moyen à litages horizontaux. Elles contiennent de nombreuses coquilles de bivalves et gastéropodes. La couche (22) observée entre ces deux ensembles est constituée de sable fin un peu limoneux. Elle est donc plus fine que les couches qui l'entourent. Les sables des couches (23) et (22) sont constitués autant par des concrétions carbonatées que par des éléments détritiques alors que la couche (21) est composée presque exclusivement d'éléments détritiques. Les quelques concrétions observées sont de type tube.

(20) est constituée de sable moyen, principalement détritique, contenant un peu de matière organique. Le toit et le mur de cette couche sont irréguliers.

(19) est un sable fin limono-crayeux marquant la présence du lac lors de la mise en place de cette couche. Il est constitué d'éléments détritiques mais aussi de petites concrétions carbonatées.

(18) est constituée de sable fin limoneux contenant quelques débris de coquilles et des Ostracodes. Le sable est composé majoritairement de concrétions calcaires.

(17) repose sur une surface d'érosion et présente un granoclassement normal caractérisé par le passage de sables moyens-grossiers à la base à des sables moyens-fins au sommet. Les sables sont constitués principalement de grains détritiques même si quelques concrétions carbonatées sont observables. Les coquilles sont très fragmentées.

(16) et (15) sont des limons bruns plus (15) ou moins (16) riches en matériel organique. L'irrégularité de la base de la couche (16) est due à d'anciennes racines qui se sont développées dans la partie supérieure de la couche 17. La concentration en grains carbonatés est presque nulle dans le niveau (16).

(14) à (1) sont composées de sables fins à moyens contenant quelques coquilles. Les couches 14, 7, 5, 4 et 2 ont en plus une phase limono-argileuse brune légèrement organique. Les sables sont constitués presque exclusivement de grains d'origine détritique.

En conclusion de cette description, il apparaît que les couches de cette coupe se sont déposées dans deux environnements bien distincts. Les formations inférieures (35 à 15), constituées de limons tourbeux et de sables carbonatés, ont nécessité la présence d'eau pour se former. Ainsi, le lac de Neuchâtel est à l'origine de ces dépôts qui ont changé au cours du temps en fonction des variations du niveau du plan d'eau. Les formations supérieures n'étant constituées que de sables détritiques fins à moyens, leur origine ne nécessite pas la présence du lac pour leur mise en place. La morphologie générale de la dune de sable et des couches qui constituent la partie supérieure de cette coupe, permet d'envisager une origine éolienne. Cette hypothèse reste à confirmer par une analyse granulométrique et l'observation au M.E.B. des grains qui constituent ces dépôts.

3.2.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est réalisée en laboratoire sur toutes les couches prélevées. Ce travail permet de qualifier la granulométrie des couches rencontrées et d'observer l'évolution de ces dernières, puis de regrouper les niveaux granulométriquement semblables. Ce qui nous intéresse ici étant la taille des particules transportées ou reprises par différents agents de transport, les carbonates n'ont pas été détruits puisque, d'origine lacustre, ils peuvent aussi être repris et transportés.

- qualification des échantillons

Selon la classification de l'U.S.D.A. (1975), les échantillons se répartissent entre les pôles limon et sable (Fig. 4.29 et 4.30). La couche tourbeuse (34) et les trois couches qui lui succèdent (33, 32 et 31) se distinguent par leur finesse puisqu'elles sont qualifiées de limon très fins et limons fins. Les autres couches, plus grossières, sont comprises dans les sables limoneux ou dans les sables. Ces couches plus grossières semblent former des groupes, comme lors de la description de la séquence.

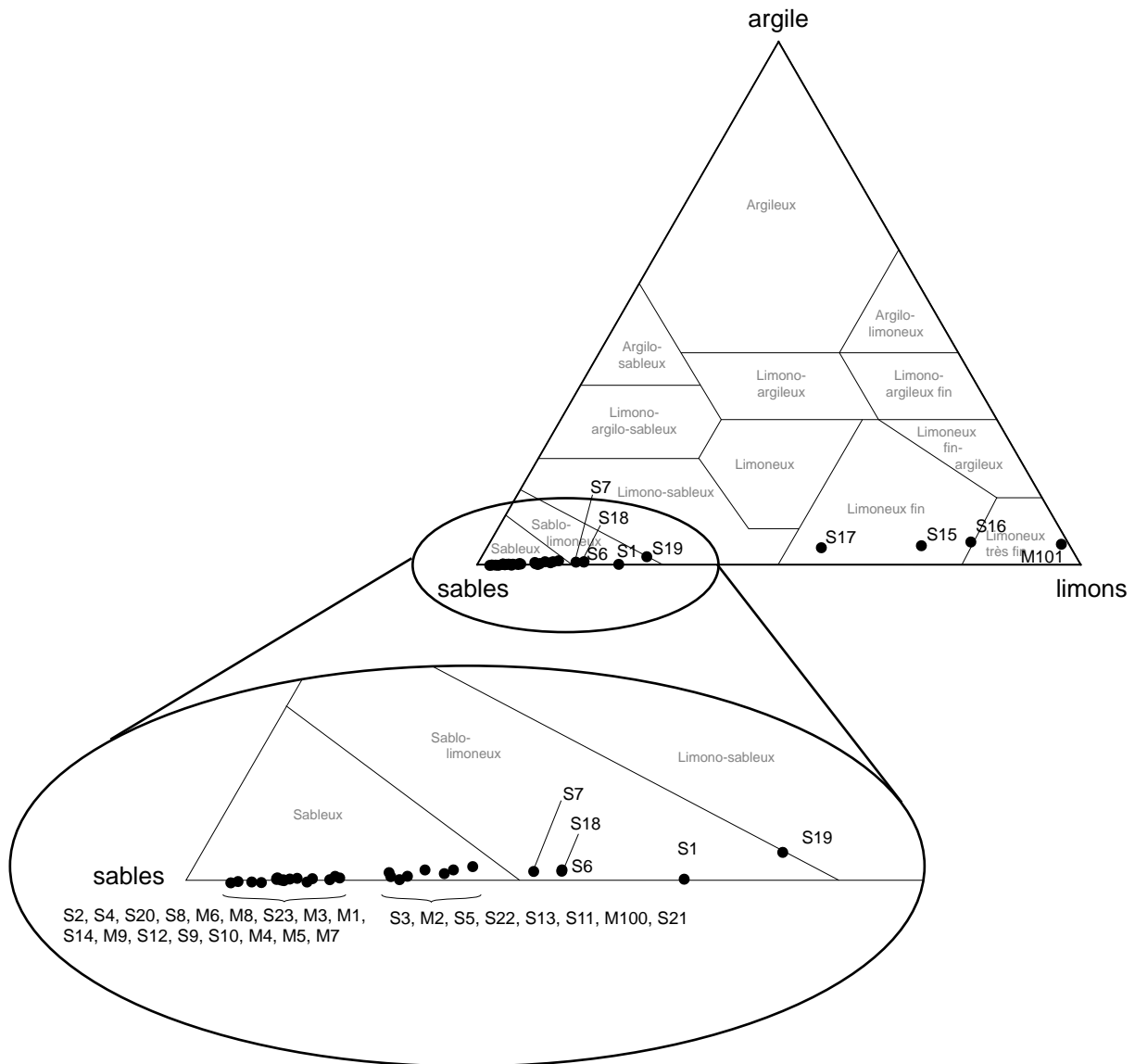


Fig. 4.29 : Diagramme triangulaire des textures pour les fractions fines selon l'U.S.D.A. pour les échantillons de la Witzwil Düne.

- évolution granulométrique (Fig.4.30 et 4.31)

La courbe granulométrique du niveau 35 présente deux modes, le plus important à 3Φ (sables fins) et un plus modeste à 8Φ (limons moyens). La couche tourbeuse 34 est caractérisée par un seul mode à 8Φ et un tri faible des particules puisqu'elles s'étalent entre les argiles et les limons grossiers, ce qui marque un milieu hydrodynamiquement faible. Les dépôts 33, 32 et 31 sont mal triés et présentent plusieurs modes à 8Φ (limons moyens), à 6Φ (limons grossiers) et à 4Φ (sables fins). Ce dernier mode est de plus en plus important et devient le mode principal ($\sim 60\%$) de la couche 30 qui présente un second mode à 8Φ beaucoup plus restreint ($\sim 5\%$). La couche 29 est similaire aux couches 33, 32 et 31 puisqu'elle a un mode à 4Φ et deux modes plus petits à 6 et 8Φ . La couche 28 présente un unique mode très bien

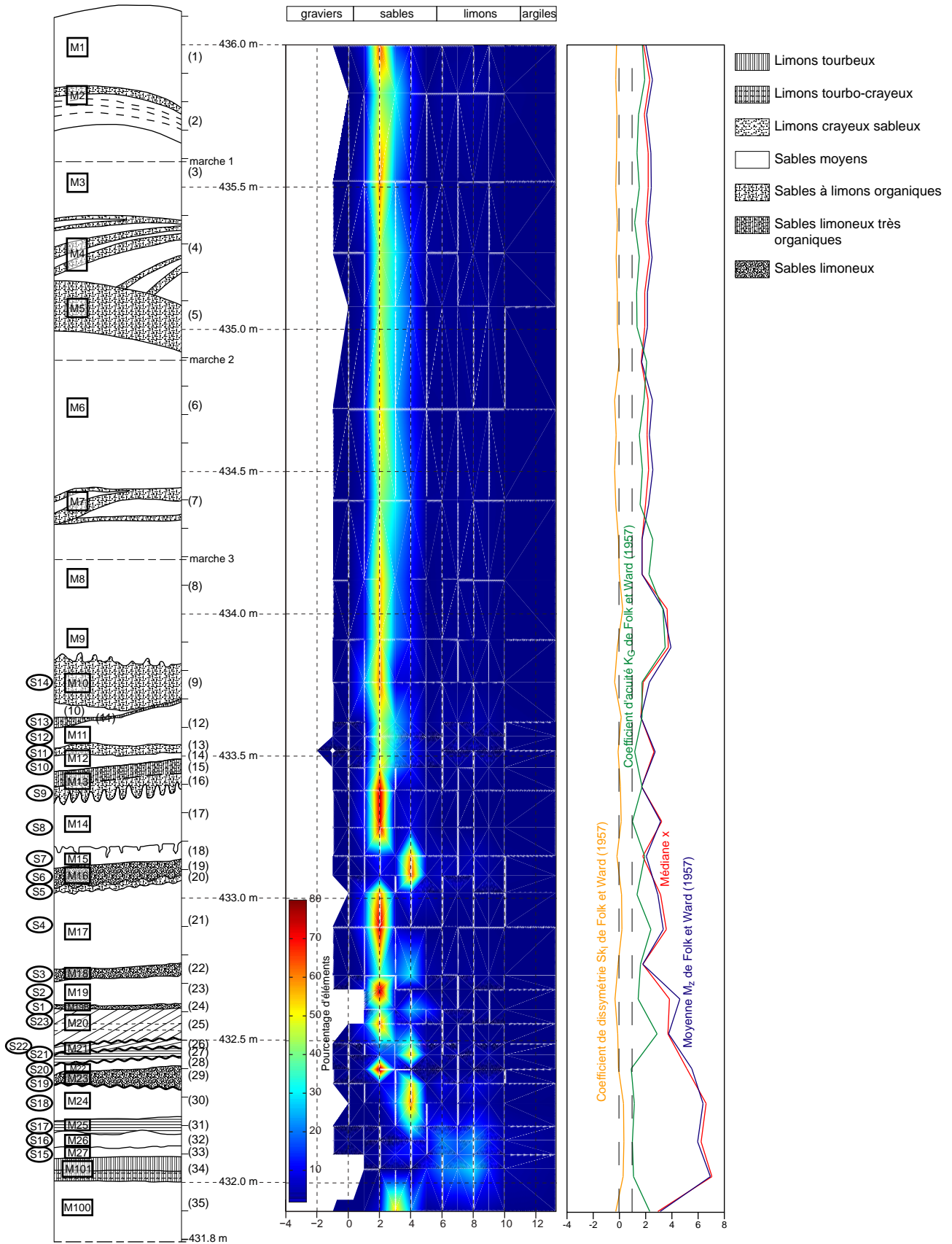


Fig. 4.30 : Evolution granulométrique de la séquence sédimentaire échantillonnée au niveau de la grande dune de Witzwil. Les numéros des niveaux sont à droite de la stratigraphie entre parenthèses.

trié à 2Φ (sables moyens) qui représente plus de 80 % des particules constituant cette couche. Les couches suivantes 27, 26, 25 et 24 présentent un mode à 4Φ et un à 2Φ . L'importance de chacun de ces deux modes varie : dans les couches 27 et 26 les éléments fins sont prépondérants (respectivement 57 et 39 %) et, dans la couche 25 ce sont les éléments grossiers (62 %) et dans la couche 24 ils sont à 30 % pour 4Φ et 40 % pour 2Φ . Les trois couches qui suivent ont une répartition granulométrique semblable à des couches déjà observées. Ainsi, les couches 23 et 21 ont les mêmes caractéristiques granulométriques que la couche 28 et la couche 22 est similaire à la couche 24. La couche 20 est bimodale avec un mode à 2Φ qui représente plus de 60 % des éléments de cette couche et un moindre à 4Φ . Cette répartition est semblable à celle de la couche 25. Les couches 19 et 18 présentent, quant à elles, un mode important à 4Φ (respectivement 70 et 60 %) ainsi que des éléments plus fins et plus grossiers. Les couches 17 et 16-15 ont une granulométrie comparable avec un mode à 2Φ (sables moyens) qui représente plus de 70 % de l'échantillon et un à 4Φ (sable fin) voisin de 10 %. Toutes les couches supérieures (14 à 1) ont une composition granulométrique semblable avec un seul mode à 2Φ (sables moyens) compris entre 44 % (niveau 7) et 66 % (niveau 1). Ce mode présente une légère dissymétrie négative liée à la présence de sables fins (4Φ , ~ 10 % des particules) et sables fins à moyens (3Φ , ~ 20 % des particules).

L'analyse granulométrique confirme les deux ensembles visualisés lors de la description de la coupe. Les couches de la base de la coupe (35 à 15) présentent une granulométrie hétérométrique (Fig. 4.31). Elles sont le plus souvent bimodales (35, 30, 27, 26, 25, 24, 22, 20, 17 et 16-15) ou plurimodales (33, 32, 31, 29) traduisant une origine multiple des éléments. La couche tourbeuse 34 ne présente qu'un seul mode avec une courbe platikurtique indiquant un mauvais tri des particules. En revanche, les autres couches unimodales (28, 23, 21) présentent, elles, une courbe granulométrique pouvant être qualifiée de très leptokurtique traduisant un tri très important des particules comme cela est possible dans la zone de déferlement de vagues. Les couches 19 et 18 se rapprochent des dépôts unimodaux leptokurtiques même si elles présentent quelques particules qui se répartissent de chaque côté du mode principal sans former elles-mêmes un nouveau mode. Tous ces changements granulométriques sont à relier à des modifications de l'hydrodynamisme qui peuvent traduire des variations altitudinales du niveau du plan d'eau. La partie supérieure (14 à 1), par contre, est beaucoup plus homogène avec un seul mode à 2Φ et la présence d'éléments à 3Φ qui sont absents de toutes les couches inférieures en dehors de la couche 35 (Fig. 4.30).

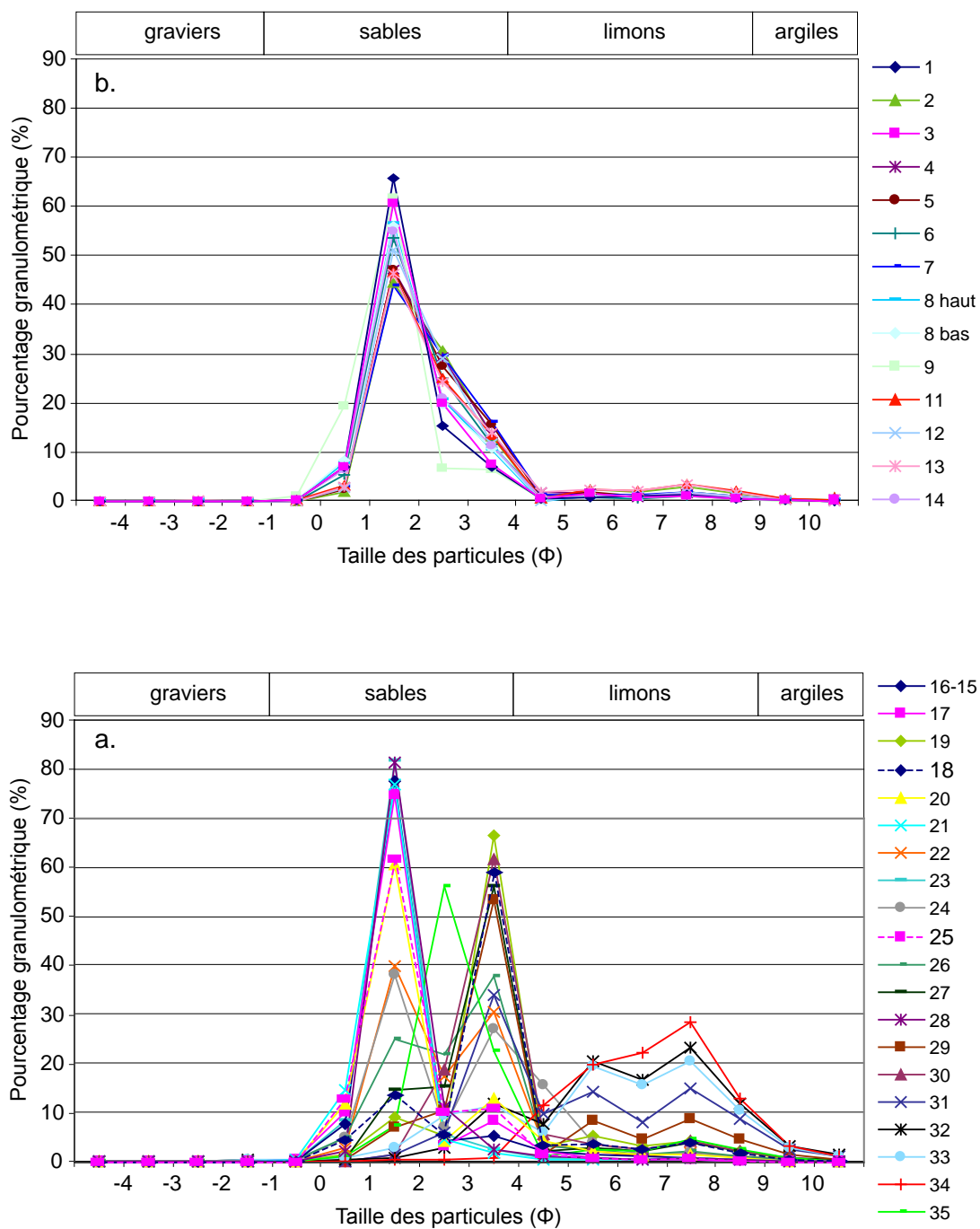


Fig. 4.31 : Courbe de fréquence granulométrique des échantillons de la dune de Witzwil.
 a. bas de la séquence (niveaux 35 à 15) ;
 b. du haut de la séquence (niveaux 14 à 1).

- exoscopie de quartz

Afin de vérifier l'hypothèse du mode de mise en place des deux ensembles séparés précédemment, à savoir sédimentation en environnement lacustre pour la partie inférieure de la coupe et éolien pour la partie supérieure, les grains des rejets de tamis, et plus particulièrement les grains de quartz de huit échantillons sont observés au M.E.B. Ils proviennent des couches 35, 17 et 16-15 de la base et des couches 14, 8, 6, 5 et 3 du haut de la séquence (Fig. 4.32).

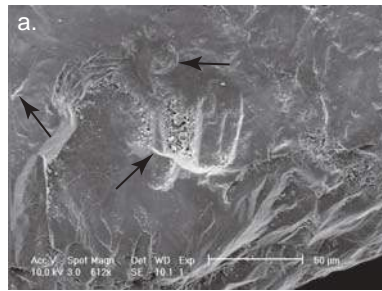
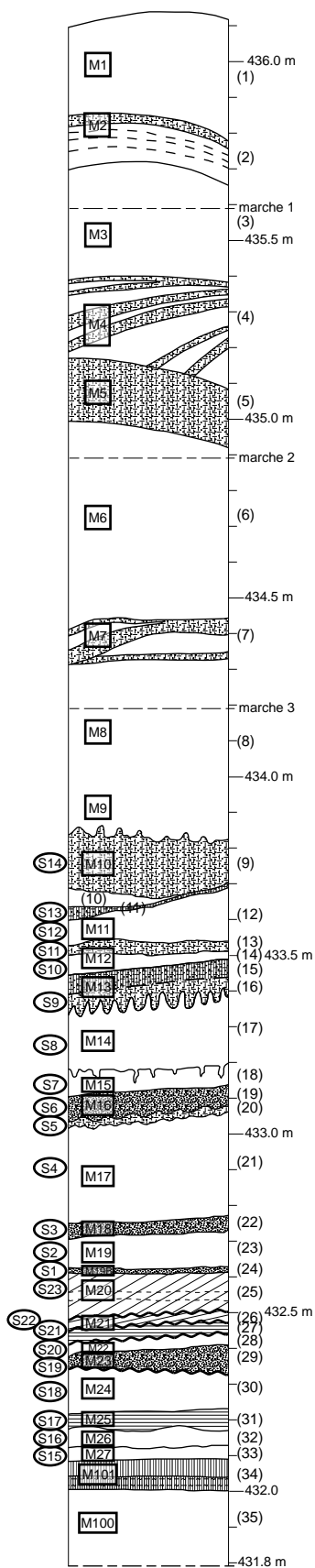
D'un point de vue général, la base de la séquence est constituée de concrétions calcaires lacustres et de grains de quartz plus rares. Selon la classification morphoscopique des quartz de Le Ribault (1977), les quartz observés sont émoussés et sales. A l'opposé, les échantillons de la partie supérieure de la séquence sont constitués presque uniquement de grains de quartz non-usés. A noter tout de même l'observation, dans la couche 3, d'une oncolithe en partie cassée dont le nucléus est un grain de quartz (Fig. 4.32).

Les faces planes des grains de quartz sont observées afin de déceler des traces de choc qui pourraient traduire un mode de transport récent. Les grains de quartz des échantillons provenant des couches inférieures de la séquence (35, 17, 16-15) ne présentent aucun impact. Les grains de la couche 14 n'étant pas très propres, seules les arêtes ont pu être observées. Considérées comme plus fragiles, elles ne sont pas prises en compte ici. Les faces planes des grains de quartz provenant des échantillons de la partie supérieure (8, 6, 5, 3) présentent des traces de choc en V et plus rarement de cupules. Ces marques de choc à contour très franc et anguleux sont typiques d'un transport éolien (Le Ribault, 1977).

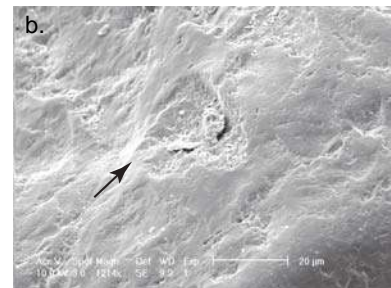
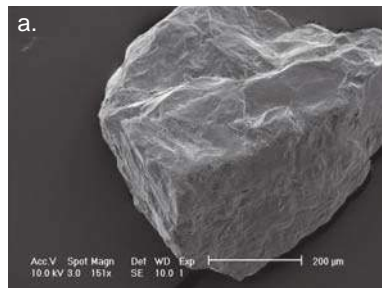
Ainsi, les observations réalisées au M.E.B. apportent des éléments qui tendent à valider l'hypothèse des deux modes de mise en place des sables de la dune de Witzwil. La base présente des éléments d'origine lacustre alors que les couches supérieures ont une origine éolienne. D'après Le Ribault (1977), le fait que les grains de la partie supérieure sont non-usés et non-mats ou émoussés-luisants, indique que le transport éolien a été faible. Ce transport est toutefois attesté par l'observation des traces de chocs. La présence de concrétions calcaires et de quelques grains de quartz sales est à relier au matériel à disposition lors de la confection de la dune c'est-à-dire les plages du lac de Neuchâtel.

- étude de l'assemblage faunistique

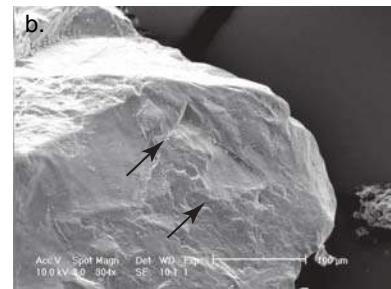
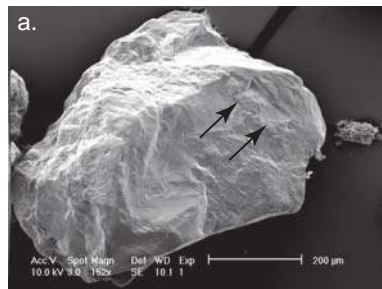
La reconnaissance des gastéropodes et des lamellibranches est réalisée par N. Thew à partir des rejets de tamis des fractions granulométriques 500 µm, 1 mm et 2 mm. Cette étude ayant pour but de compléter l'analyse granulométrique, dans un premier temps, elle affine les environnements de dépôts de la base de la séquence sédimentaire. Ensuite, l'assemblage



Niveau 3 : a. V de choc éolien, b. oncolithe avec un grain de quartz au centre.



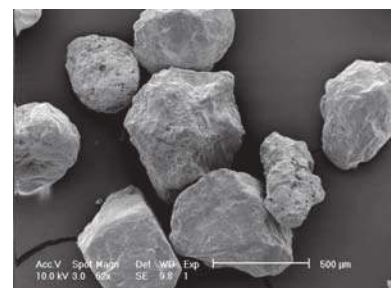
Niveau 6 : a. quartz non-usé, b. trace de choc en V



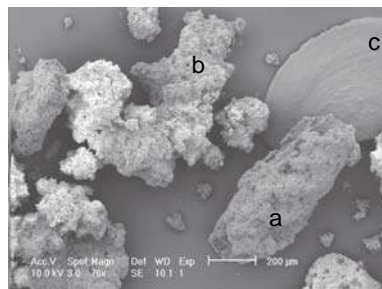
Niveau 8 : a. quartz non-usé avec des traces de chocs en V, b. zoom de a.



Niveau 14 : grain de quartz non-émoussé sale.



Niveau 16 : grains de quartz un peu émoussés et sales.



Niveau 35 : concrétions calcaires de type tube (a) et chou-fleur (b) et une coquille (c).

faunistique doit confirmer la tendance sédimentaire du passage d'un environnement lacustre à une influence éolienne entre les niveaux 14 et 15. C'est pourquoi cette étude, réalisée selon le principe de présence/absence des espèces, a été centrée principalement sur la base de la séquence et continuée jusqu'à l'obtention d'un assemblage témoignant d'un environnement émergé.

Pour préciser au mieux les environnements de dépôts, la présence d'Ostracodes est reportée pour les couches concernées. Enfin, la qualité de conservation des coquilles est notée pour chaque couche mais aussi pour les espèces d'une même couche si des différences sont observées.

Parmi les espèces reconnues, aucune n'est caractéristique d'un environnement lacustre profond, confirmant les faibles tranches d'eau déduites de l'analyse granulométrique. Pour l'évolution des environnements de dépôts, l'assemblage confirme des variations entre les échantillons M101 (niveau 35) et S10 (niveau 14 ; Fig. 4.33).

M101 : l'assemblage caractérise un milieu lacustre pur. Les espèces retrouvées sont inféodées à un milieu lacustre net, des eaux stagnantes ou avec un courant modéré. Seule une espèce, strictement limitée aux rivages des lacs, est présente.

M100 : aucune espèce n'est retrouvée. La description et l'analyse granulométrique de cette couche ont attesté la présence de tourbe, donc d'un environnement émergé.

S15 : dans cette couche, sont présentes des espèces de lac, de littoral et de marais. L'ensemble des coquilles présente une bonne conservation sans perforation. Le milieu de dépôt est donc un milieu calme de faible profondeur.

S16 : le nombre d'espèces liées à un environnement lacustre est plus important alors que subsiste une seule espèce de marais. La conservation des coquilles est toujours bonne, sans perforation. De rares Ostracodes sont reconnus dans cette couche. Tous ces éléments attestent d'une légère augmentation du niveau du lac, sans fluctuation.

S17 : ce niveau se caractérise par des coquilles à conservation différente selon les espèces. Les coquilles bien conservées et ne présentant pas de perforation sont celles qui caractérisent un milieu lacustre. Par ailleurs, un plus grand nombre d'Ostracodes est trouvé. Ces éléments indiquent une augmentation du niveau lacustre. Mais, la présence d'espèces terrestres, dont les coquilles sont mal conservées, atteste d'une pollution terrestre pouvant être liée à des fluctuations du lac au sein du niveau 17.

S18-19-20 : les espèces sont majoritairement lacustres et les coquilles sont moins bien conservées, pouvant même être fragmentées. Les Ostracodes sont présents dans ces

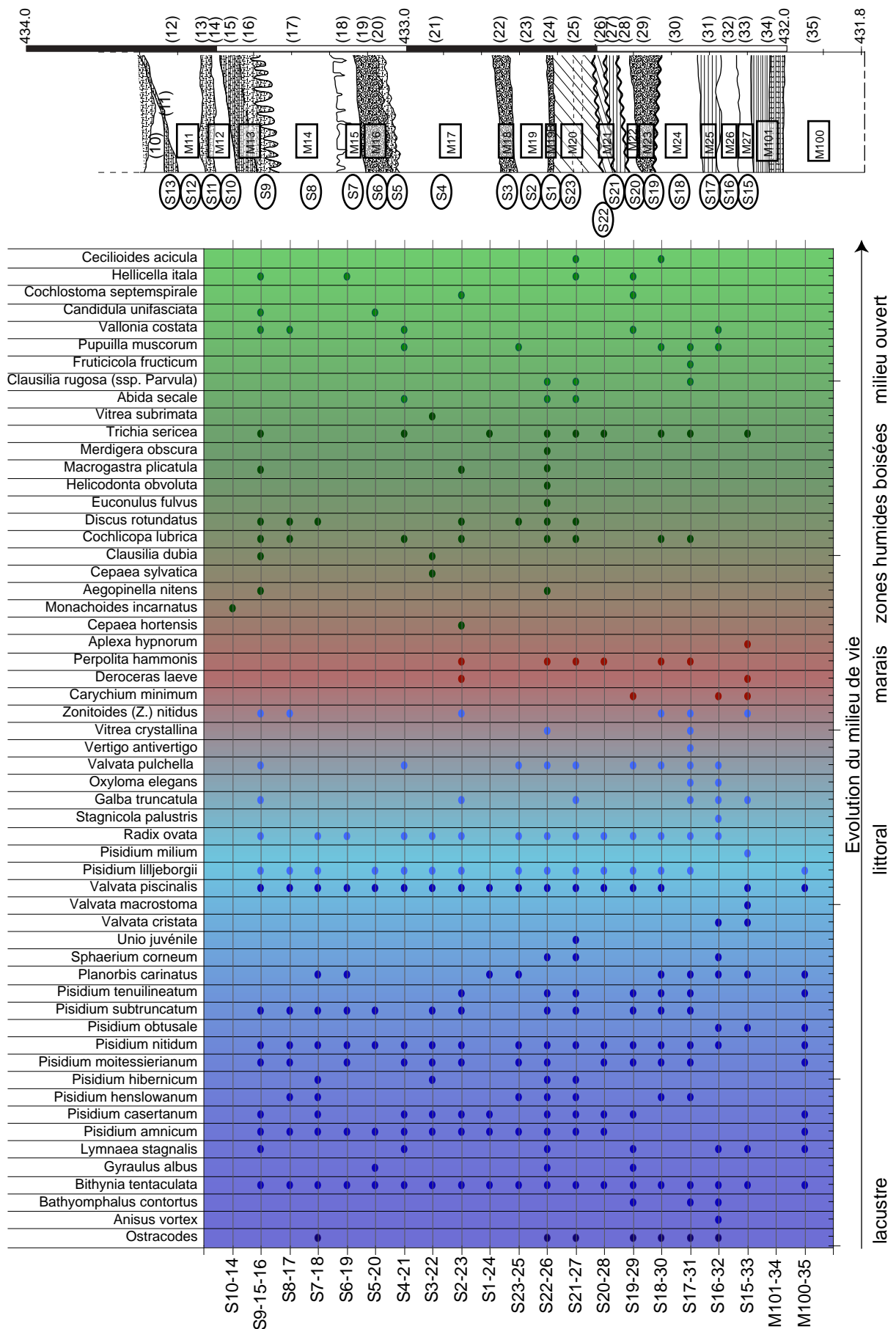


Fig. 4.33 : Evolution de l'assemblage faunistique entre les niveaux 35 et 14 de la séquence sédimentaire échantillonnée au niveau de la grande dune de Witzwil.

trois échantillons. Le niveau du lac augmente par rapport au niveau 17 et semble se stabiliser, avec néanmoins des fluctuations dans le niveau 19, entraînant une pollution d'espèces liées essentiellement à des milieux terrestres ouverts.

S21-22 : ces deux échantillons se caractérisent par une richesse spécifique lacustre et terrestre. Des Ostracodes sont présents et en grand nombre dans l'échantillon S21. Ces assemblages indiquent une tendance à l'approfondissement puis à la baisse du niveau du lac en S22, qui revient alors au niveau du groupe précédent. Cette variation du niveau du lac est accompagnée de fluctuations, entraînant une fragmentation des coquilles. De plus, l'échantillon S21 se caractérise par la présence d'un *Unio* juvénile, confirmant que l'enrichissement des espèces terrestres est dû à des fluctuations du niveau du lac et à la légère augmentation de l'épaisseur de la tranche d'eau.

S23-1 : l'assemblage est constitué majoritairement par des espèces lacustres, avec néanmoins une absence d'Ostracodes. Le niveau moyen du lac est alors semblable au S22, voire légèrement moins haut, comme l'atteste l'absence d'Ostracodes. Par ailleurs, les fluctuations sont moins importantes. L'échantillon S1 est trop pauvre pour confirmer cette tendance.

S2-3-4 : ces échantillons se composent d'espèces lacustres et terrestres dont les coquilles apparaissent fragmentées et roulées. S2, similaire à S22, témoigne de fluctuations du niveau du lac. S3 semble plus calme, et l'assemblage des espèces lacustres indique qu'il a la même profondeur que S2 lors des périodes de hautes eaux. S4 subit à nouveau des fluctuations, entraînant une augmentation des espèces terrestres.

S5-6-7 : l'omniprésence des espèces lacustres semble indiquer une élévation du niveau du lac. Néanmoins, l'absence d'Ostracodes en S5 et S6 incite à penser qu'il s'agit d'une période pendant laquelle le niveau du lac fluctue peu et dont sa profondeur reste identique à ce qu'elle était en S2-3-4. Seul l'échantillon S7, contenant quelques Ostracodes, peut marquer une légère élévation du niveau du lac.

S8-9 : l'assemblage est à nouveau caractérisé par la présence d'espèces lacustres et terrestres. Néanmoins, S9 se distingue de S8 par un enrichissement des espèces de littoral et terrestres. Ainsi, ces deux couches indiquent une période de fluctuations du niveau du lac et l'assemblage de S9 témoigne d'une diminution du niveau par rapport à S8.

S10 : cet échantillon est caractérisé par une seule espèce inféodée à un milieu terrestre de forêt humide et par conséquent par une absence totale d'espèces lacustres. La pauvreté de cet échantillonnage rappelle alors le niveau 34 (échantillon M100), indiquant une émergence.

4. Conclusion

Au total, 28 coupes et transects ont été réalisés et étudiés dans la zone exutoire du lac de Neuchâtel, en complément des observations faites lors de l'étude du site de Marin-Les Piécettes. Ces relevés se répartissent au sein des cinq secteurs d'étude. La corrélation des formations recoupées est réalisée au sein de chaque secteur. Le premier comprend neuf transects et se situe en périphérie du site de Marin-Les Piécettes (PLP). La séquence sédimentaire observée correspond à celle du site de Marin-Les Piécettes. A noter que seul l'Axe VI présente une variation latérale de faciès. En effet, une alternance de limons gris clair carbonatés et de limons brun foncé organiques passe progressivement à une couche homogène de limons carbonatés en se rapprochant du lac. Deux petites couches archéologiques (PLP-05b et 05d) ont été mises au jour et datées de 3770-3620 cal BC. Des ensembles sédimentaires particuliers ont pu être observés : le niveau de sable PLP-09 attribué soit à une plage soit à un remplissage de paléo-chenalX et des ensembles graveleux constituant deux cordons littoraux bien distincts. D'un point de vue archéologique, les observations réalisées au sein de ce secteur permettent de délimiter le site de Marin-Les Piécettes. Le secteur en périphérie du site de Marin-La Tène (PLT) comprend neuf coupes et transects. Ces relevés font apparaître quatre paléo-chenaux de la Thielle moyenne et trois cordons littoraux qui s'intercalent dans la séquence sédimentaire lacustre. Le secteur entre les sites de Marin-Les Piécettes et Marin-La Tène (LTM) comprend sept séries d'observations. En plus des quatre paléo-chenaux découverts sur le site de Marin-Pré de la Mottaz par N. Plumettaz et N. Thew, deux autres ont été mis au jour le long de l'Axe X et un dernier sur le site de Marin-Prébit. De plus, trois cordons littoraux ont été observés. Le secteur aval de Marin-Pré de la Mottaz comprend un seul transect de 7 carottages. Certains ont traversé une séquence sédimentaire uniquement lacustre alors que d'autres ont recoupé des niveaux sableux ou gravelo-sableux d'origine fluviale. Le dernier secteur d'étude regroupe onze sondages en rive droite du canal de la Thielle, réalisés afin de vérifier les observations de Lüdi (1935). En complément, neuf panneaux électriques ont été effectués afin d'inventorier et de décrire les paléo-chenaux et les cordons littoraux. Par ailleurs, la dune de sable de Witzwil a fait l'objet d'une étude qui a permis de déterminer son mode de mise en place et ainsi de découvrir qu'elle s'est formée au-dessus d'un cordon littoral sableux.

Toutes ces données doivent être confrontées et discutées afin de réaliser des corrélations inter-secteurs de la zone exutoire. Celles-ci permettront de proposer des altitudes pour le niveau moyen du lac de Neuchâtel à différentes périodes et aussi de retracer l'évolution de la zone exutoire, en repositionnant chronologiquement et géographiquement les chenaux et les cordons littoraux.

5. SYNTHÈSE ET DISCUSSION

5. SYNTHÈSE ET DISCUSSION

1. Chronologie de la zone exutoire du lac de Neuchâtel

Grâce aux descriptions lithologiques et aux analyses sédimentaires des prélèvements des coupes et des sondages réalisés complétées par les résultats de l'étude de la résistivité reconnue par tomographie électrique dans les différents secteurs, il est possible de proposer des corrélations inter-secteurs de la zone exutoire. Une synthèse chronologique des événements peut être résumée sous la forme du tableau 5.1, dans lequel est proposée une séquence-type pour la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Les données, leurs corrélations ainsi que leur interprétation environnementale menant à cette synthèse sont récapitulées ci-dessous. Afin de mieux se repérer dans l'espace, une succession de cartes permet de retacer chronologiquement la mise en place des cordons littoraux et des cours de la Thielle moyenne (Fig. 5.1a et b).

En s'appuyant ensuite sur les variations lithologiques et la géométrie des corps sédimentaires, les altitudes moyennes atteintes par le lac de Neuchâtel peuvent être proposées. Pour ce faire, il faut émettre l'hypothèse, qu'avant les C.E.J., les variations annuelles naturelles du lac ont toujours été du même ordre que celles observées entre 1817 et 1868 soit 2,40 m entre les niveaux minimal et maximal, et 1 m entre les niveaux minimal et moyen. De plus, comme il apparaît sur la figure 3.24, les dépôts de tourbe, de sable et de graviers sont considérés comme représentatifs du niveau moyen du lac alors que les limons crayeux sont toujours recouverts d'eau, quelle que soit la saison. L'altitude du niveau moyen du lac, lors de la mise en place de ces dépôts crayeux, est calculée par ajout d'environ 1,30 m à la cote de leur toit. Par ailleurs, les concrétions de type "oncolithe" caractérisent des zones proches de la rive. De même, dans les craies lacustres grossières, la fréquence des tests de mollusques augmente près du rivage. Enfin, la géométrie des corps sédimentaires apporte des éléments quant au niveau du lac. Les reconstitutions présentées ici ne sont que des approximations qui doivent tenir compte des incertitudes liées aux hiatus et surfaces d'érosion qui affectent la géométrie des corps sédimentaires et qui n'ont pas toujours pu être observés. Enfin, des différences de compactions ont pu intervenir depuis la mise en place des dépôts.

Phases observées	Enregistrements sédimentaires	Dates	Phases observées dans les différents secteurs d'étude					
			M-Piec	PLP	PLT	LTM	AM	Rive droite
40	Canaux anthropiques observés						LTM-22	
39	Petit cordon lié au pavement de plage	entre 1878 et 1956	PLP-21					
38	Pavement de plage	entre 1878 et 1956	PLP-20					
37	Dépression anthropique sur le site de Marin-La Tène			PLT-19				
36	Cordon littoral formant un relief dans le paysage	pré 1 ^{ère} C.E.J.		PLT-18			LTM-18	
35	Cordon littoral	pré 1 ^{ère} C.E.J.	M-Piec-12	PLP-17			PLT-17	
34	Limons sableux jaunes	pré 1 ^{ère} C.E.J.	M-Piec-11	PLP-16			PLT-16	
33	Chenal 5 du site de Marin-Pré de la Mottaz	XIII ^e au XV ^e -XVI ^e siècle						
32	Chenal 4 du site de Marin-Pré de la Mottaz	XI ^e et XII ^e siècle						
31 même phase ?	Chenal du site de Marin-Prébit	620-780 cal AD						
	Chenal du site de Marin-La Directe	530-680 cal AD						
	Chenal 3 du site de Marin-Pré de la Mottaz	670-990 cal AD						
30	Réactivation du chenal 2 de Marin-La Tène - Les Monates ?	=> milieu du II ^e siècle						
29	Chenal profond - idem Cornaux-Les Sauges ?	150-60 av. J.-C. ?					LTM-15	
28c	Chenal 2 du site de Marin-La Tène - Pont Vouga ?	200-140 av. J.-C.		PLT-14				
28b	Chenal 2 du site de Marin-La Tène - Pont Vouga ?			PLT-14				
28a	Chenal 2 du site de Marin-La Tène - Pont Vouga ?	260-140 av. J.-C.		PLT-14				
27	Cordon littoral - Site de Marin-La Tène			PLT-13			LTM-13	
26	Chenal 1 du site de Marin-La Tène - Pont Desor	~ 650 av. J.-C.		PLT-12				
	Erosion							
25	Alternance de limons crayeux et de limons organiques		M-Piec-10b				LTM-10b	AM-10
24	Chenal 2 - Chenal 2 du site de Marin-Pré de la Mottaz	1780-1600 cal BC		PLT-11			LTM-11	
23	Alternance de limons crayeux et de limons organiques		M-Piec-10b	PLP-10			LTM-10a	AM-10
22	Chenal 1			PLP-09			LTM-09	
21	Limons tourbeux	3140-1750 cal BC	M-Piec-10a	PLP-08			LTM-08	AM-08
20	Limons crayeux ou sables à tests de mollusques		M-Piec-09	PLP-07			LTM-07	AM-07
19	2 ^e niveau d'occupation du site de Marin-Les Piécettes			PLP-06c				
18	Limons crayeux		M-Piec-08	PLP-06b				
17	1 ^{er} niveau d'occupation du site de Marin-Les Piécettes	3504-3483 av. J.-C.		PLP-06a				
16	Limons crayeux		M-Piec-07	PLP-05e			LTM-05	AM-05
15	Niveau archéologique	3770-3620 cal BC		PLP-05d				
14	Limons crayeux		M-Piec-07	PLP-05c			LTM-05	AM-05
13	Niveau archéologique	3770-3620 cal BC		PLP-05b				
12	Limons crayeux		M-Piec-07	PLP-05a			LTM-05	AM-05
11	Cordon littoral (US-6 du transect NW-SE)		M-Piec-06					
10	Sable à limons carbonatés et oncolithes		M-Piec-05	PLP-04			LTM-04	AM-04
9	Limons crayeux		M-Piec-04c	PLP-03			LTM-03	
8	Sable et débris de végétaux		M-Piec-04b	PLP-02				
7	Limons crayeux		M-Piec-04a	PLP-01				
6	Limons carbonatés graveleux riches en végétaux	5070-4820 cal BC	M-Piec-03b					
5	Couche de galets vermiculés - plage		M-Piec-03a					
4	Sable limoneux gris		M-Piec-02					
3	Tourbe à 431,97 m	5320-5210 cal BC						BE9
2	Tourbe à 431 m	6610-6470 cal BC						BE10
1	Arbre dans sable de Ründi Dune	10100-9730 cal BC						Ründi
	Moraine de fond würmienne	av. 14 000 ans BP	M-Piec-01					

Tab. 5.1 : Synthèse des principaux enregistrements sédimentaires de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

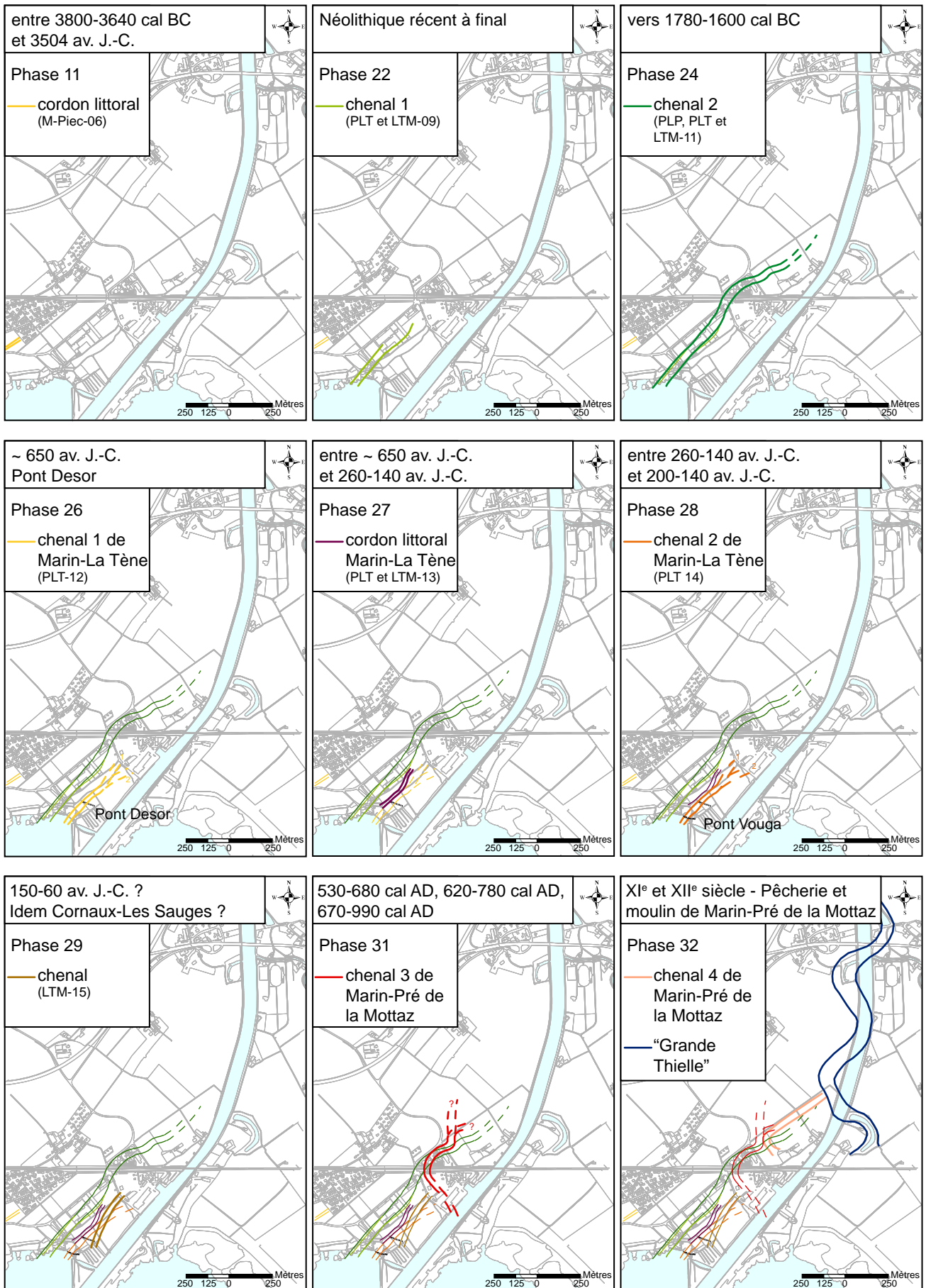


Fig. 5.1a : Synthèse cartographique et chronologique des chenaux et des cordons littoraux de la zone exorotique du lac de Neuchâtel.

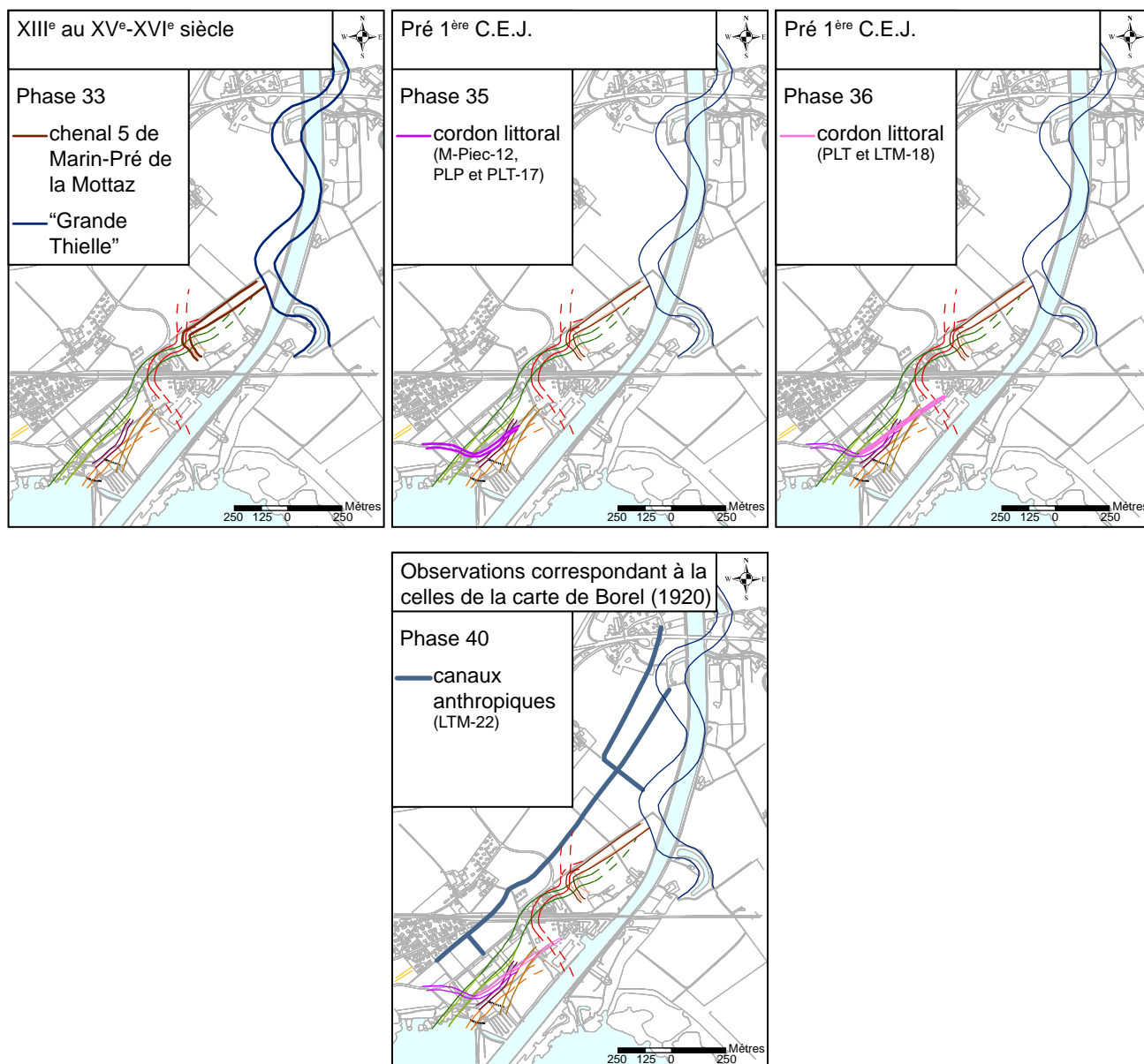


Fig. 5.1b : Synthèse cartographique et chronologique des chenaux et des cordons littoraux de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

Remarque :

Pour cette synthèse, les phases de la zone exutoire du lac de Neuchâtel décrites et les corrélations réalisées permettent de créer un nouveau référentiel des séquences sédimentaires pour l'ensemble des secteurs. Ainsi, les ensembles géomorphologiques mentionnés dans le texte seront désignés par la nature de l'enregistrement sédimentaire puis par le numéro de la phase à laquelle ils se rapportent. En exemple, le cordon littoral mis en place durant la phase générale de la zone exutoire 11 sera désigné par cordon littoral 11. Néanmoins, s'il s'avère nécessaire de préciser le numéro de la formation au sein d'un secteur, les initiales du secteur seront indiquées en préfixe du numéro de la formation dans le secteur, comme pour le cordon littoral M-Piec_06, correspondant au cordon littoral 06 du secteur de Marin-Les-Piéchettes.

1.1. Rive gauche

A partir des descriptions, analyses et datations des séquences sédimentaires, du site de Marin-Les Piécettes (M-Piec), en périphérie des sites de Marin-Les Piécettes (PLP), de Marin-La Tène (PLT), entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz (LTM) et en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz (AM), une corrélation des différentes formations rencontrées est réalisée. Afin d'avoir un aperçu plus général de la répartition des corps sédimentaires entre les trois sites de référence, un bloc diagramme présente en perspective une partie des transects étudiés et interprétés (Fig. 5.2). Les ensembles observés sur les panneaux électriques de cette même zone sont intégrés à ce travail. Comme les transects, les résultats des prospections géophysiques sont représentés en perspective au sein d'un deuxième bloc diagramme (Fig. 5.3). Par ailleurs, les données bibliographiques concernant les sites retenus complètent cette étude géoarchéologique de la rive gauche de la zone exutoire, même lorsqu'elles n'ont pas pu être vérifiées par un travail de terrain. Ainsi, la séquence sédimentaire globale de ce secteur permet de proposer une chronologie de la partie en rive gauche de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

Phase "0"

Le plus ancien dépôt observé est la moraine de fond würmienne au niveau des coupes 3201NE et 2802W du site de Marin-Les Piécettes (Tab. 3.3, Fig. 3.3 et 3.4). Ce dépôt s'est mis en place durant la dernière période glaciaire, avant le retrait du glacier du Rhône dont la date est estimée à 15 000 ou 14 000 ans BP selon les auteurs (Gaillard et Moulin, 1989; Schlüchter, 1988).

Phase 4

Cette phase correspond à la mise en place des sables limoneux M-Piec-02 correspondant à l'US-11 du transect NW-SE (Tab. 3.3, Fig. 3.2). Cette couche présente les caractéristiques d'un dépôt en milieu moyennement agité non loin de la rive.

Phases 5 et 6

L'ensemble qui suit correspond à la phase M-Piec-03 donc aux US-10 et 09 du transect NW-SE (Tab. 3.3, Fig. 3.2). Ces dépôts marquent respectivement la formation d'une plage de réduction et une accumulation de débris de végétaux, sans doute hérités du rivage, vers 5070-4820 cal BC. Ces couches se retrouvent dans les coupes 3201NE, 2802W et 282W (Tab. 3.3, Fig. 3.1, 3.3 et 3.4). La déclivité plus prononcée de l'US-10 entre 429,20 m et 430,70 m peut

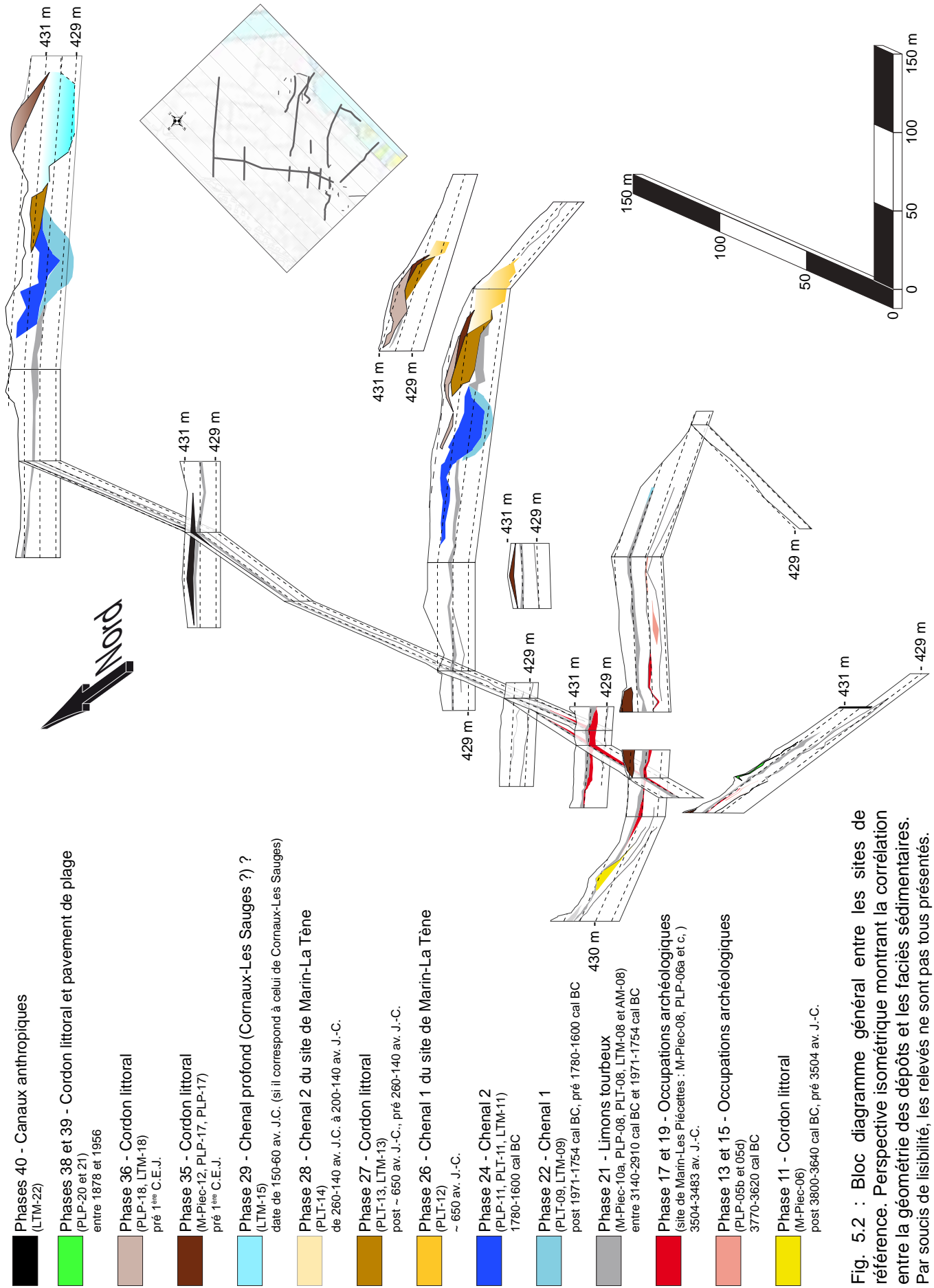


Fig. 5.2 : Bloc diagramme général entre les sites de référence. Perspective isométrique montrant la corrélation entre la géométrie des dépôts et les faciès sédimentaires. Par soucis de lisibilité, les relevés ne sont pas tous présentés.

correspondre à l'altitude du niveau moyen du lac à cette période. Sa cote de 432,37 m dans la stratigraphie 3201NE, marquerait alors l'altitude que le lac pourrait atteindre lors de périodes de hauts niveaux annuels, soit 430,70 m plus 1,40 m lié à la crue.

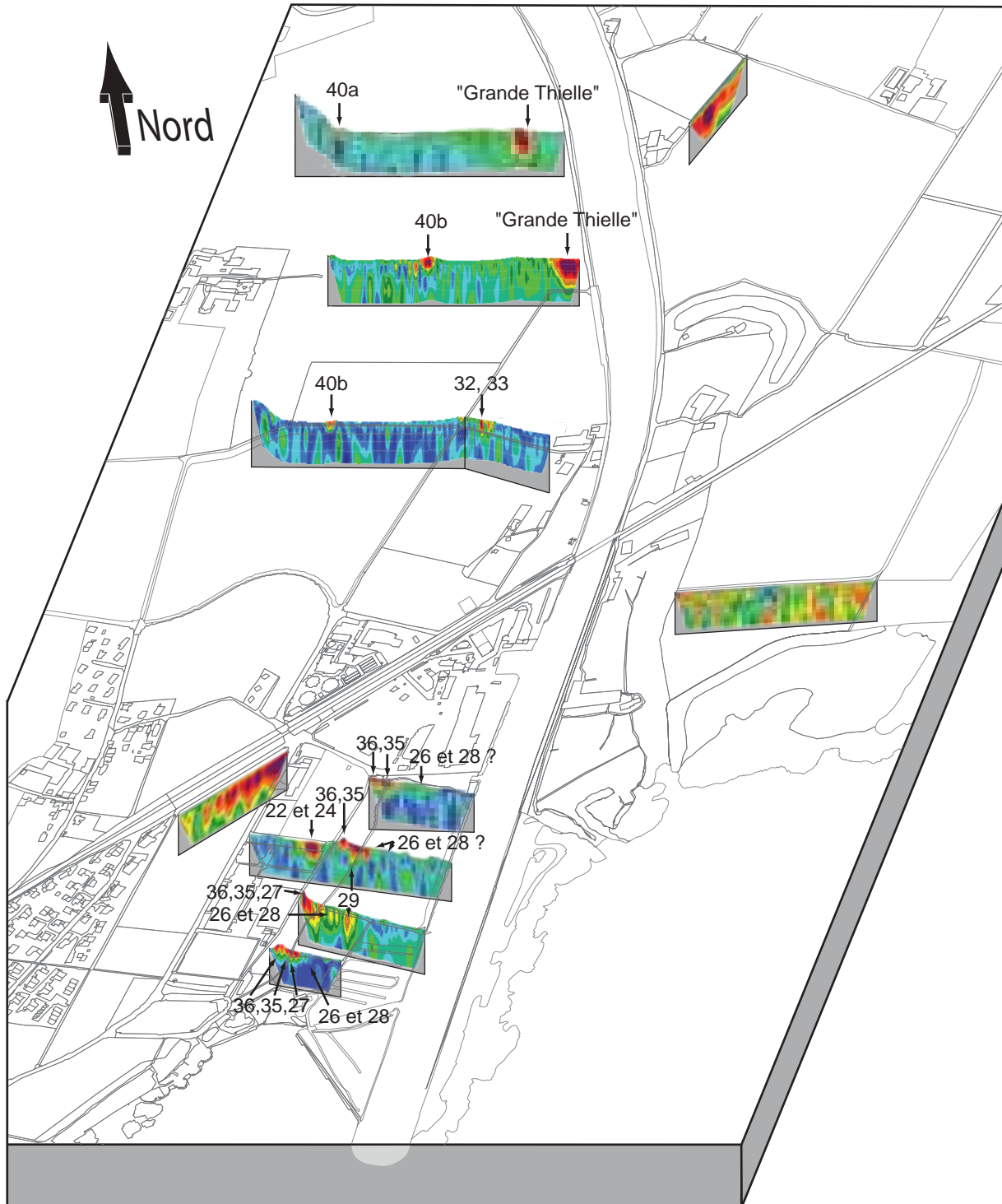


Fig. 5.3 : Corrélation entre les corps sédimentaires observés sur l'ensemble des panneaux électriques. Les numéros indiqués correspondent à ceux des phases dissociées.

Phases 7, 8 et 9

Ces phases correspondent aux trois ensembles de la phase M-Piec-04 distinguée par US-08 du transect NW-SE. Ces trois ensembles, que l'on retrouve dans le sondage 282W (niveaux 18 à 20, Tab. 3.3), correspondent à une sédimentation de beine lacustre, traduisant une période de haut niveau relatif. La phase inférieure 7 (M-Piec-04a et PLP-01) est légèrement plus sableuse que la phase supérieure 9 (M-Piec-04c, PLP-03, PLT-03 et LTM-03). L'altitude maximale observée pour cette formation se situe dans le transect NW-SE à 430,70 m. Ainsi sa mise en place a nécessité que le niveau moyen du lac ait atteint 432 m au minimum. La présence au sein de cette formation d'un dépôt discontinu de sables et de débris de végétaux 8 (M-Piec-04b) daté de 3990-3780 cal BC, indique un bref épisode régressif. Ce dépôt, qui semble en partie érodé, apparaît entre 429,30 m et 429,70 m. Cet ensemble de limons crayeux se retrouve à la base de PLT-05-07 (PLT-03 et LTM-03) dans les relevés 3799A et B, 3798, 3801-N, 3803 effectués en périphérie du site de Marin-La Tène, ce qui est confirmé par la présence d'une planche en chêne dendrodatée de 3824 av. J.-C. dans la coupe 3803 (Reginelli, 2007).

Phase 10

La phase 10 correspond au dépôt sableux M-Piec-05 (US-07 du transect NW-SE) qui contient de nombreuses coquilles de gastéropodes auxquelles se mêlent des débris végétaux. Elle est caractéristique de l'enregistrement d'un dépôt mis en place sous une faible tranche d'eau (Tab. 3.3, Fig. 3.2). Cette couche n'est observée que dans les relevés du transect NW-SE. En effet, elle atteint 0,20 m en amont du site de Marin-Les Piécettes et ne fait plus que quelques centimètres d'épaisseur en aval, avant de disparaître. La déclivité marquée entre 429,70 et 430,80 m peut être considérée comme un indicateur du niveau moyen du lac, vers 3800-3640 cal BC.

Phase 11

La morphologie, comme la lithologie, de l'US-06 du transect NW-SE décrit par l'OMAN en font un cordon littoral (M-Piec-06). Il en est de même pour le niveau 11 de la coupe 2802W qui contient des graviers. Les observations du toit de cette formation au niveau de la coupe 3206SE ne présentent que du sable. En se fondant sur les observations de plusieurs auteurs, il est possible d'estimer l'altitude du niveau moyen du lac lors de la mise en place d'un cordon littoral. En effet, d'après Forel (1892), ces formations se mettent en place au-dessus du niveau moyen du lac. Suite aux observations des processus sédimentaires qui ont suivi la 1^{ère} C.E.J.,

ces dépôts auraient lieu par l'action des hautes eaux saisonnières lors d'une période séculaire à pluriséculaire de baisse du niveau moyen lacustre (Jäckli, 1950). Ainsi, le niveau moyen du lac serait 1,40 m sous le sommet du cordon littoral soit, ici, vers 430,10 m. En 1987, la mise en place d'une telle structure a été observée à St Blaise lors d'une tempête (Moulin, 1991). Le sommet du cordon littoral développé se situait alors 1,20 m au-dessus du niveau moyen du lac, valeur proche de celle déduite des observations de Jäckli (1950). Havlicek *et al.* (2003) ont estimé la différence entre l'altitude sommitale d'un cordon, dont la mise en place est évaluée par chronologie relative entre 1750 et 1850, et le niveau moyen du lac à cette période. Pour cela, ils se fondent sur les relevés de l'altitude sommitale du cordon constituant l'unité lacustre 4 observée sur les sites de Saint-Aubin/Derrière la Croix et Vaumarcus/Vers Rive, et sur la valeur moyenne du niveau du lac entre 1817 et 1866. Pour ces auteurs, la différence altimétrique arrondie est de 1,85 m, soit 45 cm de plus que l'estimation réalisée à partir des données de Jäckli (1950) et 65 cm de plus que celle de Moulin (1991). Ces différences sont à mettre en relation avec la topographie des sites étudiés, le matériel à disposition et l'énergie de la tempête à l'origine de cette formation. Toutefois, en se fondant sur ces nouvelles données, nous pouvons estimer l'altitude du niveau moyen du lac lors de la mise en place du cordon littoral 11 entre 429,65 m et 430,30 m. Ce niveau moyen du lac est légèrement plus bas que lors de la mise en place du dépôt de la phase précédente 10, ce qui explique la faible épaisseur de l'US-07 en aval du site (dépôt lié à la phase 10), qui aurait alors été érodée.

Phases 12 à 16

Les dépôts de ces phases sont constitués principalement de limons crayeux (phases 12, 14 et 16) dans lesquels s'intercale deux couches organiques contenant des charbons et des restes de céramiques dans les axes VI et IX (phase 13 et 15 ; Pl. 7 et 8). L'ensemble de ces phases se retrouve dans tous les secteurs de la rive gauche sous les noms M-Piec-05, PLP-05, PLT-05, LTM-05 et AM-05. Selon les sondages, il repose en discordance sur les dépôts des phases 10 ou 11 et sous la couche archéologique néolithique de Marin-Les Piécettes, phase 17 (Tab. 3.3 et 5.1, Fig. 3.2). En l'absence des sables et limons carbonatés 10 (M-Piec-05) et du cordon littoral 11 (M-Piec-06), ils reposent directement sur les limons crayeux 9 sans qu'il soit toujours possible de les différencier. Des correspondances entre les couches organiques des axes VI et IX ne peuvent actuellement être établies, du fait de l'écartement des carottes. L'ensemble des dépôts de ces phases atteint l'altitude de 430,30 m ce qui permet d'estimer que, durant leur mise en place, le niveau moyen du lac était proche de 431,60 m. Les deux niveaux organiques, phases 13 et 15, marquent deux courtes périodes d'abaissement du niveau du lac

sous 429 m. Celles des sondages de l'Axe VI ont livré des dates similaires, soit 3770-3620 cal BC, ce qui les situe temporellement juste après les datations de la phase 8. Ces dates sont en accord avec la chronologie envisagée.

Phases 17 à 19

Les phases 17 et 19 correspondent à l'occupation néolithique du site de Marin-Les Piécettes et la phase 18 à un niveau d'inondation. Les couches d'occupation sont corrélées aux couches 11 de la coupe 3201E, 15c et 15a des coupes 272-273W et B4, et 16 et 10, 06 et 05a du prélèvement L5. Elles sont aussi présentes dans les axes II, III, V, VI, VII, VIII et IX. Elles sont comprises entre les altitudes 429,36 (AIX.C1) et 430,24 m (AII.C8). Au SW de l'Axe I, elles reposent sur une couche de sable à 429,80 m pouvant marquer un abaissement du lac avant l'occupation humaine. Les structures d'habitat observées lors des fouilles indiquent que le niveau moyen du lac se situait aux environs de 428,80 m vers 3504-3483 av. J.-C. (Honegger, 2001). Cela est confirmé par les observations réalisées autour du tertre, sondage 342N (Fig. 3.12), où le dépôt d'inondation 18, qui s'intercale entre deux phases d'occupation archéologique, est présent majoritairement à la cote 430,20 m, mais peut atteindre 430,60 m sur les flancs du tertre. En considérant cette phase d'inondation comme une hausse annuelle lacustre, on peut estimer que le niveau moyen du lac se situait aux environs de 429,20 voire 428,80 m durant la période d'occupation. Cette estimation est par ailleurs en accord avec la présence de limons crayeux PLP-06b dans AII.C4 à C8, séparant les deux phases d'occupation humaine, entre 429,62 et 429,83 m (Pl. 2).

Phase 20

Le dépôt 14 de la coupe 272-273W (M-Piec-09), composé de limons crayeux, marque un haut niveau moyen du lac qui se retrouve dans quelques sondages des axes II, III, V, VI et IX sous la dénomination PLP-07. Le lac devait se trouver au minimum vers 431,60 m lors de la mise en place de ce dépôt. Sa présence sporadique peut être reliée à une mince épaisseur de dépôts, en partie érodés postérieurement. Lors de l'absence des couches archéologique 17 et 19, il repose directement sur les limons crayeux 12 (US-05), sans qu'il soit toujours possible de les différencier. Dans ce cas, il est indiqué dans tous les secteurs de cette étude sous les noms PLP-05-07, PLT-05-07, LTM-05-07 et AM-05-07.

Phase 21

L'épaisse couche de limons tourbeux formée durant cette phase se retrouve dans l'ensemble des secteurs de la rive gauche du canal de la Thielle, M-Piec-10a, PLP-08, PLT-08, LTM-08 et AM-08. Elle atteint une épaisseur de 1 m dans le sondage S2025 du site de Marin-Pré de la Mottaz. Elle est observée au plus bas vers 429,44 m (A911centre.C1) et au plus haut vers 431,60 m (coupe 3201NE). Le fait de retrouver ce dépôt de limons tourbeux relativement épais, toujours dans la même position stratigraphique et à une altitude voisine de 430 m dans la majorité des sondages, laisse supposer qu'il s'agit partout de la même couche. Cette hypothèse est confirmée par les dates ¹⁴C obtenues : entre 3140-2910 cal BC (base du dépôt) et 2200-1890 cal BC (sommet du dépôt) sur le site de Marin-Les Piécettes, vers 3030-2910 cal BC à Marin-Prébit, entre 3130-3000 cal BC (base du dépôt) et 1970-1750 cal BC (sommet du dépôt) sur le site de Marin-Pré de la Mottaz et vers 2815-2660 cal BC dans la carotte A911centre.C1. En considérant que la compaction des sédiments n'a pas été homogène sur l'ensemble des secteurs, une estimation de l'altitude de la base de cette couche est proposée à 429,80 m, à partir des cotes majoritairement observées. Ainsi, l'altitude du niveau moyen du lac lors de la mise en place de cette formation, soit entre 3130-3000 cal BC et 1970-1750 cal BC, se situerait approximativement entre 429,80 m et 431,60 m. Par ailleurs, une couche de tourbe, dont le sommet correspond à la limite des hautes eaux de 1914, est figuré sur la carte de Borel (1907-14 ; Fig. 2.15 et 5.4). Cette année-là, le niveau maximum limnimétrique relevé est à 430,57 m (Quartier, 1948). Ainsi, la carte de Borel démontre que ce niveau de tourbe cartographié correspond aux PLT-08 et LTM-08 de nos relevés, et permet d'en connaître l'étendue spatiale. L'analyse de la matière organique a mis en évidence une diminution du taux de carbone organique total dans la partie médiane de cette unité au niveau de la coupe 272-273W, ce qui pourrait traduire une hausse mineure du niveau lacustre, insuffisante en amplitude ou en durée pour arrêter la tourbification (Fig. 3.23).

Phase 22

Au niveau des axes "Camping1998" et X, les limons tourbeux 21 sont recoupés par un chenal (PLT-09 et LTM-09 ; Pl. 11 et 22 ; Tab. 4.3 et 4.4). Ce chenal qui constitue la phase 22, se caractérise par une altitude basale inférieure à 428,30 m, tandis que la limite supérieure observée de son remplissage se situe au niveau du toit des limons tourbeux 21 (PLT-08 et LTM-08), soit vers 430,50 m. Le remplissage est constitué de sables et de graviers sableux. La largeur de ce chenal est d'environ 64 m, au niveau des sondages "Camping 1998". Arnold (à paraître)

observe, à l'ouest des relevés effectués sous l'actuel restaurant et magasin de La Tène en 1990 par l'OMAN, une berge de chenal dont le sommet du remplissage a des altitudes semblables au chenal 22 (PLT-09 et LTM-09). Le fait que cette berge se situe dans l'alignement de la rive sud-est du chenal 22, incite à prolonger nos observations en amont. Mais l'interprétation faite par Arnold (à paraître) diffère de celle proposée ici puisqu'il positionne ce chenal antérieurement au niveau tourbeux. Or, la carte de Borel (1907-14), avec l'indication de l'altitude du toit de la tourbe et son interruption brutale dans l'alignement amont du chenal, permet de prolonger le tracé de la berge droite jusqu'à la limite du lac de 1914 (Fig. 5.1 et 5.4). Plus en amont, dans la carotte AIX.C13, un niveau de sable (PLP-09), comparable à celui rencontré dans le lit moyen de ce chenal 22, s'intercale dans les limons tourbeux 21. Au vu de ses positions stratigraphique, altimétrique et géographique, il est envisageable qu'il soit lié à ce chenal 22. Par ailleurs, l'interruption de la tourbe sur la carte de Borel complète les corrélations effectuées au sein du transect "Camping 1998" et démontre que le chenal 22 incise les limons tourbeux 21. Ainsi, le chenal 22 (PLP-09, PLT-09 et LTM-09) s'est mis en place juste après les limons tourbeux 21, soit après 1970-1750 cal BC. Ce chenal 22 apparaît dans le panneau électrique Marin-Ep_3305-3348, réalisé parallèlement à l'Axe X, entre environ 42 et 116 m (Fig. 4.17). En se référant à ces données géophysiques, la base de ce chenal 22 se situerait entre 424 et 426 m, mais cette approximation devrait être vérifiée par la réalisation de nouveaux sondages plus profonds.

Phase 23 et 25

Dans tous les secteurs étudiés de la rive gauche du Canal de la Thielle, la suite de la séquence est constituée d'une alternance de limons carbonatés gris beige et de niveaux plus organiques brun foncé. Ces niveaux étant discontinus, une corrélation entre les différents relevés est impossible. Ils sont alors regroupés dans les ensembles US-02 du transect NW-SE (M-Piec-10b), PLP-10, PLT-10, LTM-10 et AM-10 (Tab. 3.3, 4.2, 4.3 et 4.4). Toutefois, l'analyse de la coupe 272-273W apporte des éléments favorisant la compréhension de l'évolution du lac de Neuchâtel après 1770-1610 cal BC, date la plus récente pour la phase 21. Les sédiments argileux gris clair, couches 12, 10, 08, 06, 04 et 02 de la coupe 272-273W, correspondent aux enregistrements de hauts niveaux du plan d'eau qui atteignait alors des cotes moyennes comprises entre 431,90 et 432,40 m. Les bas niveaux du lac permettant la mise en place des limons organiques 11, 09, 07, 05 et 03 du relevé 272-273W oscillaient entre 430,30 et 431,10 m. Ces valeurs altitudinales sont des approximations proposées à partir des observations de la coupe 272-273W, mais en fonction du taux de compaction qui a affecté les sédiments, elles peuvent

être plus importantes. En périphérie du site de Marin-La Tène et entre les sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz, des niveaux plus grossiers s'intercalent dans l'alternance 10 (phase 23 et 25), qu'il faut préciser afin de mieux cerner l'évolution du secteur d'étude.

Suite au comblement du chenal 22 (PLT-09 et LTM-09), une succession de hauts et bas niveaux lacustres (phase 23, PLT-10a et LTM-10a) est observée au sein du transect "Camping1998" et de l'Axe X. Cette alternance est visible dans la dépression résiduelle du comblement du chenal 22 ainsi que sur le toit des limons tourbeux 21 (Pl. 11 et 22).

Phase 24

La première série d'alternances 23 est recoupée par un second chenal (phase 24) pour lequel les sondages du transect "Camping 1998" permettent de distinguer un lit mineur et un lit moyen. En effet, sa base forme une dépression entre les sondages Camping1998.C27 et C21 qui peut atteindre 429,30 m, voire moins, et une zone dont la base se situe aux environs de 430,70 m. Dans l'Axe X, le lit moyen a disparu. L'altitude maximale des remplissages de ce chenal 24, constitués majoritairement de sables, avec des passées plus limoneuses ou plus graveleuses, est de 431,54 m. En replaçant les limites de ce chenal sur la carte de Borel (1907-14), il apparaît qu'il se trouve exactement dans le prolongement d'une gravière ou sablière, au nord des fouilles de 1907 (Fig. 5.4). La carte permet une nouvelle fois de compléter les relevés de terrain et de prolonger le chenal 24 en amont (Fig. 5.1a). Ainsi, il est possible de proposer un tracé de ses rives depuis le lac actuel jusqu'à l'Axe X. Plus en aval, le panneau électrique Marin-Ep_3302NE ne présente pas d'ensemble de résistivité comparable à celle d'un chenal, impliquant que son cours se situe plus à l'est (Fig. 4.18). Les données aval les plus proches se situant ensuite sur le site de Marin-Pré de la Mottaz, les caractéristiques lithologiques, morphologiques et stratigraphiques du chenal de la phase 24 sont alors comparées à celles des chenaux observés par N. Plumettaz et N. Thew (documents de fouille non publiés). Il apparaît que le chenal 24 est similaire au chenal 2 du site de Marin-Pré de la Mottaz⁹. Par ailleurs, leurs tracés respectifs tendent à se rejoindre, impliquant une possible continuité du chenal 24. Un pieu daté par l'OMAN de 1780-1600 cal BC a été découvert à la base du chenal, lors des fouilles du site de Marin-Pré de la Mottaz (Plumettaz, com. pers.). Ce pieu étant unique, des datations supplémentaires de matière organique récoltée dans les niveaux inférieurs de ce chenal ont été réalisées et l'ont confirmé. Ainsi, ce chenal se serait développé durant la période du bas niveau lacustre, enregistrée par la couche 09 de la coupe 272-272W, et dont l'altitude estimée est proche de 430,70 m, ce qui

⁹ Dans la discussion, la numérotation des chenaux du site de Marin-Pré de la Mottaz est préservée, ce choix permet de se référer à la carte du chapitre 2 de ce manuscrit.

correspond à l'altitude de la base du lit moyen (Fig. 3.7 et Tab.3.1). La comparaison du tracé de ce chenal avec l'emplacement du bras nord de "l'Ancienne Thielle", non exploré sur le plan de Vouga (1885 ; Fig. 2.16), et reproduit avec comme commentaire "Ancien bras ? de la Thièle d'après E. Vouga" par Borel (1907-14 ; Fig. 2.15), laisse penser qu'il s'agit du même chenal avec un décalage de 20 m vers le nord-ouest par rapport aux observations de E. Vouga.

Phase 25

Le remplissage du chenal 24 est surmonté d'une deuxième série de limons carbonatés gris clair alternant avec des limons plus organiques brun foncé (phase 25). Cet ensemble enregistre donc de nouvelles variations du niveau du lac mais durant une période où celui-ci était supérieur à celui enregistré dans les phases 23 et 24.

Phase 26

La baisse du niveau du lac de Neuchâtel va engendrer l'érosion des dépôts des phases 25, 23, 21, 20 et 16 et l'incision du chenal 26 (PLT-12) observée sur le site de Marin-La Tène. Le remplissage de ce chenal 26 commence par des éléments qui présentent un encroûtement calcaire pouvant atteindre 1 cm d'épaisseur (PLT-12a). Ces dépôts se forment sous une mince tranche d'eau dans un environnement où le taux de sédimentation est faible, ils traduisent une période hydrodynamique calme accompagnée d'une stagnation du niveau moyen du lac autour de 430,40 m. La présence de mobilier encroûté attribué au Halstatt C-D1 permet de dater ce premier niveau aux environs de 660 av. J.-C. Cette datation implique une contemporanéité entre le chenal 26 et la construction des piles du pont Desor, estimée entre 660 et 655 av. J.-C. d'après Gassmann (2007) et Reginelli (2007) et après 670 cal BC (*cf.* chapitre 4 de ce manuscrit). Il est alors envisageable que ce pont se soit appuyé sur les niveaux de sables qui constituent le remplissage du chenal 24 (PLT-11 et LTM-11) et qui n'ont pas été érodés. Le mobilier qui se mêle aux sédiments du premier niveau de remplissage du chenal 26 serait lié aux activités humaines aux abords du pont. Un changement de l'hydrodynamisme va ensuite engendrer une modification du type de remplissage de ce chenal qui devient plus sableux (PLT-12b).

Phase 27

Durant cette période de bas niveau lacustre, un épisode de forte agitation va permettre la mise en place du cordon littoral 27 (PLT-13 et LTM-13). Constitué de graviers et galets d'origine alpine, il est entièrement traversé par les coupes 3798, 3801-N et 3802, alors que seul le toit de cette formation est observé dans les coupes 3799A et B et l'Axe X. Durant les campagnes de

terrain liées à cette étude, la granulométrie grossière de cet ensemble a bloqué les carottages de l'Axe X. A partir de ces observations, il est possible de délimiter altitudinalement cette entité entre 430,10 et 431,64 m (Tab. 4.3 et 4.4). Chronologiquement, ce cordon se développe après le chenal 26, puisque sur les coupes 3798, 3801-N et 3802, il se superpose à la couche présentant des encroûtements (PTL-12a) et au niveau de sable PLT-12b (Pl. 15, 16 et 18). Le fait qu'une partie de ce cordon littoral 27 recouvre la pile XIII du pont Desor, alors qu'il ne renferme aucun reste de matière organique a été l'objet d'une discussion au chapitre 4. Pour rappel, Réginelli (2007) mentionne que les sommets des bois des piles de pont retrouvées s'arrêtent au toit du niveau encroûté PLT-12a. Deux hypothèses ont été émises : soit le cordon littoral s'est mis en place alors que le pont était toujours là et, dans ce cas, les pieux se sont décomposés dans le cordon littoral sans laisser de traces, soit les pieux ont été cassés au toit de la couche présentant les encroûtements, lors d'un épisode d'hydrodynamisme intense anté ou syn mise en place du cordon littoral. Or l'hypothèse de la destruction du pont lors d'un épisode de forte énergie semble la plus probable au vu des descriptions faites par Réginelli (2007). En effet, lors des dernières fouilles réalisées, des indices de basculement des pieux ont été observés. De plus, tous les poteaux retrouvés sont disposés selon la même orientation, parallèle au sens du courant de l'époque. Afin de positionner chronologiquement la destruction naturelle du pont par rapport à la mise en place du cordon littoral - à savoir si ces deux événements sont contemporains ou non - une analyse de la base du cordon littoral serait nécessaire afin d'étudier sa composition et de relever d'éventuelles traces de piles de pont. Ces nouveaux prélèvements sont peu envisageables actuellement du fait de l'occupation du sol (Fig. 2.27). La réalisation des panneaux électriques Marin-Ep_3348W-le long du camping et Marin-Ep_3305-3348 en parallèle de la coupe 3802 et de l'Axe X permet de caractériser géophysiquement ce cordon littoral 27. Il peut ensuite être corrélé au panneau intermédiaire Marin-Ep_3348-chemin du débarcadère. Plus en aval, le cordon littoral 27 n'apparaît ni sur le panneau électrique Marin-Ep_3302NE ni sur les sites de Marin-Prébit et Marin-Pré de la Mottaz. Enfin, en aval de l'Axe X, l'absence d'observations, liée à l'impossibilité de réaliser des prospections (Fig. 2.27 et 2.28), limite les possibilités de cartographier ce cordon littoral. En reprenant l'argumentation utilisée pour le cordon littoral 11 (US-06 du transect NW-SE), l'altitude du niveau moyen du lac de Neuchâtel lors de la mise en place du cordon littoral 27 peut-être estimée entre 429,80 et 430,40 m. Cette dernière valeur correspondant à l'altitude du lac lors de la mise en place des dépôts encroûtés PLT-12a (phase 26), corroborant le fait que le chenal 26 et le cordon littoral 27 se soient mis en place durant une même phase de bas niveau lacustre.

Phase 28

Les coupes réalisées en périphérie du site de Marin-La Tène mettent en évidence le chenal sableux 28 (PLT-14) qui vient s'appuyer contre le cordon littoral 27. Ce chenal 28, dont la base se situe vers 429,70 m dans la coupe 3798, est une réactivation du chenal 26. Les quelques éléments découverts dans sa couche basale sont attribués à La Tène moyenne (260-140 av. J.-C.) par Réginelli (2007). L'altitude maximale de ce premier remplissage se situe vers 430,80 m, ce qui indique que le niveau du lac s'est élevé depuis la mise en place du cordon 27. Puis, le remplissage de ce chenal 28 présente plusieurs phases qui se recourent, témoignant de fluctuations latérales de la rivière. Le dernier dépôt observé, PLT-14c (Pl. 15), est attribué à La Tène C2, soit 200-140 av. J.-C., d'après le mobilier découvert (Reginelli, 2007). Son altitude maximale se situe à 431,30 m, ce qui indique un niveau moyen du lac relativement élevé. La disposition des pieux du pont Vouga, situé en amont des fouilles de 2003 (Fig. 2.19), est peu précise par rapport à la stratigraphie dans la littérature. Néanmoins, les auteurs s'accordent pour dire que ce pont enjambait le chenal 28 et que sa tête occidentale s'appuyait contre un cordon littoral (Arnold, à paraître; Vouga, 1923). Au vu de la séquence sédimentaire présentée ici, il s'agit vraisemblablement du cordon 27 (PLT-13), qui durant La Tène, formait une bande surélevée de galets et graviers. Ce cordon 27 pouvait alors servir de fondement à un chemin, dominant une plaine constituée de substrats meubles et marécageux, pouvant être inondée lors de périodes de hautes eaux ou durant des périodes pluvieuses. Malheureusement, les pièces essentielles de la charpente du pont Vouga nécessaires pour une datation sont manquantes (Gassmann, 2007). L'observation des coupes 3798, 3802 et du panneau électrique Marin-Ep_3348W_long camping permet de caractériser la résistivité électrique du chenal 28. Grâce aux corrélations avec les panneaux électriques, il est possible d'en prolonger le tracé jusqu'au niveau du transect géophysique Marin-Ep_3305-3348. Par ailleurs, un chenal présentant des caractéristiques de résistivité et d'altitude similaires, mais avec une largeur plus grande, est identifié dans le panneau électrique Marin-Ep_3348E. Cet ensemble peut, soit être issu du chenal 28 (possibilité 1 de la figure 5.1a), soit correspondre à un chenal jusqu'alors inconnu, et qui, dans ce cas, se situerait au sud-est du panneau électrique Marin-Ep_3305-3348 (possibilité 2 de la figure 5.1a). S'il s'agit d'un nouveau chenal, l'absence d'observations pouvant correspondre au chenal laténien au sein du panneau électrique Marin-Ep_3348E implique que ce dernier passait au nord-ouest des observations. Cette hypothèse n'a pu être vérifiée du fait de l'impossibilité de réaliser des prospections dans les parcelles se situant à l'est et au nord du panneau électrique Marin-Ep_3348E (Fig. 2.27 et 2.28). De plus, les quelques observations réalisées entre ce panneau et

la voie de chemin de fer (Marin-Prébit et Marin-La directe, F3, F4, F5, S1 et S2) présentent des données d'âge ou d'altitude très différentes de celles du site de Marin-La Tène, ce qui restreint les zones où ce chenal aurait pu s'écouler. Enfin, aucun indice n'indique sa présence au sein du site de Marin-Pré de la Mottaz. Ainsi, de nouvelles prospections par d'autres méthodes que celles utilisées ici sont nécessaires pour prolonger le tracé de la Thielle laténienne en aval de l'Axe X.

Phase 29

L'analyse des panneaux électriques Marin-Ep_3348-Chemin du débarcadère Est, Marin-Ep_3305-3348 et Marin-Ep_3348E met en évidence le chenal 29 (LTM-15), d'environ 85 m de large et dont la profondeur se situerait entre 424 et 428 m. Il est observé uniquement dans AX.C15, du fait de l'impossibilité de traverser les formations plus récentes de surface, constituées de galets. Le sondage AX.C15 confirme la composition sableuse des bords de cet ensemble suggérée par les relevés géophysiques. Il semble recouper le chenal laténien 28 sur les panneaux Marin-Ep_3348-Chemin du débarcadère Est. Du fait qu'une seule unité sableuse présente ces dimensions, il est facile de la suivre et de retracer les berges jusque dans le profil géophysique Marin-Ep_3348E. Plus en amont, l'absence de données, liée à l'impossibilité de prospecter, ne permet pas de le prolonger. Les observations réalisées autour des sites de Marin-Prébit et Marin-Pré de la Mottaz, n'ont pas mis en évidence de niveaux sableux aussi bas ce qui laisse supposer que ce chenal a divagué à l'est des sondages réalisés. De plus, aucun ensemble pouvant lui correspondre n'est visible sur les panneaux électriques réalisés en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz. En revanche, lors des fouilles du site du Pont de Cornaux-Les Sauges, qui se situe en aval de l'Axe 911 Centre, Schwab (1989) met au jour un chenal dont les dimensions et les altitudes sont comparables à celles de ce chenal 29. En effet, le chenal de Cornaux-Les Sauges mesure 90 m de large et l'altitude de sa base se situe vers 425,20 m. Ces dimensions exceptionnelles similaires laissent supposer qu'il s'agit du même chenal. Chronologiquement, le mobilier (céramiques, épées, fibules et une monnaie) découvert sur le site de Cornaux-Les Sauges permet d'attribuer le fonctionnement du chenal à La Tène C (260-140 av. J.-C.) et plus particulièrement La Tène D1 (140-60 av. J.-C.). Les dates dendrochronologiques réalisées sur des éléments du pont situent sa réalisation vers 300 av. J.-C. La grande majorité des vestiges découverts sont contemporains de la dernière phase d'usage du pont, entre 120 av. J.-C. et le milieu du I^{er} siècle ap. J.-C. Ceci corrobore les observations des panneaux électriques, quant au fait que ce chenal 29, recoupe le chenal 28 daté de La Tène C2. Schwab (1989) estime l'altitude moyenne du niveau d'eau dans le chenal 29 à 427,60 m d'où une altitude moyenne

du lac similaire ou légèrement plus importante, soit environ 427,80 m. Toutefois en l'absence de données supplémentaires dans la zone d'étude, il est impossible de certifier que ce soit le même chenal.

Phase 30

En aval de la station de Marin-La Tène, sur la rive sud du chenal fouillé au début du XIX^e siècle, et plus précisément à l'extrémité du prolongement du pont Desor, un grand nombre de monnaies et matériels romains a été mis au jour dans le lit ensablé de la rivière (Schwab, 2003; Vouga, 1943; Vouga, 1885). Ces éléments découverts, entre 0,80 m et 1 m au-dessus des objets gaulois et datés de la République et du Haut Empire, impliquent une réactivation du chenal 28 à l'est de nos sondages. La faible profondeur des dépôts, d'après les auteurs, témoigne d'une montée du niveau moyen du lac par rapport au chenal précédent. L'absence d'éléments plus récents laisse supposer que le site de Marin-La Tène n'a été fréquenté que jusqu'au milieu du II^e siècle ap. J.-C.

Phase 31

Le chenal 3 du site de Marin-Pré de la Mottaz est peu profond et constitué à la base d'une couche à oncolithes érodée, contenant du matériel romain et des pieux datés du Haut Moyen Age (Fig. 2.20 ; Plumettaz, 2008). Les datations ¹⁴C entre 670 et 990 cal AD indiquent un fonctionnement du chenal entre les VII^e et X^e siècles (Tab. 4.1). Les restes du remplissage de ce dernier s'étendent durant le Haut Moyen Age. La période de temps couverte par les bois de ce chenal 31 est similaire à celle des bois des sites de Marin-La Directe (537-674 cal AD) et Marin-Prébit (620-780 cal AD). Ainsi, la faible altitude de sa base et la contemporanéité des dates de fonctionnement permettent de le relier aux chenaux des sites de Marin-La Directe et Marin-Prébit. Plus en amont, son tracé est très hypothétique du fait de l'absence de données entre le site de Marin-Prébit et le panneau électrique Marin-Ep_3348E. En effet, ce chenal peut, soit se diriger au SE du panneau électrique, soit le traverser entre 50 et 96 m. Dans ce second cas, il recouperait le chenal 28 et contournerait le panneau électrique Marin-EP_335-3348.

Phase 32

Toujours sur le site de Marin-Pré de la Mottaz, deux chenaux du Moyen-âge, d'orientation SE-NW puis SW-NE ont été mis au jour durant les fouilles. Des aménagements anthropiques - pêcherie et moulin - ont été trouvés dans le chenal le plus ancien daté par dendrochronologie des XI^e et XII^e siècles (Fig. 2.20 ; Plumettaz, 2008). Ce chenal 32 est constitué d'une zone

centrale profonde correspondant au lit mineur, inférieure à 428,50 m, et une zone moins creusée sur les côtés, interprétée comme son lit moyen (Fig. 5.5). Le lit mineur est large d'environ 16 m, profond de 4 m et contient une pêcherie. Le lit moyen est, quant à lui, caractérisé par un fond relativement plat et une faible profondeur, 1,50 m. Un canal de 0,50 m de profondeur avait été aménagé, parallèlement au lit mineur dans le niveau tourbeux d'altitude 430 m qui forme la base du lit moyen. L'emplacement d'un moulin a été découvert dans ce lit moyen ce qui laisse supposer que le canal avait pour vocation d'apporter l'eau de manière constante sous la roue du moulin (Plumettaz, 2008). Trois arguments laissent supposer que ce chenal 32 est un cours secondaire d'une Thielle moyenne plus importante. Tout d'abord, la taille de ce chenal 32 est beaucoup plus restreinte que celles observées précédemment. De plus, si ce chenal 32 est unique à cette période, la pêcherie, en prenant toute la place empêche la navigation entre les lacs de Neuchâtel et de Bienn. Enfin, les travaux de Plumettaz (2008) et Schwab (1973) prouvent la présence de pêcheries dans des cours d'eau correspondant au tracé de la "Grande Thielle" dès le XII^e siècle. Ainsi, le cours de la Thielle moyenne d'avant les 1^{ère} C.E.J., est attesté depuis le début du XII^e siècle.

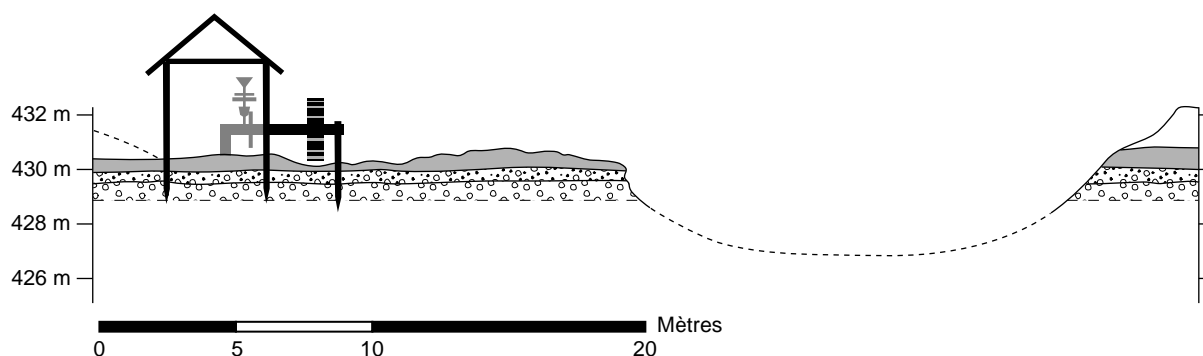


Fig. 5.5 : Profil du chenal du XI-XIIe siècle ap. J.C. au niveau du site de Marin-Pré de la Mottaz avec la position du moulin d'après Plumettaz (2008).

Phase 33

Le chenal 33, correspondant à une migration latérale du chenal 32, aurait fonctionné jusqu'au XV^e voire XVI^e siècle (Plumettaz, 2008). C'est ce chenal qui est observé sur les anciennes cartes sous le nom de "Ancienne Thielle" (Fig. 2.10). Diverses données d'archives attestent que c'est un bras mort de la Thielle moyenne dès le XVI^e siècle et qu'il ne fonctionne plus que lors de crues (Plumettaz, com. pers.), ce qui explique sa présence sur certaines cartes historiques jusqu'au XIX^e siècle.

Tous ces dépôts sont recouverts d'une troisième phase d'alternance (PLT-10c et LTM-10c) de limons gris clair ou plus organiques brun foncé. Cet ensemble culmine à 432,20 m par un niveau organique dans le sondage AX.C15, indiquant un haut niveau moyen relatif du lac.

Phase 34

Le niveau de limons sableux brun jaune 34 (PLP-16 et PLT-16) correspond au niveau 02 des coupes 2802W et 3206SE et 1B de la coupe 272-273W (M-Piec-12 ; Tab. 3.3). Sa présence dans les fentes de dessiccation, qui résultent de l'assèchement du secteur d'étude suite aux 1^{ère} C.E.J., laisse supposer dans un premier temps que ce dépôt d'inondation s'est mis en place après les premiers travaux. Or, l'altitude maximale observée pour ce dépôt est 432,02 m dans la coupe 2802W et 431,80 m dans la coupe 3206SE, altitudes jamais atteintes par le lac de Neuchâtel depuis les 1^{ère} C.E.J. (Fig. 1.17). En effet, depuis ces travaux d'aménagement, le lac n'a dépassé qu'à cinq reprises 431 m avec comme niveau maximal 431,18 m, pic atteint entre le 24 novembre 1944 et le 27 décembre 1944 (Fig. 1.17 ; Bureau fédéral des travaux publics, 1876-1916; Office fédéral de l'économie hydraulique, 1917-1979; Quartier, 1948; Service fédéral des eaux, 1944). Ainsi, il semblerait que cette couche se soit déposée avant les 1^{ère} C.E.J., donc antérieurement à la création des fentes de dessiccation. La présence d'effondrements du toit de cette formation, souvent observés à la verticale des fentes de dessiccation, résulterait alors d'un comblement de ces fissures par glissement des limons sableux 34 (Fig. 3.6 et 3.7). Ce dépôt se serait donc mis en place entre 670-890 cal AD, date du dernier dépôt de limons sous-jacents daté, et 1878, début de la baisse du niveau du lac après les 1^{ère} C.E.J.

Phase 35

Le dépôt 34 est recouvert par le cordon littoral 35 (PLP-17) composé de graviers, de galets et de sables dans les carottes AI.5Bis, AIV.C2 et 3. Ce cordon littoral 35 est le même que celui identifié US-1b dans l'Axe I (M-Piec-12). Il est repéré entre les cotes 430,70 et 431,50 m en périphérie du site de Marin-Les Piécettes, mais comme, il sert de fondations à une partie de la route des Marais, son altitude maximale ne peut être déterminée précisément. L'ensemble de graviers et de galets du sondage AXIV.C2, dont la base se situe à 430,52 m, peut être rattaché à ce cordon littoral 35. Il en est de même pour le cordon littoral PLT-17 et LTM-17 qui se situe à des altitudes identiques, entre 430,60 et 431,96 m. Avec une épaisseur moyenne de 1,30 m et sa lithologie de galets et graviers, il se distingue sur les profils de tomographie électrique par une forte résistivité, ce qui permet de le cartographier. Il recouvre le cordon littoral 27 sur l'axe "Camping1998", les coupes 3799A et B et le profil géophysique Marin-Ep_3348-long camping,

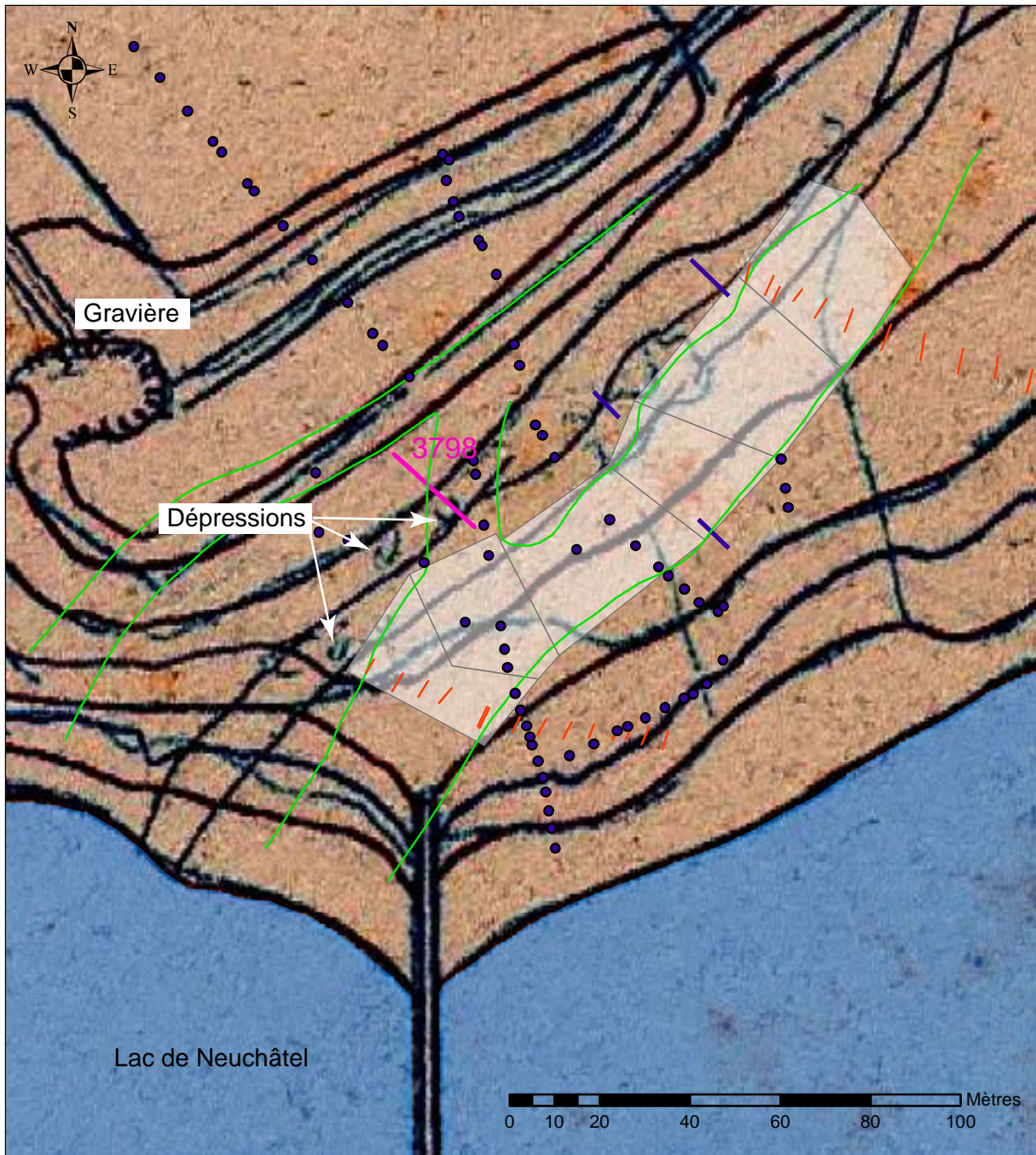
le chenal 28 dans les relevés 3799B, 3801-N, 3802, et le chenal 29 dans l'Axe X et le panneau électrique Marin-Ep_305-3348. Le tracé de ce cordon littoral coïncide avec le rivage du lac de Neuchâtel avant les C.E.J., observé sur les cartes historiques des XVIII^e et XIX^e siècles (Fig. 2.14b, 5.1 et 5.4). En reprenant l'argumentation utilisée pour les cordons littoraux précédents, il est possible d'estimer l'altitude du niveau moyen du lac entre 430,11 et 430,72 m lors de sa mise en place. Il marque alors une période de bas niveau lacustre par rapport au niveau moyen atteint lors du dépôt de l'ensemble 10c. Actuellement, il ne peut être replacé dans le temps que par chronologie relative, soit après le dépôt des limons sableux jaunes 34 qu'il recouvre et avant 1878, début de la baisse du niveau du lac après les 1^{ère} C.E.J.

Phase 36

Dans les secteurs périphérie de Marin-La Tène et entre Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz, un important cordon littoral 36 (PLT-18 et LTM-18) forme un monticule de graviers et de galets qui peut être suivi le long de la lisière nord-ouest des bois de Marin-Epagnier (Fig. 4.8 et 4.26). Il atteint des altitudes proches de 434,30 m. Sur la carte de Borel (1920 ; Fig. 2.14b), ce cordon est cartographié dans les bois actuels et en aval du panneau électrique Marin-Ep_3348E. Actuellement il n'est plus visible dans ce secteur, mais cette carte permet de prolonger nos observations (Fig. 5.1). D'après A. Dubois dans Vouga (1923) "*ces graviers ont été charriés par les vagues à une époque relativement récente et qui s'est terminée avec le début des travaux de correction des eaux du Jura. ... On distingue encore parfaitement la levée de galets ou cordon littoral qui correspond à l'ancien rivage. C'est un bourrelet de un mètre et plus d'élévation, qui court tout le long de la lisière du petit bois d'Epagnier et qui longe à distance la station*" de Marin-La Tène. Cette description correspond exactement à nos observations et permet de préciser qu'il s'est mis en place avant les 1^{ère} C.E.J. Il recouvre le flanc nord du cordon littoral 35 sur plusieurs coupes. Ainsi, il est envisageable qu'une partie des graviers et galets qui le composent, formait le cordon littoral 35 à l'origine. En reprenant l'argumentation utilisée pour les cordons littoraux précédents, il est possible d'estimer l'altitude du niveau moyen du lac, lors de sa mise en place, entre 432,50 et 433,10 m. Ces altitudes se situent entre le niveau moyen et les hauts niveaux lacustres pré-1^{ère} C.E.J., corroborant les propos de Dubois dans Vouga (1923).

Phase 37

Reginelli (2007) considère l'ensemble 37 constitué des dépôts PLT-19 de la coupe 3798 comme un petit chenal secondaire récent du fait du mélange de céramiques La Tène C2 à des







-  "Ancienne Thielle" d'après Vouga (1923)
-  piles de pont découvertes lors des premières fouilles
-  coupes et sondages effectués par l'OMAN
-  sondages réalisés lors des premières fouilles

Fig. 5.6 : Situation de la coupe 3798 par rapport aux observations réalisées par Borel (1920).

éléments plus jeunes (Pl. 15). Il reprendrait l'"Ancien bras?" reporté sur la carte de Borel (1907-14) qui le reprend de Vouga (1885 ; Fig. 2.15 et 2.16). Le fait qu'il ne soit observé que dans cette coupe pose un certain nombre de questions quant à son tracé et ses origines. Or, en replaçant la coupe sur la carte réalisée par Borel (1920), il s'avère qu'à l'emplacement de ce petit chenal 37 figure une dépression (Fig. 5.6). Elle se situe en bordure nord du chenal 28, dans lequel le site de Marin-La Tène a été fouillé, donc dans la même position géographique que celle décrite par Réginelli. Cette dépression - comme d'autres mentionnées sur la carte - forme un demi-cercle ouvert vers le Nord. La présence d'une gravière au nord-ouest laisse supposer que la dépression est, elle aussi, d'origine anthropique. Ainsi, cet ensemble ne serait pas un petit chenal comblé mais le témoignage d'une exploitation des sables et graviers du chenal 28 fouillé par Vouga.

Phases 38 et 39

Le pavement de plage 38 (PLP-20) et le petit cordon littoral 39 associé (PLP-21) observés sur l'Axe VI sont compris entre 430,40 m et 431,16 m (Pl. 7). Plus précisément, le pavement de plage s'est développé entre 430,40 et 430,60 m, ce qui correspond à la majorité des hauts niveaux du lac de Neuchâtel après les 1^{ère} C.E.J. (Fig. 1.17). Le cordon littoral 39 qui culmine à 431,16 m a nécessité un milieu agité afin de créer ce petit monticule de galets et graviers. Même si cette cote correspond à celle de la crue exceptionnelle de 1944, cette dernière peut difficilement être à l'origine du cordon littoral, car elle aurait créé ce monticule plus haut topographiquement. Cette entité a dû se former lors d'une période d'agitation relativement importante du lac durant une période de haut niveau lacustre, sans que ce dernier soit obligatoirement exceptionnel.

Phase 40

Il reste à préciser l'origine du niveau de sable homogène 40 (LTM-22) qui recoupe l'alternance de limons carbonatés et de limons crayeux LTM-10 dans les carottes AXI.C17 et AXIII.C2. La présence de ce dépôt s'explique en positionnant ces relevés de terrain sur la carte de Borel (1920 ; Fig. 5.7). En effet, sur cette dernière, l'auteur mentionne des canaux ou drains avec leur sens d'écoulement. Il apparaît alors que les deux carottes présentant les sables LTM-22 se situent de part et d'autre d'un de ces drains. En considérant les décalages liés à la précision de la carte originale et aux erreurs dues au redressement et géoréférencement de la carte, il est indubitable que les deux sondages ont été réalisés dans le tracé de cet ancien drain.

En aval du site de Marin-Pré de la Mottaz, seuls les relevés géophysiques apportent quelques éléments utiles quant à la compréhension des anciens cours de la Thielle. Afin

d'appréhender et de corrélérer au mieux les différentes unités qui présentent une résistivité électrique supérieure à l'encaissant, les panneaux électriques sont positionnés sur les anciennes cartes. Il ressort de cette superposition que les chenaux observés sur le site de Marin-Pré de la Mottaz se retrouvent sur le transect géophysique Marin-EP_3244-2545_Chemin de la

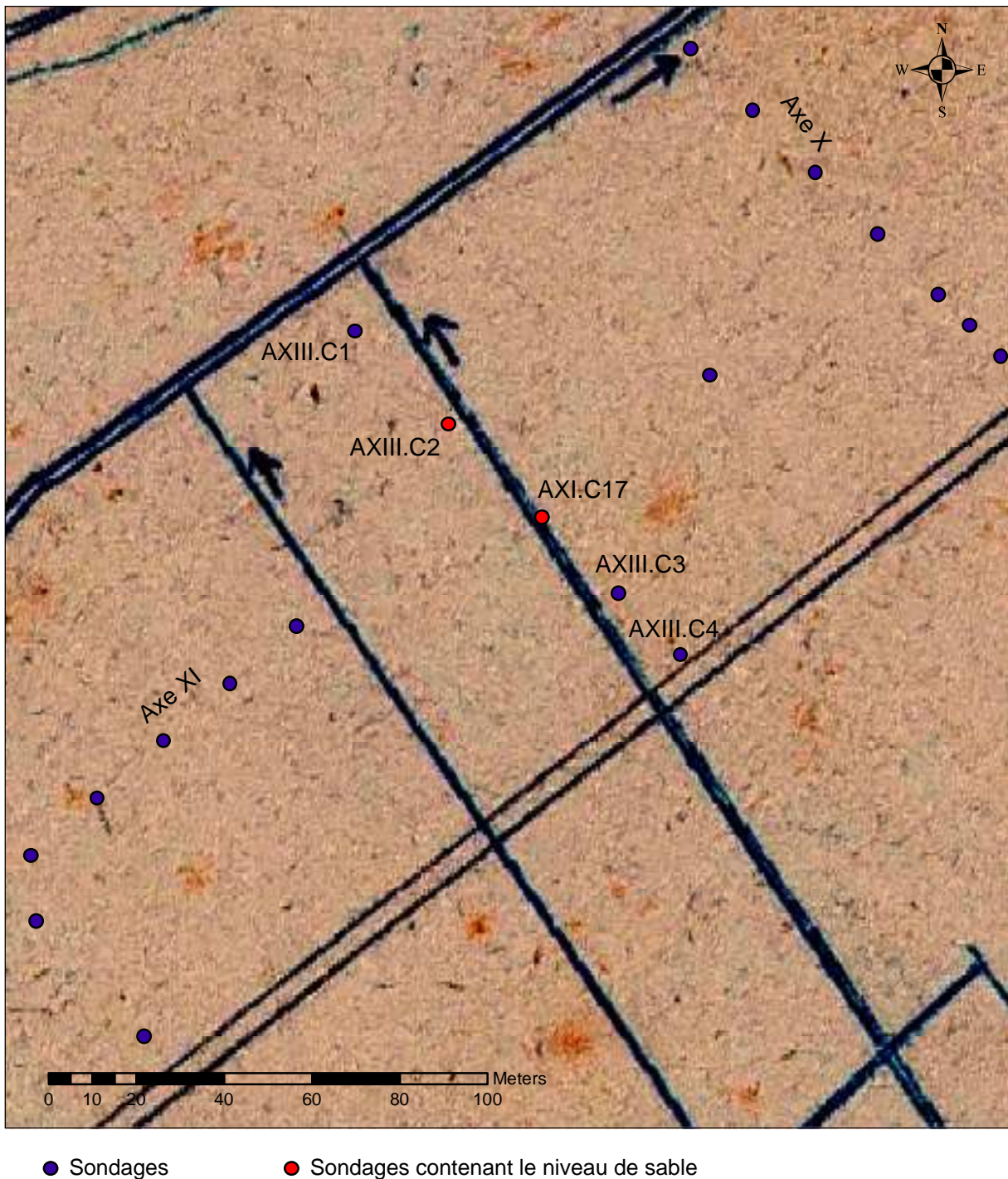


Fig. 5.7 : Situation des sondages des Axes XI et XIII présentant du sable dans la séquence supérieure vis à vis de la carte de Borel (1920).

Mottaz Est, au niveau ou légèrement décalé vis-à-vis du tracé de "l'Ancienne Thielle". En effet, un ensemble d'éléments sableux et graveleux s'observe sur environ 70 m de large. Les différentes altitudes de base de ces niveaux étant relativement faibles (429 à 431 m) et leurs résistivités semblables, il n'est pas possible de les distinguer. L'ensemble résistant situé vers 436 m correspond, quant à lui, à un canal indiqué sur la carte de Borel (1920 ; Fig. 2.11). Le profil géophysique Marin-Ep_911W recoupe au SE le cours de la Thielle pré-C.E.J. L'ensemble sableux observé au nord-est de cette formation est interprété comme une migration progressive du chenal au cours du temps. Les graviers sableux observés vers 428 m correspondent au tracé du canal figuré sur la carte de Borel (1920) et déjà observé dans le panneau électrique Marin-Ep_3244-2545W_Chemin de la Mottaz Est. Le dernier panneau électrique, Thielle-Wavre_911 centre, met en évidence le chenal de la "Grande Thielle" pré-C.E.J observé sur les cartes historiques, les photographies aériennes, les images proche-infrarouge et le M.N.T. (Fig. 2.5, 2.6, 2.7 et 2.10). Comme précédemment, la présence de sable au nord-ouest marque un déplacement progressif de ce chenal. Le deuxième ensemble résistant de ce panneau se situe vers 352 m. Il correspond au canal de Montmirail SW-NE qui se retrouve sur les cartes de 1816, 1838 et 1842 (Fig. 2.11). Cet ensemble a aussi fait l'objet d'observations sur les photographies aériennes et les images proche-infrarouge (Fig. 2.6 et 2.7).

Ainsi, une chronologie environnementale a pu être proposée à partir des observations réalisées en rive gauche du canal de la Thielle. Elle apporte des éléments probants quant à la hauteur du niveau moyen du lac à différentes périodes et permet de situer géographiquement et temporellement un certain nombre de cordons et chenaux. Cette échelle d'étude, focalisée sur une seule zone du lac, permet d'intégrer une pluridisciplinarité des documents. Ainsi, l'intégration des documents historiques, en complémentarité des relevés sédimentaires, a permis de vérifier un grand nombre d'hypothèses. Les couches archéologiques, quant à elles, fournissent du mobilier ou des éléments datables. Ils permettent ainsi d'affiner la chronologie des dépôts. Suite à cette chronologie de la rive gauche, une partie des tracés des chenaux présentés semblent divaguer en direction de la rive droite du canal de la Thielle (Fig. 5.1). Il est alors nécessaire de regarder les enregistrements sédimentaires situés sur le canton de Berne afin de compléter les données déjà obtenues.

1.2. Rive droite

Il s'avère que pour les deux panneaux électriques réalisés sur la rive droite du canal de la Thielle aucun niveau sablo-graveleux, pouvant correspondre à un paléo-chenal de la Thielle moyenne n'est recoupé. Il en est de même pour les sondages, ce qui permet de limiter la zone où ont pu s'écouler les chenaux à l'ouest des observations réalisées sur le canton de Berne.

Les données obtenues dans ce secteur par sondages corroborent celles de Lüdi (1935) et permettent de proposer des altitudes pour le niveau moyen du lac à certaines périodes (Tab.4.1 et Fig. 2.24 et Pl. 28). Chronologiquement, la plus ancienne date (10100-9730 cal BC) correspond aux bois prélevés dans la dune de Ründi à 429,90 m (phase 1). Ce dépôt d'origine éolienne (Heer *et al.*, 2007) étant identique de 429,13 à 430,43 m (Pl. 28, sondage Ründi1), implique que le niveau moyen du lac se situait à une altitude inférieure à 429,13 m à cette période.

Plus récemment, la base du niveau de tourbe du sondage Berne 10 (phase 2), datée de 6610-6470 cal BC, se trouve à 431 m d'altitude, indiquant le niveau moyen du lac à cette période.

Le sondage Berne 9 permet de dater la base du niveau de tourbe 3 qui se situe entre 431,97 m et 432,73 m, altitude du sol actuel. Il permet donc de proposer l'altitude 432 m pour le niveau moyen du lac vers 5320-5210 cal BC.

Un troisième dépôt tourbeux, situé sous la dune de Witzwil, entre 432 et 432,10 m, est daté de 660-770 cal AD. Cette tourbe est alors contemporaine des sites de Marin-Prébit, Marin-La Direct, du chenal 3 du site de Marin-Pré de la Mottaz, mais aussi du niveau 3 de la coupe 272-273W, daté de 670-890 cal AD. Ils sont composés tous les deux d'éléments organiques indiquant un bas niveau relatif du lac, mais présentent une différence altitudinale de près de 1 m. Cette différence peut être liée à une compaction des sédiments plus importante dans la coupe 272-273W. Cette différence de compaction est envisageable de par les lithologies sous-jacentes aux limons tourbeux. Sous la dune de Witzwil, les sables sont majoritairement présents alors que sous le site de Marin-Les Piécettes la séquence est dominée par les limons crayeux, plus sensibles à la compaction que les sables. Ainsi, l'altitude du niveau du lac à cette période pourrait être plus importante que celle estimée lors de l'étude du site de Marin-Les Piécettes. Suite à ce dépôt organique, une série de niveaux constitués d'éléments lacustres et contenant une faune aquatique ou de milieu humide va se mettre en place. Cet ensemble constitué des niveaux 33 à 15 du relevé effectué sur la coupe de Witzwil (Fig. 4.28), culmine à 433,50 m. Par comparaison avec l'altitude et la nature des sédiments limitrophes à la dune de Witzwil, il s'avère que cet ensemble forme un relief à la base de la dune. La présence de surfaces d'érosion et de

niveaux marquant un début de pédogenèse prouve une origine polyphasée et temporairement émergée de ces dépôts. Ainsi, les niveaux constituant les fondations de la dune de Witzwil correspondent à un cordon littoral sableux qui s'est formé sur la tourbe, en amont de la plage, lors de périodes de forte agitation du lac, par reprise des éléments de la beine lacustre sableuse, issus vraisemblablement de l'érosion de la molasse de la Butte de Jolimont. Cette accumulation s'est faite en plusieurs étapes, avant une baisse du niveau du lac à la suite de laquelle il n'a plus apporté d'éléments. Suite à cette régression lacustre, un couvert végétal, enregistré par le niveau 15 du relevé effectué sur la coupe de la dune de Witzwil, s'est développé et a fixé ce relief. En reprenant l'argumentation utilisée pour les cordons littoraux précédents, il est possible d'estimer l'altitude du niveau moyen du lac entre 431,70 et 432,30 m lors de sa mise en place. D'après les relevés des cartes géologiques (Becker et Ramseyer, 1972-73; Meia et Frei, 1974-76; Schär *et al.*, 1971; Suter et Lüthi, 1969) et de Lüdi (1935), la dune de Witzwil, et ce cordon littoral, sont dans le prolongement du cordon littoral 36 et peut être du 35 (Fig. 1.3). Ainsi, il est fort probable que le cordon sous-jacent à la dune de Witzwil ait pour origine le même événement qu'un des deux cordons de la rive gauche 35 ou 36, même si le cordon sableux est entre leurs altitudes. Cela peut être relié à la topographie locale, à son orientation par rapport à celle du lac mais aussi à la différence de cohésion et de résistance à l'érosion du sable par rapport aux galets et graviers. Suite au retrait du lac, la plage de sable qui se situe à l'ouest du cordon va être sujette à une érosion éolienne. Lors de vents d'ouest ou de sud-ouest, le sable va être repris et déposé sur le cordon littoral, qui forme alors une petite barrière, expliquant la présence de la dune (niveaux 14 à 1 du relevé effectué sur la coupe de Witzwil) au sommet du cordon littoral. Cette dune est aussi polyphasée puisqu'elle présente des niveaux de pédogenèse, témoignant de l'irrégularité des apports de sable. L'absence de datation dans cet ensemble sableux, en dehors du niveau tourbeux basal, ne permet pas de resituer précisément la mise en place de ce complexe. Toutefois, nous savons que les premiers dépôts de sables sont postérieurs au niveau tourbeux daté de 660-780 cal BP et que ce monticule est représenté sur une carte des zones inondables entre les lacs de Neuchâtel et de Bienne du XVII^e siècle (Anonymus, ap. 1650 au XVII^e ; Fig. 5.8).

1.3. Les remplissages de chenaux

Les chenaux observés sur le site de Marin-La Tène sont remplis de sables avec des intercalations de limons crayeux parfois organiques (Reginelli, 2007). Des laminations semblables sont observées dans les chenaux sableux du site de Marin-Pré de la Mottaz

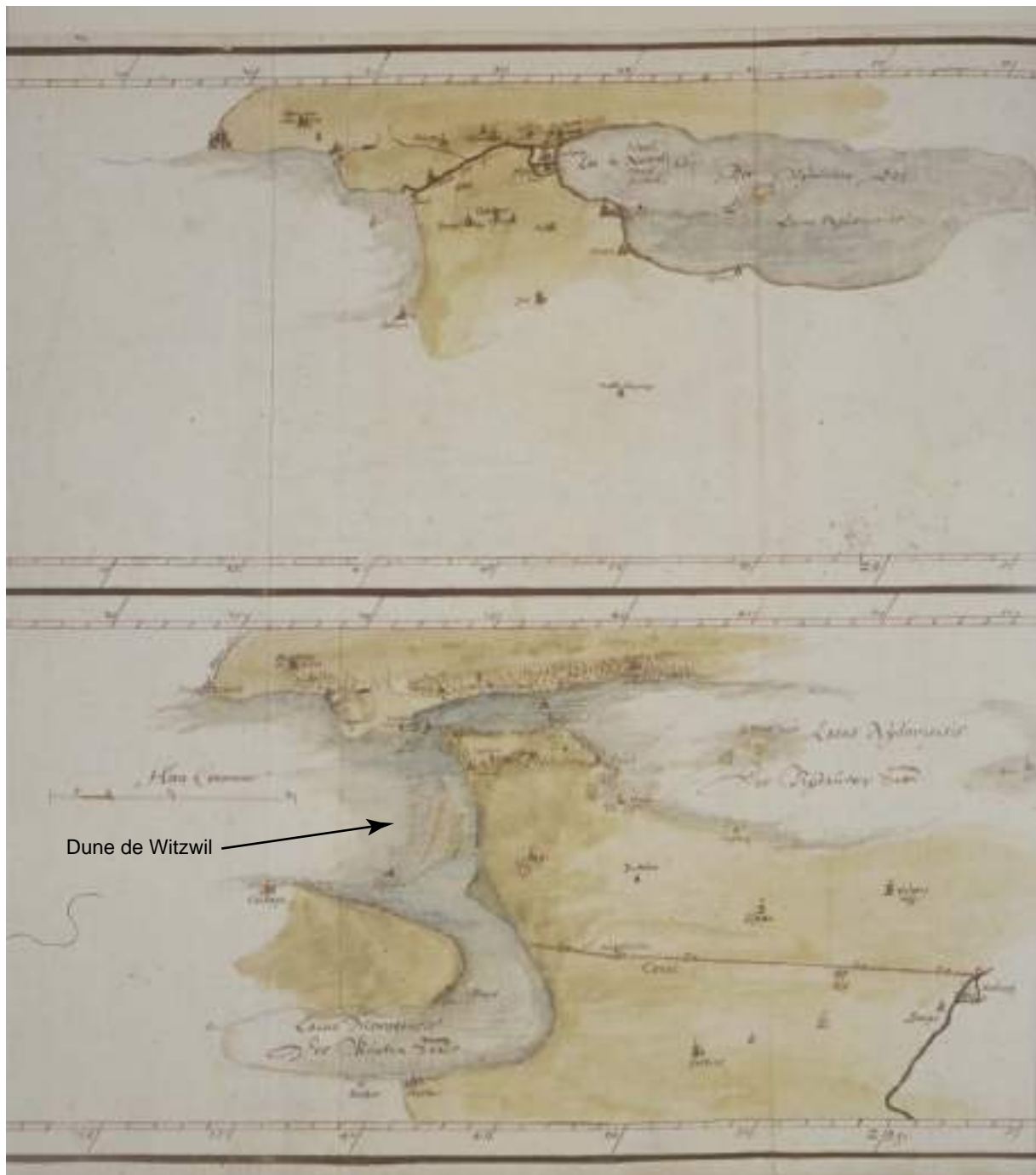


Fig. 5.8 : Carte du XVII^e siècle (après 1650) de la zone inondable entre les lacs de Neuchâtel et Bièvre sur laquelle apparaît la dune de Witzwil (Anonymus, ap. 1650 au XVII^e).

(documents de fouilles non publiés). De quelques centimètres d'épaisseur, ces minces couches sont interprétées comme des dépôts de limons crayeux en milieu calme. Il est envisageable qu'ils se mettent en place durant la période estivale. En effet, depuis l'arrêt de l'écoulement de l'Aar dans le lac de Neuchâtel (3636-3488 cal BC), à cette saison, le niveau du lac est bas, et donc son émissaire la Thielle moyenne est à l'étiage, ce qui engendre un faible courant. De plus, les températures importantes que peuvent atteindre les eaux en été favorisent la précipitation des limons crayeux (Verrecchia, 2007).

Le chenal du site de Cornaux-Les Sauges présente les mêmes dimensions que le chenal 29 observé principalement dans les relevés géophysiques, et peut donc hypothétiquement lui être rattaché. Lors des fouilles, Schwab (1989) met au jour dans le premier niveau de remplissage du chenal de Cornaux, constitué de 20 à 40 cm de sables et de graviers, vingt et un squelettes humains dont certains crânes renfermaient encore des restes de masse cérébrale. Ces squelettes présents sur les berges et dans le cours de la Thielle sont enchevêtrés dans les bois du pont celtique. La disposition des corps, des bois et du mobilier laisse supposer que le phénomène à l'origine de la destruction du pont et de la mort des humains et des animaux fut très violent. Les bois du pont et les corps, dont des parties molles, sont très bien conservés et ce à l'emplacement même du pont. Cela signifie que l'événement destructeur a en même temps : détruit, plaqué les éléments au sol et recouvert ces derniers. Cette découverte exceptionnelle a fait l'objet de nombreuses interprétations. Schwab (1989) suppose que l'effondrement du pont est la conséquence d'une brusque montée des eaux du lac de Neuchâtel liée au déversement de l'Aar dans ce dernier. Or, d'après Schwab (1992) et Schwab *et al.* (1998) l'Aar ne s'est plus écoulé dans le lac de Neuchâtel depuis 3634-2376 cal BC, donc antérieurement à cet événement. De plus, l'effet d'une crue subite aurait été le même que celui d'une tempête, à savoir que tout aurait été emporté. Plus récemment, après analyse bibliographique, Garcia et Petit (à paraître) ont proposé l'hypothèse d'un événement de type tsunami provoqué par un slump dans le lac. Ce phénomène a déjà été observé dans d'autres lacs suisses (Schnellmann *et al.*, 2002) et des slumps ont été identifiés par géophysique dans le lac de Neuchâtel (Gorin *et al.*, 2003). Toutefois, aucun des dépôts observés durant ce travail n'enregistre un tel événement. De nouvelles analyses doivent donc être réalisées afin de vérifier cette hypothèse.

1.4. Le cas des cordons littoraux et des dunes

1.4.1. Les cordons littoraux

Ce travail a permis de replacer quatre cordons littoraux sur la rive gauche du canal de la Thielle en complément du cordon de Heidenweg cartographié par Lüdi (1935), et un sur la rive droite bernoise.

Le cordon littoral le plus ancien (phase 11) est recoupé par les fouilles du site de Marin-Les Piécettes par l'OMAN. Il s'est mis en place durant une période de bas niveau lacustre entre 3800-3630 cal BC et 3504-3483 av. J.-C.

Le deuxième, le cordon littoral 27 se situe sur le site de Marin-La Tène entre le remplissage du chenal 26 observé sur le site, soit après 650 av. J.-C., et avant le chenal 28, dont

les premiers remplissages contiennent du mobilier de La Tène C2, soit 260-140 av. J.-C. Lui aussi s'est développé durant une période de bas niveau lacustre.

Les cordons littoraux 35 et 36, qui se succèdent dans le temps, se situent au-dessus de l'alternance de limons carbonatés gris clair et de limons organiques brun foncé 10c. Le dépôt le plus récent de cet ensemble à avoir été daté a fourni la date 670-890 cal AD. Le cordon littoral 35 s'est mis en place durant une période de bas niveau lacustre, alors que le lac était à une altitude relativement haute lors de la phase 36. De ce fait, les constituants du premier cordon ont pu être en partie remaniés pour former le second. D'après A. Dubois dans Vouga (1923), le cordon de la phase 36 s'est formé avant les 1^{ère} C.E.J. Cette chronologie peut alors aussi être appliquée au cordon de la phase 35, antérieur au 36. Avant ces travaux, ils formaient la rive du lac à gauche du canal de la Thielle. En prolongeant leur tracé, vers le NW, ils rejoignent celui de la dune de Witzwil qui est post 660-780 cal AD. Ainsi, le cordon basal de la dune correspondrait soit au 35 soit au 36, mais aucun élément ne permet de favoriser l'une de ces deux hypothèses.

Le cordon de Heidenweg n'ayant pas été observé, il ne peut pas être situé chronologiquement.

Ainsi, dans la zone exutoire du lac de Neuchâtel, deux types de cordons littoraux ont été observés et différenciés par leur granulométrie graveleuse ou sableuse. Cette distinction est fonction de la granulométrie des éléments qui le constituent et pas du mode de formation. Ces cordons sont composés de matériel remis à disposition et transportés par un hydrodynamisme plus conséquent lors de tempêtes. Leur composition granulométrique est donc dépendante des éléments mis à disposition en aval, c'est à dire au niveau des plages et des avant-plages. Il apparaît alors logique que les cordons de la rive gauche soient graveleux du fait de l'accumulation de graviers et galets d'origine glaciaire et fluvioglaciaire dans ce secteur, et que le cordon de la rive droite soit sableux suite à la présence des sables issus du démantèlement des reliefs molassiques, comme la colline de Jolimont. Ces dépôts se mettent en place au-dessus du niveau moyen du lac. Les cordons peuvent dominer de 1,20 m à 1,85 m le plan d'eau selon les auteurs (Curdy *et al.*, 1995; Jäckli, 1950; Moulin, 1991; Wüthrich, 2003). Cette différence d'altitude est fonction de la topographie du littoral émergé ou non, de l'importance de la tempête et du matériel à disposition. De même, la distance entre la rive et le cordon est liée à ces trois paramètres. La disposition des cordons littoraux les uns par rapport aux autres est par contre liée à la topographie du littoral et à l'altitude du lac lors de la mise en place de ces derniers. Ainsi, pour trois secteurs du lac de Neuchâtel, les successions ne sont pas identiques. Alors que dans la zone exutoire, et à Colombier (Meia *et al.*, 1971), il n'existe pas de corrélation entre l'âge des

cordons et leur proximité au rivage, à Yverdon-les Bains les cordons sont de plus en plus jeunes en se rapprochant de la rive actuelle (Curdy et al., 1995; Kasser, 1975).

1.4.2. Les dunes

Sur le principe, la formation d'une dune éolienne nécessite la mise à disposition d'une grande quantité de sable que le vent peut transporter puis redéposer. Ainsi, les facteurs limitants à la formation d'une telle entité sont la présence de sable émergé et sa position par rapport aux vents dominants, et une barrière contraignant le dépôt. La partie NW du lac de Neuchâtel remplit ces trois critères. Une grande quantité de sable, issue de l'érosion de la molasse, est présente dans cette région, soit sous un niveau de tourbe, soit dans l'eau. Ainsi, lors d'une période de bas niveau lacustre, le sable se retrouve émergé et disponible pour un transport éolien. Toutefois, la période de disponibilité est relativement de courte durée, car dès l'installation de la végétation ou le retour de l'eau, l'érosion éolienne se trouve limitée voire impossible. Concernant les vents, les principaux ont des directions parallèles à l'orientation du lac de Neuchâtel et balayent régulièrement cette zone (Fig. 1.4). Le sable est alors transporté par le vent jusqu'à ce qu'il rencontre un obstacle.

La dune de Witzwil, qui a fait l'objet d'une étude plus approfondie, corrobore cette théorie puisqu'elle s'appuie sur un cordon littoral et s'est formée suite à une baisse du niveau moyen du lac. Avant la formation de la dune, le cordon était recouvert de végétaux formant l'obstacle nécessaire au dépôt des sables. Van der Meer (1976) et Meyer-Wohlfarth (1987) pensent que les dunes se sont formées entre l'Allerød-Dryas récent et l'Atlantique. Or la date obtenue par datation ^{14}C du niveau de tourbe située sous cette dune est bien plus récente, 660-780 cal AD (Tab. 4.1).

La base de la dune de Ründi a été observée dans un sondage à la tarière, ce qui est insuffisant pour savoir si elle se superpose à un cordon littoral. La présence de pins couchés dans la partie inférieure de la dune, tous orientés SW-SE, donc parallèles à l'orientation du lac, laisse supposer que leur destruction est due à une période de vents forts. Ces pins auraient été alors l'obstacle nécessaire au dépôt de sable, et de ce fait, permettraient de dater la dune. La date ^{14}C obtenue pour les pins est de 10 099-9 735 cal BC ce qui implique une mise en place à la limite Préboréal-Dryas récent. Heer *et al.* (2007) datent des quartz et des feldspaths de la partie supérieure de cette dune par OSL. Les âges obtenus sur ces deux minéraux différent mais suggèrent un dépôt durant le Dryas récent et le Boréal. Ces résultats confirment alors l'implication des pins dans la mise en place de la dune.

Une dune de sable est mentionnée au nord de la voie de chemin de fer sur la carte

géologique (Schär *et al.*, 1971). Cette dune n'est actuellement pas observable dans le paysage et n'a pas été reconnue lors de la prospection par tomographie électrique (Fig. 4.20). Compte tenu de l'échelle de la carte et de sa situation, en bordure du tracé de "l'Ancienne Thielle", il est possible que cet ensemble sableux soit en réalité lié aux anciens chenaux.

1.5. Conclusion

A partir de cette synthèse, il est possible de récapituler la chronologie des enregistrements sédimentaires de la zone exutoire du lac de Neuchâtel et de réaliser une carte synthétique des différents éléments géomorphologiques découverts (Tab. 5.1 et Fig. 5.9). Par ailleurs, les différentes interprétations ont permis d'estimer les altitudes du niveau moyen du lac (Fig. 5.10). Cette étude s'est aussi fondée sur la présence de phases d'occupation anthropique qui ont notamment servi pour les datations, et donc les corrélations. Grâce à l'inventaire des stations littorales du lac de Neuchâtel, il est possible de comparer les altitudes du lac que nous avons proposées à celles des sites littoraux de l'ensemble du lac, puis de comparer la séquence de la zone exutoire avec celles des sites des baies de Hauterive-Champréveyres et de Concise, zones à forte densité d'occupation archéologique.

2. Contexte géo-archéologique

Durant l'analyse des sondages, plusieurs niveaux et vestiges archéologiques ont été reconnus. Ils peuvent se présenter sous la forme d'une couche d'occupation ou par la simple présence de pieux. Pour chaque site recoupé, il est possible de reporter sur une carte l'épaisseur des couches archéologiques traversés dans chaque carotte. Cette méthode permet d'avoir une représentation spatiale des sites archéologiques sans extrapolation. Lorsqu'un site apparaît sur plusieurs transects, toutes les données le concernant sont traitées en même temps alors que si un doute existe entre des niveaux de différents axes, les données sont traitées séparément. Un inventaire de tous les niveaux rencontrés est ainsi possible, des stations les plus anciennes aux plus récentes.

2.1. Première occupation

Le niveau d'occupation le plus ancien (phase 13) observé dans AVI se situe dans la même position stratigraphique que le plus ancien de AIX-NS. L'absence de datation de ce dernier et la distance qui sépare ces deux axes ne permettent pas de certifier qu'ils appartiennent à la même phase d'occupation (Fig. 5.11).

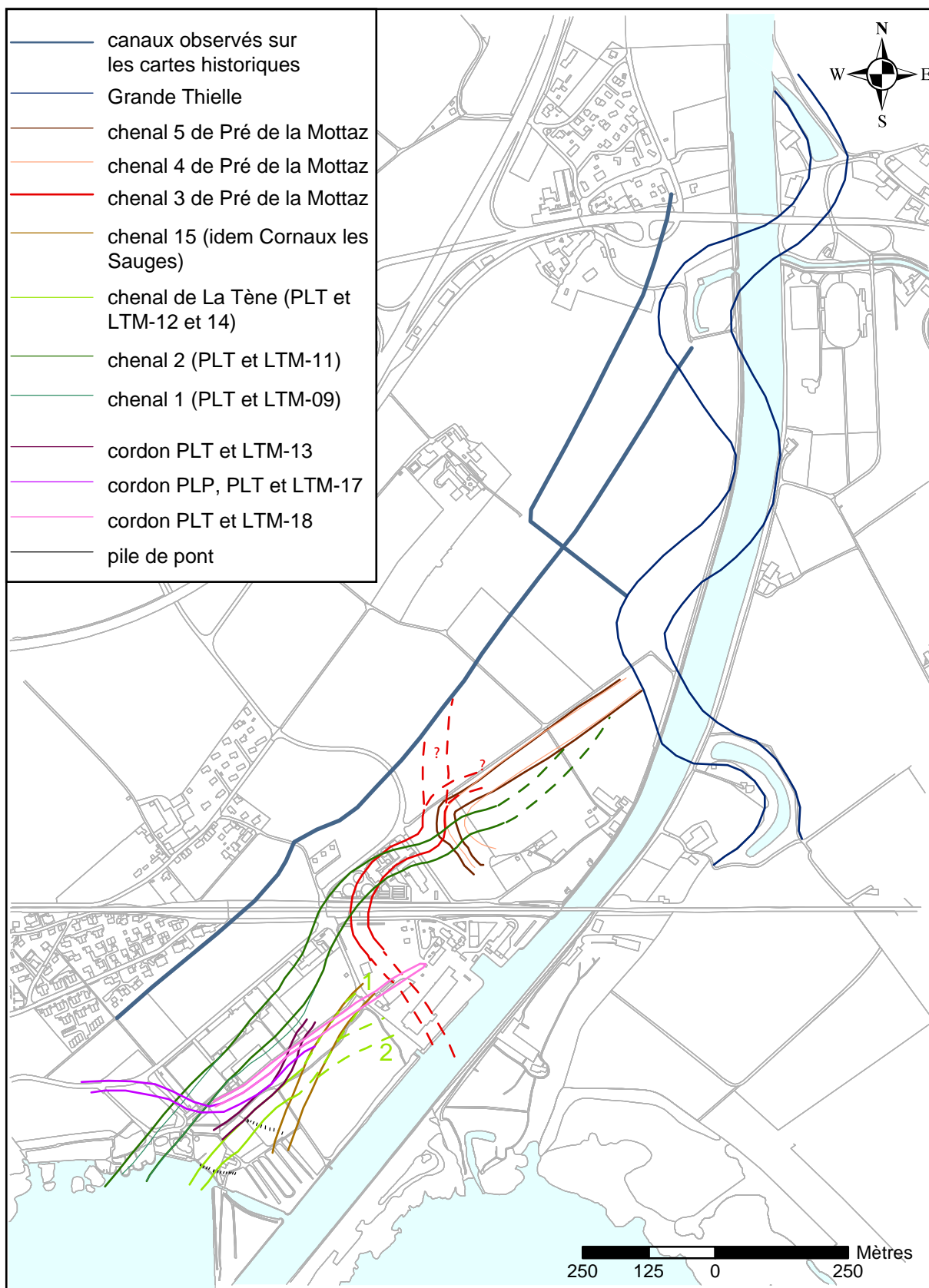


Fig. 5.9 : Carte synthétique des chenaux et des cordons littoraux de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

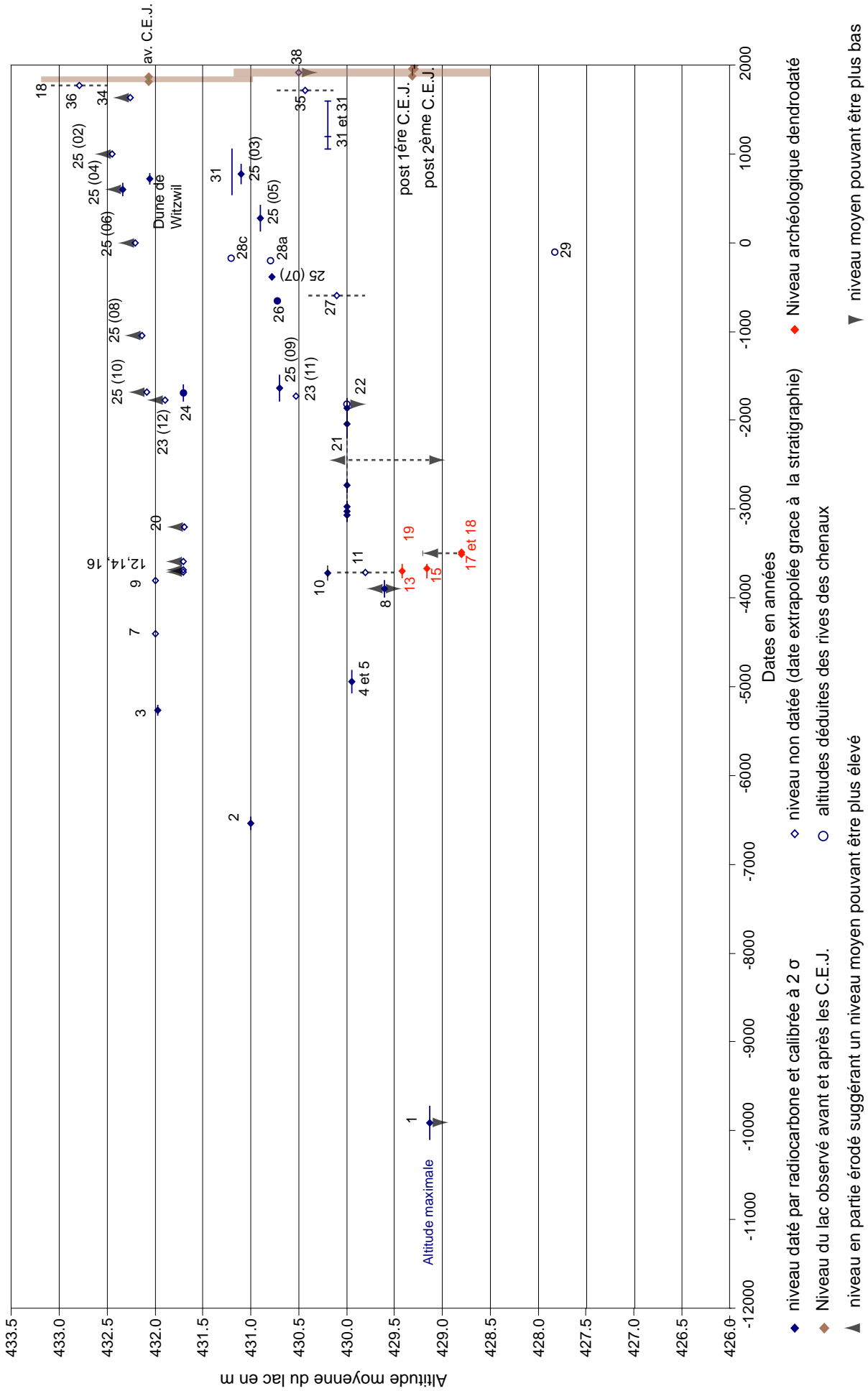


Fig. 5.10 : Variations du niveau du lac de Neuchâtel obtenues par l'analyse des coupes relevées de la zone exutoire. Les numéros indiquent les phases observées dans la zone exutoire du lac (Pour les phases 23 et 25, les chiffres entre parenthèses indiquent le numéro de la coupe dans la coupe 272-273W).

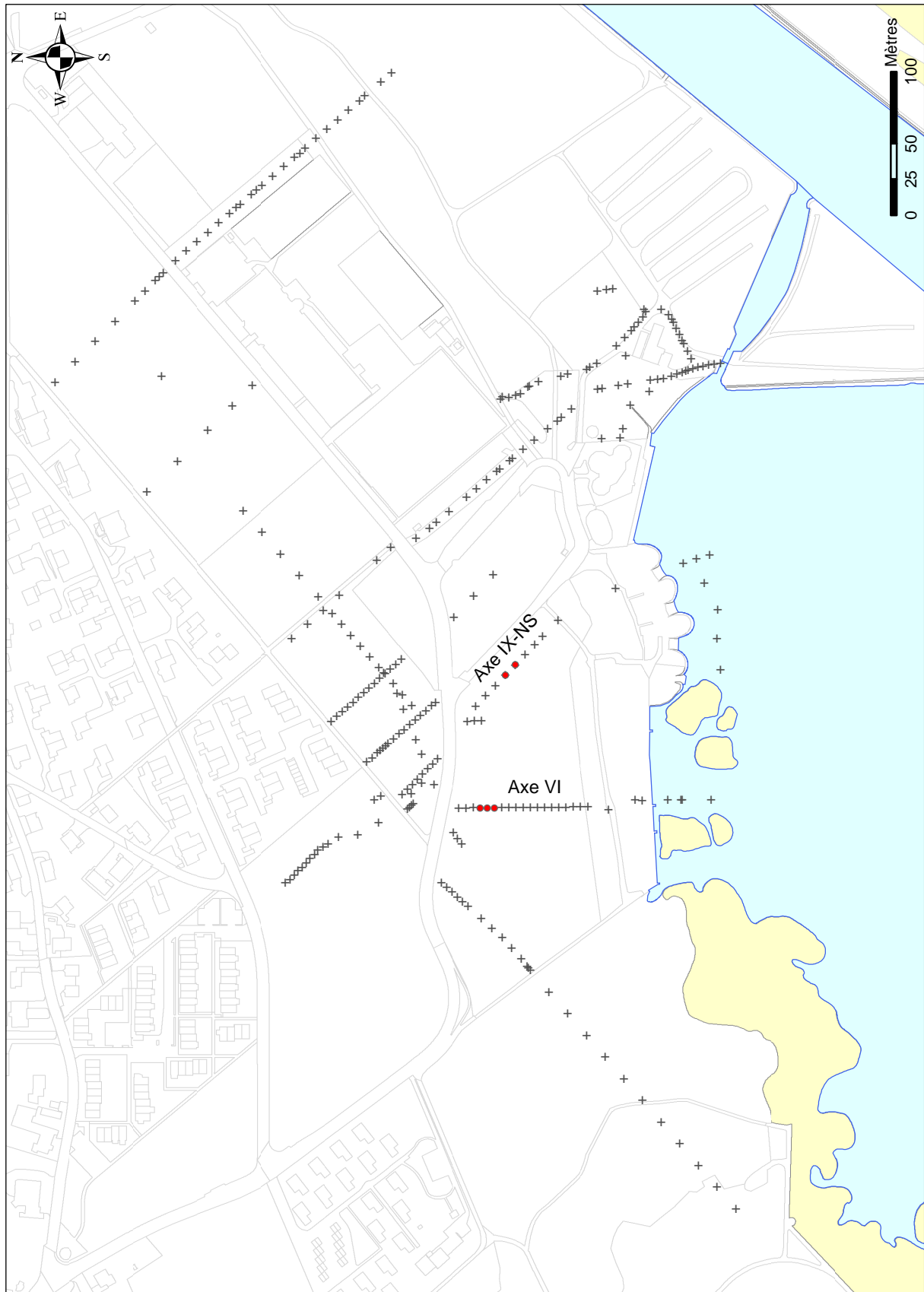


Fig. 5.11 : Situation des sondages présentant le "premier niveau d'occupation".

2.1.1. Axe VI (secteur PLP)

Elle n'est traversée que par AVI.C4 à C6 vers 429,3 m (Pl. 7 et Fig. 5.11). Dans ce niveau, d'épaisseur comprise entre 2 et 3 cm, deux tessons de céramiques ont été découverts en C5 et C6 et un morceau de bois dans C6. Un charbon de bois prélevé dans C4 date cette couche de 3770-3620 cal BC (Tab. 3.1).

2.1.2. Axe IX-NS (secteur PLP)

Ce niveau riche en charbons se situe dans AIX.C7 et C8 à une altitude moyenne voisine de 428,6 m (Pl. 8 et Fig. 5.11). Son épaisseur maximale atteint 40 cm. Il n'a pas fait l'objet de datation.

2.2. Deuxième occupation

Comme pour la première occupation, des niveaux archéologiques ont été découverts dans la même position stratigraphique dans AVI et AIX. Il n'est pas exclu qu'ils appartiennent à la même phase d'occupation 15 mais actuellement rien ne permet de le certifier.

2.2.1. Axe VI (secteur PLP)

Cette deuxième phase d'occupation est recoupée par cinq carottes de AVI vers 429,6 m (Pl. 7 et Fig. 5.12). Elle est comprise entre C4 et C9 mais est absente dans C5. Son épaisseur est le plus souvent inférieure à 5 cm mais peut atteindre 9 cm (C4). C4 présente de nombreux charbons et des nodules rubéfiés typiques d'une chape lessivée. La datation de cette couche par analyse ^{14}C sur des charbons est de 3770-3620 cal BC (Tab. 3.1). Ainsi, cette couche d'occupation livre une date similaire au niveau archéologique inférieur. Néanmoins, la présence d'un niveau de limons crayeux entre les deux permet de les distinguer.

2.2.2. Axe IX-NS (secteur PLP)

Les niveaux observés dans AIX.C2 à C5 et C9 à C11 sont regroupés ici (Pl. 8 et Fig. 5.12). Séparés de 40 m, il n'est pas certain qu'ils fassent partie du même niveau anthropique mais ils se situent dans la même position au sein de la stratigraphie et à une altitude moyenne de 429 m. Comme ils n'ont pas fait l'objet de datation, il n'est pas possible de les situer temporellement.

2.3. Troisième occupation

Elle regroupe les données se situant en même position stratigraphique que la station

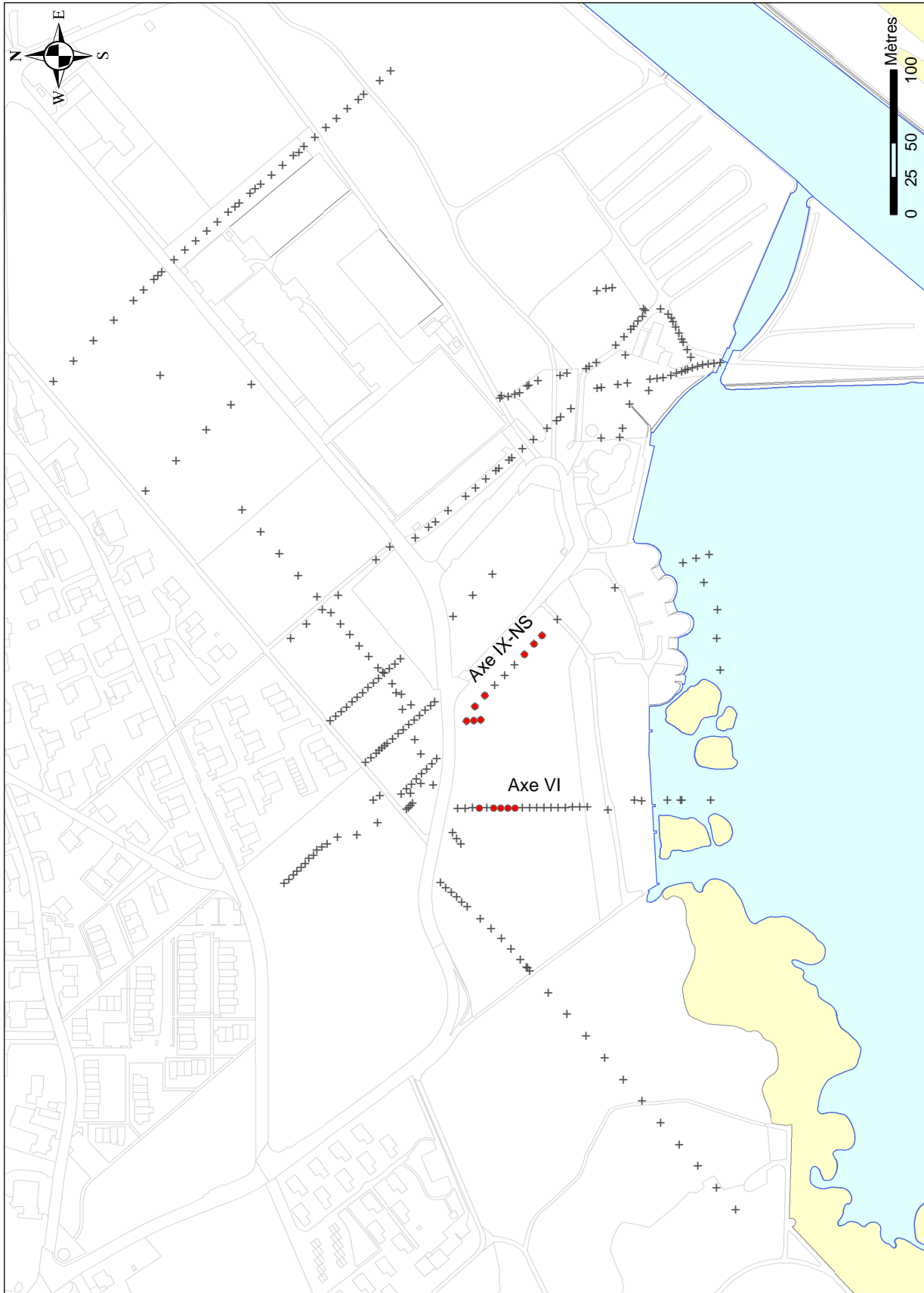


Fig. 5.12 : Situation des sondages présentant le "deuxième niveau d'occupation".

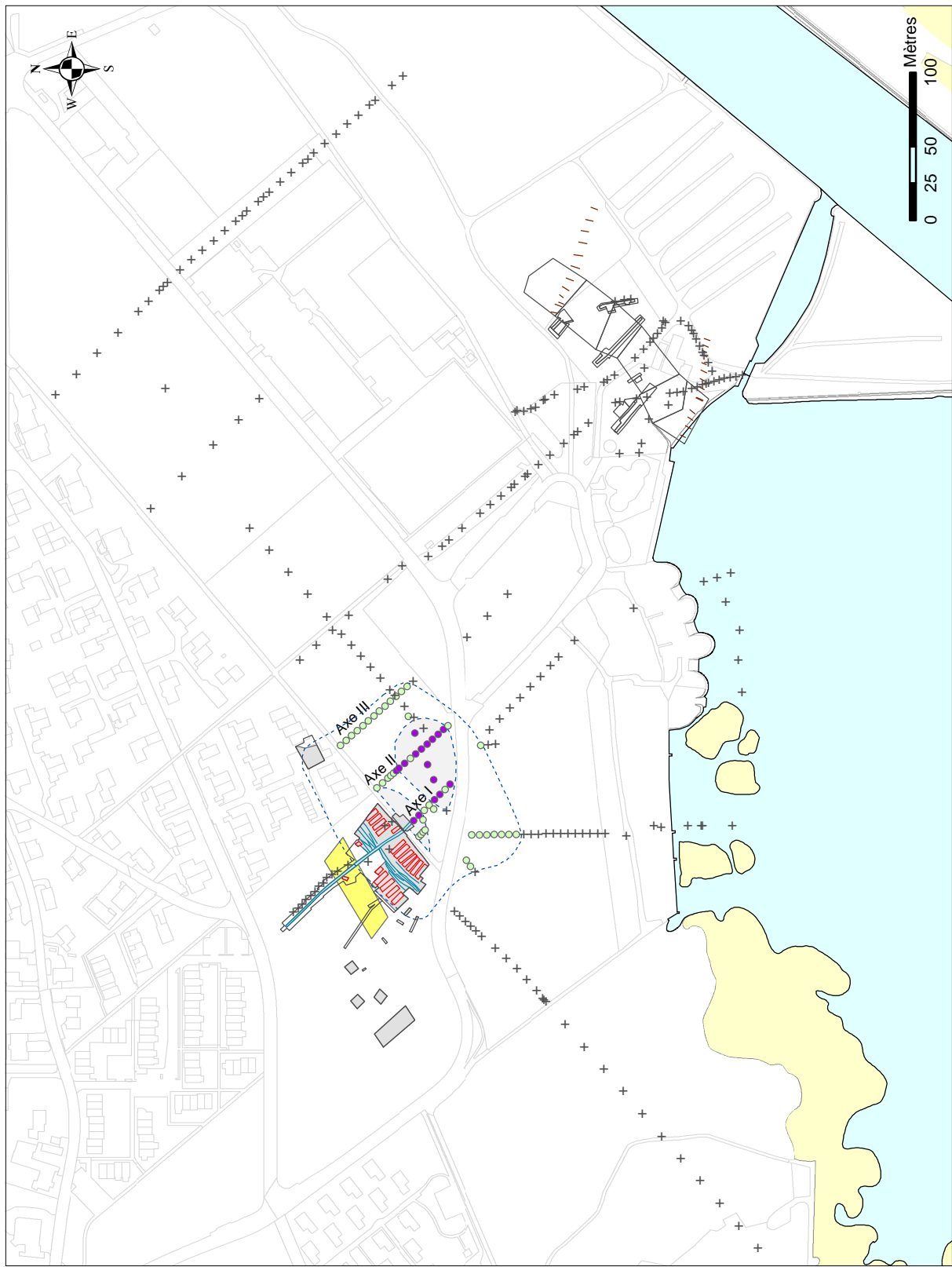
littorale néolithique de Marin-Les Piécettes (phases 17 et 19). Sur la carte de l'étendue de cette occupation, deux secteurs se distinguent par l'épaisseur plus importante de la couche archéologique (Fig. 5.13). Le premier se situe juste en aval du site fouillé, alors que le deuxième, au sud-est, est centré sur les dernières carottes de l'Axe II (Fig. 5.13). Malgré notre étude, il est impossible de savoir si l'occupation humaine s'est faite sur toute la zone et qu'une partie a été érodée ou si des zones d'occupation ont été privilégiées. Aucun indice topographique n'est visible sur les coupes pour étayer l'une ou l'autre des hypothèses. Afin de vérifier si cette troisième occupation est liée au site néolithique de Marin-Les Piécettes, deux datations ¹⁴C ont été réalisées sur des charbons provenant de deux sondages (Tab. 3.1). La première provient de AI.C10Bis et date la couche archéologique de 3540-3360 cal BC. La deuxième, réalisée dans AVI.C4, donne un âge similaire : 3540-3370 cal BC. La fourchette de dates dendrochronologiques du site de Marin-Les Piécettes, qui ne reflète sans doute pas toutes les phases d'abattage, est de 3504-3483 av. J.-C. Ainsi, la troisième occupation peut être considérée comme contemporaine du site de Marin-Les Piécettes.

Il est alors possible de délimiter le site néolithique de Marin-Les Piécettes dans son ensemble (Fig. 5.13). Il peut être schématisé par un rectangle de 117 m de large - NW-SE - sur 130 m de long - SW-NE. La superficie couverte avoisine 14 500 m². La densité des vestiges est variable au sein du site puisque des secteurs en contiennent peu (AVIII.C3) alors que des sondages recoupent des pieux ou des foyers.

Par ailleurs, le niveau archéologique des carottes se situant dans le prolongement du chemin néolithique qui traverse le site (AI.C8, C4 et C9) est particulier. En effet, il est constitué de limons sableux, tourbeux à charbons, dans lesquels s'intercale un niveau de sable et graviers contenant quelques charbons. Ce niveau plus grossier est semblable aux remblais rapportés au niveau du chemin néolithique, et observé lors de fouilles (Honegger, 2001). Il permet de prolonger le chemin sur une quinzaine de mètres vers le SE.

2.4. Le site de Marin-La Tène

L'analyse de l'ensemble des coupes réalisées par l'OMAN lors des dernières fouilles de ce site en 2003, l'axe "Camping1998" et les panneaux électriques permettent de proposer une nouvelle chronologie des événements enregistrés sur le site de Marin-La Tène (Fig. 5.14). Le chenal 26 va se mettre en place lors d'une période d'abaissement du niveau du lac. Dans le site, ce chenal 26 est situé à proximité de la rive du lac. Alors que son remplissage est constitué de sables, les berges sont formées de sables, graviers et mobilier halstattien C-D1, encroûtés. A



Epaisseur du niveau archéologique : ● <15 ● >15

--- Limite de la station néolithique de Marin-Les Piécettes

■ Cordon littoral

■ Maisons néolithiques

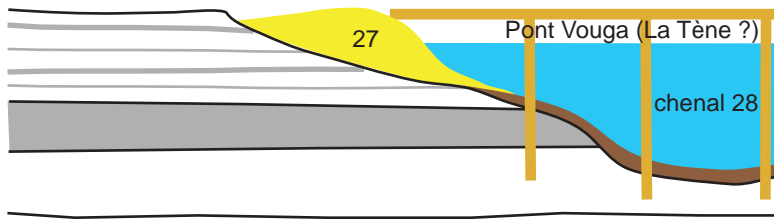
— Palissades néolithiques

— Piles de ponts du site de la Tène

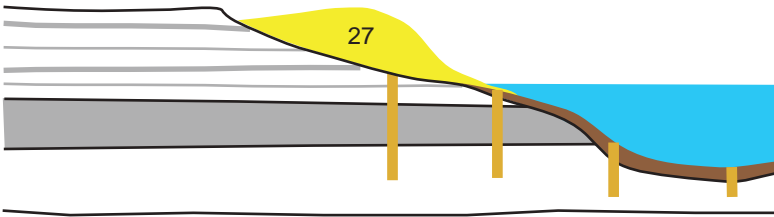
Fig. 5.13 : Etendue et importance du niveau archéologique témoin de la 3^e occupation correspondant à la station littorale de Marin-Les Piécettes et position des piles de pont du site de la Tène.

5. Augmentation du niveau du lac, réactivation du chenal en chenal 28 et construction du pont Vouga plus en aval qui s'appuie contre le cordon littoral 27.

Entre 260 et 140 av. J.-C.

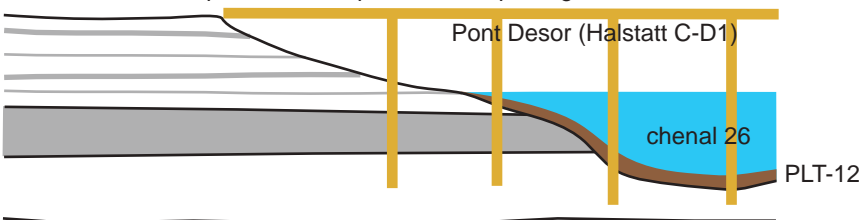


4. Destruction du pont et mise en place du cordon littoral 27 pouvant être liées à un même événement.



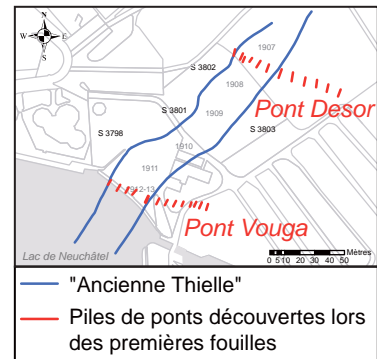
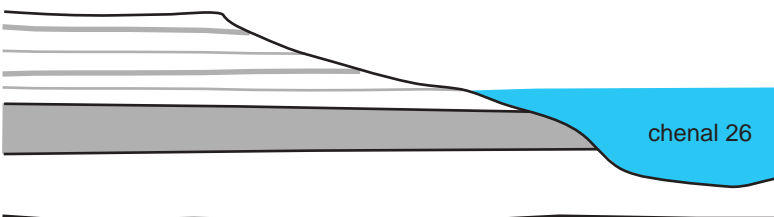
3. Construction du pont Desor et premiers remplissages du chenal.

Vers 650 av. J.-C.



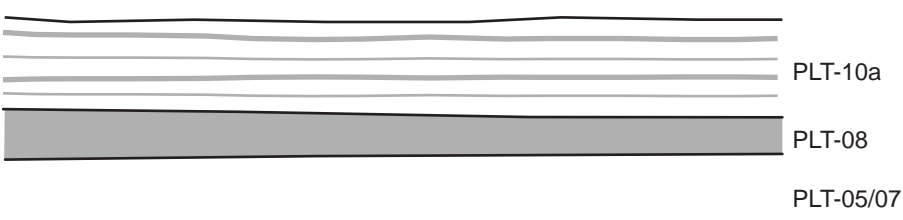
PLT-12 : Sable à graviers et galets

2. Abaissement du niveau du lac entraînant l'incision du chenal 26.



Plan du site de Marin-La Tène

1. Mise en place de la séquence sédimentaire lacustre.



PLT-10a : Alternance de limons crayeux et de limons tourbeux

PLT-08 : Limons tourbeux dont les dates vont de 3130-3000 cal BC à 1971-1754 cal BC

PLT-05/07 : Limons crayeux contenant une planche datée de 3824 av. J.-C.

Fig. 5.14 : Evolution schématique du site de Marin-La Tène.

la même période, le pont Desor est construit au-dessus de ce chenal, vers 650 av. J.-C. La tête de pont s'appuie vraisemblablement sur les remplissages sableux non érodés du chenal 24 de l'Age du Bronze. Puis, l'hydrodynamisme se modifie, entraînant une modification de la nature du remplissage du chenal qui devient sableux. Durant cette période de bas niveau lacustre, une tempête va engendrer la formation du cordon littoral 27, recouvrant en partie les remplissages du chenal 26 et les pieux de la pile XIII du pont Desor. Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de dire si la mise en place du cordon littoral 27 et la destruction du pont Desor sont liés. Par la suite, le niveau du lac s'élève, entraînant une réactivation du chenal lors de la phase 28. Ce dernier longe alors cordon littoral 27. Les éléments découverts dans la couche basale du premier remplissage de ce chenal datent de La Tène moyenne, soit 260-140 av. J.-C. Les derniers remplissages de cet ensemble sont datés de La Tène C2, soit 200-140 av. J.-C. Ainsi, le pont Vouga, appuyé contre le cordon littoral 27, a servi pour traverser la Thielle, durant le fonctionnement du chenal 28.

2.5. Quatrième occupation

AIV.C23 traverse sur plus de 1 m un niveau de briques et de chaux (Pl. 5). Cet ensemble repose sur un limon crayeux. Selon G. Reginelli (com. pers.), ces vestiges pourraient dater de l'époque romaine. Il s'agirait donc d'un vestige ponctuel non corrélable avec les autres axes.

2.6. Marin-Prébit

Le site de Marin-Prébit a été mis au jour en 2005 à l'occasion de sondages préventifs menés par l'OMAN sur la parcelle de l'entreprise E. Buhler & fils SA à Marin-Epagnier. Sur les deux sondages réalisés, seul le 3880 a livré sept pieux dont un - le numéro 5 - a fait l'objet d'une datation. Bien qu'il se situe dans les limons crayeux sous la tourbe 21 (LTM-08) datée par ^{14}C de 3030-2910 cal BC, il est daté par ^{14}C de 620-780 cal AD. Le sommet de ces bois a dû se décomposer au sein du dépôt tourbeux ne permettant plus de le reconnaître dans cette formation. Ainsi, il est envisageable que l'ensemble des pieux soit lié à un aménagement anthropique contemporain de la période de fonctionnement du chenal qui surplombe le dépôt de tourbe 21. Les pieux forment deux alignements d'orientation NW-SE légèrement décalés et espacés d'environ 70 cm (Fig. 5.15). La distance entre deux pieux d'un même alignement peut atteindre 80 cm alors que les deux pieux les plus au sud de l'alignement E sont presque jointifs.

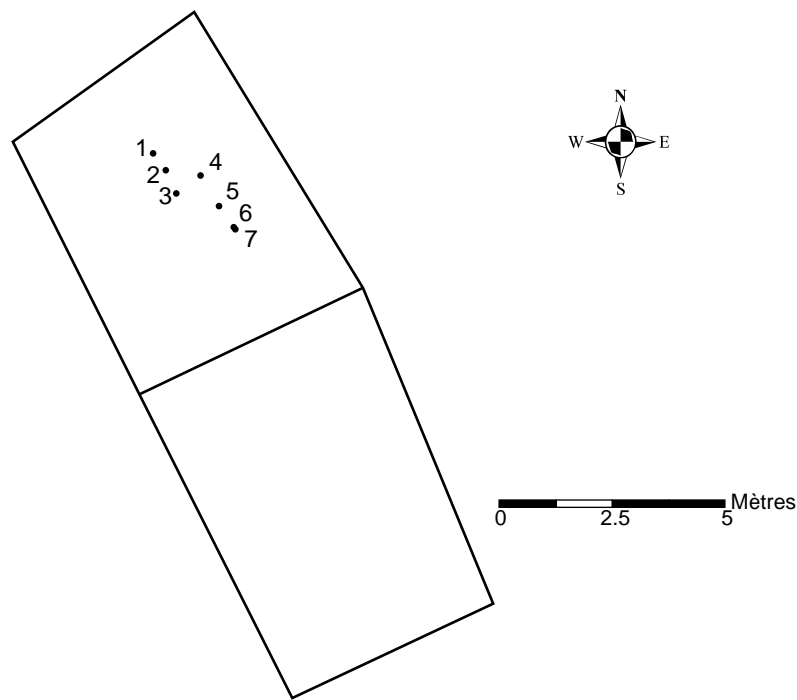


Fig. 5.15 : Position des pieux découverts dans le sondage 3880.

2.7. Le site de Marin-Pré de la Mottaz

Sur les quatre chenaux observés par N. Plumettaz et N. Thew durant les fouilles du site de Marin-Pré de la Mottaz, deux peuvent être rattachés aux observations réalisées plus en amont. Ainsi, le chenal 2 du site de Marin-Pré de la Mottaz est corrélé au chenal 24 daté de l'Age du Bronze. Ce dernier correspondant à la réactivation du chenal 22 c'est à dire PLT-09 et LTM-09, un chenal plus ancien a dû traverser le site. Des datations de la base de ce chenal sont en cours afin de vérifier cette hypothèse. Le chenal 3 du site de Marin-Pré de la Mottaz est relié, grâce à des pieux datés de 537-674 cal AD et 620-780 cal AD aux observations des sites de Marin-La Directe et Marin-Prébit. L'impossibilité de prospecter certaines parcelles en amont de Marin-Prébit durant ce travail limite la cartographie du tracé de ce chenal 31 en amont. Les deux chenaux plus récents 4 et 5 (phases 32 et 33), datés respectivement des XI-XII^e et XIII-XV^e siècles, passent à l'est des observations réalisées sur la rive gauche du canal de la Thielle. En amont du site, les chenaux rejoignent le tracé de "l'Ancienne Thielle" qui a fait l'objet d'observations sur les cartes anciennes et sur les profils géophysiques.

3. Validation des altitudes proposées

Chaque site, d'après ses caractères biogéographiques, géomorphologiques et sa position sur le pourtour du lac de Neuchâtel, possède un type d'enregistrement particulier et n'enregistre que certains événements. Ainsi, afin de valider les observations faites dans la zone exutoire du lac de Neuchâtel et d'avoir une vue plus complète de son histoire, les altitudes du niveau du lac proposées sont comparées à celles des sites archéologiques datés extraits de l'inventaire réalisé au chapitre 2 (Annexe 3).

3.1. Comparaison avec l'altitude des sites

A partir de l'inventaire des sites archéologiques littoraux du lac de Neuchâtel, il est possible d'extraire ceux dont au moins une période d'occupation est datée par dendrochronologie et/ou au radiocarbone et dont l'altitude est connue. Après avoir éliminé les pirogues qui peuvent avoir été déplacées par le courant ou dont la position vis-à-vis du littoral ne peut être garantie, quarante trois occupations sont retenues (Tab. 5.2). L'altitude de la couche intégrée pour cette étude correspond à la plus basse proposée dans la bibliographie. Les 43 sites retenus sont datés du Néolithique ou de l'Age du Bronze final. En partant de l'hypothèse que lors de l'occupation de ces sites, ils étaient émergés, et donc que le niveau moyen du lac était à une altitude moindre, il est possible de comparer leur position par rapport aux niveaux proposés suite à l'étude de la zone exutoire (Fig. 5.12).

Les sites retenus sont soit à la même hauteur soit plus bas que les bas niveaux relatifs du lac déterminés lors de notre étude. Ainsi, sur le pourtour du lac de Neuchâtel, les habitats se sont développés à la faveur de bas niveaux relatifs. La période archéologique fournissant le plus de sites, permettant une comparaison entre la zone exutoire et l'ensemble du pourtour du lac de Neuchâtel, correspond au début des dépôts de limons crayeux des phases 12 à 20. Cet ensemble sédimentaire est interprété comme une période de hauts niveaux lacustres, avec de nombreuses variations au début. Ces limons crayeux sont recoupés par trois voire quatre phases d'occupation dans la zone exutoire (phases 13, 15, 17 et 19) alors qu'une douzaine de sites est répertoriée autour du lac, dont celui d'Auvernier-Tranché du tram-gaz qui est contemporain du site de Marin-Les Piécettes. Sur un même site, deux à quatre phases d'occupation peuvent se succéder. Ces habitats sont datés entre 3 729 et 3 500 cal BC, soit du début des phases alternantes 12 à 20. Ces successions de phases d'occupation peuvent traduire une adaptation de l'homme aux nombreuses variations du plan d'eau et son obstination à continuer à vivre sur les rives du lac malgré la détérioration des conditions environnementales. Ce même phénomène est

Commune	Lieu_dit	Can.	Période	Date	Altitude
Saint-Blaise	Bains-des-Dames	NE	Néolithique-récent	3139 -3124 cal BC	427.2
Saint-Blaise	Bains-des-Dames	NE	Néolithique-récent	2786 -2730 cal BC	427.2
Saint-Blaise	Bains-des-Dames	NE	Néolithique-final	2702 -2673 cal BC	427.3
Saint-Blaise	Bains-des-Dames	NE	Néolithique-final	2639 -2540 cal BC	427.3
Hauterive	Champréveyres	NE	Néolithique-moyen	3810 -3790 cal BC	426
Hauterive	Forêt-de-Champréveyres	NE	Néolithique-récent	3194 -3138 cal BC	428.5
Thielle-Wavre	Pont-de-Thielle	NE	Néolithique-récent	2789 -2736 cal BC	429.3
Neuchâtel	Le-Crêt	NE	Age-du-Bronze-final	1020 -800 cal BC	426
Hauterive	Rouges-Terres	NE	Néolithique-récent	3243 -3233 cal BC	427
Auvernier	Les-Graviers	NE	Néolithique-récent	3159 -3041 cal BC	427.6
Auvernier	Brisés-Lames_Bains	NE	Néolithique-récent	2994 -2646 cal BC	427.8
Auvernier	Brisés-Lames_Bains	NE	Néolithique-récent	2792 -2701 cal BC	427.8
Font	Pianta-I	FR	Age-du-Bronze-final	1055 -1055 cal BC	428
Font	Pianta-I	FR	Age-du-Bronze-final	1077 -1077 cal BC	428
Auvernier	La-Saunerie	NE	Néolithique-moyen	3637 -3633 cal BC	427.8
Auvernier	La-Saunerie	NE	Néolithique-moyen	3600 -3597 cal BC	428
Auvernier	La-Saunerie	NE	Néolithique-récent	2784 -2701 cal BC	428.5
Auvernier	La-Saunerie	NE	Néolithique-final	2634 -2434 cal BC	428
Auvernier	Les-Ténevières	NE	Néolithique-moyen	3002 -2979 cal BC	428
Auvernier	Les-Ténevières	NE	Néolithique-récent	2750 -2701 cal BC	428
Auvernier	Port	NE	Néolithique-moyen	3792 -3787 cal BC	426.7
Auvernier	Port	NE	Néolithique-moyen	3729 -3678 cal BC	426.7
Auvernier	Port	NE	Néolithique-moyen	3627 -3621 cal BC	427.8
Auvernier	Port	NE	Néolithique-moyen	3592 -3550 cal BC	427.8
Auvernier	Port	NE	Néolithique-récent	3239 -3236 cal BC	427.8
Thielle-Wavre	Thielle-Mottaz	NE	Néolithique-moyen	3719 -3699 cal BC	428.3
Saint-Aubin-Sauges	Tivoli	NE	Néolithique-moyen	3834 -3827 cal BC	428.5
Auvernier	Ruz-Chatru	NE	Néolithique-récent	2793 -2701 cal BC	428.6
Auvernier	Tranchées-du-tram-gaz	NE	Néolithique-moyen	3500 -3500 cal BC	428.8
Auvernier	Tranchées-du-tram-gaz	NE	Néolithique-final	3500 -3500 cal BC	428.8
Grandson	Corcelettes-Belle-Rive	VD	Néolithique-final	2741 -2488 cal BC	429
Cudrefin	Les-Chavannes-II	VD	Age-du-Bronze-final	1050 -1050 cal BC	429
Neuchâtel	Fun'ambule	NE	Néolithique-moyen	3560 -3540 cal BC	428.7
Neuchâtel	Fun'ambule	NE	Néolithique-moyen	3571 -3560 cal BC	428.7
Hauterive	Port_Dernier-Batz	NE	Néolithique-moyen	3632 -3563 cal BC	429
Estavayer-le-Lac	Les-Ténevières	FR	Age-du-Bronze-final	1040 -1065 cal BC	430
Delley-Portalban	Portalban-II	FR	Néolithique-moyen	3272 -3085 cal BC	430
Delley-Portalban	Portalban-II	FR	Néolithique-moyen	3662 -3645 cal BC	430
Delley-Portalban	Portalban-II	FR	Néolithique-récent	3022 -2917 cal BC	430
Delley-Portalban	Portalban-II	FR	Néolithique-récent	2912 -2912 cal BC	430
Delley-Portalban	Portalban-II	FR	Néolithique-récent	2787 -2462 cal BC	430
Marin-Epagnier	Les-Piécettes	NE	Néolithique-moyen	3504 -3483 cal BC	430

Tab. 5.2 : Liste des sites dont l'altitude est prise en compte.

observé dans la baie de Concise où, durant cette période (3713 à 3503 av. J.C.), de nombreuses occupations se succèdent (Magny, 2008)¹⁰. La baie de Concise est ensuite abandonnée jusque vers 3270 av. J.-C., date à laquelle nous observons de nombreuses reprises d'occupation autour

¹⁰ Le nombre d'occupations de la baie de Concise est discuté séparément pour des raisons de lisibilité.

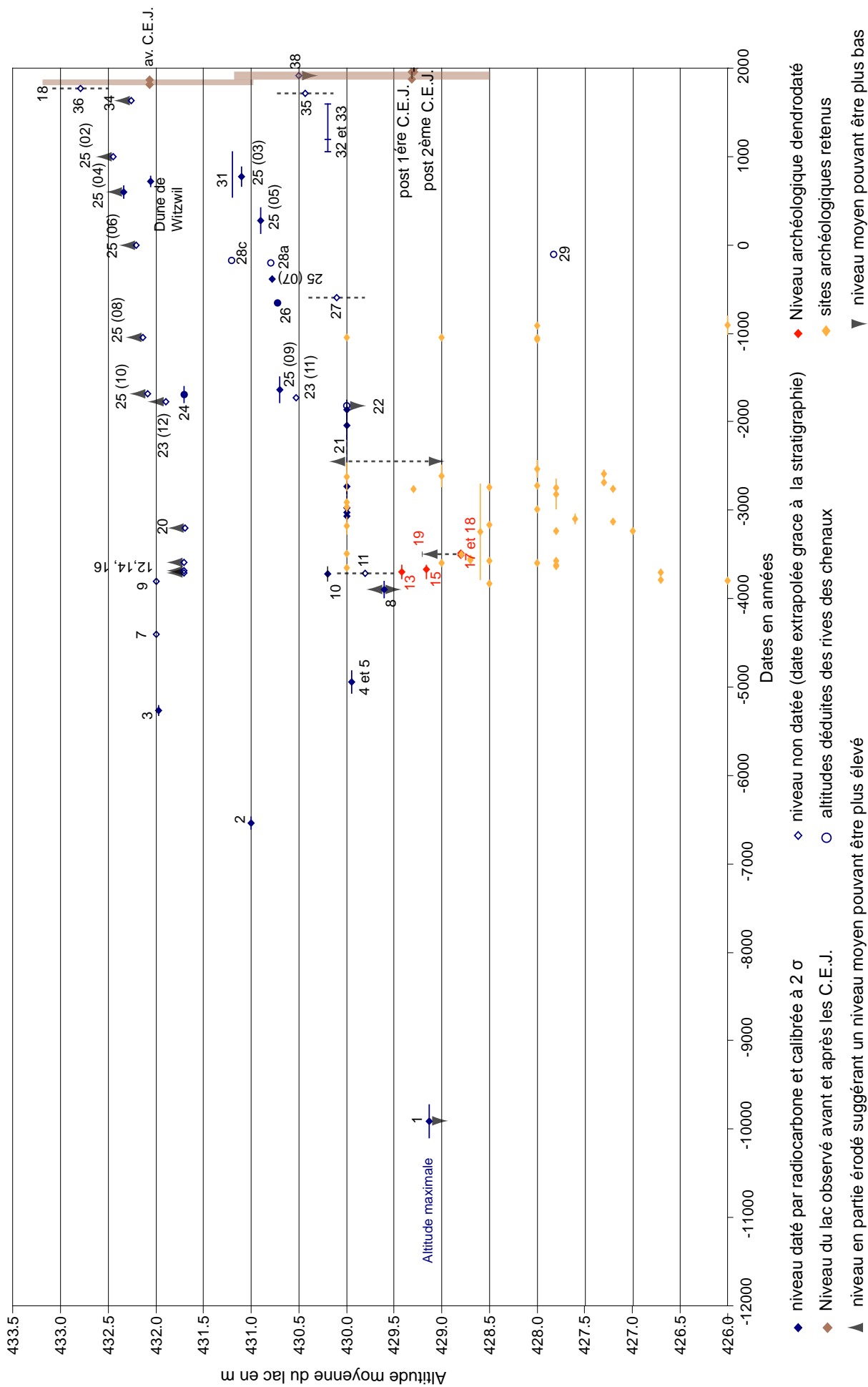


Fig. 5.16 : Position altitudinale des sites retenues vis à vis des altitudes des niveaux moyens du lac de Neuchâtel déduites des observations de la zone exutoire. Les numéros indiquent les phases observées dans la zone exutoire du lac (Pour les phases 23 et 25, les chiffres entre parenthèses indiquent le numéro de la couche dans la coupe 272-273W).

du lac. La zone exutoire, pendant l'alternance des phases 12 à 20, présente les mêmes logiques d'occupation anthropique, tant vis-à-vis de l'époque que du nombre d'occupations, que le reste du lac de Neuchâtel. Ainsi, l'étude de cette zone pour la période néolithique est représentative du lac. Néanmoins, il existe une différence d'altitude pour des sites associés à la même phase d'occupation entre la zone exutoire et le reste du lac. Cette différence peut s'expliquer par un tassement et un déplacement des sédiments gorgés d'eau sur des pentes relativement fortes constituées de formations plus stables. Ce phénomène a été observé à Yverdon-les-Bains (Kasser, 1975). Cette évolution lente s'effectuerait à grande échelle et ne perturberait donc pas les structures des sites. Elle doit être moins présente dans la zone exutoire du lac du fait des faibles pentes et de la présence de l'importante beine qui va avoir tendance à limiter les glissements. Par ailleurs, la zone exutoire regroupe sept des huit phases de l'Age du Fer. Or, il s'avère que durant cette période, les altitudes des vestiges découverts sont supérieurs à ceux de l'alternance des phases 12 à 20. Mais les vestiges de cette période dans la zone exutoire, de même que sur la commune de Ins, correspondent à des ponts et non à des stations lacustres. Ainsi, durant cette période, seuls des témoignages de passage au dessus de cours d'eau sont présents, confirmant que l'installation palafittique est difficile dès que le niveau moyen du lac est plus élevé (Kaenel, 200; Wagner, 2003).

3.2. Comparaison avec les altitudes proposées sur d'autres sites

Pour cette comparaison, seuls sont intégrés les sites qui présentent des séquences sédimentaires relativement complètes, calées chronologiquement par des analyses dendrochronologiques et/ou au radiocarbone et dont les auteurs ont précisé si les cotes proposées correspondent à des niveaux maximum, moyen ou minimum. Les séquences retenues proviennent des sites des baies de Hauterive-Champréveyres (Gaillard et Moulin, 1989; Moulin, 1991; Straub, 1990) et de Concise (Magny, 2008), complétées par l'observation d'un cordon littoral sur le site de St Aubin-Derrière la Croix (Wüthrich, 2003) et les suivis des mesures des altitudes du niveau du lac de 1817 à 2005¹¹ (Tab. 5.3).

¹¹ Les valeurs de 1817 à 1886 sont extraites de l'Annuaire hydrologique de la Suisse publié en 1886 par l'Office fédéral de l'économie hydraulique, celles de 1897 à 1933 et 1941 de Quartier (1948) et celles de 1934 à 1940 et 1942 à 2005 de l'Annuaire hydrologique de la Suisse édité par le Département fédéral de l'intérieur, Office fédéral de la protection de l'environnement, publié par le Service hydrologique national chaque année pour les relevés de l'année précédente.

Age	Altitude proposée	Site	Auteur	
1879-2008	428.90-429.90		cf. Annexe 1	
1817-1868	432.07		7	
1802	432-432.5 inondation 433.67		6	
1553-1722 ap. J.-C.	433.15	St Aubin/Derrière la Croix	5	
après 977 av. J.-C.	428.5	Hauterive-Champréveyres	1	
environ 960 av. J.-C.	426.75	Hauterive-Champréveyres	4	
1037-996 av. J.-C.	426.5-427	Hauterive-Champréveyres	1 ; 4	
1054-1037 av. J.-C.	< 426.3	Hauterive-Champréveyres	1 ; 4	
1646-1570 av. J.-C.	429.4-429.8	Concise	3	
	430.3-430.6	Concise	3	
1801-1773 av. J.-C.	429.3-429.4	Concise	3	
	430.5	Concise	3	
	429.8	Concise	3	
2652-2440 av. J.-C. fin	430-430.1	Concise	3	
2652-2440 av. J.-C. milieu	430.5	Concise	3	
2652-2440 av. J.-C. début	429.9-430	Concise	3	
2663-2652 av. J.-C.	429.4	Concise	3	
2826-2663 av. J.-C.	429.7-429.9 puis 429.8-430	Concise	3	
2830-2826 av. J.-C.	429.1-429.4	Concise	3	
2919-2830 av. J.-C.	430.1-430.2	Concise	3	
3013-2962 av. J.C.	430.1-430.6	Concise	3	
3011 av. J.-C.	429-429.5	Concise	3	
	432.3	Concise	3	
	430.3	Concise	3	
	431.6	Concise	3	
3203-3110 av. J.-C.	428.5	Hauterive-Champréveyres	1	
après 3533-3503 av. J.-C.	430.3	Concise	3	
3531 av. J.-C.	429.1-429.4	Concise	3	
3530 av. J.-C.	432.3	Concise	3	
Age	Altitude proposé	Site	Auteur	
3550 av. J.-C.	429-429.4	Concise	3	
Age	Altitude proposée	Site	Auteur	
3570-3539 av. J.-C.	430.1-430.4	Concise	3	
3600 av. J.-C.	432	Concise	3	
3645-3635 av. J.-C.	428.9-429.2	Concise	3	
3650 av. J.-C.	431.9-432.1	Concise	3	
3666-3655 av. J.-C.	432	Concise	3	
	431.8-432.2	Concise	3	
3675 av. J.-C.	429.6-429.8	Concise	3	
3684 av. J.-C.	430.3	Concise	3	
3692 av. J.-C.	429.6-429.8	Concise	3	
	430.2	Concise	3	
3713-3693 av. J.-C.	429.6-429.8 m	Concise	3	
3810-3790 av. J.-C.	< 426 m	Hauterive-Champréveyres	1	
3868 à 3793 av. J.-C.	428.3-428.8	Concise	3	
3870 av. J.-C.	431.5	Concise	3	
4100-4000 cal BC	428.8-429.3	Concise	3	
6024-5811 cal BC	6160-5890 cal BC	432.2	3	
5890 cal BC		Concise	3	
6197-5893 cal BC		428.1-428.2	3	
6197-5842 cal BC	428.7-429.9	Concise	3	
	429.6	Concise	3	
6221-6018 cal BC	429.1	Concise	3	
	432.7	Concise	3	
9600-9500 cal BC	431.3	Concise	3	
10211-9377 et 9820 cal BC	9840-	427.5-428	Hauterive-Champréveyres	1
10775-9741 cal BC		428-429	Concise	3
10426-9689 cal BC				
10044-9370 cal BC	426	Hauterive-Champréveyres	1 ; 2	
	429	Hauterive-Champréveyres	1	

11849-11614 cal BC	427.3	Hauterive-Champréveyres	1
12152-11840 cal BC	428.5	Hauterive-Champréveyres	1
12212-11825 cal BC	427	Hauterive-Champréveyres	1
12769-12065 et 13117-12485 cal BC	428.5-429	Hauterive-Champréveyres	1
13172-12217, 11667 cal BC	12760- 426.5-427	Hauterive-Champréveyres	1
12885-12035 cal BC	428.5	Hauterive-Champréveyres	1

Auteur :

1 : Moulin, 1991

4 : Straub, 1990

7 : Chavaz, 1953

2 : Gaillard et Moulin, 1989

5 : Wüthrich, 2003

3 : Magnyin Winiger, 2008

6 : Quartier, 1948

Tab. 5.3 : Altitudes de niveaux originaires d'autres sites retenues.

Les altitudes estimées par les auteurs sont dans l'ensemble similaires à celles de la zone exutoire pour les hauts et bas niveaux lacustres (Fig. 5.17). Seul un bas niveau a une altitude moindre dans le site de Hauterive-Champréveyres, culture du Cortaillod classique.

D'après nos résultats, lors de la mise en place de la dune de Ründi - 10 100-9 730 cal BC - l'altitude du lac était inférieure à 429 m. Moulin (1991) observe un niveau d'âge similaire à Hauterive-Champréveyres (10 211-9 377 cal BC) et propose une altitude du lac à 427,5-428 m, ce qui est en accord avec nos observations.

Les nombreuses variations altitudinales observées durant le haut niveau lacustre général, enregistré par les dépôts des phases 12 à 20, se retrouvent sur le site de Concise avec des altitudes comparables à celles déterminées dans la zone exutoire.

Durant la phase de développement de la couche de limons tourbeux 21 (M-Piec-10a, PLP-08, PLT-08, LTM-08 et AM-08), les variations de faible amplitude du plan d'eau observées dans la zone exutoire sont confirmées. Ainsi durant cette période, l'altitude du niveau du lac aurait oscillé entre 430,50 et 429 m, d'après les observations sur le site de Concise.

La séquence sédimentaire du site d'Hauterive-Champréveyres enregistre une importante baisse du niveau du lac vers 1 050-960 cal BC, confirmée par les enregistrements de la baie d'Auvernier (Brochier, 1986). Par ailleurs, cette baisse coïncide avec des altitudes moindres des sites archéologiques de l'Age du Bronze final, aussi bien en rive sud qu'en rive nord (Tab. 5.2 et Fig. 5.16). D'après les dates fournies par le site de Hauterive-Champréveyres, elle devrait s'intercaler entre le dépôt 10 de la coupe 272-273W et le chenal 26 (~ 660 av. J.C.) de la zone exutoire. Cependant, du fait de la très basse altitude déterminée, 426,30 m, cette phase n'aurait pu être relevée dans la zone exutoire que par une surface d'érosion, non reconnue dans la séquence sédimentaire.

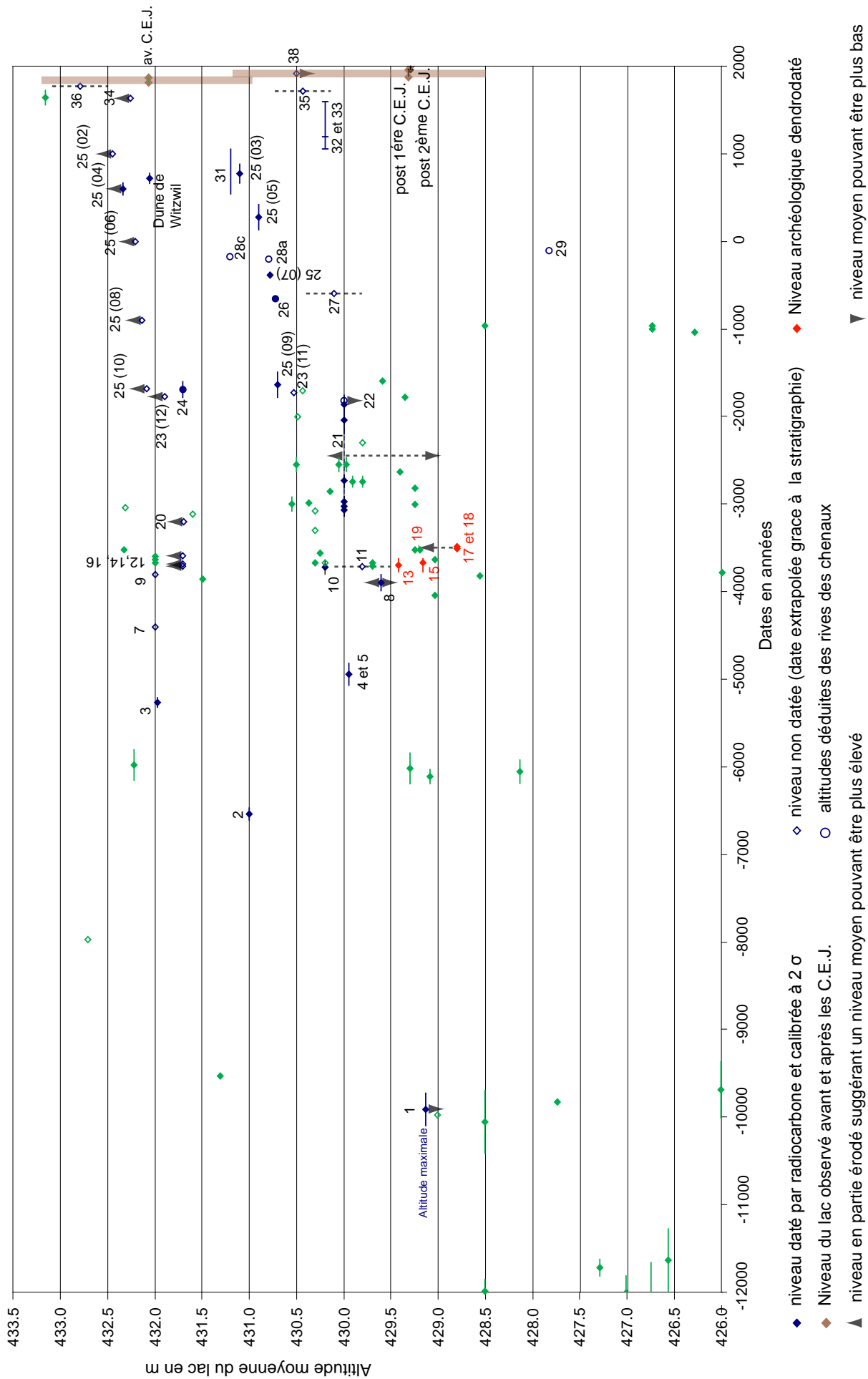


Fig. 5.17 : Variations du niveau du lac obtenues par l'analyse des coupes relevées dans la zone exutoire avec compilation des altitudes des niveaux obtenues sur les sites de Hauterive-Champvévres, Concise, St Aubin/Derrière la Croix (Moulin, 1991, Magny, 2008, Moulin, 1991). Les numéros indiquent les phases observées dans la zone exutoire du lac (Pour les phases 23 et 25, les chiffres entre parenthèses indiquent le numéro de la couche dans la coupe 272-273W).

Les cordons 3 et 4 étudiés par Curdy *et al.* (1995) et Wohlfarth-Meyer (1987b) à Yverdon-les Bains, se situent dans une tranche de temps similaire au cordon 27 mais présentent des altitudes bien plus importantes. Il n'est alors pas possible de dire si certains de ces cordons sont contemporains.

4. Origines des variations du niveau moyen du lac

4.1. Origine climatique

Les fluctuations paléohydrologiques proposées à partir des séquences sédimentaires de la zone exutoire du lac de Neuchâtel peuvent être comparées aux variations reconnues à l'échelle régionale en Europe Centrale Ouest (Fig. 5.18). Ces dernières sont fondées sur les données issues de 29 lacs du Jura, du Plateau suisse et des Préalpes françaises du Nord (Fig. 5.19 ; Magny, 1991; Magny, 2001; Magny, 2004; Magny *et al.*, 2006; Magny *et al.*, In Press). En tenant compte des marges d'incertitude liées à la calibration des âges au radiocarbone, la forte similitude entre les enregistrements régionaux et ceux de la zone de l'exutoire du lac de Neuchâtel suggère que les variations du niveau du lac de Neuchâtel sont principalement liées aux oscillations du climat qui sont elles-mêmes régulées par les variations de l'activité du soleil (Bond *et al.*, 2001; Magny, 1993; Magny, 2004). Il est toutefois nécessaire de discuter le positionnement de certains événements par rapport aux phases de hauts niveaux lacustres régionaux.

Le dépôts 12 à 16, qui marque le haut niveau lacustre correspondant au début de la phase 9) de Chalain, est interrompu par deux couches d'occupation (13 et 15). Ces couches comme d'autres observées sur le pourtour du lac de Neuchâtel, indiquent des baisses du niveau du lac de Neuchâtel. Ces baisses, vraisemblablement de courte durée, sont aussi observées dans d'autres lacs au commencement de la phase 9) de Chalain (Magny, 1993; Magny, 2004). Cette corrélation confirme l'installation préférentielle des stations lacustres pendant les bas niveaux relatifs.

La station néolithique de Marin-Les Piécettes s'est développée durant cette même phase de Chalain, pendant une courte période de renforcement de l'activité solaire entre 3520 et 3480 cal BC, enregistrée par un minimum de la teneur de l'atmosphère en ^{14}C résiduel (Stuiver *et al.*, 1998). Ce renforcement engendre une diminution des niveaux des lacs au sein de la phase 9) de Chalain comme cela a été observé au bord du Grand Lac de Clairvaux (Magny, 2004; Pétrequin, 1989).

Toutes les dates obtenues dans le bas niveau lacustre de la phase 21 coïncident avec les phases de bas niveaux lacustres régionaux comprises entre 3250 et 1150 cal BC. Le niveau 21 n'est alors pas interrompu par les phases de hauts niveaux lacustres identifiées en Europe Centrale entre 2900 et 2850 cal BC et 2200 et 2000 cal BC. Seule une diminution du TOC, qui peut correspondre à une période de haut niveau lacustre, a été observée dans la coupe 272-273W. Néanmoins, cette hausse du niveau du lac n'entraîne pas d'interruption de la tourbification,

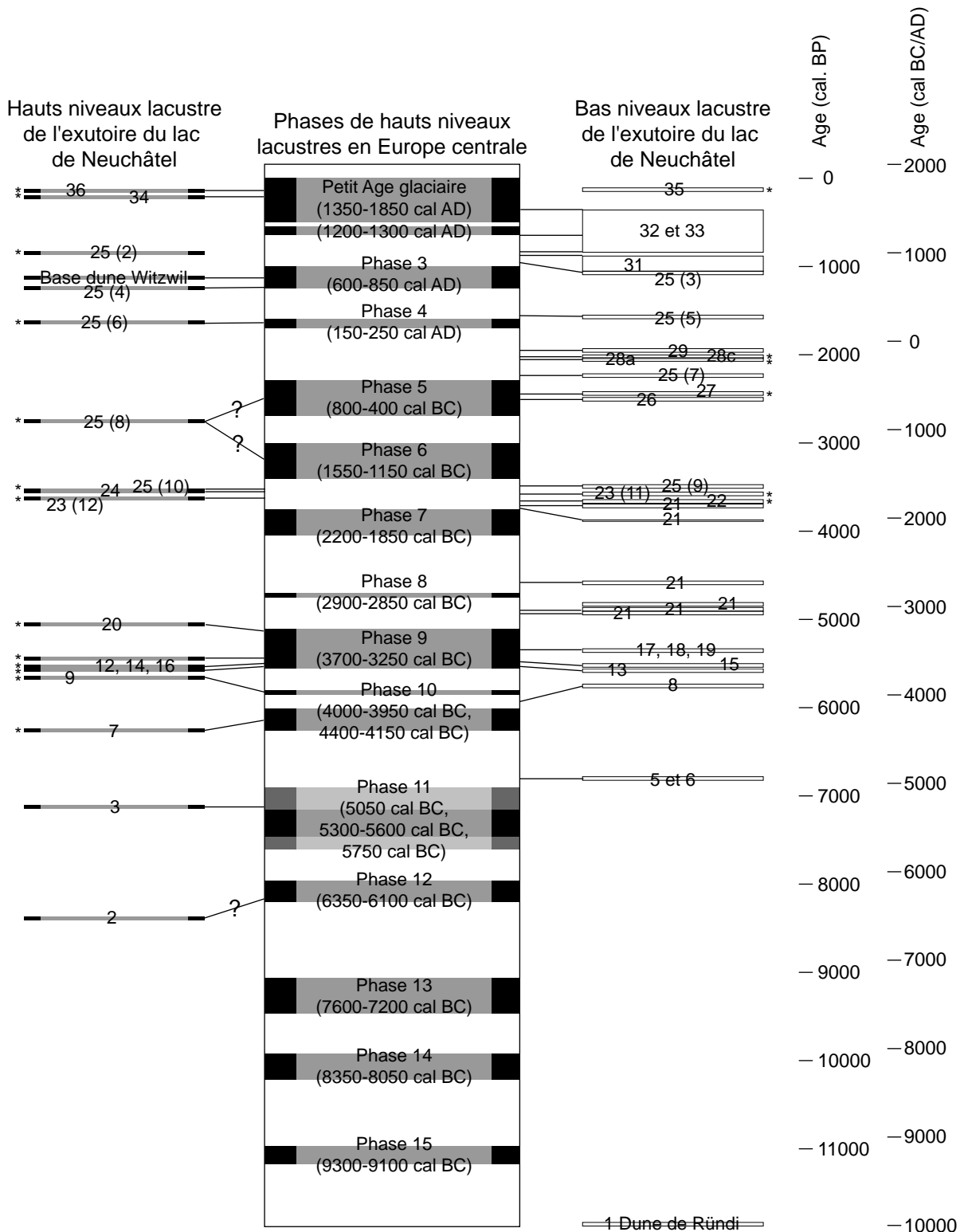


Fig. 5.18 : Comparaison entre la séquence sédimentaire de la zone exutoire du lac de Neuchâtel et les variations du niveau des lacs du centre-ouest de l'Europe (Magny, 2004). Les numéros indiquent les phases observées dans l'ensemble de la zone exutoire. Pour les phases 23 et 25, les chiffres entre parenthèses indiquent le numéro de la couche dans la coupe 272-273W. * niveau non daté.

Les différentes phases de hauts niveaux lacustres en Europe centrale sont : 1) et 2) Petit Clairvaux ; 3) Petit Maclu 2 ; 4) Petit Maclu 1 ; 5) Bourget ; 6) Pluvis ; 7) ; 8) et 9) Chalain ; 10) Grand Maclu ; 11) Cerin ; 12) Le Clole ; 13) Joux 2 ; 14) Joux 1 et 15) Remoray. D'après Magny (2004).

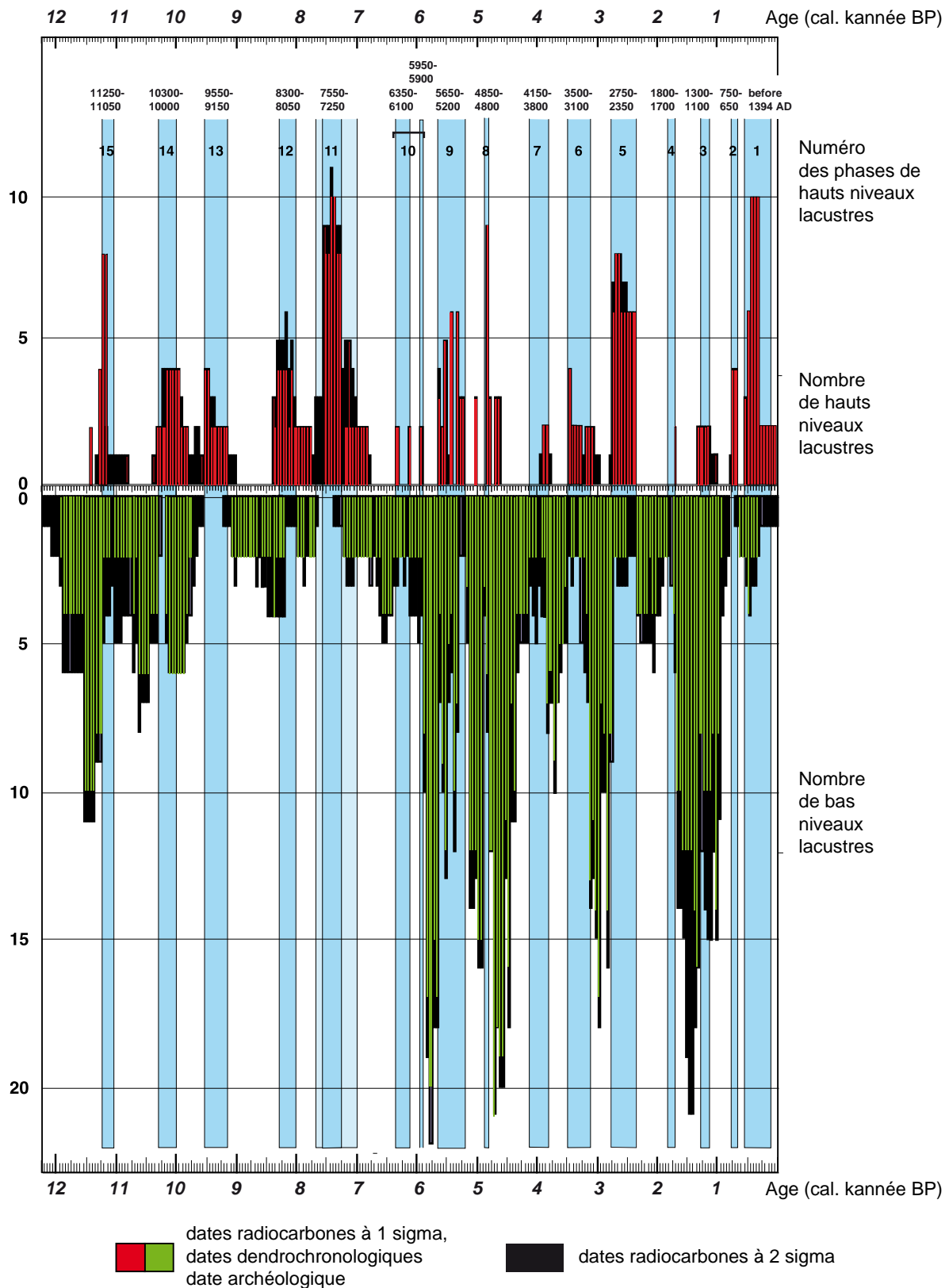


Fig. 5.19 : Distributions des hauts et bas niveaux lacustres enregistrés dans les lacs du Jura, du nord des Alpes françaises et du Plateau suisse durant l'Holocène. L'échelle verticale représente le nombre de dates pour des intervalles de 50 ans entre 12250 et 0 cal BP (Magny, 2006). Les différentes phases de hauts niveaux lacustres en Europe centrale sont : 1) et 2) Petit Clairvaux ; 3) Petit Maclu 2 ; 4) Petit Maclu 1 ; 5) Bourget ; 6) Pluvis ; 7) ; 8) et 9) Chalain ; 10) Grand Maclu ; 11) Cerin ; 12) Le Locle ; 13) Joux 2 ; 14) Joux 1 et 15) Remoray. D'après Magny (2004).

impliquant que les deux phases de haut niveau lacustre régional se sont peu faites ressentir au sein du lac de Neuchâtel. Cela est corroboré par la présence de nombreux sites archéologiques durant toute cette période à des altitudes relativement faibles (Fig. 5.16 et 5.19).

Les couches 12 et 10 de la coupe 272-273W et le chenal 24 correspondent à des périodes de haut niveau lacustre. Bien que non datés, ils sont replacés par chronologie relative durant la phase de bas niveau lacustre des lacs d'Europe Centrale entre 2 000 et 1 550 cal BC (Fig. 5.18). Cette phase de bas niveau lacustre est confirmée dans la zone exutoire du lac de Neuchâtel par le niveau de limons tourbeux 21, le chenal 22, et les couches 11 et 09 de la coupe 272-273W (base de la phase 23). D'après Magny (2004) aucun haut niveau lacustre n'a été observé à cette période dans les lacs d'Europe Centrale (Fig. 5.19). Ainsi, cette série d'enregistrements de hauts niveaux lacustres est à relier à un événement local.

Le chenal 26 du site de Marin-La Tène, dont la date coïncide avec celle du pont Desor, marque une période de bas niveau lacustre. Ceci n'est pas en accord avec les phases des lacs d'Europe Centrale. En revanche, le chenal 28 du site de Marin-La Tène, qui marque une période de bas niveau lacustre, se situe pendant celle des lacs d'Europe centrale, entre les phases 5) du Bourget et 4) de Petit Maclu 1. Cet abaissement, qui a pu favoriser le développement de la station de la Tène, corrobore les observations de Vouga (1923) .

Le chenal 29, dont l'altitude de la base observée sur les panneaux électriques se situe entre 424 et 428 m, et qui peut correspondre au chenal observé à Cornaux-Les Sauges par Schwab (1989), indique un bas niveau lacustre. Cela est cohérent avec les phases de bas niveau lacustre des lacs d'Europe centrale.

La divagation du cours de "l'Ancienne Thielle" vers l'an 1000, chenaux 3 à 4 du site de Marin-Pré de la Mottaz (phases 31 et 32), se déroule durant une période de bas niveau lacustre. Colardelle et Verdel (1993) montrent que la fin du X^e et le début du XI^e siècle sont marqués par plusieurs périodes de fortes pluies et de sécheresses qui ont engendré des famines générales en Europe tempérée. Ces changements climatiques ont influencé le cours de "l'Ancienne Thielle".

Ainsi, les hauts et bas niveaux lacustres observés dans les sédiments de la zone exutoire du lac de Neuchâtel correspondent majoritairement à ceux des lacs d'Europe Centrale. Ceci traduit l'effet prépondérant du climat sur les variations du niveau du lac. Toutefois, les deux périodes de hauts niveaux lacustres (phases 2900-2850 cal BC et 2200-2000 cal BC), comprises dans le niveau de limon tourbeux 21, n'ont pas été observées clairement. De plus, l'absence de datation du haut niveau lacustre 21 de la coupe 272-273W ne permet pas de le situer vis-à-vis des hautes phases de 6) Pluvis et 5) du Bourget. Au delà de la prépondérance des origines climatiques, les divagations de l'Aar ont pu jouer un rôle dans les fluctuations du niveau du lac.

4.2. Divagation de l'Aar

Les travaux plus récents concernant les divagations de l'Aar dans la région du Seeland, ont permis de distinguer quatre périodes depuis 10 000 BP durant lesquelles l'Aar a évité le lac de Neuchâtel (Schwalb, 1992; Schwalb *et al.*, 1998; Wohlfarth et Schneider, 1991; Wohlfarth-Meyer, 1987). Ces périodes se situent entre 10 000 et 8 900 BP (soit entre 9 500 et 8 200 cal BC) et durant deux courtes périodes vers 7 200 et 6 950 BP (soit 6 100 et 5 850 cal BC). La dernière période a débuté juste avant 4795 ± 60 BP (soit 3696-3497 cal BC) et 4725 ± 60 BP (soit 3636-3488 cal BC). Cela coïncide avec la période de haut niveau lacustre qui a permis la mise en place des limons crayeux 12 à 16 (US-05 de la stratigraphie générale du site de Marin-Les Piécettes).

Ainsi, d'après les résultats des analyses ^{14}C , l'arrêt définitif de l'écoulement de l'Aar en direction du lac de Neuchâtel a lieu durant la phase de haut niveau lacustre de Chalain confirmant les études antérieures (Meyer-Wohlfarth, 1987). Les enregistrements sédimentaires post-arrêt de l'écoulement restent en accord avec les variations des lacs d'Europe centrale, indiquant que le changement du cours de l'Aar n'a pas d'incidence majeure sur les variations du niveau du lac.

Les cotes proposées, autant pour les hauts que pour les bas niveaux du lac de Neuchâtel, ne semblent pas en être affectées. Cela semble étonnant mais reste en accord avec les observations réalisées dans la baie d'Auvernier par Brochier (1986).

Ainsi, les changements du cours de l'Aar, ou du moins le dernier, ne semblent affecter ni les périodes de variations altitudinales du lac de Neuchâtel, ni les altitudes atteintes par ce dernier.

4.3. Phénomène local

Des variations du niveau moyen du lac peuvent avoir des origines locales liées à des épisodes météorologiques. Dans ce cas, seuls les trois lacs subjurassiens seraient affectés durant une période relativement courte. Afin de vérifier cette hypothèse, il faudrait compiler les données de ces lacs mais ce ne serait pas suffisant. Il faudrait aussi savoir comment détecter de tels événements dans les archives sédimentaires et les valider. Par ailleurs, ces épisodes pourraient avoir des répercussions sur les dépôts de l'Aar en aval du lac de Bienne. Ainsi, une étude de la confluence Aar-Thielle inférieure serait nécessaire.

CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de comprendre l'évolution environnementale de la zone exutoire du lac de Neuchâtel, définie pour cette étude de l'exutoire du lac au resserrement topographique entre la butte de Thielle-Wavre et la colline de Jolimont. Ce secteur s'est avéré être dépendant des variations du niveau du lac et des divagations de son émissaire, la Thielle moyenne. Cette zone géographique a été sélectionnée pour sa forte densité de sites archéologiques et pour la continuité des phases d'occupation depuis le Néolithique. Une approche pluridisciplinaire, sédimentaire, archéologique et historique, a alors pu être menée afin de :

- comprendre les évolutions sédimentaires de la zone exutoire ;
- resituer les occupations humaines dans un contexte spatial, chronologique et environnemental ;
- définir des altitudes du niveau du lac pour les périodes reconnues.

Les résultats ont permis la comparaison entre les variations du lac de Neuchâtel et celles des lacs régionaux.

La première phase du travail a reposé sur la compilation, au sein d'un SIG, des données existantes sur la zone exutoire du lac de Neuchâtel. L'analyse de ces documents a permis de reconnaître les rivages historiques de ce lac et les cours de la Thielle moyenne. Il est apparu qu'il y a eu peu d'évolution entre le XVI^e siècle et 1868, date du début des travaux des 1^{ère} C.E.J. Néanmoins, afin de connaître les variations du niveau du lac et les divagations de la Thielle moyenne, sur une échelle de temps plus longue, une étude géoarchéologique a été menée. Des collaborations avec des archéologues des cantons de Neuchâtel, Berne, Fribourg et Vaud, de l'Institut de Préhistoire et des Sciences de l'Antiquité de l'Université de Neuchâtel et du Département d'Anthropologie et d'Ecologie de l'Université de Genève ont été développées afin d'intégrer toutes les données archéologiques acquises antérieurement ou parallèlement à cette étude.

Quatre sites récemment fouillés ont alors été retenus pour servir d'ancrage stratigraphique et chronologique à cette étude. Les fouilles réalisées sur les sites de Marin-Les Piécettes, Marin-La Tène, Marin-Prébit et Marin-Pré de la Mottaz ont donné l'opportunité de relever des coupes

et de prélever un nombre conséquent d'échantillons. Ces données ont été complétées par des sondages à la tarière et une prospection par tomographie électrique.

L'analyse de relevés provenant du site de Marin-Les Piécettes a permis dans un premier temps de reconstituer une séquence sédimentaire générale pour la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Cette première séquence a ensuite été complétée par l'étude de la géométrie des corps sédimentaires et des changements lithologiques observés dans les sondages et les coupes réalisés dans l'ensemble de la zone. Une reconstitution des différents événements enregistrés dus aux variations du niveau du lac de Neuchâtel et aux changements de cours de la Thielle moyenne est alors proposée, impliquant, une nouvelle chronologie pour le site éponyme de Marin-La Tène. Quatre cordons graveleux ont été distingués sur la rive gauche du canal de la Thielle et un sableux, sous la dune de Witzwil, sur la rive droite. Les cours de plusieurs chenaux ont pu en partie être retracés et datés. L'interprétation de ces enregistrements ponctuels, ainsi que le reste de la séquence, vis-à-vis du niveau moyen du lac, couplés avec les altitudes des niveaux archéologiques, a permis de proposer une chronologie mais aussi des cotes pour les variations du niveau du lac observées, du Néolithique à l'actuel. Ces résultats démontrent l'intérêt d'une étude pluridisciplinaire intégrant les données issues des analyses sédimentologiques, des traitements géophysiques, des découvertes archéologiques et des superpositions de cartes et plans historiques.

Les variations altitudinales du niveau moyen du lac de Neuchâtel sont alors confrontées aux altitudes de certains niveaux archéologiques de stations lacustres et aux cotes déterminées par les auteurs à partir de séquences sédimentaires d'autres sites. De cette échelle d'étude, il ressort que les sites archéologiques sont préférentiellement présents durant les périodes de bas niveaux lacustres observés dans la zone exutoire. La période du haut niveau lacustre 05-07 (phases 12 à 20) englobe des sites à des altitudes moindres, confirmant ainsi nos observations des niveaux 05b et d (phases 13 et 15). Cela prouve la succession d'un grand nombre d'oscillations du niveau moyen du lac à cette période et la volonté de l'homme de rester sur ses rives. Les altitudes du niveau moyen du lac proposées sont en accord avec celles des autres auteurs. Cette comparaison permet de compléter nos observations et d'ajouter un bas niveau lacustre atteignant 426,30 m vers 1 000 av. J.C.

Afin de déterminer l'origine des variations observées, les phases de haut et bas niveaux lacustres ont été comparées à celles des lacs d'Europe Centrale. Le grand nombre de similitudes observé avec les lacs du Jura, du Plateau suisse et du Nord des Alpes françaises, nous indique que le lac de Neuchâtel a réagi essentiellement aux fluctuations holocènes du climat. En revanche,

l'arrêt de l'écoulement de l'Aar dans le lac n'a pas affecté directement ses fluctuations qui restent en accord avec le signal climatique. Les variations à l'intérieur de ces "grands cycles" sont liées à des changements locaux, pouvant correspondre à des phases de comblement puis d'érosion d'alluvions apportées par l'Aar et qui obstruent le cours de la Thielle inférieure. Elles peuvent aussi être la conséquence de périodes de fortes précipitations ou de sécheresse comme celles mentionnées dans la littérature (Ehram, 1974 ; cf. chapitre 1).

Ainsi, la reconstitution de l'évolution de la zone exutoire du lac de Neuchâtel a été possible par compilation et mise en relation de documents d'origines différentes, au sein d'un SIG. Les documents historiques ont permis de vérifier un grand nombre d'hypothèses émises suite à l'analyse des relevés sédimentaires et géophysiques. Les niveaux archéologiques, en plus d'apporter des éléments de compréhension quant aux changements environnementaux, permettent de définir un cadre chronologique aux événements.

Néanmoins, de nombreux résultats et observations sont à affiner, voire à acquérir dans la perspective de mieux comprendre l'implantation humaine à l'échelle de la zone exutoire et/ou du lac.

Ainsi, un travail complémentaire à petite échelle locale, centré sur la zone exutoire du lac de Neuchâtel, devrait être axé sur l'évolution de la Thielle moyenne afin de mieux comprendre les liens étroits qui existent entre ce cours d'eau et les aménagements anthropiques (pêche, moulin, voies de communication). Pour cela, il faudrait compléter les prospections à l'aide de nouvelles méthodes, notamment le géoradar (ce qui n'a pu être réalisé pendant ce travail), dans les secteurs où le matériel à disposition n'a pu être employé pour des raisons techniques, à savoir dans les zones anthropiques et dans le lac. Ceci permettrait de préciser et de prolonger les cours de la Thielle déjà repérés et peut être d'en découvrir de nouveaux. Cette prospection devra être calée sédimentologiquement par des analyses et temporellement par des datations. Dans cette optique de mieux comprendre l'évolution des chenaux de la Thielle moyenne, de nouvelles analyses devraient être menées sur le site de Marin-La Tène, afin de vérifier l'hypothèse chronologique émise dans ce travail. Ainsi, une étude plus fine de la base du cordon littoral au niveau du pont Desor, et la datation du pont Vouga semblent nécessaires. Afin de vérifier et comprendre l'événement dévastateur qui a détruit le pont de Cornaux-Les Sauges, une analyse sédimentologique et palynologique devrait être réalisée, un mélange de sédiments et de pollens pouvant attester d'un événement violent (Verrecchia, 2007).

Concernant l'évolution du lac de Neuchâtel, l'intégration de toutes les données des sites

peut apporter de nouveaux éléments permettraient de la préciser. Au sein de la zone étudiée, il serait intéressant de pouvoir réaliser des sondages plus profonds, jusqu'au sommet de la moraine, puis d'analyser et dater les niveaux recoupés. Concernant les formations plus récentes, une analyse systématique des cordons littoraux du NE du lac permettrait de compléter le travail de A. Heer (Institut de Géographie de l'Université de Berne) sur les dunes, actuellement en cours de réalisation.

Nous nous sommes limités ici à reprendre les altitudes proposées dans quelques sites archéologiques, et dont les auteurs ont pris soin de mentionner s'il s'agissait de bas, moyen ou haut niveau lacustre. Ceci pourrait être complété en reprenant toutes les coupes relevées en les datant. Par ailleurs, lors de ce travail, il faudrait prendre en compte la géomorphologie de la rive afin de valider l'hypothèse sur les glissements de terrain. Pour les périodes plus récentes, le dépouillement d'archives pourrait venir en complément des cartes historiques déjà répertoriées. Ces archives seraient axées sur les relevés d'événements exceptionnels et leur différence de répercussion autour du lac afin de spatialiser les secteurs qui réagissent le plus aux aléas climatiques et/ou géomorphologiques. Enfin, les trois grands lacs subjurassiens ayant une histoire commune, il serait intéressant d'intégrer à ce travail les variations des lacs de Bienne et de Morat.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, K.D., Goebel, T., Graf, K., Smith, G.M., Camp, A.J., Briggs, R.W. et Rhode, D., 2008. Late Pleistocene and Early Holocene lake-level fluctuations in the Lahontan Basin, Nevada : Implications for the distribution of archaeological sites. *Geoarchaeology*, 23(5): 608-643.
- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C. et Clark, P.U., 1997. Holocene climatic instability : A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 25(6): 483-486.
- Anonymus, 1630a. Vue cavalière du cours de la Thielle. AEN/CH-NE-04, 08-261.
- Anonymus, 1630b. Vue cavalière du cours de la Thielle. La Baronnerie du Landeron. AEN/CH-NE-0715.
- Anonymus, 1650. Vue générale de la Baronnerie du Landeron. AEN/CH-NE-0716.
- Anonymus, 1715-1781. Plan du Domaine de Thielle., 16 perches. Arch. cant. NE/CH-NE-04 312.
- Anonymus, 1866. Plan cadastral de plusieurs communes.
- Anonymus, 1941. Carte topographique., 1:7463. MCAN.
- Anonymus, ap. 1ère C.E.J.-a. Carte topographique, 1/50000. MCAN-B10-552.
- Anonymus, ap. 1ère C.E.J.-b. Carte topographique., 1/50000. MCAN-B10-551.
- Anonymus, ap. 1646 au XVIIe. Zone exutoire du lac de Neuchâtel, ~1/25000. BPUN/Collection Schauenburg, n°26.
- Anonymus, ap. 1650 au XVIIe-a. Carte des zones inondables entre le Lac de Neuchâtel et le lac de Bienne., ~1/80000. BPUN/Collection Schauenburg, n° 27.
- Anonymus, ap. 1650 au XVIIe-b. Projet de fortification, ~1/14000. BPUN/Collection Schauenburg, n°28.
- Anselmier, Stryiński, Meyer et Gosset, 1879. Carte topographique. Première édition. Feuille 312-Sugiez, 1/25000. MCAN-B10-583.
- Arnaud-Fassetta, G., 2008. La géoarchéologie fluviale. *EchoGéo*, 4(mis en ligne le 05 mars 2008. URL : <http://echogeo.revues.org/index2187.html>): 14.
- Arnold, B., 1992. Le site hallstattien et l'enceinte quadrangulaire laténienne de Marin-Les Bourguignonnes (canton de Neuchâtel). In: G. Kaenel and P. Curdy (Editors), *L'âge du Fer dans le Jura. Cahier d'archéologie romande.*, Pontarlier (France) et Yverdon-les-Bains (Suisse), pp. 309-315.
- Arnold, B., 1993. Le récif de Marin et le lac de Rouges-Terres : paysages submergés du lac de Neuchâtel. In: B. Arnold, J.-L. Brochier, B. Moulin, M.-J. Gaillard and P. Hadorn (Editors), *Histoire naturelle du site : du retrait des glaciers au début de l'agriculture.*, pp. 20.
- Arnold, B., 1999. Le site hallstattien de Marin-Epagnier NE, Les Bourguignonnes. *Helvetica archaeologica*: 145-154.
- Arnold, B., à paraître. La Tène, entre Néolithique et Moyen Age : un contexte topographique dynamique., Table ronde internationale de Neuchâtel «Le site de La Tène : Bilan des connaissances - état de la question», (1^{er} - 3 novembre 2007), Neuchâtel.

- Axelrod, A., 1978. Contribution à l'étude géophysique de la région des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat, Université de Lausanne, Lausanne, 93 pp.
- Bäckli, J., 1871. Carte topographique., 1/25000. MCAN-B10-562.
- Bäckli, J., 1879. Carte topographique. Première édition. Feuille 136-Erlach., 1:25000. MCAN-B10-572.
- Balleys, P.-D., 2005. Les stations littorales néolithiques neuchâteloises. Réflexion spatiale sur l'occupation de la bande littorale nord-est du lac de Neuchâtel (du 39ème au 25ème siècle av. J.-C.), Université de Neuchâtel, Hauterive, 249 pp.
- Bapst, A., 1987. Le lac de Neuchâtel : physico-chimie et turbidimétrie des eaux. Concentration, minéralogie et granulométrie des particules en suspension. Science Thesis, Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences., Neuchâtel, 100 pp.
- Barber, K.E., Chambers, F.M. et Maddy, D., 2003. Holocene palaeoclimates from peat stratigraphy: macrofossil proxy climate records from three oceanic raised bogs in England and Ireland. *Quaternary Science Reviews*, 22(5-7): 521-539.
- Becker, F., 1972. Géologie de la région du lac de Morat entre la vallée de la Sarine et le lac de Neuchâtel. Science Thesis, Université de Fribourg, Fribourg, 192 pp.
- Becker, F. et Ramseyer, R., 1972-73. Atlas géologique de la Suisse, feuille 63. 1165 Murten : Topographie : Landeskarte der Schweiz 1 : 25 000. Kümmerly & Frey S.A., Bern.
- Becze-Deák, J., 2003. Brief overview of observations concerning the La Tène/2003 sondage, Service Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Becze-Deák, J., 2004. Marin/La Tène 2003. Environment and human impact as revealed by the thin sections, Service Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Beierle, B.D., Lamoureux, S.F., Cockburn, J.M.H. et Spooner, I., 2002. A new method for visualizing sediment particle size distributions. *Journal of Paleolimnology*, 27: 279-283.
- Bellenoud, 1825. Plan de Rothaus. Arch.Cant. BE/AEB-AAV Zihl2.
- Berger, J.-F., Brochier, J.-L. et Bravard, J.-P., 2000. La géoarchéologie en France : définition et champs d'application. *Nouvelles de l'archéologie*, 81: 37-47.
- Berger, L. et Joos, M., 1977. Zur Wasserführung der Zihl bei der Station La Tène. In: K. Stüber and A. Zürcher (Editors), *Festschrift Walter Drack : zu seinem 60. Geburtstag : Beiträge zur Archäologie und Denkmalpflege*. Th. Gut, Stäfa (Zürich), pp. 68-74.
- Bodmer, S., 1709. Entrée de la Thielle dans le Lac de Bienne., 1/16000. BPUN/Collection Schauenburg, n°24.
- Boessenkool, K.P., 2001. Environmental changes in the North Atlantic region during the last deglaciation, Université de Utrecht, Utrecht, 128 pp.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., N. Evans, M., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. et Bonani, G., 2001. Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene. *Science*, 294: 2130-2136.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. et Bonani, G., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 294: 2130-2136.
- Bonjour, P., 1672-73. La Souveraineté de Neuchâtel et de Valangin., in Evard, M., 1998. Histoire du canton de Neuchâtel. Département de l'instruction publique et des affaires culturelles. Office du matériel scolaire, Neuchâtel, 127 pp.
- Borel, M., 1880-89. La Tène. Etat des fouilles archéologiques 1880-1889., 1/500. MCAN/MAR-LT-D1-31.
- Borel, M., 1900. Canton de Neuchâtel, Suisse, 1/50000. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel.
- Borel, M., 1907-14. Carte des fouilles de la Tène de 1907 à 1914., 1/1000. MCAN/MAR-LT D1-56.

- Borel, M., 1920. 1/1000. MCAN-B5 200.
- Bradley, 2003. Climate forcing during the Holocene. In: A.W. Mackay, R.W. Battarbee, H.J.B. Birks and F. Oldfield (Editors), *Global Change in the Holocene: approaches to reconstructing fine-resolution climate change*. Arnold, Londres, pp. 10-19.
- Breguet, H.F., 1763. plan de la Chatellenie de Thielle. , 1/500 et 1/1000. Arch. Cant. NE/NE-REC 12-13.
- Brochier, J.-L., 1986. La séquence sédimentaire lacustre. In: M.A. Borrello, J.-L. Brochier, L. Chaix and P. Hadorn (Editors), *Cortaillod-Est, un village du Bronze final, 4. Nature et environnement*. Archéologie neuchâteloise, 4. Edition du Ruau, Saint-Blaise, pp. 11-34.
- Bureau fédéral des travaux publics, 1867-1916. Observations hydrométriques suisses, Berne.
- Burri, K., 1995. Schweiz, Suisse, Svizzera, Svizra : geografische Betrachtungen. Interkantonale Lehrmittelzentrale, Zürich, 340 pp.
- Cailleux, A., 1954. Limites dimensionnelles et noms des fractions granulométriques. Bulletin de la Société Géologique de France, 6ème série, tome IV(7, 8, 9): 643-646.
- Campy, M. et Macaire, J.-J., 2003. Géologie de la surface : érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux. Sciences Sup. Sciences de la terre. Cours. Dunod, Paris, 440 pp.
- Carrión, J.S., 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a mountain region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews*, 21(18-19): 2047-2066.
- Chalumeau, L., 2003. Etude stratigraphique de la séquence sédimentaire du site archéologique de Marin-Les Piécettes (NE). Travail de diplôme de géologie, Institut de Géologie, Université de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Chalumeau, L., 2005a. Rapport sur la campagne de sondages réalisée autour du site de Marin-Les Piécettes (NE) en vue de préciser son extension et son contexte sédimentaire (juillet 2004), Service Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Chalumeau, L., 2005b. Rapport sur la campagne de sondages réalisée autour des sites de Marin-Les Piécettes et de Marin-La Tène (NE) en vue de préciser leurs contexte sédimentaire (juillet 2005), Service Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Chavaz, F., 1953. La nouvelle correction des eaux du pied du Jura et l'aménagement des forces hydrauliques du bassin de la Sarine. Bulletin de la Société fribourgeoise des sciences naturelles, 43: 3-72.
- Co du Chemin de Fer Franco-Suisse, 1857. Carte des Chemins de Fer Suisses au 11 mai 1857, 1/1000000.
- Colardelle, M. et Verdel, E., 1993. Les habitats du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement : la formation d'un terroir au XI^e siècle. Documents d'archéologie française ; no 40. Ed. de la Maison des sciences de l'homme, Paris, 416 pp.
- Combaud, A., 2008. Terroirs viticoles de la Côte-d'Or. Caractérisation physique et historique par un Système d'Information Géographique., Université de Bourgogne, Dijon, 2 vol. 150pp. 156 pp.
- Constandache, M., 2007. Analyse de la séquence du site de Marin-Prébit en vue d'une reconstitution paléogéographique., Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 57 pp.
- Corboud, P. et Pugin, C., 2002. Les sites littoraux du lac de Morat et de la rive sud du lac de Neuchâtel. Cahiers d'Archéologie Fribourgeoise, 4: 6-19.
- Curdy, P., Flutsch, L., Moulin, B. and Schneiter, A., 1995. Eburodunum vu de profil : coupe stratigraphique à Yverdon-les-Bains VD, Parc Piguet, 1992. Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie, 78: 7-56.

- Davis, B.A.S., Brewer, S., Stevenson, A.C., Guiot, J. and Contributors, D., 2003. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1701-1716.
- De Cerenville Géotechnique SA, 1991. Etude géotechnique pour l'extension des installations de préparation de sables et graviers à Marin de P. Buhler et Fils SA., non publié.
- De Mandrot, A., 1879-1880. Marin-Epagnier, 1/5000. Dépôt du musée d'Yverdon, Mandrot-10.
- Deconinck, J.-F., 2006. Paléoclimats, l'enregistrement des variations climatiques. Interactions. Vuibert et Société géologique de France, Paris, 198 pp.
- Denton, G.H. et Karlén, W., 1973. Holocene climatic variations - their pattern and possible cause. *Quaternary Research*, 3: 155-205.
- Dufour, B. et Robin, P., 1982. Etude du recul d'une rive du lac de Neuchâtel (secteur compris entre Yverdon et Cheyres). Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Rapport non publié.
- Dufour, G.-H., 1842. Topographische Karte der Schweiz., 1/100000. SITN.
- Egloff, M., 1989. Histoire du pays de Neuchâtel. Des premiers chasseurs au début du christianisme. Histoire du Pays de Neuchâtel, 1. G. Attinger, Hauterive, 174 pp.
- Ehrsam, E., 1974. Exposé général des deux corrections des eaux du Jura : Exécutées de 1868 à 1891 et de 1962 à 1973., 135 pp.
- Favre, A., 1883. Sur l'ancien lac de Soleure. *Arch. Sc. phys. et nat. Genève*, 10: 601-607.
- Filippi, M.L., 1996. Paleoclimatic reconstruction since the Late-Glacial in Western Switzerland : Stable isotopes of lacustrine carbonates, Université de Lausanne, Lausanne, 204 pp.
- Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of geology*, 62: 344-359.
- Folk, R.L. et Ward, W.C., 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- Forel, F.-A., 1892. Le Léman : monographie limnologique., 1. F. Rouge, Lausanne, 543 pp.
- Gaillard, M.-J., 2004. Datation palynologique et milieu végétal des niveaux magdaléniens et de l'horizon azilien. In: D. Leesch, M.I. Cattin and W. Müller (Editors), Témoins d'implantations magdaléniennes et aziliennes sur la rive nord du lac de Neuchâtel : Hauterive-Champréveyres et Neuchâtel-Monruz. *Archéologie neuchâteloise*. Service et musée cantonal d'archéologie, Saint-Blaise, pp. 13-19.
- Gaillard, M.-J. et Moulin, B., 1989. New results on the Late-Glacial history and environment of the Lake of Neuchâtel (Switzerland). Sedimentological and palynological investigations at the Paleolithic site of Hauterive-Champréveyres. *Eclogae geologicae Helveticae*, 82: 203-218.
- Garcia, J.-P. et Petit, C., à paraître. Le pont de Cornaux : accident ou lieu de sacrifices ?, Table ronde internationale de Neuchâtel «Le site de La Tène : bilan des connaissances - état de la question» (1^{er} - 3 novembre 2007), Neuchâtel.
- Gassmann, P., 2007. Nouvelle approche concernant les datations dendrochronologiques du site éponyme de La Tène (Marin-Epagnier, Suisse). *Annuaire d'Archéologie Suisse*, 90: 75-88.
- Gorin, G., Morend, D. et Pugin, A., 2003. Bedrock, quaternary sediments and recent fault activity in central Lake Neuchâtel, as derived from high-resolution reflection seismics. *Eclogae geologicae Helveticae*, 96(Supplement 1): 3-10.
- Grootes, P.M., Stuiver, M., White, J.W.C., Johnsen, S. et Jouzel, J., 1993. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, 366: 552-554.
- Gubler, E., Kahle, H.-G., Klingele, E., Müller, S. et Olivier, R., 1981. Recent crustal movements in Switzerland and their geophysical interpretation. *Tectonophysics*, 71(1-4): 125-152.

- Haas, J.N., Richoz, I., Tinner, W. et Wick, L., 1998. Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and the timberline in the Alps. *The Holocene*, 8: 301-309.
- Hadorn, P., 1994. Saint-Blaise/Bains des Dames, 1. Palynologie d'un site néolithique et histoire de la végétation des derniers 16000 ans. *Archéologie neuchâteloise*, 18. Musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 124 pp.
- Hafner, A. et Wolf, C., 1997. Pfahlbauten der Westschweiz - Die Seeufersiedlungen zwischen Bielersee und Lac Léman. In: H. Schlichtherle (Editor), *Pfahlbauten rund um die Alpen*. K. Theiss, Stuttgart, pp. 50-55.
- Havlicek, E., Rolli, M., Becze-Deák, J., Liniger, C. et Thew, N., 2003. Etude paléoenvironnementale. In: S. Wüthrich (Editor), *Saint-Aubin/Derrière la Croix. Un complexe mégalithique durant le Néolithique moyen et final*. *Archéologie neuchâteloise*, 29. Service et Musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, pp. 113-181.
- Heer, A., Lowick, S., Preusser, F. et Veit, H., 2007. Late Pleistocene dunes on the Swiss Plateau - a new contribution from OSL & (palaeo)pedology towards the understanding of late Pleistocene landscape evolution, 5th Swiss Geoscience Meeting, Genève, pp. 121-122.
- Heikkilä, M. et Seppä, H., 2003. A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*, 22(5-7): 541-554.
- Honegger, M., 2001. Marin NE - Les Piécettes au Néolithique : une station littorale d'exception. *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie*, 84: 29-42.
- Honegger, M., 2002. La station littorale de Marin/Les Piécettes (Neuchâtel, Suisse) : une place centrale au sein du monde lacustre ? In: C. Billard (Editor), *Internéo*. 4 (Journée d'information du 16 novembre 2002). Société préhistorique française, Paris, pp. 51-57.
- Hörlimann, 1877. Carte topographique, 1/25000. MCAN-B10-560.
- Hormes, A., Müller, B.U. et Schlüchter, C., 2001. The Alps with little ice : evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps. *The Holocene*, 11: 255-265.
- Jäckli, H., 1950. Untersuchungen in den nacheiszeitlichen Ablagerungen der Orbe-Ebene zwischen dem Mormont und Yverdon. *Eclogae geologicae Helveticae*, 43(1): 1-12.
- Jäckli, H., 1970. Atlas de la Suisse, 6. La Suisse durant la dernière période glaciaire, 1 : 550 000. Editions de l'Office fédéral de topographie, Wabern-Berne.
- Jennings, A.E., Knudsen, K.L., Hald, M., Hansen, C.V. et Andrews, J.T., 2002. A mid-Holocene shift in Arctic sea-ice variability on the East Greenland Shelf. *The Holocene*, 12(1): 49-58.
- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J.P., Clausen, H.B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdóttir, A.E. et White, J., 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science*, 16(4): 299-307.
- Jouzel, J., Lorius, C. et Raynaud, D., 2006. Climat et atmosphère au Quaternaire : de nouveaux carottages glaciaires. *Palevol*, 5(1-2): 45-55.
- Kaenel, G., 2002. Les témoins d'un passé enfoui: de l'homme de Neandertal à la chute de l'Empire romain. In: Collectif (Editor), *Le livre à remonter le temps : guide archéologique et historique de la région des Trois-Lacs et du Jura*. Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle, pp. 200.
- Kaenel, G., 2004. De l'homme de Neandertal au royaume de Bourgogne. In: Association du Livre du Millénaire de Cudrefin and Editions Gilles Attinger SA Hauterive (Editors), *Le lac de Neuchâtel, miroir d'une région*. Zwahlen, Saint-Blaise, pp. 75-89.
- Kasser, R., 1975. Yverdon : histoire d'un sol et d'un site avec la cité qu'ils ont fait naître., 1. Institut d'archéologie yverdonnoise, Yverdon, 230 pp.

- Knapp, C., Borel, M. et Attinger, V., 1905. Dictionnaire géographique de la Suisse. Langenberg-Pyramides, 3. P. Attinger, Neuchâtel, 771 pp.
- Kübler, B., 1972. Note de géochimie de l'environnement. Le sel, agresseur méconnu de notre environnement. Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, 95: 193-195.
- Kübler, B., Bétrix, M.-A. et Fauguel, P., 1979. Répartition de quelques éléments dans les sédiments de surface du lac de Neuchâtel, modèle sédimentologique et géochimique. Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, 102: 129-148.
- Lachavanne, J.-B., Jaquet, J.M., Juge, R. et Perfetta, J., 1985. Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Vierwaldstättersees. Ed. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftschutz. Aufsicht Kommission Vierwaldstätter-see und Universität Genf, 109 pp.
- Lambert, P., 1999. La sédimentation dans le Lac de Neuchâtel (Suisse) : processus actuels et reconstitution paléoenvironnementale de 1500 BP à nos jours. Sciences Thesis, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 237 pp.
- Lasserre, O., 2004. Le paysage du lac. In: Association du Livre du Millénaire de Cudrefin and Editions Gilles Attinger SA Hauterive (Editors), Le lac de Neuchâtel, miroir d'une région. Zwahlen, Saint-Blaise, pp. 59-71.
- Le Ribault, L., 1977. L'exoscopie des quartz. Technique et méthodes sédimentologiques. Masson, Paris, 150 pp.
- Leesch, D., Cattin, M.I. et Müller, W., 2004. Témoins d'implantations magdaléniennes et aziliennes sur la rive nord du lac de Neuchâtel : Hauterive-Champréveyres et Neuchâtel-Monruz. Archéologie neuchâteloise, 31. Service et musée cantonal d'archéologie, Saint-Blaise, 237 pp.
- Legigan, P., 2002. Application de l'exoscopie des quartz à la reconstitution des environnements sédimentaires. In: J.-C. Miskovsky (Editor), Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques, applications. Géopré. Association pour l'étude de l'environnement géologique de la préhistoire, Paris, pp. 571-587.
- Lelewel, J., 1834. Plan général d'assèchement du marais de Seeland., 25000 pieds BE. Arch. Cant. NE/CH-NE-BE-SO 236.
- Liechti, P., 1994. L'état des lacs en Suisse. cahier de l'environnement, 237. Protection des eaux. Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage, Berne, 159 pp.
- Lindenmann, H., 1875. Carte topographique. Première édition. Feuille 133-St Blaise., 1/25000. MCAN-B10-573.
- Lüdi, W., 1935. Das Grosse Moos im westschweizerischen Seeland und die Geschichte seiner Entstehung. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich, 11. H. Huber, Bern.
- Magny, M., 1978. La dynamique des dépôts lacustres et les stations littorales du Grand Lac de Clairvaux (Jura). Publications du CRA. Notes et monographies techniques, 11. Editions du Centre national de la recherche scientifique, Paris, 222 pp.
- Magny, M., 1991. Une approche paléoclimatique de l'Holocène : les fluctuations des lacs du Jura et des Alpes du Nord françaises. Science Thesis, Université de Franche-Comté, Besançon, 633 pp.
- Magny, M., 1993. Solar influence on Holocene climatic changes illustrated by correlations between past lake-level fluctuations and atmospheric ¹⁴C record. Quaternary Research, 40(1): 1 - 9.
- Magny, M., 1995a. Successive Oceanic and Solar Forcing Indicated by Younger Dryas and Early Holocene Climatic Oscillations in the Jura. Quaternary Research, 43(3): 279-285.
- Magny, M., 1995b. Une histoire du climat. Des derniers mammoths au siècle de l'automobile. Collection des Hesperides. Editions Erance, Paris, 176 pp.

- Magny, M., 2001. Palaeohydrological changes as reflected by lake-level fluctuations in the Swiss Plateau, the Jura Mountains and the northern French Pre-Alps during the Last Glacial-Holocene transition: a regional synthesis. *Global and Planetary Change*, 30(1-2): 85-101.
- Magny, M., 2004. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, 113(1): 65-79.
- Magny, M., 2007. Lake level studies, West-Central-Europe, *Encyclopedia of Quaternary Science*, Elsevier, Oxford, pp. 1389-1399.
- Magny, M., 2008. Les variations holocènes du lac de Neuchâtel enregistrées par la séquence sédimentaire de Concise, et leurs relations avec les habitats du Néolithique et de l'âge du Bronze. In: A. Winiger (Editor), *La station lacustre de Concise 1 Stratigraphie, datations et contexte environnemental*. Cahier d'archéologie romande 111. Cahier d'archéologie romande, Lausanne, pp. 79-109.
- Magny, M. et Bégeot, C., 2004. Hydrological changes in the European midlatitudes associated with freshwater outbursts from Lake Agassiz during the Younger Dryas event and the early Holocene. *Quaternary Research*, 61(2): 181-192.
- Magny, M., Bégeot, C., Guiot, J. et Peyron, O., 2003. Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases. *Quaternary Science Reviews*, 22(15-17): 1589-1596.
- Magny, M., de Beaulieu, J.L., Drescher-Schneider, R., Vannièrè, B., Walter-Simonnet, A.V., Miras, Y., Millet, L., Bossuet, G., Peyron, O., Brugiapaglia, E. et Leroux, A. 2007. Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews*, 26(13-14): 1736-1758.
- Magny, M., Honegger, M. et Chalumeau, L., 2005. Nouvelles données pour l'histoire des fluctuations holocènes du niveau du lac de Neuchâtel (Suisse) : la séquence sédimentaire de Marin-Les Piécettes. *Eclogae geologicae Helveticae*, 98(2): 249-259.
- Magny, M., Leuzinger, U., Bortenschlager, S. et Haas, J.N., 2006. Tripartite climate reversal in Central Europe 5600-5300 years ago. *Quaternary Research*, 65(1): 3-19.
- Magny, M., Peyron, O., Gautier, E., Rouèche, Y., Bordon, A., Billaud, Y., Chapron, E., Marguet, A., Pétrequin, P. et Vannièrè, B. In Press. Quantitative reconstruction of climatic variations during the Bronze and early Iron ages based on pollen and lake-level data in the NW Alps, France. *Quaternary International*.
- Mandrot, A.d., 1868. Carte spéciale du cours de la Thièle du Lac de Neuchâtel au Lac de Biènnè., 1/25000. Arch. Cant. VD./d 1462-1464.
- Mandrot, A.d., 1874. Carte du Canton de Neuchâtel dessiné d'après la carte de l'état-major fédéral., 1/100000. J. Sandoz, Neuchâtel.
- Maraiel, P., 1885. Carte topographique. Première édition. Feuille 309-Neuchâtel., 1/25000. MCAN-B10-575.
- Marescot, L., 2006. Introduction à l'imagerie électrique du sous-sol. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 90(1): 23-40.
- Mathey, B., 1976. Quelques éléments de l'hydrogéologie du canton de Neuchâtel. In: R. Gigon et al. (Editors), *Canton de Neuchâtel. Inventaire spéléologique de la Suisse*, 1. Commission de spéléologie de la Société helvétique des sciences naturelles, Neuchâtel, pp. 13-14.
- Mauvilly, M., 2003. Arrière-pays et rive du lac, une histoire complémentaire. *Journal des Grèves*, 54: 7.
- Meia, J. et Frei, E., 1974-76. Atlas géologique de la Suisse, feuille 67. 1164 Neuchâtel :

- topographie : Carte nationale de la Suisse 1 : 25 000. Commission géologique suisse, Basel.
- Meia, J., Persoz, F. et Schaer, J.-P., 1971. Dépôts quaternaires et évolution récente de la région de Colombier (rive NW du lac de Neuchâtel). Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, 94: 77-82.
- Mercator, G., vers 1550. Carte de la Suisse romande vers 1550. Musée du Landeron.
- Merveilleux, D.-F.d., 1694. Le Comté de Neuchâtel et la Seigneurie de Valangin., in Evard, M., 1998. Histoire du canton de Neuchâtel. Département de l'instruction publique et des affaires culturelles. Office du matériel scolaire, Neuchâtel, 127 pp.
- Merveilleux, D.-F.d., 1713. Carte de la souveraineté de Neuchâtel et Valangin., 1/100000. Musée du Landeron et SITN.
- Meyer-Wohlfarth, B., 1987. Das jüngere Quartär im Westschweizer Seeland. Revue de Paléobiologie, 6: 55-80.
- Michel, O., 1995. Les SIG et leurs applications au niveau des bassins versants, Université de Bourgogne, Dijon, 28 pp.
- Michel, R., 2002. Saint-Blaise / Bains des dames, 3. Typologie et chronologie de la céramique néolithique : céramostratigraphie d'un habitat lacustre. Archéologie neuchâteloise, 27. Zwahlen, Saint-Blaise, 223 pp.
- Monnier, F., 1979. Corrélations minéralogiques et diagenèse dans le bassin molassique suisse. Doctorat Thesis, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, Vol. 1, 143 pp., Vol. 2, 84 pp.
- Moulin, B., 1991. Hauterive-Champréveyres, 3. La dynamique sédimentaire et lacustre durant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire. Archéologie neuchâteloise, 9. Editions du Ruau, Saint-Blaise, 144 pp.
- Müller, R., 1973. Les niveaux des Lacs du Jura. Contribution aux recherches archéologiques de la 2^e correction des eaux du Jura. In: H. Schwab (Editor), Le passé du Seeland sous un jour nouveau : découvertes et fouilles archéologiques aux cours de la 2^e correction des eaux du Jura. Ed. Universitaires, Fribourg, pp. 152-176.
- Murphy, D.H. et Wilkinson, B.H., 1980. Carbonate deposition and facies distribution in a central Michigan marl lake. Sedimentology, 27: 123-135.
- Nast, M., 2006. Terre du lac. L'histoire de la correction des eaux du jura. Verein Schlossmuseum Nidau, Nidau, 193 pp.
- Nesje, A., Lie, O. et Dahl, S.A., 2000. Is the North Atlantic Oscillation reflected in Scandinavian glacier mass balance record ? Journal of Quaternary Science, 15: 587-601.
- Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel, 1999. Marin «La Tène» - Compte-rendu du suivi archéologique., non publié.
- Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel, 2003. Documents de terrain de l'intervention 3799, non publié.
- Office fédéral de l'économie hydraulique, 1917-1979. Annuaire hydrographique de la Suisse. EDMZ, Berne.
- Office fédéral de la topographie, 1982a. Feuille 1144, Val de Ruz, Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Wabern.
- Office fédéral de la topographie, 1982b. Feuille 1145, Bieler See, Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Wabern.
- Office fédéral de la topographie, 1987a. Feuille 1164, Neuchâtel, Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Wabern.
- Office fédéral de la topographie, 1987b. Feuille 1165, Murten (Morat), Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Wabern.
- Ostervald, J.-F.d., 1838-45. Carte de la Principauté de Neuchâtel., 1/25000. Musée du Landeron et SITN.

- Patzelt, G., 1977. Der zeitliche Ablauf und das Ausmass postglazialer Klimaschwankungen in den Alpen. In: B. Frenzel (Editor), Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa. F. Steiner, Wiesbaden, pp. 248-259.
- Pauwels, J.M., Van Ranst, E., Verloo, M. et Mvondo, Z.A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques., 28. Publications agricoles, Bruxelles, 145-159 pp.
- Persoz, F., Schaer, J.-P., Besson, O. et Robert-Charrue, C., 2004. Le cadre physique. In: Association du Livre du Millénaire de Cudrefin and Editions Gilles Attinger SA Hauterive (Editors), Le lac de Neuchâtel, miroir d'une région. Zwahlen, Saint-Blaise, pp. 11-31.
- Peseux, C., 1839. Plan d'un projet de canal du lac de Neuchâtel à la Thielle., 5000 pieds F. Arch. Cant. NE/CH-NE-0269.
- Peter, A., 1922. Die Juragewässer-Korrektion, Bericht über die Vorgeschichte, Durchführung, Wirkung und Neuordnung 1921. Buchdr. E. Horat, Bern, 237 pp.
- Petit, C., Wahlen, P., Barral, P., Berti, L., Bossuet, G., Camerlynck, C., Delor, A., Durllet, C., Gautier, E., Guillaumet, J.P., Goguy, R., Guerin, R. et Richard, H., 2005. Approche géoarchéologique de la vallée de la Laigne. In: C. Petit (Editor), Occupation et gestion des plaines alluviales dans le Nord de la France de l'âge du Fer à l'époque gallo-romaine, Actes de la table-ronde de Molesme. Presse Universitaires de Franche-Comté, Besançon, pp. 23-40.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappelaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. et Stievenard, M., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.
- Pétrequin, P., 1989. Les sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs (Jura). Le Néolithique moyen. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 508 pp.
- Piaget, J., 1913. Etude zoogéographique de quelques dépôts coquilliers quaternaires du Seeland et des environs. *Mitteilungen der naturforschenden Gesellechaft in Bern*: 105-186.
- Pieczynska, E., 1972. Ecology of the eulittoral zone of lakes. *Ekologia Polska*, XX(44): 637-732.
- Plumettaz, N., 1998. Marin NE, Pré de la Mottaz. *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie*, 81: 319.
- Plumettaz, N., 2000. Aménagements des 10^e s.-12^e siècle dans un ancien lit secondaire de la Thielle. *Archéologie des fleuves et des rivières*: 210-215.
- Plumettaz, N., 2008. Un moulin du 11^e et une pêcherie du 12^e siècle dans un ancien bras de la Thielle (site de Marin/Pré de la Mottaz). Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel, Rapport interne - non publié, Neuchâtel.
- Portmann, J.-P., 1954. Pétrographie des moraines du glacier würmien du Rhône dans la région des lacs subjurassiens (Suisse). *Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie*, 51(5): 13-55.
- Portmann, J.-P., 1974. Pléistocène de la région de Neuchâtel (Suisse) : aperçu bibliographique. *Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie*, 19: 69-90.
- Portner, C., 1951. La formation du sédiment calcaire du lac de Neuchâtel : étude chimio-physique. Science Thesis, Université de Neuchâtel, Bâle, 94 pp.
- Pugin, A., 1991. Séquences sédimentaires glaciaires dans le Seeland et le Mittelland bernois et soleurois. *Eclogae geologicae Helveticae*, 84(1): 177-205.
- Quartier, A., 1948. Le lac de Neuchâtel. Mémoires de la Société neuchâteloise de géographie, 1. P. Attinger, Neuchâtel, 164 pp.
- Raddatz, K., 1952. Zur Deutung der Funde von La Tène. *Offa*, 11: 24-28.

- Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Svensson, A.M., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Clausen, H.B., Siggaard-Andersen, M.L., Johnsen, S.J., Larsen, L.B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M.E. et Ruth, U., 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Reginelli, G., 2007. La Tène revisitée en 2003 : résultats préliminaires et perspectives, XXIX^{ème} colloque international de l'AFEAF (5-8 mai 2005). *Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté 2007*, Bienne.
- Reginelli Servais, G., 2007. La Tène, un site, un mythe, 1. Chronique en images (1857-1923). *Archéologie neuchâteloise*, 39. Office et musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 204 pp.
- Reimer, P.J., Ballie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S., Bronk-Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. et Weyhenmeyer, C.E., 2004. IntCal04 : calibration issue. *Radiocarbon*, 46(3): 1029-1058.
- Rey, J.-P. et Kübler, B., 1983. Identification des micas des séries sédimentaires par diffraction X à partir de la série harmonique (001) des préparations orientées. *Schweiz. mineral. petrogr.*, 63: 13-36.
- Rolly, M., 1992. Programme de dosage semi-quantitatif de roches totales par diffraction X., Neuchâtel.
- Rolly, M., 2001. Rapport géologique de Marin - Les Piécettes (MAR - Piec). Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel, Non publié, Neuchâtel.
- Ruoff, U., Le Tensorer, J.M., Schifferdecker, F., Gally, A., Rychner, V., Rageth, J., Müller, F., Kaenel, G., Roth-Rubi, K., Martin, M., Weidmann, D. et Stöckli, W.E., 1986. Chronologie. *Archäologische Daten der Schweiz - Datation archéologique en Suisse*. Antiqua, 15. Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte, Bâle, 241 pp.
- Schär, U., Ryniker, K., Schmid, K., Häfeli, C. et Rutsch, R.F., 1971. Atlas géologique de la Suisse, feuille 60. 1145 Bieler See : Topographie : Landeskarte des Schweiz 1 : 25 000. Kümmerly & Frey S.A., Bern.
- Schardt, H., 1898. Origines des lacs du pied du Jura. *Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles*, 26: 395.
- Schardt, H., 1901. Mélanges géologiques sur le Jura Neuchâtelois et les régions limitrophes. Deuxième fascicule. VII. Coupe de la mollasse aquitanaise de la colline de Marin. *Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles*, 29: 107-166.
- Schlüchter, C., 1988. The deglaciation of the Swiss Alps : a paleoclimatic event with chronological problems. *Bull. Ass. Fr. Et. Quat.*, 2(3): 141-145.
- Schneider, J., Schröder, H.G. et Le Campion-Alsumard, T., 1983. Algal micro-reefs, coated grains from fresh-water environments. In: T.M. Peryt (Editor), *Coated grains*. Springer, Berlin, Heidelberg, New-York et Toronto, pp. 284-298.
- Schneider, J.R., 1881. *Der Seeland der Westschweiz und die Korrekationen seiner Gewässer : eine Denkschrift*. E.W. Krebs, Bern, 208 pp.
- Schnellmann, M., Anselmetti, F.S., Giardini, D., McKenzie, J.A. et Ward, S.N., 2002. Prehistoric earthquake history revealed by lacustrine slump deposits. *Geology*, 30(12): 1131-1134.
- Schwab, H., 1973. Le passé du Seeland sous un jour nouveau : découvertes et fouilles archéologiques aux cours de la 2^e correction des eaux du Jura. Edition Universitaires, Fribourg, 151 pp.
- Schwab, H., 1989. Archéologie de la 2^e correction des eaux du Jura. Vol. 1 - Les Celtes sur la

- Broye et la Thielle. Archéologie fribourgeoise, 5, 1. Editions Universitaires Fribourg Suisse, Fribourg, 270 pp.
- Schwab, H., 2003. Archéologie de la 2^e correction des eaux du Jura. Vol. 4 - Ponts et ports romains sur la Broye inférieure et la Thielle moyenne. Archéologie fribourgeoise, 17, 1. Editions Universitaires Fribourg Suisse, Fribourg, 269 pp.
- Schwalb, A., 1992. Die Sedimente des Lac de Neuchâtel (Schweiz) : Rekonstruktion spät - und postglazialer Klima - und Umweltveränderungen. Science Thesis, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 138 pp.
- Schwalb, A., Hadorn, P., Thew, N. et Straub, F., 1998. Evidence for Late Glacial and Holocene environmental changes from subfossil assemblages in sediments of Lake Neuchâtel, Switzerland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140(1-4): 307-323.
- Sebag, D., Disnar, J.R., Guilet, B., Di Giovanni, C., Verrecchia, E.P. et Durand, A., 2002. Caractérisation de la MO des sols par pyrolyse Rock-Eval : évolution des principales fractions organiques., Communication présentée à la 19^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Nantes.
- Service des eaux, 1886-1916. Tableaux graphiques des observations hydrométriques suisses, Berne.
- Service fédéral des eaux, 1944. Profils en travers du canal de la Thielle entre le lac de Neuchâtel et le lac de Bienne. Levé en juillet/septembre 1944., 1:10000.
- Service hydrologique national, 1980-2005. Annuaire hydrologique de la Suisse. EDMZ, Berne.
- Siegfried, 1870-92. Carte Siegfried., 1/25000. SITN.
- Sollberger, H., 1974. Le lac de Neuchâtel (Suisse) : ses eaux, ses sédiments, ses courants sous-lacustres. Science Thesis, Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences, Neuchâtel, 434 pp.
- Straub, F., 1990. Hauterive-Champréveyres, 4. Diatomées et reconstitution des environnements préhistoriques. Archéologie neuchâteloise 10. Editions du Ruau, Saint-Blaise, 96 pp.
- Stryiński, 1842. Levé original de la carte de Dufour., 1/50000. MCAN-B10-561.
- Stuiver, M. et Braziunas, T.F., 1993. Sun, ocean, climate and atmospheric ¹⁴CO₂ : an evaluation of causal and spectral relationships. *The Holocene*, 3(4): 289-305.
- Stuiver, M. et Reimer, P.J., 1993. Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C Age calibration program. *Radiocarbon*, 35(1): 215-230.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. et Spurk, M., 1998. Intcal98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40(3): 1041-1083.
- Suchard, P., 1840. Projet de construction d'un canal navigable, entre le lac de Neuchâtel et celui de Bienne. BPUN/N° RERO : 1590577.
- Suter, H. et Lüthi, E., 1969. Atlas géologique de la Suisse, feuille 51. 1144 Val de Ruz : Topographie : Landeskarte der Schweiz 1 : 25 000. Kümmerly & Frey S.A., Bern.
- Trechsel, 1816-17. Plan général du projet concernant le dessèchement des marais du Seeland et la correction de la Broye et de la Haute Thielle., Arch. Cant. NE/CH-NE-235.
- U.S.D.A., 1975. Soil taxonomy. Agriculture handbook, Soil Survey Staff, U.S. Department of Agriculture, Washington, 436.
- van der Meer, J.J.M., 1976. Cartographie des sols de la région de Morat (Moyen-Pays suisse). *Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie*, LIV-5(21): 5-52.
- Varicourt, L.d., 1793. Carte militaire de la partie allemande du canton de Berne comprise entre Berne et les rivières, la Broye, la Thiele, la Sarrine, l'Aar et l'Emme. Pour servir au mémoire de la reconnaissance militaire de ce pays., ~ 1/38000. BPUN/Collection Schauenburg, n°30.

- Verrecchia, E.P., 2007. Lacustrine and palustrine geochemical sediments. In: D.J. Nash and S. McLaren (Editors), *Geochemical sediments and landscapes*. Blackwell Publishing, pp. 298-329.
- Vischer, D.L., 2003. Histoire de la protection contre les crues en Suisse. Des origines jusqu'au 19e siècle. *Rapports de l'OFEG, Série Eaux*. Office fédéral des eaux et de la géologie, OFEG, Berne, 208 pp.
- Vouga, D., 1943. *Préhistoire du pays de Neuchâtel des origines aux Francs*. Es lettres Thesis, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 253 pp.
- Vouga, E., 1885. *Les Helvètes à La Tène* Imprimerie de J. Attinger, Neuchâtel, 40 pp.
- Vouga, P., 1923. *La Tène : monographie de la station publiée au nom de la Commission des fouilles de la Tène*. K.W. Hiersemann, Leipzig, 168 pp.
- Wagner, C., 2003. L'occupation des rives à travers l'histoire. *Journal des Grèves*, 54: 3.
- Welti, K., 1853. *Rapport sur les travaux préparatoires concernant les lignes de chemins de fer de Verrières-Neuchâtel-Yverdon*. Conseil d'Etat, Neuchâtel.
- Wentworth, C.K., 1926. *Methods of mechanical analysis sediments*. *Studies in Nat. Hist. Uni. Iowa*, 7(11).
- Winiger, J., 1989. *Bestandesaufnahme der Bielerseestationen als Grundlage demographischer Theoriebildung. Ufersiedlungen am Bielersee, 1*. Stuttgart : P. Haupt : Staatlicher Lehrmittelverl, Bern, 248 pp.
- Wohlfarth, B. et Schneider, A.-M., 1991. Late glacial and holocene litho- and biostratigraphy of Lake Biel, western Switzerland. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 80(4): 435-457.
- Wohlfarth-Meyer, B., 1987a. Etude géologique du cordon littoral III à Yverdon-les-Bains. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 78(3): 321-347.
- Wohlfarth-Meyer, B., 1987b. Lithostratigraphische, sedimentologische und chronologische Untersuchungen im Quartaer des Schweizer Seelandes (Kantone Bern und Fribourg). *Eclogae geologicae Helveticae*, 80(1): 207-222.
- Wüthrich, S., 2003. Saint-Aubin/Derrière la Croix. Un complexe mégalithique durant le Néolithique moyen et final. *Archéologie neuchâteloise*, 29, 1. Service et Musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 368 pp.
- Wyss, R., Rey, T. and Müller, F., 2002. *Gewässerfunde aus Port und Umgebung. Katalog der latène-und römerzeitlichen Funde aus der Zihl*. Schriften des bernischen historischen Museums, 4. Bernisches Historisches Museum, Bern, 187 pp.

<http://www.ne.ch/sitn/plaquettes> - consulté le 25 février 2006

<http://www.grande-caricaie.ch> - consulté le 08 avril 2004

ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs extrêmes annuelles du niveau du lac de Neuchâtel

année	cote maximale	cote minimale
1817	433.04	431.78
1818	433.16	431.67
1819	432.55	431.58
1820	432.03	431.67
1821	432.69	431.84
1822	432.37	431.58
1823	433.1	431.67
1824	433.22	431.81
1825	432.9	431.61
1826	432.43	431.49
1827	433.02	431.55
1828	432.4	431.7
1829	432.78	431.67
1830	432.52	431.78
1831	433.34	431.9
1832	432.49	431.31
1833	433.04	431.61
1834	433.25	431.37
1835	432.16	431.55
1836		431.55
1837	432.84	431.55
1838	432.87	431.72
1839	432.81	431.64
1840	433.1	431.64
1841	432.52	431.67
1842	432.96	431.61
1843	432.84	431.84
1844	432.87	431.7
1845	432.75	431.61
1846	433.22	431.7
1847	432.9	431.52
1848	433.19	431.34
1849	432.63	431.52
1850	432.49	431.58
1851	432.84	431.72
1852	433.1	431.78
1853	432.93	431.64
1854	432.25	431.49
1855	432.78	431.72
1856	433.19	431.4
1857	431.88	431.16
1858	431.86	431.01
1859	432.28	431.1
1860	432.71	431.79
1861	432.55	431.37
1862	432.11	431.17
1863	432.09	431.28
1864	432.14	431.13
1865	432.27	431.02

année	cote maximale	cote minimale
1866	432.72	431.41
1867	433.05	431.32
1868	432.31	431.16
1869	432.39	431.04
1870	432.19	430.81
1871	432.07	431.01
1872	432.21	431
1873	432.07	431.12
1874	431.57	430.89
1875	432.39	431.24
1876	432.63	431.06
1877	431.86	430.39
1878	431.27	429.42
1879	430.04	428.86
1880	429.6	428.68
1881	429.52	428.61
1882	430.8	428.23
1883	431	429.03
1884	429.24	428.06
1885	429.95	427.94
1886	429.59	428.79
1887	429.81	428.53
1888	430.48	428.47
1889	430.6	428.45
1890	430.09	428.61
1891	430.1	428.22
1892	429.73	428.62
1893	429.3	428.39
1894	429.47	428.54
1895	430.19	428.43
1896	430.59	428.82
1897	430.33	428.7
1898	429.83	428.57
1899	430.01	428.39
1900	429.72	428.5
1901	430.52	428.45
1902	430.31	428.62
1903	429.65	428.6
1904	430.05	428.52
1905	429.96	428.35
1906	430.03	428.48
1907	430.13	428.53
1908	430.05	428.61
1909	429.9	428.54
1910	431.01	428.98
1911	429.86	428.73
1912	430.02	429.09
1913	429.71	428.92
1914	430.57	429.09

année	cote maximale	cote minimale
1915	<i>430.35</i>	<i>429.19</i>
1916	<i>430.49</i>	<i>429.23</i>
1917	<i>430.59</i>	<i>428.98</i>
1918	<i>430.57</i>	<i>428.71</i>
1919	<i>430.69</i>	<i>429.08</i>
1920	<i>430.63</i>	<i>428.64</i>
1921	<i>429.45</i>	<i>428.27</i>
1922	<i>430.57</i>	<i>428.73</i>
1923	<i>429.92</i>	<i>428.91</i>
1924	<i>430.75</i>	<i>428.56</i>
1925	<i>429.6</i>	<i>428.32</i>
1926	<i>430.02</i>	<i>428.65</i>
1927	<i>430.52</i>	<i>428.39</i>
1928	<i>429.77</i>	<i>428.64</i>
1929	<i>429.57</i>	<i>428.52</i>
1930	<i>430.31</i>	<i>428.67</i>
1931	<i>430.49</i>	<i>428.66</i>
1932	<i>430.18</i>	<i>428.34</i>
1933	<i>429.45</i>	<i>428.35</i>
1934	<i>429.34</i>	<i>428.33</i>
1935	<i>430.05</i>	<i>428.54</i>
1936	<i>430.41</i>	<i>429.01</i>
1937	<i>430.45</i>	<i>428.52</i>
1938	<i>429.88</i>	<i>428.44</i>
1939	<i>430.62</i>	<i>428.39</i>
1940	<i>430.07</i>	<i>429.03</i>
1941	<i>430.28</i>	<i>429.19</i>
1942	<i>429.68</i>	<i>428.53</i>
1943	<i>429.64</i>	<i>428.8</i>
1944	<i>431.18</i>	<i>428.58</i>
1945	<i>430.27</i>	<i>428.7</i>
1946	<i>430.15</i>	<i>428.78</i>
1947	<i>430.22</i>	<i>428.17</i>
1948	<i>430.2</i>	<i>428.89</i>
1949	<i>429.46</i>	<i>428.64</i>
1950	<i>431.09</i>	<i>428.88</i>
1951	<i>429.99</i>	<i>429.18</i>
1952	<i>430.74</i>	<i>429.04</i>
1953	<i>430.24</i>	<i>428.78</i>
1954	<i>429.9</i>	<i>428.69</i>
1955	<i>431.01</i>	<i>428.83</i>
1956	<i>430.15</i>	<i>428.94</i>
1957	<i>429.9</i>	<i>428.87</i>
1958	<i>429.84</i>	<i>428.85</i>
1959	<i>429.59</i>	<i>428.82</i>
1960	<i>429.96</i>	<i>429.11</i>
1961	<i>429.65</i>	<i>428.94</i>
1962	<i>429.85</i>	<i>428.56</i>
1963	<i>429.87</i>	<i>428.57</i>
1964	<i>429.33</i>	<i>428.56</i>
1965	<i>430.05</i>	<i>428.8</i>
1966	<i>430.18</i>	<i>428.78</i>

année	cote maximale	cote minimale
1967	429.6	428.64
1968	429.95	428.8
1969	429.69	428.76
1970	429.85	428.74
1971	429.43	428.65
1972	429.72	428.58
1973	429.81	428.74
1974	429.6	428.85
1975	429.57	428.88
1976	429.33	428.83
1977	430	428.87
1978	429.76	428.75
1979	429.65	428.89
1980	429.79	428.92
1981	429.7	428.88
1982	429.64	428.92
1983	429.97	428.95
1984	429.64	428.99
1985	429.89	428.79
1986	429.88	428.9
1987	430.24	428.98
1988	429.88	428.99
1989	429.55	428.85
1990	429.82	428.82
1991	429.56	428.93
1992	429.82	428.89
1993	429.74	428.88
1994	429.92	428.99
1995	429.9	428.94
1996	429.69	428.98
1997	429.69	429
1998	429.55	428.99
1999	430.05	428.99
2000	429.56	429
2001	430.09	428.95
2002	429.9	428.94
2003	429.51	428.99
2004	429.64	428.96
2005	429.83	428.92

Source des valeurs en écriture italique :

Quartier, A., 1948. Le lac de Neuchâtel. Mémoires de la Société neuchâteloise de géographie, 1. P. Attinger, Neuchâtel, 164 pp.

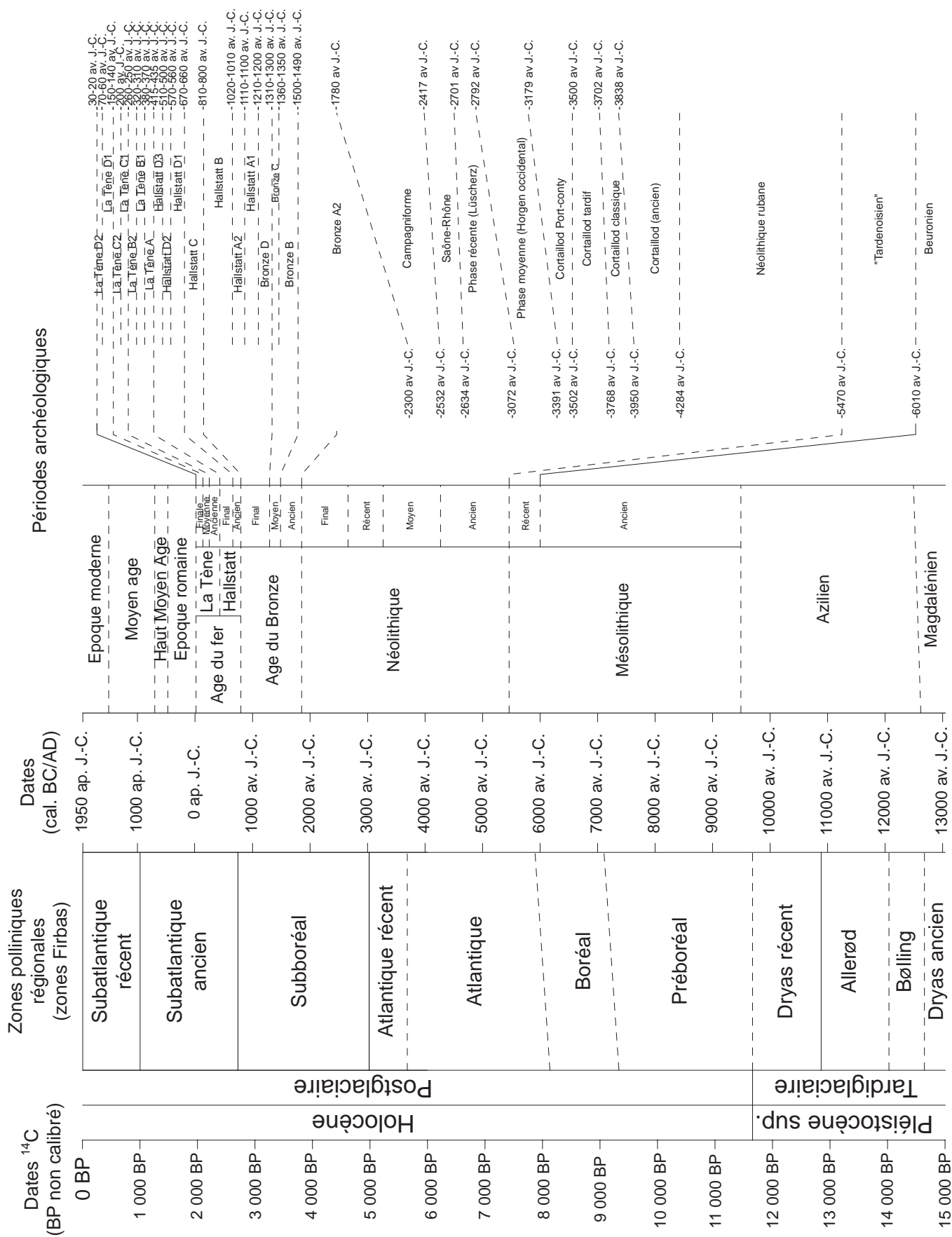
Sources des valeurs en écriture normale :

1817 à 1896 : Service des eaux. Tableaux graphiques des observations hydrométriques suisses, Berne.

1934 à 1979 : Office fédéral de l'économie hydraulique. Annuaire hydrographique de la Suisse. EDMZ, Berne.

1980 à 2005 : Service hydrologique national. Annuaire hydrologique de la Suisse. EDMZ, Berne.

Annexe 2 : Chronologie réalisée par compilation des données de Leesch *et al.* (2004), Rasmussen *et al.* (2006) et Ruoff *et al.* (1986).



Annexe 3 : Les stations lacustres du lac de Neuchâtel et de sa zone exutoire

Commune	Lieu_dit	Canton	Paléo.	Néo.	A. Bronze	A. Fer	E. romaine	Moyen-Age	E. moderne	Néo et A. Bronze	Néo et E. romaine	A. Bronze E. romaine	sources*
	Tonkin	BE				X							Schwab_1973
	Les-Mottes	BE				X							Schwab_1973
	Lac-de-Neuchâtel	BE				X							Schwab_1973
Gals	Saint-Johannsen	BE						X					Mojon_1986
Gals	Niederhölzli	BE					X						Schwab_1973
Gampelen	Insel-Witzwil	BE			X								1-2
Gampelen	Rothus/Neue-Zeit	BE				X							2
Gampelen	Rothus/Neue-Zeit	BE											2
Gampelen	Witzwilmoos	BE					X						2
Ins	Witzwil	BE										X	2
Ins	La-Sauge/Pont-d'Aval	BE				X							2
Ins	La-Sauge/Pont-d'Amont	BE					X						2
Ins	Witzwil/Lindenhof	BE					X						2
Ins	Le-Rondet	BE					X						2-Schwab_1973
Ins	Mauriweg	BE					X						2
Ins	Mauriweg	BE					X						2
Ins	La-Sauge	BE					X						Schwab_1973
Autavaux	La-Crasaz-I	FR		X									1-3
Autavaux	La-Crasaz-II	FR			X								1-3
Autavaux	La-Grève	FR											1
Autavaux	Limite	FR		X									1-3
Autavaux	Rives-du-Lac	FR		X									1-3
Cheyres	En-Crevel	FR		X									1-3
Cheyres	Pointe-de-la-Rosière	FR		X					X				1
Cheyres	Tivoli	FR											1
Cheyres		FR			X								
Delley-Portalban	Delley-Portalban	FR			X								1-3
Delley-Portalban	Portalban-III	FR			X								1-3
Delley-Portalban	Portalban-IV	FR			X								1-3
Delley-Portalban	Portalban-Les-Grèves	FR											1
Delley-Portalban	Portalban-I	FR		X									1-3
Delley-Portalban	Portalban-II	FR		X									1-3
Delley-Portalban	Portalban-V	FR			X								1-3
Estavayer-le-Lac	Les-Etangs	FR											1
Estavayer-le-Lac	Pianta-II	FR			X								1-3
Estavayer-le-Lac	Sous-Château	FR			X								1
Estavayer-le-Lac	Les-Ténévières	FR			X								1-3
Estavayer-le-Lac	Sous-la-Corbière	FR		X									1-3
Estavayer-le-Lac	La-Tullière	FR		X									1-3
Estavayer-le-Lac		FR						X					Bourgarel_1994
Font	Trabietaz-II	FR			X								1-3
Font	Trabietaz-I	FR									X		1-3
Font	Station	FR		X									1
Font	Vers-le-Lac-2	FR					X						1
Font	Pianta-I	FR								X			1-3
Font	Pierre-du-Mariage	FR											1
Font	Pointe-du-Pilard	FR											1
Font	Sous-Epenex	FR		X									1-3
Font	Vers-le-Lac-1	FR		X									1
Font	Vers-le-Lac-3	FR											1
Font	Vers-le-Lac-4	FR		X									1
Font	Vers-le-Lac-5	FR											1

Commune	Lieu_dit	Canton	Paléo.	Néo.	A. Bronze	A. Fer	E. romaine	Moyen-Age	E. moderne	Néo et A. Bronze	Néo et E. romaine	A. Bronze E. romaine	sources*
Forel	Forel-II	FR			X							A. Bronze	1-3
Forel	Forel-III	FR										E. romaine	1
Forel	En-Chéseau	FR		X									1-3
Gleitrens	Ostende	FR			X								1-3
Gleitrens	Les-Grèves	FR		X									1-3
Gleitrens	Pré-de-Riva	FR		X									1-Ramseyer_1997
Auvernier	Station-Nord	NE	X										OMAN
Auvernier	Brena	NE			X								1-4
Auvernier	Les-Abbesses	NE											4
Auvernier	La-Saunerie	NE		X									4
Auvernier	Tranchées-du-tram-gaz	NE		X									4-Baileys_2005
Auvernier	Les-Graviers	NE								X			Baileys_2005
Auvernier	Brises-Lames_Bains	NE		X									1-Baileys_2005
Auvernier	Ruz-Chatru	NE		X									4-Baileys_2005
Auvernier	Les-Ténevières	NE		X									4-Baileys_2005
Auvernier	Port	NE		X									4-Baileys_2005
Bevaix	Les-Vaux	NE		X						X			1-Baileys_2005
Bevaix	Le-Grand-Pré	NE								X			4
Bevaix	Sud	NE											1
Bevaix	L'Abbaye2	NE											4
Bevaix	Le-Moulin	NE											4
Bevaix	Le-Désert	NE											4
Bevaix	Treyrel	NE		X									4
Bevaix	Chauvigny	NE		X									4-Baileys_2005
Bevaix	Le-Port	NE		X									4-Baileys_2005
Bevaix	Châtelard	NE		X									4-Baileys_2005
Bevaix	L'Abbaye-I	NE		X									4-Baileys_2005
Bevaix	Les-Vaux-I	NE		X									Baileys_2005
Bevaix	Vauroux	NE		X									Egloff_1989
Bevaix		NE						X					Bujard_1998
Boudry	Grand-Verger	NE		X									Baileys_2005
Colombier	Le-Bied	NE											4
Colombier	Les-Rives	NE											4
Colombier	Paradis-Plage	NE											4
Colombier	Le-Bied	NE		X									Baileys_2005
Colombier	Colombier-II	NE		X									Baileys_2005
Cornaux	Cornaux-Les-Sauges	NE				X							1-Schwab_1973
Cornaux	Les-Sauges	NE				X							Schwab_1973
Cortallod	Station-Est	NE											1-4
Cortallod	Plage	NE											4
Cortallod	Les-Esserts	NE											4
Cortallod	La-Tuilrière	NE		X									4-Baileys_2005
Cortallod	Les-Côtes	NE		X									4-Baileys_2005
Cortallod	Petit-Cortallod-I	NE		X									4-Baileys_2005
Cortallod	La-Fabrique-II_Le-Vivier	NE								X			4-Baileys_2005
Cortallod	La-Fabrique-I_Les-Saules	NE		X									4-Baileys_2005
Gorgier	Chez-La-Tante1	NE											4
Gorgier	Chez-la-Tante2	NE		X									4-Baileys_2005
Gorgier	Chez-le-Bart-II	NE		X									4-Baileys_2005
Gorgier	Chez-le-Bart-I	NE		X									4-Baileys_2005

Commune	Lieu_dit	Canton	Paléo.	Néo.	A. Bronze	A. Fer	E. romaine	Moyen-Age	E. moderne	Néo et A. Bronze	Néo et E. romaine	A. Bronze E. romaine	sources*
Gorgier	Les-Aiglliez	NE		X									4-Baileys_2005
Gorgier	Bois-du-Devens	NE		X									Egloff_1989
Gorgier	Bois-du-Devens	NE		X									Egloff_1989
Gorgier	Bois-du-Devens:les-3-Pierres-du-Génégoù	NE		X									Egloff_1989
Gorgier	Le-Devens	NE		X									Egloff_1989
Hauterive	Champrévéryes1	NE		X									4
Hauterive	Champrévéryes5	NE		X									4
Hauterive	Champrévéryes2	NE		X									4
Hauterive	Champrévéryes3-4	NE		X									4
Hauterive	Champrévéryes	NE		X									1-4-Baileys_2005
Hauterive	Forêt-de-Champrévéryes	NE		X									Baileys_2005
Hauterive	Parking-Voumard	NE		X									Baileys_2005
Hauterive	Port_Dernier-Batz	NE		X									4-Baileys_2005
Hauterive	Rouges-Terres	NE		X									4-Baileys_2005
Le-Landeron	Grand-Marais	NE											1-4_Schwab_1973
Le-Landeron		NE						X					Collectif_2001
Marin-Epagnier	Le-Chalvaire	NE			X								1
Marin-Epagnier	Epagnier1	NE											4
Marin-Epagnier	Station1-Préfarglier	NE		X									4-Mandrot_1880
Marin-Epagnier	Les-Piéceettes	NE		X									Honegger_2001
Marin-Epagnier	La-Tène	NE				X							1-Youga_1885
Marin-Epagnier	La-Directe	NE											OMAN
Marin-Epagnier		NE											OMAN
Marin-Epagnier	station3a	NE					X						Mandrot_1880
Marin-Epagnier	station3b	NE					X						Mandrot_1880
Marin-Epagnier	station2a-Epagnier	NE		X									Mandrot_1880
Marin-Epagnier	station2b-Epagnier	NE		X									4-Mandrot_1880
Marin-Epagnier	Saint-Lac1	NE					X						OMAN
Marin-Epagnier	Saint-Lac2	NE											OMAN
Marin-Epagnier	La-Tène2	NE					X						OMAN
Marin-Epagnier	Pré-de-la-Mottaz	NE						X					Plumettaz_2000
Marin-Epagnier	Prébit	NE						X					OMAN
Neuchâtel	La-Coudre-Monruz	NE		X									4
Neuchâtel	Monruz	NE		X									1-4-Baileys_2005
Neuchâtel	La-Rotonde	NE											4
Neuchâtel	Le-Crêt	NE			X								4
Neuchâtel	Jardin-Anglais	NE		X									Baileys_2005
Neuchâtel	Fun'ambule	NE		X									4-Baileys_2005
Neuchâtel	Le-Crêt1	NE		X									Baileys_2005
Saint-Aubin-Sauges	Tivoli	NE		X									4-Baileys_2005
Saint-Aubin-Sauges	Port-Conty	NE		X									4-Baileys_2005
Saint-Aubin-Sauges	Le-Rafour	NE		X									4-Baileys_2005
Saint-Aubin-Sauges	Fin-de-Praz	NE		X									4-Baileys_2005
Saint-Blaise	Bains-des-Dames	NE		X									1-Baileys_2005
Saint-Blaise	Gare-BN	NE											4
Thielle-Wavre	L'île	NE											4
Thielle-Wavre	Pont-de-Thielle69	NE											4
Thielle-Wavre	Thielle-Mottaz	NE		X									4-Schwab_1973-Baileys_2005
Thielle-Wavre	Thielle-II	NE		X									Baileys_2005
Thielle-Wavre	Pont-de-Thielle	NE		X									Baileys_2005-Schwab_1973

Commune	Lieu_dit	Canton	Paléo.	Néo.	A. Bronze	A. Fer	E. romaine	Moyen-Age	E. moderne	Néo et A. Bronze	Néo et E. romaine	A. Bronze E. romaine	sources*
Thielle-Wavre	Thielle-I	NE		X				X					Baileys_2005
Thielle-Wavre	Bois-de-Montmirail-Soleure	NE											Schwab_1973
Thielle-Wavre	Pont-de-Thielle-II	NE				X							Schwab_1973
Vaumarqus	Vers-Rive	NE		X									4-Baileys_2005
Vaumarqus		NE						X					Courvoisier_1963
	La-Sauge-Soleure	VD					X						Schwab_1973
Bonvillars	Morbey	VD			X								1
Chabrey	Pointe-de-Montbec-I	VD			X								1
Chabrey	Pointe-de-Montbec-II	VD		X									1
Chabrey	Pirgues	VD			X								1
Cheseaux-Noréaz	Champittet-III	VD			X								1
Cheseaux-Noréaz	Champittet-I	VD			X								1
Cheseaux-Noréaz	Champittet-II	VD		X									1
Cheseaux-Noréaz	Champittet-IV	VD		X									1
Cheseaux-Noréaz	Châble-I	VD		X									1
Cheseaux-Noréaz	Châble-Perron-II	VD		X									1
Cheseaux-Noréaz	Châble-Perron-I	VD		X									1
Cheseaux-Noréaz	La-Bessime	VD								X			1
Chevroux	Chevroux-2	VD		X									1
Chevroux	La-Petite-Ile	VD		X									1
Chevroux	Denevaraz-en-deçà	VD		X									1
Chevroux	Chevroux-5	VD			X								1
Chevroux	Bout-de-la-Gouille	VD			X								1
Chevroux	Le-Châtelard	VD			X								1
Chevroux	5e-chemin	VD			X								1
Chevroux	Chevroux-9	VD			X								1
Chevroux	Ostende	VD			X								1
Chevroux	Chevroux-11	VD		X									1
Chevroux	Denevaraz-en-delà	VD		X									1
Chevroux	Chevroux-A	VD			X								1
Cheyres	Frontière	VD								X			1
Concise	Le-Point	VD		X									1
Concise	La-Gare	VD								X			1
Concise	La-Lance	VD											1
Concise	La-Raise	VD			X								1
Concise	La-Raise	VD					X						Bourgeois_1982
Corcelles	Longues-Pierre	VD		X									Crotti_1995
Corcelles-près-Concise	Station-d'Ormens	VD		X									1
Corcelles-près-Concise	Les-Grèves	VD		X									1
Corcelles-près-Concise	Corcelles-la-Baie	VD			X								1
Corcelles-près-Concise	Sous-Colachoz	VD								X			1
Cudrefin	Champmartin	VD		X									1
Cudrefin	Le-Broillet-III	VD											1
Cudrefin	Les-Chavannes-I	VD		X									1
Cudrefin	Les-Chavannes-II	VD			X								1
Cudrefin	Le-Broillet-I	VD			X								1
Cudrefin	Le-Broillet-II	VD			X								1
Cudrefin	La-Sauge-I	VD			X								1
Cudrefin	La-Sauge-II	VD			X								1
Cudrefin	Les-Chavannes-III	VD			X								1
Grandson	Gisement-de-lignite	VD	X										1

Commune	Lieu_dit	Canton	Paléo.	Néo.	A. Bronze	A. Fer	E. romaine	Moyen-Age	E. moderne	Néo et A. Bronze	Néo et E. romaine	A. Bronze E. romaine	sources*
Grandson	Corcellettes-Belle-Rive	VD		X									1
Grandson	Le-Stand	VD		X									1
Grandson	Le-Requis	VD		X									1
Grandson	Port-à-la-Reine	VD					X						1
Grandson	Corcellettes-Les-Violes	VD		X	X								1
Grandson	Corcellettes-I	VD		X									1
Grandson	Les-Tuileries	VD		X						X			1
Onnens	L'île	VD											1
Onnens	La-Gare	VD			X								1
Yverdon-les-Bains	Promenade-des-Anglais	VD								X			1
Yverdon-les-Bains	Garage-Martin	VD								X			1
Yverdon-les-Bains	Clendy-I	VD		X									1
Yverdon-les-Bains	Clendy-II	VD								X			1
Yverdon-les-Bains	Clendy-III	VD		X									1
Yverdon-les-Bains	Clendy-IV	VD			X								1
Yverdon-les-Bains	Clendy-V	VD			X								1
Yverdon-les-Bains	Clendy-VI	VD		X									1
Yverdon-les-Bains	Transformateur	VD		X									1
Yverdon-les-Bains	Avenue-des-Sports	VD		X									1
Yverdon-les-Bains	Arkina	VD			X								1
Yverdon-les-Bains	Baie-de-Clendy	VD								X			1
Yverdon-les-Bains	Clendy	VD		X									Kaenel_1992
Yverdon-les-Bains	Castum	VD					X						Kaenel_1992
Yverdon-les-Bains	Château	VD						X					deRaemy_1997
Yvonand	Yvonand-I	VD		X									1
Yvonand	Yvonand-II	VD			X								1
Yvonand	Yvonand-III	VD		X									1
Yvonand	Yvonand-IV	VD								X			1
Yvonand	Yvonand-V	VD		X									1
Yvonand	Chevres	VD											1
Yvonand	Le-Marais	VD								X			1

* : les chiffres correspondent aux bases de données suivantes

- 1 : Palatitap, fournie par Pierre Corboud (Département d'Anthropologie et d'Ecologie - Université de Genève)
- 2 : UNESCO, canton de Bern, fournie par le Service Cantonal d'Archéologie
- 3 : UNESCO, canton de Fribourg, fournie par le Service Cantonal d'Archéologie
- 4 : UNESCO, canton de Neuchâtel, fournie par l'Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel

Annexe 4 : Tomographie électrique

Matériel nécessaire à prendre

- table-chaise (si possible)
- ordinateur portable
- tour tomographie (bleu) et le câble de connexion au pc
- bobines de câble de 32 électrodes
- caisse rouge avec les électrodes
- bidon d'eau
- sel
- décamètre (50 m)
- mètre
- chevillière
- marteau
- lunette de chantier et mire
- plan
- machette
- boussole

Avant de partir

- recharger la tomographie
- recharger le portable

Mise en place

- installer la chevillière
- dérouler le décamètre
- placer les électrodes tous les 2 m
- dérouler le câble et le brancher aux électrodes en faisant attention à ce qu'il ne fasse pas de boucle
- brancher le câble à la prise T/O 1-32, si on utilise deux câbles de 32, brancher le deuxième à la prise T/O 33-64
- brancher l'ordinateur à la tomo par la prise RS232

Remarque :

L'électrode 32 est à côté de l'ordinateur et la 1 à l'extrémité du câble.

Le mieux est de mettre la tomographie par terre et l'ordinateur sur la table.

Réglage

- allumer l'ordinateur et la tomographie électrique
- démarrer le logiciel ImagerPro2000
- vérifier :
 - o le nombre d'électrodes : Active electrodes : 32 ou 64 (selon le nombre utilisé)
 - o minimum separation : 2 m (distance entre les électrodes)
 - o la longueur (nombre d'électrodes) et la profondeur du profil à réaliser (9 rangs)

Vérification du bon fonctionnement des électrodes

- aller dans Acquisition / Contact resistances
- sélectionner 3 électrodes au hasard en cliquant dessus (25/28/32 par exemple)
- mettre en marche la machine avec le bouton ON/OFF
- lancer en cliquant sur RUN

Remarque : si les électrodes sont bonnes, alors la valeur est < 2000 et apparaissent en vert.

- vérifier le branchement des électrodes apparaissant en rouge et faciliter la connection en versant de l'eau salée dessus, en changeant l'électrode, en la déplaçant légèrement,...
- relancer la vérification pour les électrodes qui n'ont pas marché après avoir cliqué sur QUIT. Pour cela il suffit de :
 - o revenir dans Acquisition / Contact resistances
 - o désélectionner les électrodes qui étaient bonnes
 - o relancer en choisissant dans les électrodes bonnes 3 électrodes de référence
 - o si toujours pas bon refaire...
 - o quand c'est ok : cliquer sur QUIT

Réglage avant l'acquisition des données :

- aller dans View options et régler dans :
 - o Meter settings :
 - régler Current (mA) pour chaque level :
 - level 1 à 5 : 0.5
 - level 6 : 1
 - level 8 et 9 : 2 ou 5
 - Cycles : 2
 - On times : 2
 - Off times : 0.5
 - o Quality control :
 - Erreur : 10% (erreur que l'on accepte dans les mesures)
 - Number repeat : 2
 - o Autosave : End of each level
 - o Survey setup :
 - Module : 32 ou 64 (nombre d'électrodes)
 - Survey type :
 - Traverse (si on fait une seule ligne par transect)
 - Roll-on (si on déplace la ligne le long d'un transect)
 - Survey geometry : Wenner
 - Meter type : Tigre
 - Acquisition mode : All reading
 - Save survey design on exit
 - o Colour table :
 - 0 – 300
 - Auto detect range ? à cocher
 - Linear distribution
 - Colour table : colour

Obtention des datas :

- Acquisition / Multiplered reading
- une fois fini : Autoresped completed → ok
- enregistrer les données en .dat et .res (que .res si on fait du Roll-on)
- exit
- off sur la machine et tout fermer sur l'ordinateur

Remarque : utilisation du mode Roll-on :

- après la première série de mesure, enregistrer les données en .res.
- il faut décaler la ligne mais avant cela il faut savoir à quelle électrode du premier transect va correspondre à la première du deuxième. Pour calculer ceci, aller dans :
 - o Help / Survey Calculator
 - o rentrer les caractéristiques du transect (dans notre cas : 64 chanel / 2 metres / 9 active levels et Minimum distance required on final level (taille total du transect final))
 - o le nombre Electrodes to Roll-on correspond à l'électrode du premier transect qui devient la numéro 1 du suivant (ici 37 pour une ligne de 64)
- décaler la ligne et relancer la manipulation comme précédemment en faisant attention que le dernier décalage est un Traverse qu'il faut bien enregistrer en .dat et .res

Visualisation des résultats à l'aide de Res2DInv :

- Installer le logiciel Res2DInv ainsi que le driver du "dongle" (clef physique ; Cf. Res2DInv_Installation.txt qui est avec le logiciel d'installation).
- Avant de faire quoi que ce soit : faire une copie des données originale pour ne pas travailler dessus et si problème pouvoir y revenir.
- Si on a fait le transect en une seule fois (Traverse) :
 - o lancer Res2DInv après avoir mi le dongle (qui est dans le sac de l'ordinateur)
 - o ouvrir le fichier : File / Read data file / nom du fichier.dat (accepté de faire une copie du fichier)
 - o trier les données :
 - Edit / Exterminate bad datum points → ok (montre la variation des mesures sur un graphique)
 - ouvrir en même temps dans le Bloc-notes le même fichier de données
 - enlever les lignes de données contenant des valeur incohérentes par rapport à ce qui est autour d'elles (pics sur le graphique) et soustraire le nombre de données supprimées au chiffre se situant dans la 4^e ligne du fichier
 - enregistrer ce nouveau fichier sous un nouveau nom (nom du fichier_tri.dat) à partir du Bloc-note
 - fermer la fenêtre de Res2DInv avec Exit / Quit edit window
 - o ouvrir le fichier trié sous Res2DInv : File / Read data file / nom du fichier_tri.dat
 - o réglage de paramètres d'inversion :
 - nombre d'itération : Change Settings / Number of iterations (5 donne déjà un bon aperçu)

- différence entre 2 itérations successives : Change Settings / Convergence limit (5% est généralement utilisé mais on peut le diminuer pour limiter le bruit)
 - réaliser l'inversion : Inversion / Least-squares inversion. Il est possible que durant le calcul de l'inversion une fenêtre s'ouvre pour demander si on veut modifier un des paramètre précédemment définie afin d'avoir un meilleur résultat donc ne pas hésiter à le faire
 - vérifier que le taux d'erreur RMS error soit inférieur à 10% une fois le calculé terminé
 - RMS error > 10% : faire plus d'itérations ou revenir au fichier source afin de supprimer des valeurs incohérentes
 - RMS error < 10% : enregistrer l'image
 - Enregistrement de l'image : Print / Save screen as BMP file (→ image.bmp) ou Save screen as PCX file (→ image.pcx) ou Print or Paint (→ ouvre l'image dans PaintBrush)
- Si on a fait le transect en plusieurs fois (Roll-on) :
 - assembler toutes les données réalisées :
 - lancer ImagerPro 2000
 - Processing/Concatinate Files
 - mettre les différents transect Roll-On puis le dernier qui est un Traverse File
 - donner le nom du fichier final (qui sera un .dat) dans Output File
 - vérifier le nombre d'électrode, de mesure et l'espace entre les électrode avant de faire ok
 - fermer ImagerPro 2000
 - lancer Res2Dinv et procéder comme si on a fait le transect en une seule fois
- Intégration de la topographie à la section
 - préparer les données topographique à l'aide d'un logiciel de tableur (ex: Excel):
 - créer un tableau avec dans la première colonne la distance à la première électrode et dans la deuxième l'altitude qui correspond
 - enregistrer ce tableau en .txt
 - modifier l'extension de ce fichier en remplaçant .txt par .xyz
 - intégration des données topographique aux fichier de conductivités mesurées
 - lancer ImagerPro 2000
 - Processing / Add Topography
 - mettre dans Input File le fichier de données de conductivité .dat (directement obtenu lors d'un "Traverse" ou obtenu par assemblage de données lors d'un "Roll-On")
 - mettre dans Topographic Data / Read from File le fichier de données topographiques .xyz créé précédemment
 - cliquer sur Run (en haut à gauche)
 - visualisation des données à l'aide de Res2Dinv
 - trier les données
 - ouvrir les bonnes données dans Res2Dinv
 - régler les paramètres de topographie :
 - Topography Options / Display topography afin de visualiser la topographie
 - Topography Options / Select type of trend removal :

- Average elevation : si la topographie est plate en dehors de quelques points
 - Least squares straight line ou end to end straight line si on est en pente
 - Topography Option / Type of topographic modelling → Distorted finite element grid with damped distortion
 - réaliser une inversion comme décrit si dessus jusqu'à obtenir un RMS error < 10%
 - intégrer la topographie au model :
 - Display / Show inversion results
 - Display sections / Include topography in model display :
 - choisir le numéro de l'itération que l'on veut utiliser (généralement la dernière)
 - définir le type de contour des valeurs que l'on veut (Logarithmic contour intervals va très bien)
 - enregistrer l'extrapolation :
 - File / Save data in XYZ format : permet d'avoir le fichier de données traitées et de refaire le dessin sous surfer (normalement)
 - Print / Save screen as BMP file
 - Print / Save screen as PCX file
 - Print / Print this screen → PaintBrush
- Options dans Display sections / Change display settings
 - légende couleur : Default colour scheme, Reverse colour scheme, Read customised colour scheme et Colour/Black-White display
 - échelle des Y par rapport à l'échelle des X : pour modifier ce ratio : Vertical display scaling factor (1.5 ou 2)
 - pour avoir la même échelle des X pour différents transects de longueur différente : Horizontal plotting scale
 - pour afficher ou non les points de mesure (petits points blanc) : Show location of datum points (oui : affiche, non : affiche pas)
 - pour avoir la conductivité et non la résistivité (et inversement) : Resistivity or conductivity display
 - Display pseudodepth values
 - pour visionner les résultats sous forme de blocs rectangulaires : Type of model display
 - pour changer la typologie du texte et du symbol Omega : Choose font et Use Omega symbol
 - pour changer le mode de représentation : Select colour fill method (Area fill)

Annexe 5 : Méthodologies des analyses granulométriques

Principe :

Les deux méthodes d'analyses granulométriques utilisées sont:

- le tamisage qui est fondé sur l'emploi de tamis et d'une vibreuse permettant de séparer les fractions grossières de taille supérieure à 63 microns.
- l'utilisation d'Oriel qui par un système de laser donne le pourcentage des éléments de taille inférieure à 63 microns.

Mais ces techniques granulométriques ne sont pas directement applicables aux sédiments bruts, il faut les préparer afin d'isoler les particules détritiques insolubles en éliminant les carbonates et la matière organique. L'échantillon devra ensuite être défloculé afin de disperser les particules argileuses qui pourraient former des agrégats.

Mode opératoire :

1) Prélèvement des échantillons :

10 g pour un sédiment argileux fin, 50 g ou plus pour un sédiment très sableux suffisent en général.

2) Elimination des carbonates :

- a. Allumer la hotte de chimie et mettre sa blouse.
- b. Mettre l'échantillon dans un gobelet plastique de 200 ml allant à la centrifugeuse.
- c. Mouiller l'échantillon par un jet d'eau distillée (fiolle jaune ou robinet à pastille blanche).
- d. Ajouter de façon ménagée de l'HCl à 10% (verser progressivement), en vérifiant à la touche de papier pH, que le pH ne tombe pas en dessous de 3 ou 2 (pour réduire au minimum l'attaque des particules argileuses fragiles, cas très rare). Si c'est le cas contrer cette chute par un ajout de quelques gouttes de NaOH.
- e. Porter à ébullition modérée pendant 15 minutes en remuant régulièrement.
- f. Laisser refroidir (il est possible de le passer dans un bain d'eau froide).
- g. Elimination de la solution usée car quand des carbonates sont présents en quantité notable, l'attaque est rapidement freinée par les ions Ca et Mg présents dans la solution, même en présence d'un grand excès d'acide. Pour ce, centrifuger la solution usée pendant 5 min à 3000 tr/min, mais attention car la centrifugeuse à 8 gobelets bleus est très délicate et ne supporte pas qu'il y ait une différence de plus de 1/10 grammes entre les gobelets pour passer le cap des 870-890 t/min. Il faut donc peser flacons et gobelets, et si problème s'asseoir dessus pour la stabiliser en phase d'accélération. La régler à 5 min au timer, 20°C et 3000 tr/min et appuyer sur start.
- h. Après les 5 min, sortir les flacons en plastique.
- i. Aspirer le liquide clair surnageant à l'aide de la pompe à vide, attention à ne pas perdre de matériel (il doit rester coller au fond et l'eau doit être limpide).
- j. 2eme attaque : recommencer les phases d à i.

3) Rinçage :

a. Disperser le culot dans de l'eau distillée : pour cela remplir à moitié le flacon, le boucher (les bouchons sont à disposition sur l'étagère de la table centrale) et agiter énergiquement.

b. Compléter jusqu'au trait supérieur toujours avec de l'eau distillée, repeser et de nouveau centrifuger (5 min à 3000 tr/min).

c. Aspirer le liquide clair à l'aide de la pompe à vide.

Le processus est répété jusqu'au début de défloculation (souvent après avoir effectué 2 fois cette manipulation le liquide surnageant est blanchâtre) et l'obtention d'un pH neutre (vérifier au papier pH), ce qui correspond à l'élimination apparente des carbonates (absence de Ca dans le liquide centrifugé contrôlée à l'oxalate d'ammonium en solution neutre). L'élimination totale des ions Cl^- , contrôlable au nitrate d'argent n'est pas absolument nécessaire.

4) Elimination de la matière organique :

On doit ensuite éliminer les matières organiques et en particulier les composés humiques, dont l'absorption par les particules argileuses peut modifier profondément les propriétés physiques (taille des particules, propriétés de suspension,...).

a. Transvaser le matériel dans un bêcher et se mettre sous la hotte.

b. Disperser le culot de centrifugation précédemment obtenu dans environ 100 ml d'eau oxygénée à 15%. Porter la solution à un pH compris entre 8 et 8.5 à l'aide d'une solution de NaOH décimolaire ou d'ammoniaque au 1/10 versée goutte à goutte en agitant.

L'action de l'eau oxygénée se traduit par la formation de mousse (attention aux débordements) due au dégagement de CO_2 (si la mousse risque de déborder, ajouter un jet d'alcool éthylique) et la disparition progressive des teintes foncées des humâtes. L'opération dure généralement plusieurs heures et peut devenir interminable lorsque les matières organiques sont présentes en grande abondance.

c. La suspension, préalablement agitée est ensuite couverte par un verre de montre et laissée 12 heures (toute une nuit).

d. Mettre au bain-marie ou sur une plaque chauffante (réglée à une température voisine de 50°C , de manière à ne pas produire d'ébullition,) afin d'accélérer la réaction et rajouter de petites doses (5 ml) d'eau oxygénée à 35% jusqu'à absence de réaction (la réaction est stoppée au bout d'une semaine).

e. Porter à ébullition pour évacuer l'excédant d'eau oxygénée.

f. Laisser refroidir.

g. Transvaser dans les gobelets de 200 ml.

h. Ajouter de l'eau distillée et centrifuger (voir point 3).

i. Aspirer le liquide clair surnageant.

5) Pesage des échantillons :

a. Peser des coupelles propres et sèches en marquant le nom des échantillons.

b. Verser les échantillons traités dans les coupelles.

c. Mettre à l'étuve.

d. Une fois sec, peser coupelles plus échantillons.

6) Dispersion et défloculation :

a. Mettre les échantillons dans un bêcher.

b. Réhydrater l'échantillon avec de l'eau distillée.

c. Mettre l'échantillon en suspension par agitation (à la main).

d. Ajouter 20 ml d'une solution défloculante d'hexamétaphosphate de Na (Calgon) à 40 g/l (une bouteille de cette solution préparée se trouve sous la hotte à gauche en rentrant dans la pièce) à l'aide d'une pipette.

e. Boucher le bêcher à l'aide d'un verre de montre.

f. Mettre un poisson dans le bêcher, le mettre sur l'agitateur rotatif et le laisser tourner pendant 17 heures (en le mettant à 16h il est prêt vers 9h le lendemain matin).

La suspension est alors prête à être tamisée.

7) Tamisage :

a. Vérifier si tous les tamis sont en bon état et propres (sinon les nettoyer à l'aide d'une brosse et d'un pic pour les mailles les plus importantes).

b. Les tamis de maille 63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm , 1 mm, 2 mm, 4 mm et 8 mm sont emboîtés et forment ainsi une colonne de mailles décroissantes de haut en bas.

c. Positionner la tamiseuse vibrante sur la table en verre et la brancher.

d. Raccorder le tuyau du couvercle à un robinet d'eau.

e. Positionner sur la tamiseuse l'élément inférieur à fond plein qui permettra de récupérer les particules qui traverseront la colonne de tamis.

f. Emboîter la colonne de tamis dans l'élément plein.

g. Disposer un bac propre et assez grand dans l'évier.

h. Faire arriver le tuyau du dernier élément dans le bac.

i. Disposer l'échantillon dans le premier tamis, mettre le couvercle et, par la même occasion, l'arrivée d'eau en place (bien serrer car il permet de maintenir la colonne en place, de serrer les tamis afin d'éviter toute fuite). L'apport d'eau facilite l'entraînement des particules argileuses.

j. Ouvrir l'arrivée d'eau et mettre en marche la tamiseuse avec une vitesse de vibration moyenne : 50 et ce, pendant approximativement 10 min (l'eau sortant de la colonne devant être propre).

k. Pendant ce temps, préparer des coupelles pour chaque tamis en y indiquant le numéro de l'échantillon ainsi que la taille des mailles du tamis et les peser. Préparer aussi deux flacons en indiquant sur le flacon et le couvercle : le nom de l'échantillon ainsi que <63.

l. Dès que l'eau sortant de la colonne est propre, arrêter la vibreuse, couper l'arrivée d'eau et enlever le couvercle.

m. Nettoyer les grains retenus par les tamis à l'aide d'un pinceau à poils souples et d'un jet de pipette tout en restant au dessus de la colonne.

n. Récupérer dans les coupelles correspondantes ce qui est resté dans les tamis et les mettre à l'étuve.

o. Les particules ayant franchi le dernier tamis se trouvent dans le bac. Elles sont prélevées dans les petits flacons (préparés en k.) après avoir été remises en suspension par agitation (attention de ne rien renverser). L'analyse par le système Oriel est alors possible. Si elles doivent être stockées, mieux vaut les mettre à l'abri de la lumière et y rajouter une goutte d'alcool, évitant ainsi le développement d'algues mais il est préférable de faire l'analyse tout de suite.

p. Une fois les coupelles et leur contenu secs, les peser et récupérer le matériel dans de petits sacs bien numérotés afin de pouvoir les stocker en vue d'analyses ultérieures.

8) Oriel :

Ce système par laser mesure la concentration des particules de la solution obtenue en 7.o. pour chaque fraction granulométriques. Pour avoir des résultats plus précis, chaque échantillon sera mesuré 3 fois et ce pendant 160 secondes.

a. Regrouper tout le matériel nécessaire c'est à dire :

- une poubelle.
- un flacon qui servira de poubelle pour les liquide.
- une fiole d'eau ultra pure prise dans la salle E 106.
- un rouleau de papier essuie tout.
- les propipettes et leurs embouts (rangés dans le premier tiroir sous la machine).
- une série de fioles plastiques carrées.
- un poisson (agitateur rangé avec les embouts des propipettes).
- une chaise.

b. Préparation du système oriel :

- Mettre sous tension l'ordinateur et la machine (multiprise) et allumer l'écran.
- Taper sous le DOS pour rentrer dans le système : C:\>CIS1 puis

Entrée.

- Rentrer dans le menu F5 (Set parametre)
- Puis dans F1 : taper dans F3 (Acquis. range) : 0-63, au niveau de F6 (Stirrer speed) : speed 3 et au niveau de F8 (Flash) : Fast. Ressortir de F1 avec Esc.
- Rentrer dans le menu F4 (Table ranges), puis tout effacer avec F3 (Delete all ranges, yes), puis F1 (Add range) et rentrer : 0-1 ; 1-2 ; 2-4 ; 4-8 ;8-16 ; 16-32 ; 32-63 puis taper sur Esc 2 fois pour revenir sous F5.
- Rentrer dans le menu F5 (Set repetitive parametre) et rentrer les paramètres suivant :

- * F1 (Acquisition type) : T
- * F2 (Acquisition time) : 160
- * F3 (Number of acq.) : 3
- * F4 (Delay between acq.) : 0
- * F5 (Pause between acq.) : No
- * F6 (Sample name) : nom de l'échantillon.sum
- * F7 (File name) : nom de l'échantillon

Puis ressortir en tapant 2 fois Esc.

- Pour les mesures allées dans F10 (Repetitive mode), taper sur n'importe quelle touche afin que la machine se règle (ceci n'est valable que pour la première fois). Elle revient alors sous Set repetitive parametre. Il faut alors préparer l'échantillon.

c. Préparation de l'échantillon :

- Secouer l'échantillon et si il a été gardé un moment de côté avant l'analyse le passer 10 seconde aux ultra-sons et le resecouer.
- Prendre une fiole plastique carrée propre et y introduire le poisson en faisant attention au sens : il doit pouvoir tourner sur lui même selon un axe vertical.
- Remplir la fiole plastique carrée d'eau ultra pure jusqu'à 5 mm du dessus à l'aide d'une propipette munie d'un embout et dont on aura cassé le bout afin d'avoir des gouttes plus grosses. Lors de cette opération il faut faire attention à ne pas former de gouttes sur les bords de la fiole.
- Préparer une deuxième propipette (de la même façon que pour la première).
- Mélanger le flacon de l'échantillon, prélevé avec la propipette propre le liquide, attendre 3 sec, jeter ce qui est dans la partie la plus fine et introduire 3 gouttes maximum dans la fiole plastique carrée préalablement préparée. Si la solution est très concentrée il faut moins de trois gouttes.

d. Mesures :

- Sous Set repetitive parametre vérifier le nom de l'échantillon et appuyer sur Ins.

- Insérer la fiole dans la machine en faisant attention au sens si elle à des côtés non lisses puis lancer les mesures en appuyant sur une touche.

- Vérifier que SDU soit entre 2 800 et 3 500, si ce n'est pas le cas arrêter tout en appuyant sur Esc et re préparer la solution et recommencer la mesure en retournant dans F10 (repetitive mode).

- Quand on a les résultats, sortir du menu en appuyant une fois sur Esc, puis aller dans F4 (Table) puis dans F6 (Volume (ranges)). Pour imprimer appuyer sur P. Puis ressortir du menu Table avec la touche Esc.

e. Quand on change d'échantillon il faut :

- Retourner dans le menu F10 (Repetitive mode) pour changer le nom de l'échantillon au niveau de F6 et de F7.

- Préparer le nouvel échantillon avec du matériel propre.

Remarque :

Les fioles plastiques carrées usagées sont mises à l'envers dans la boîte. Pour les nettoyer : passer les sous un jet d'eau distillée et rincer les à l'aide d'eau ultra pure avant de les retourner sur une feuille de papier essuie tout.

Annexe 6 : Préparation des échantillons pour l'analyse minéralogique par rayon X de la roche totale.

Principe :

Le cristal est examiné sous forme d'une poudre fine isotrope placé sous un faisceau monochromatique de rayon X (RX). L'orientation au hasard présente statistiquement toutes les orientations possibles des différentes particules et fourni un spectre complet des minéraux susceptibles de diffracter les RX.

Mode opératoire :

- 1) Sécher l'échantillon dans une étuve à 45°C.
- 2) Broyer l'échantillon dans un mortier à agate manuel jusqu'à homogénéisation totale de la poudre obtenue (20 ml sont normalement suffisant).
- 3) Presser les poudres dans des portes objets métalliques sous une pression de 20 bars.

Annexe 7 : Préparation des lames de montre pour les analyses par rayon X

Principe :

Afin de faciliter l'identification des minéraux argileux, les minéraux carbonatés sont éliminés par ajout de HCl en excès à l'échantillon. Après réaction, l'excédent de HCl est éliminé par de multiples centrifugations. La séparation des particules en fonction de leur taille granulométrique ($< 2 \mu\text{m}$ et entre 2 et $16 \mu\text{m}$) est ensuite réalisée. Puis chaque fraction d'échantillon est alors déposée sur un verre de montre puis est laissée à l'air libre. Les minéraux vont alors s'orienter selon leur plan cristallin ce qui va avoir pour effet d'augmenter le maximum de diffraction basale $d(001)$ permettant une meilleure détection des faibles quantités d'espèces cristallines présentes dans le mélange.

Méthodologie :

Il faut dans un premier temps concasser les échantillons avant de les décarbonatés puis laver et séparer

1) Décarbonatation

- a. Allumer la hotte de chimie.
- b. Préparer dans la hotte les 8 ballons à 2 cols sur leur support noir.
- c. Mettre 3 cc d'échantillon dans les ballons (à l'aide de la cuillère à café et de l'entonnoir) ; entre chaque échantillon nettoyer les ustensiles à l'aide d'un papier ménage.
- d. Mouiller l'échantillon avec de l'eau distillée.
- e. Remplir les 8 flacons en plastique 200 ml d'HCl 10 % (trait supérieur = 200 ml).
- f. Déclancher le chronomètre pour 24 min.
- g. Verser la moitié de l'acide dans les ballons et brancher l'air (agitation).
- h. Passer chaque échantillon 3 min aux ultra-sons.
- i. Après 12 min verser le reste de l'acide dans les ballons toujours sous l'influence de l'air.
- j. Pendant les temps morts, commencer à nettoyer 24 verres de montres à l'éthanol. Noter au stylo indélébile une série de 8 avec le numéro de l'échantillon et < 2 et une deuxième série de 8 avec le numéro d'échantillon et 2-16. Les poser à l'envers sur la table en pierre avec la face écrite contre la pierre. Il faut écrire sur la face ébréchée pour les verres abîmés ou sur la face lisse pour les verres mats. Les verres ébréchés des deux faces passent directement à la poubelle. Préparer 3 x 8 petits godets en plastique avec leur bouchon et écrire sur les godets et les bouchons le numéro d'échantillon et < 2 , 2-16 et total.
- k. Après les 24 min à l'air et les 3 min aux ultra-sons, le résidu soluble contenu dans les ballons est versé dans le flacon en plastique 200 ml et le résidu insoluble est vidé dans un seau de décantation.

2) Lavage de l'acide

Une fois les échantillons décarbonatés, il faut les laver, par centrifugation comme suit :

- a. Peser les flacons en plastiques de 200 ml avec le résidu soluble et les équilibrer par ajout d'eau distillée.
- b. Centrifuger 5 min à 20°C et 3000 t/min les flacons de 200 ml.

c. Après les 5 min, sortir les flacons en plastique 200 ml de la centrifugeuse et vider le liquide dans le bac à décanter, en faisant attention que l'échantillon reste bien collé au fond du flacon.

d. Remplir les flacons en plastique 200 ml à moitié avec de l'eau distillée, secouer pour décoller l'échantillon puis compléter au trait supérieure et rééquilibrer les flacons.

e. Recommencer les points 2a à 2d.

f. Après les 2 fois 5 min, il faut continuer de laver l'acide des échantillons (points 2a à 2d) mais à coup de 10 min, jusqu'à ce que l'échantillon soit trouble (particules en suspension) en sortant de la centrifugeuse. Cela peut aller de 1, 2 à 3 fois 10 min. Pendant ce temps préparer 2 fois 4 éprouvettes dans leurs supports pour centrifugeuse.

g. Quand l'échantillon est trouble (le fond du flacon n'est plus visible quand on le regarde par le haut), verser le jus trouble dans le bac à décanter.

h. Ajouter de l'eau distillée jusqu'à la moitié du flacon, secouer pour tout décoller et verser dans l'éprouvette jusqu'au trait supérieur et dans le gobelet en plastique "total".

3) Séparation des fractions < 2 μm

C'est là que commence la phase de séparation des fractions souhaitées, par centrifugation, à l'aide de la centrifugation à 4 gobelets et des éprouvettes dans leur support noir. Il s'agit de centrifuger les échantillons 4 fois 1'28"m à 1000 t/min. Pour le lancer (après avoir déclancher le chronomètre pour 1'28"), mettre à fond le speed control, puis régler la vitesse sur 1000 t/min. Après les 1'28", mettre sur OFF et à fond sur le speed control pour utiliser le frein moteur.

a. Après la première centrifugation, prendre la pipette jaugée de 20 ml (ou une seringue de 20 ml), la plonger jusqu'au trait inférieur de l'éprouvette, pomper, remplir le petit gobelet en plastique < 2 et couler les 5 derniers millilitres sur le verre de montre correspondant. Bien rincer la pipette jaugée ou la seringue à l'eau désionisée entre chaque échantillon.

b. Secouer l'éprouvette après l'avoir bouché avec un bouchon en caoutchouc afin de décoller le fond. Compléter avec de l'eau désionisée jusqu'au trait supérieur et centrifuger une deuxième fois 1'28".

c. Pomper la moitié supérieure de l'éprouvette avec la pompe à vide en rinçant entre chaque échantillon. Secouer l'éprouvette après l'avoir bouché avec un bouchon en caoutchouc afin de décoller le fond. Compléter avec de l'eau désionisée jusqu'au trait supérieur et centrifuger une troisième fois 1'28".

d. Recommencer le point 3c.

e. Recommencer le point 3c.

4) Séparation des fractions 2-16 μm

Pour les fractions 2-16 μm , la méthode de séparation est particulière, puisqu'il faudra mettre en suspension toutes les fractions restant dans l'éprouvette et attendre 2'54" avant de pipetter. Après ce laps de temps, les fractions > 16 μm se seront décantées.

Afin de gagner du temps, l'opération se déroule sur 25 min de la façon suivante. Il s'agit de pipetter toutes les minutes paires + 06" et d'arrêter de secouer toutes les minutes impaires rondes. Ainsi :

a. Régler le chronomètre sur 25 min.

b. Secouer la première éprouvette, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus rien de coller au fond. Au moment de la poser, déclencher le chronomètre.

c. Au temps 24' ne rien faire.

d. Au temps 23' finir de secouer la deuxième éprouvette (compter 20" pour bien décoller et mélanger l'échantillon).

e. Au temps 22'06", pipetter la première éprouvette avec la pipette jaugée ou la seringue de 20 ml, remplir le flacon, couler le verre de montre et rincer la pipette ou la seringue à l'eau désionnisée.

f. Au temps 21' finir de secouer la troisième éprouvette.

g. Au temps 20'06", pipetter la deuxième éprouvette avec la pipette jaugée ou la seringue de 20 ml, remplir le flacon, couler le verre de montre et rincer la pipette ou la seringue à l'eau désionnisée.

Et ainsi de suite jusqu'à la fin. Le temps de 25' est donné pour 12 échantillons.

Remarques :

Il ne faut pas disposer les verres de montre trop près les uns des autres sur la table en pierre, car il arrive que ça déborde. Dans ce cas, pomper avec du papier ménage et recouler à partir du gobelet en plastique en faisant attention que le dessous du verre de montre ainsi que la table sont bien sec.

Les valeurs de temps de centrifugation du point 3, sont calculées en fonction du matériel à disposition et principalement des caractéristiques de la centrifugeuse. Le calcul est basé sur l'application de la loi de Stokes, en augmentant l'accélération naturelle de la pesanteur (g) par centrifugation. La relation qui lie le temps de rotation, à la vitesse de rotation, à la température et à la distance de chute des particules est énoncé par Gaffner (1983).

Lorsque les verres de montre sont trop clairs, il faut les recouler à partir du gobelet en plastique.

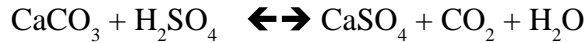
Bibliographie :

Gaffner, R., 1983. Séparation de fractions par Atterberg et centrifugation. Cahier de l'institut de Géologie, Neuchâtel.

Annexe 8 : Dosage du calcaire total

Principe :

Le dosage du CaCO_3 présent dans le sol est basé sur la réaction acide-base :



Une quantité précise de H_2SO_4 en excès est ajoutée à une prise d'essai de sol. La réaction de neutralisation est accélérée par chauffage. L'excès d'acide est titré de retour avec du NaOH. En réalité, l'acide est neutralisé par toute base présente dans le sol (par ex. dolomie ou (Ca, Mg, CO_3)) mais le résultat est exprimé en équivalent CaCO_3 .

Méthodologie :

1) Réactifs et matériel consommable

Préparer à partir d'une solution titrée 1n (fixanol, titrisol ou normadose) :

- H_2SO_4 0.5 n
- NaOH 0.5 n¹
- HCl 0.1 n

2) Indicateur mixte, mélanger

- 100 ml de phénolphthaléine (1 g/100 ml éthanol à 96%)
- 60 ml de rouge de méthyle (0.1 g/100 ml éthanol à 96 %)
- 40 ml de vert de bromocrésol (0.04 g/80 ml H_2O + 5.7 ml NaOH 0.01 n)

3) Appareils et verrerie

- a. balance de précision 0.0001 g
- b. erlenmeyers de 250 ou 300 ml
- c. pipette de 25 ml munie de poire de sécurité
- d. bain marie
- e. agitateur numérique
- f. burette de 25 ou 50 ml avec précision 0.05 ml

4) Mode opératoire

- a. introduire 1 g de terre dans un erlen de 250 ml
- b. ajouter 25 ml de H_2SO_4 0.5 n et 125 ml d'eau
- c. laisser réagir pendant 1 heure au bain-marie à 90°C
- d. laisser refroidir
- e. ajouter 5 gouttes d'indicateur mixte et titrer avec le NaOH 0.5 n ; ajouter progressivement la soude jusqu'au premier virage du rouge au vert, puis titre goutte par goutte jusqu'au deuxième virage – marquant le point d'équilibre – du vert au rouge. Noter le volume².

¹ Le titre du NaOH est instable et diminue progressivement dans le temps à cause de la réaction avec le CO_2 de l'air. La normalité doit donc être testée régulièrement, c'est-à-dire chaque fois que le test précédent date de plus de deux jours. La détermination du titre exact du NaOH se fait par titration (en triple) de 100 ml de HCl 0.1 n avec l'indicateur mixte.

² Recommencer avec une prise d'essai de 0.5 g si le volume de NaOH est inférieur à 5ml. Dans ce cas il s'agit d'échantillons provenant d'horizons calcaïques (> 50% CaCO_3)

Calculs :

$$\% \text{ CaCO}_3 = (V_t - V_e) \text{ ml} \times t \text{ méq/ml} \times 50 \text{ mg Ca CO}_3/\text{méq} \times 1/P \text{ g sols} \times 0.1$$

Où

V_t : volume NaOH témoin

V_e : volume NaOH échantillon

t : titre exact NaOH

P : poids prise d'essai (= 1g)

0.1 : conversion mg/g en %

$$\% \text{ CaCO}_3 = (V_t - V_e) \times t \times 5$$

Remarques:

1) Les solutions de soude utilisées dans la volumétrie doivent être préparées avec de l'eau distillée ou déminéralisée bouillie pendant une heure (élimination du CO₂ dissous) et refroidie à la température ambiante à l'abri de l'air.

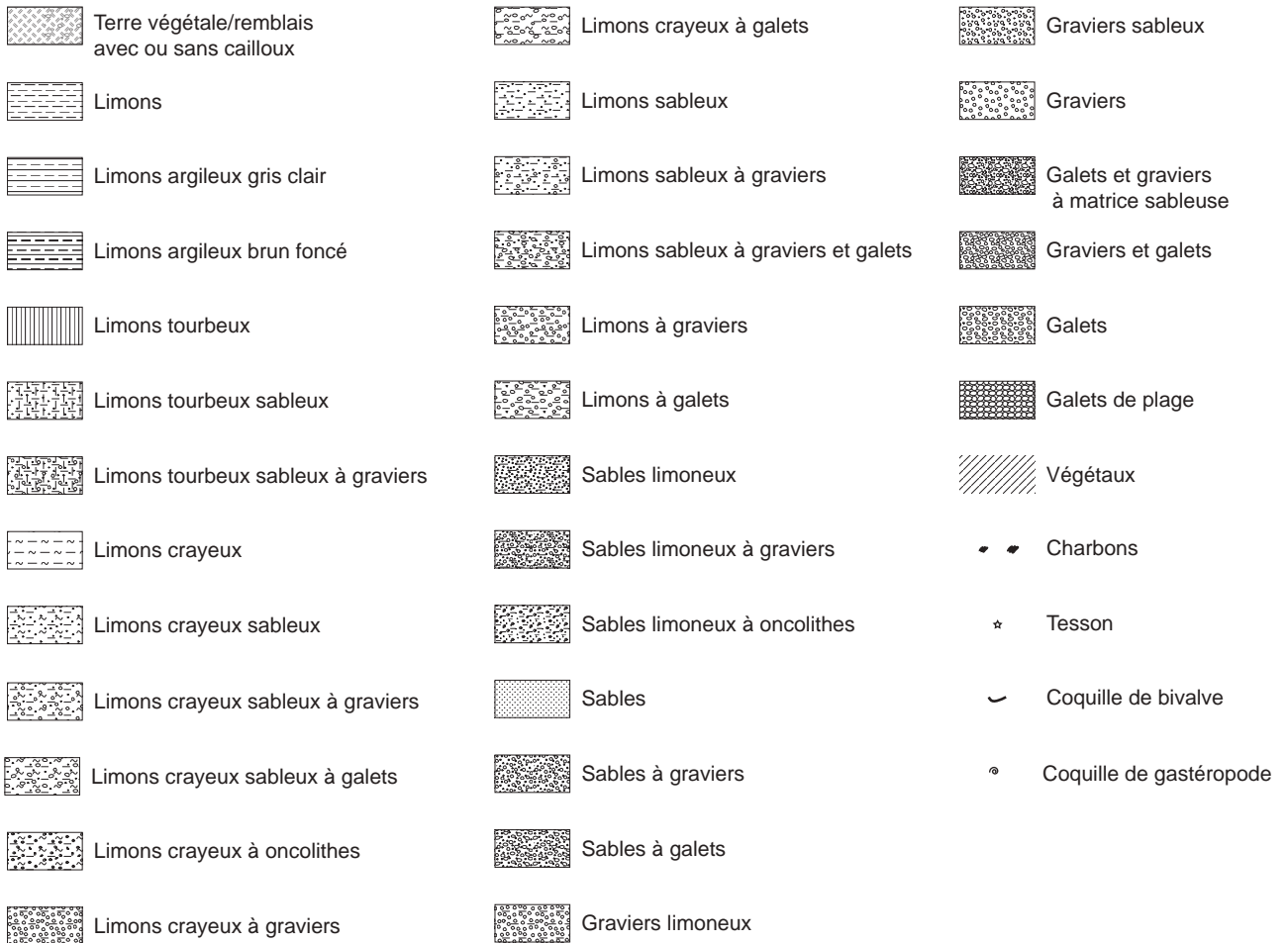
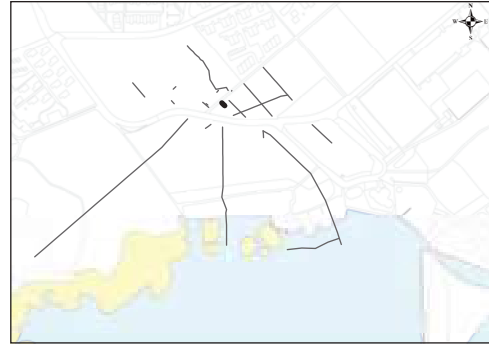
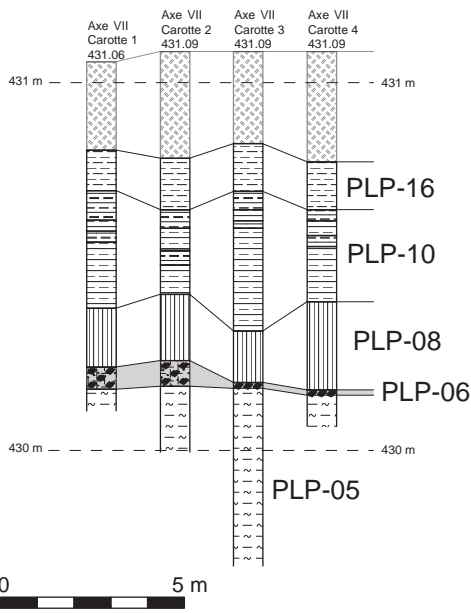
2) Ne jamais conserver une solution de soude dans un récipient à bouchon en verre rodé. Le NaOH dans la solution mouillant les interstices entre le bouchon et le col rodés de la fiole réagit avec le CO₂ de l'air – qui entre par diffusion – en formant du Na₂CO₃. Ce sel se comporte comme un ciment qui fige irréversiblement le bouchon. Pour cette même raison, une burette contenant une solution de soude pour des titrations doit être vidée et lavée sans délai à la fin de la manipulation afin de prévenir le blocage définitif du robinet.

Le meilleur moyen de fermer un récipient contenant une solution de soude est de le faire avec du papier paraffiné (parafilm)

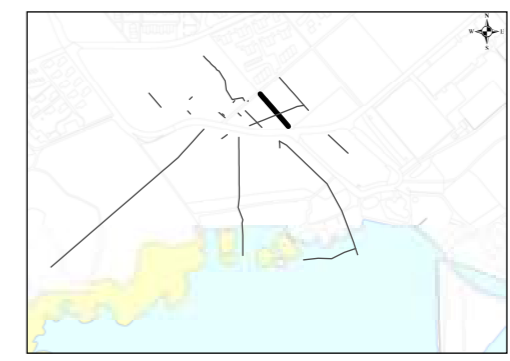
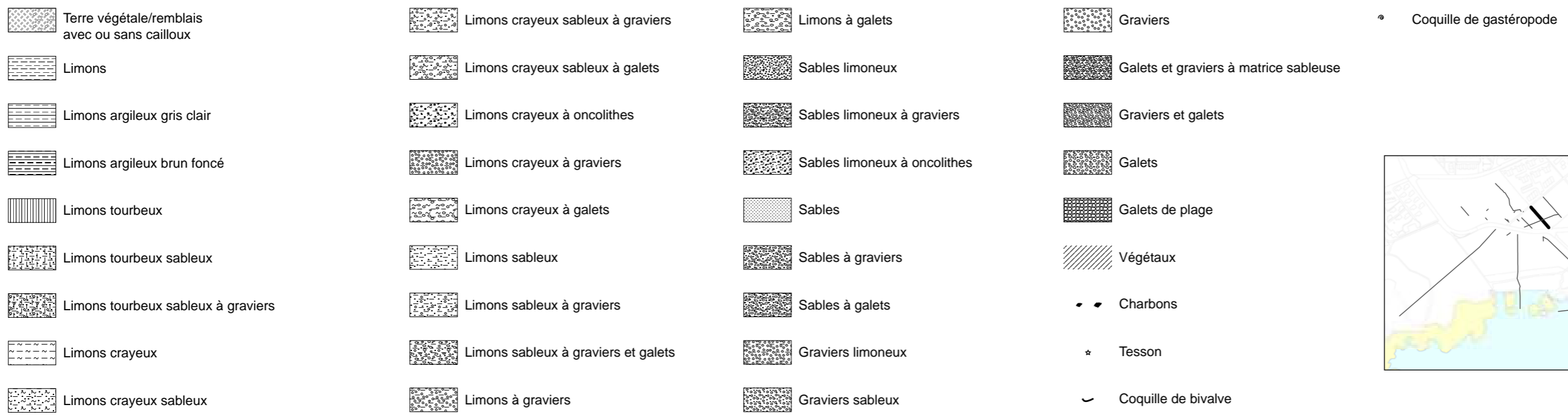
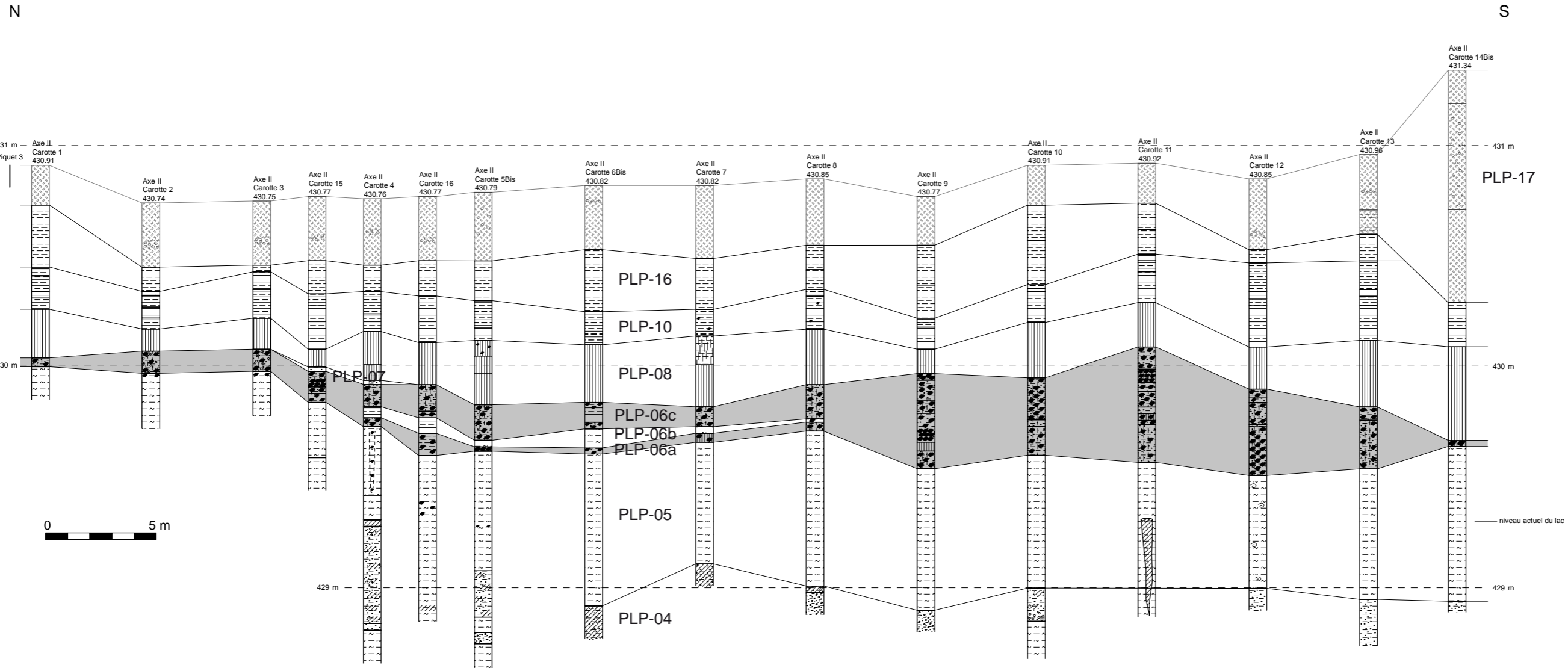
PLANCHES

N

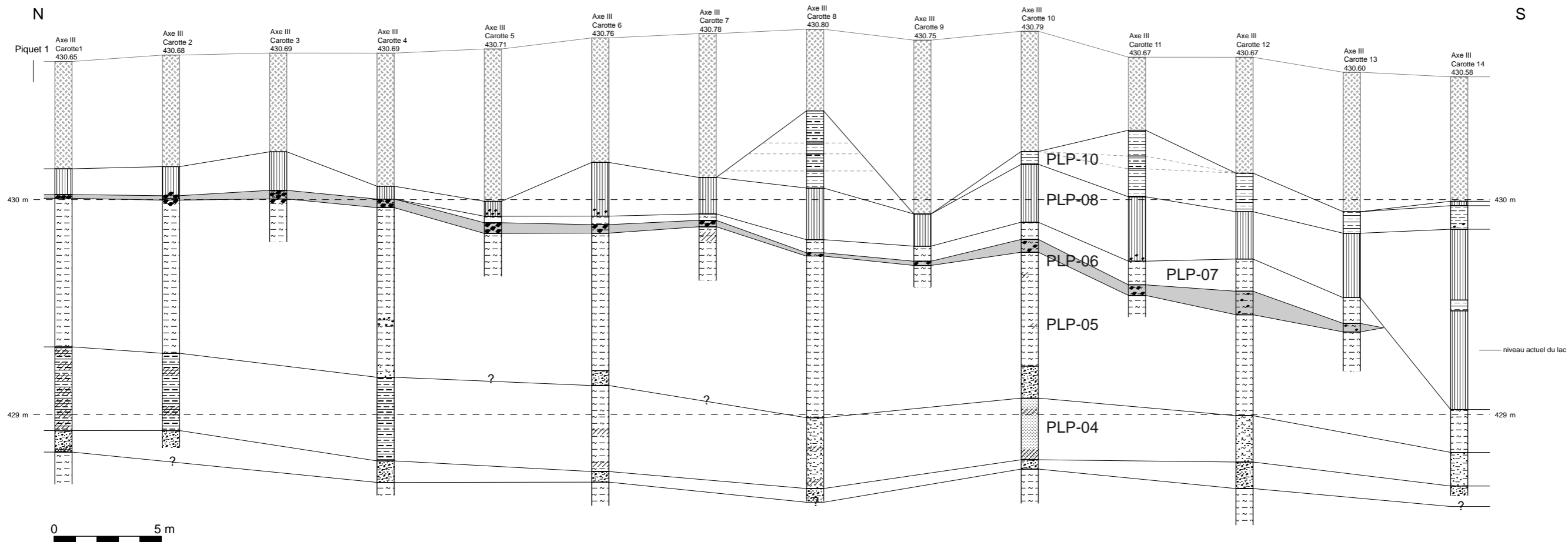
S



Pl. 1 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect VII.



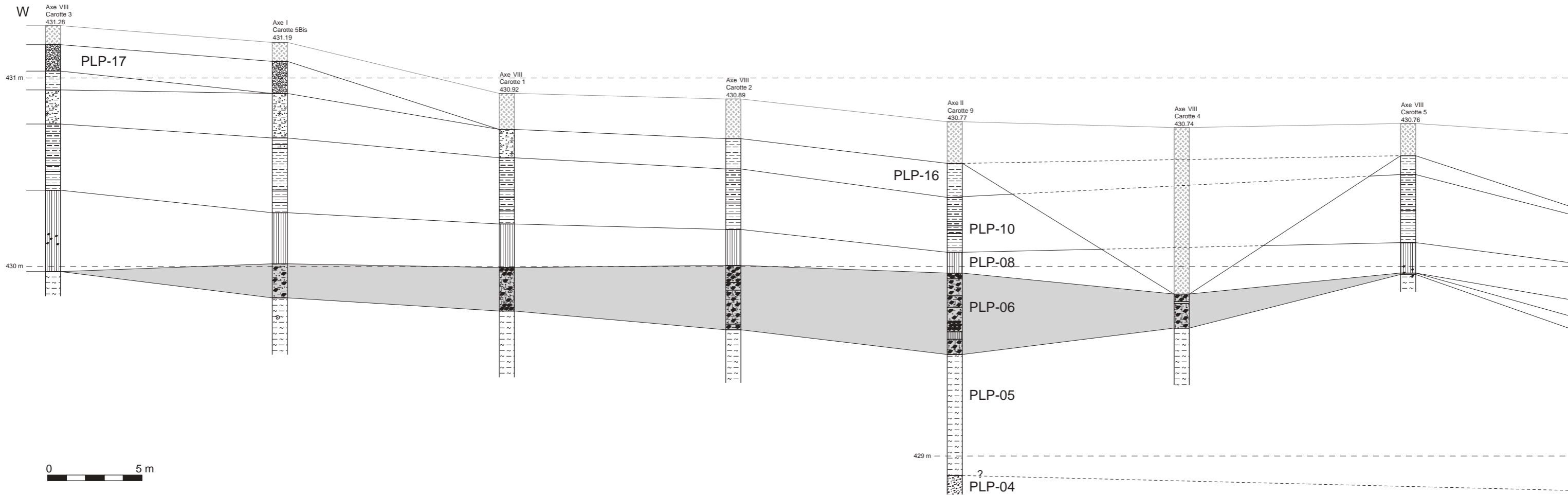
Pl. 2 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect II.



- | | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Terre végétale/remblais avec ou sans cailloux | | Limons crayeux sableux à graviers | | Limons à galets | | Graviers | | Coquille de gastéropode |
| | Limons | | Limons crayeux sableux à galets | | Sables limoneux | | Galets et graviers à matrice sableuse | | |
| | Limons argileux gris clair | | Limons crayeux à oncolithes | | Sables limoneux à graviers | | Graviers et galets | | |
| | Limons argileux brun foncé | | Limons crayeux à graviers | | Sables limoneux à oncolithes | | Galets | | |
| | Limons tourbeux | | Limons crayeux à galets | | Sables | | Galets de plage | | |
| | Limons tourbeux sableux | | Limons sableux | | Sables à graviers | | Végétaux | | Charbons |
| | Limons tourbeux sableux à graviers | | Limons sableux à graviers | | Sables à galets | | Tesson | | Coquille de bivalve |
| | Limons crayeux | | Limons sableux à graviers et galets | | Graviers limoneux | | | | |
| | Limons crayeux sableux | | Limons à graviers | | Graviers sableux | | | | |



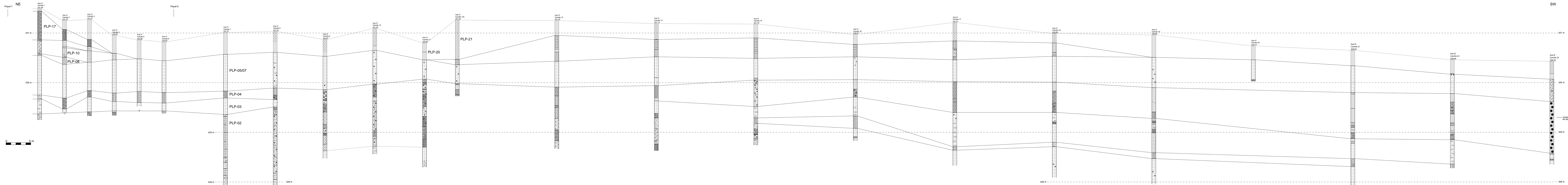
Pl. 3 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect III.



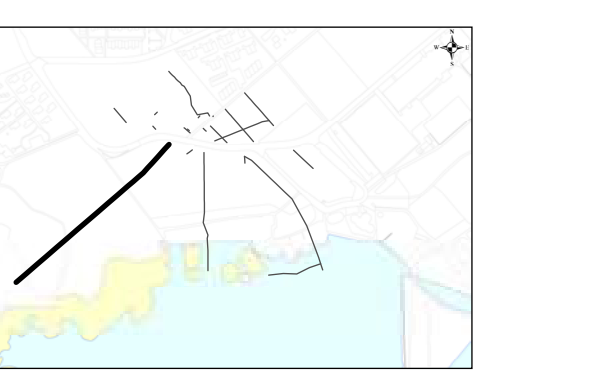
- | | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Terre végétale/remblais avec ou sans cailloux | | Limons crayeux sableux à graviers | | Limons à galets | | Graviers | | Coquille de gastéropode |
| | Limons | | Limons crayeux sableux à galets | | Sables limoneux | | Galets et graviers à matrice sableuse | | |
| | Limons argileux gris clair | | Limons crayeux à oncolithes | | Sables limoneux à graviers | | Graviers et galets | | |
| | Limons argileux brun foncé | | Limons crayeux à graviers | | Sables limoneux à oncolithes | | Galets | | |
| | Limons tourbeux | | Limons crayeux à galets | | Sables | | Galets de plage | | |
| | Limons tourbeux sableux | | Limons sableux | | Sables à graviers | | Végétaux | | Charbons |
| | Limons tourbeux sableux à graviers | | Limons sableux à graviers | | Sables à galets | | Tesson | | Coquille de bivalve |
| | Limons crayeux | | Limons sableux à graviers et galets | | Graviers limoneux | | | | |
| | Limons crayeux sableux | | Limons à graviers | | Graviers sableux | | | | |



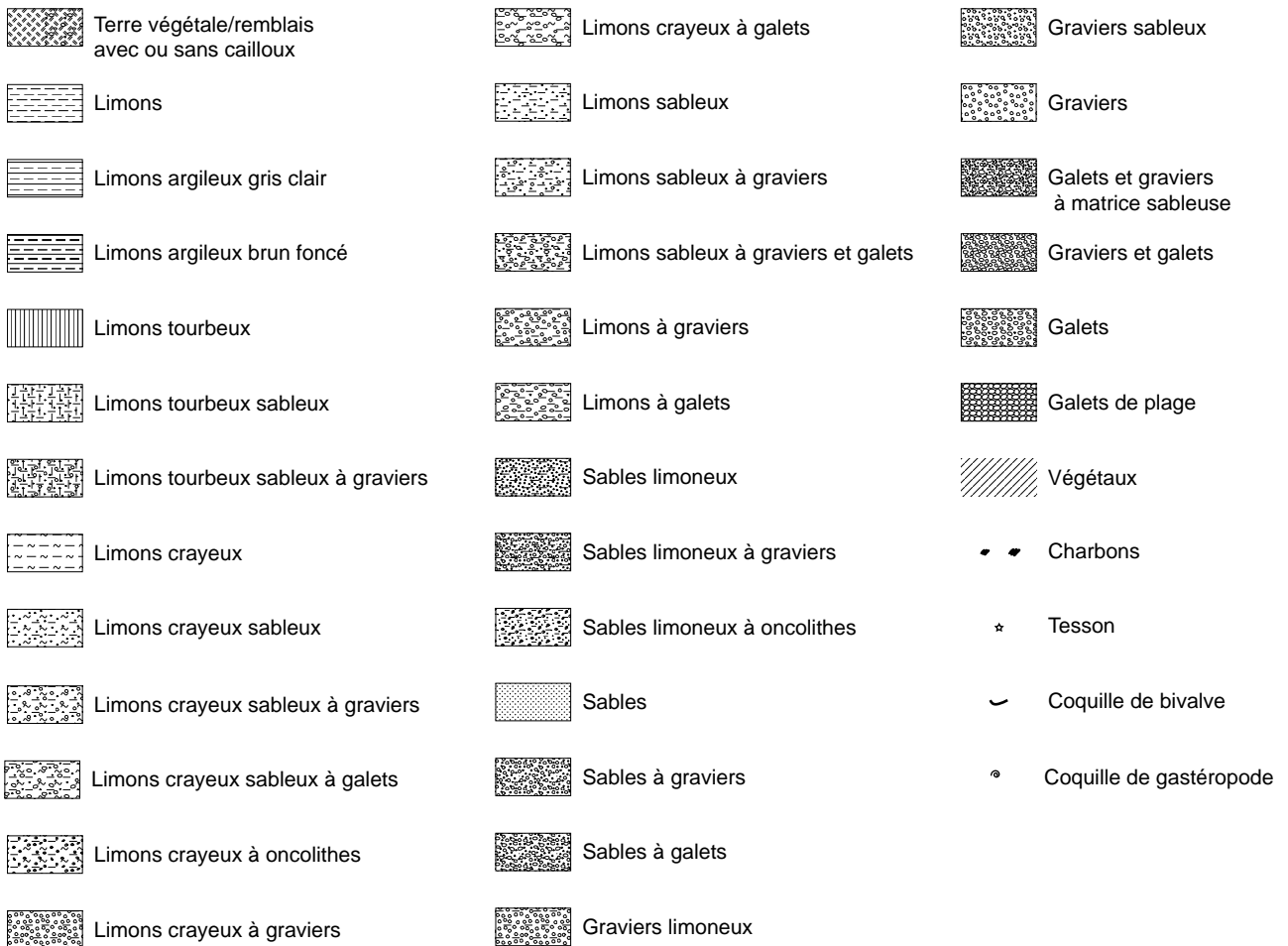
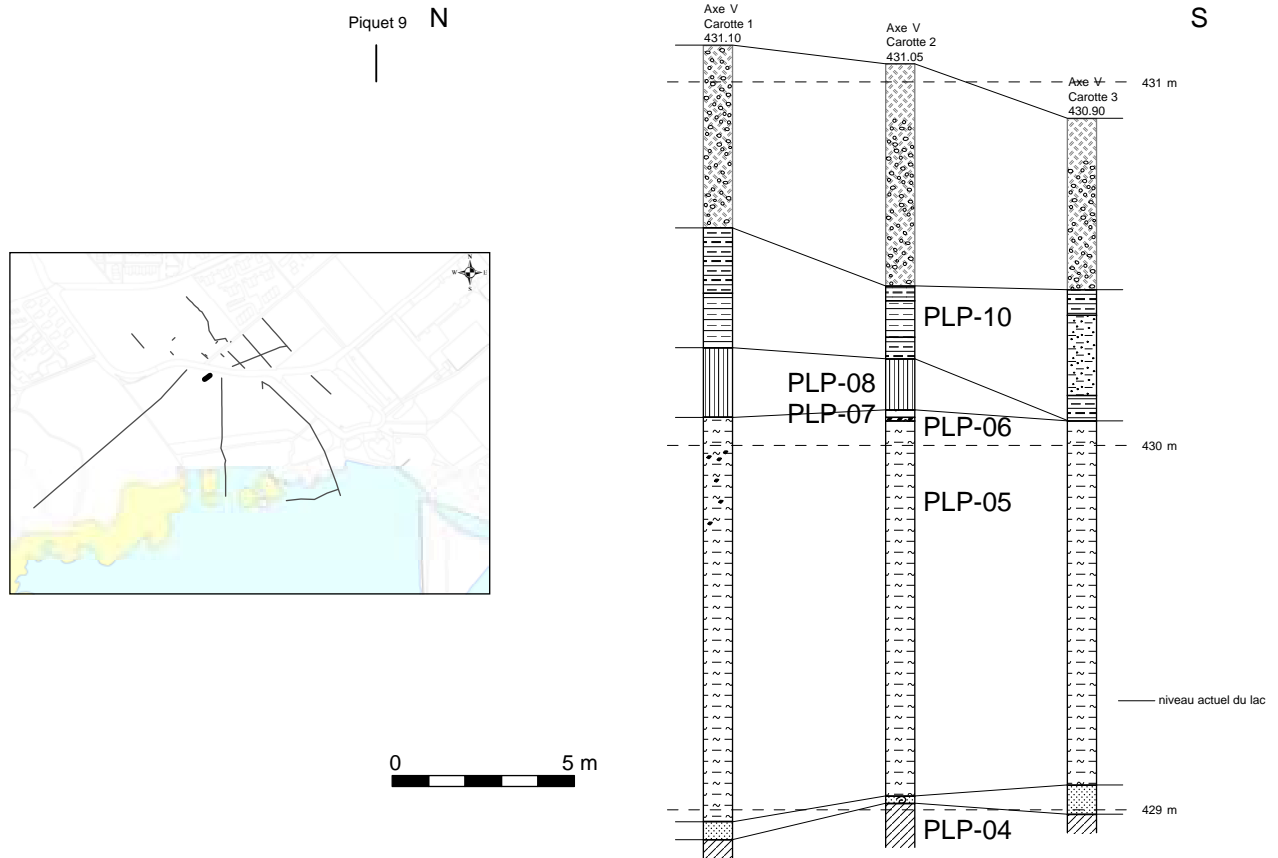
Pl. 4 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect VIII.



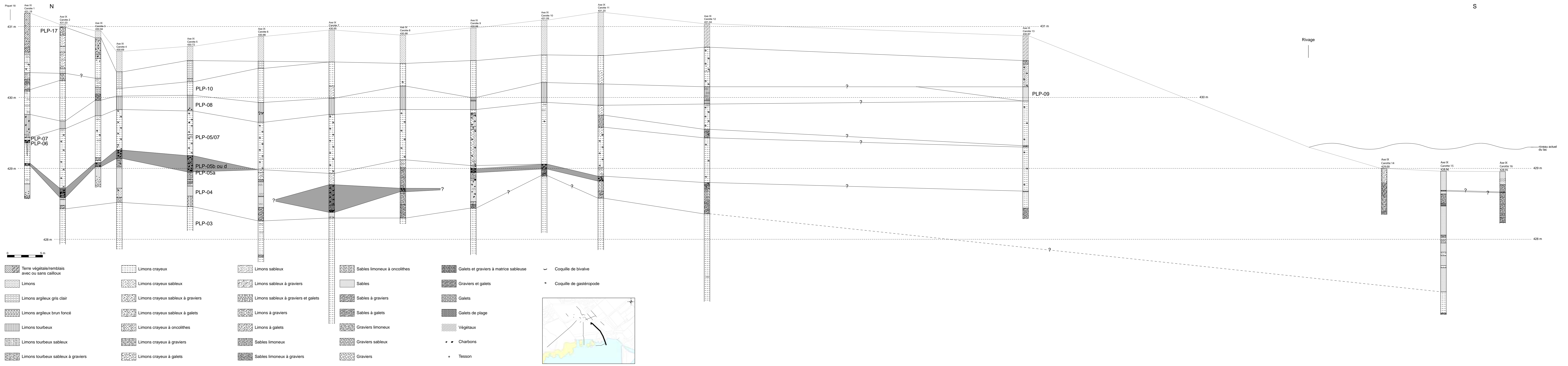
- | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



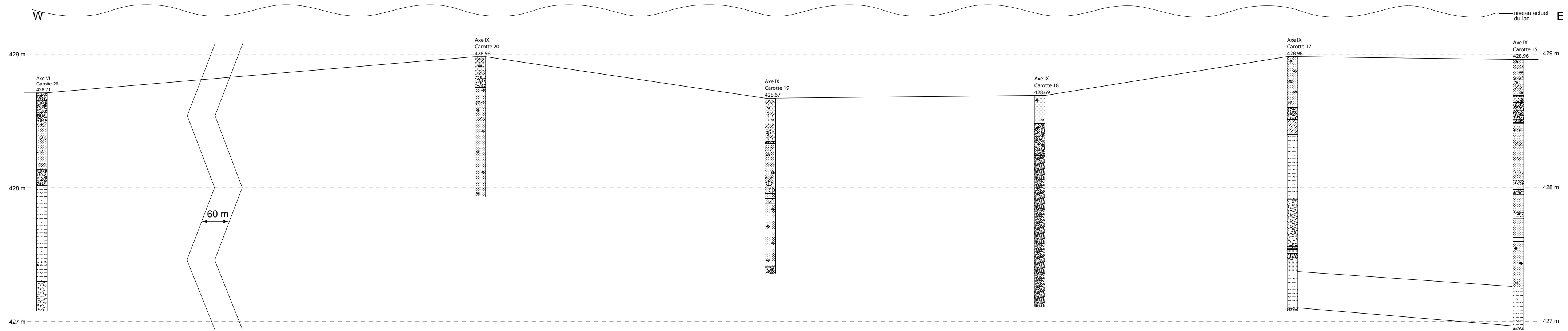
PI. 5 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect IV.



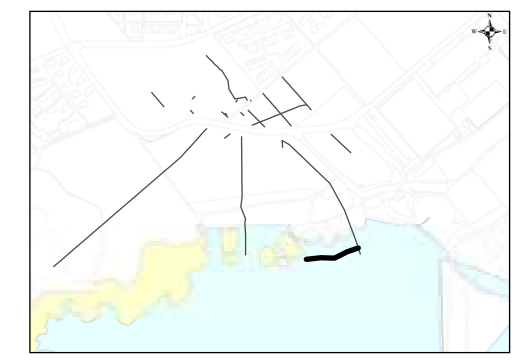
Pl. 6 : Corrélation altimétrique et lithologique entre les carottes du transect V.



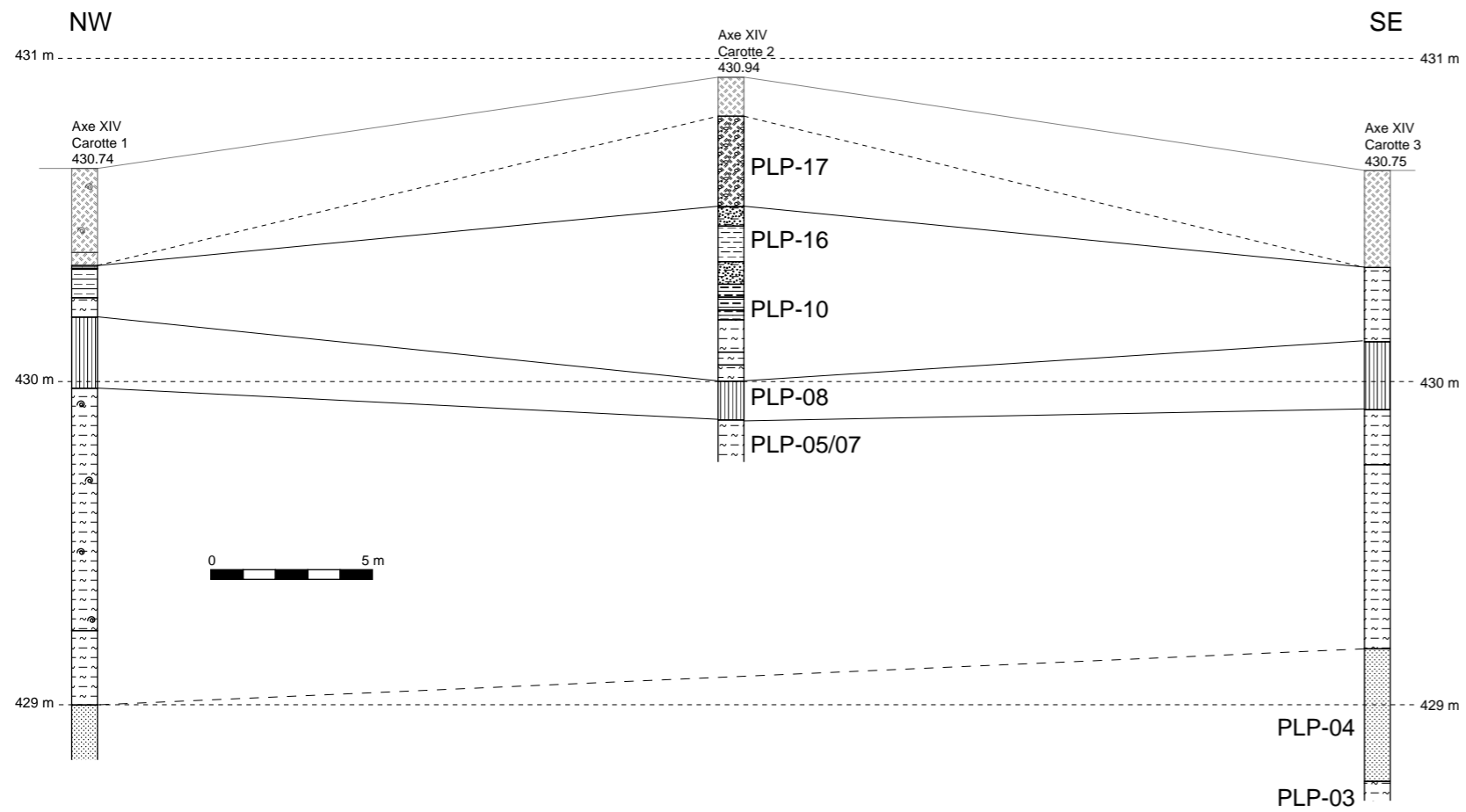
PI. 8 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre certaines carottes de l'axe IX-NS.



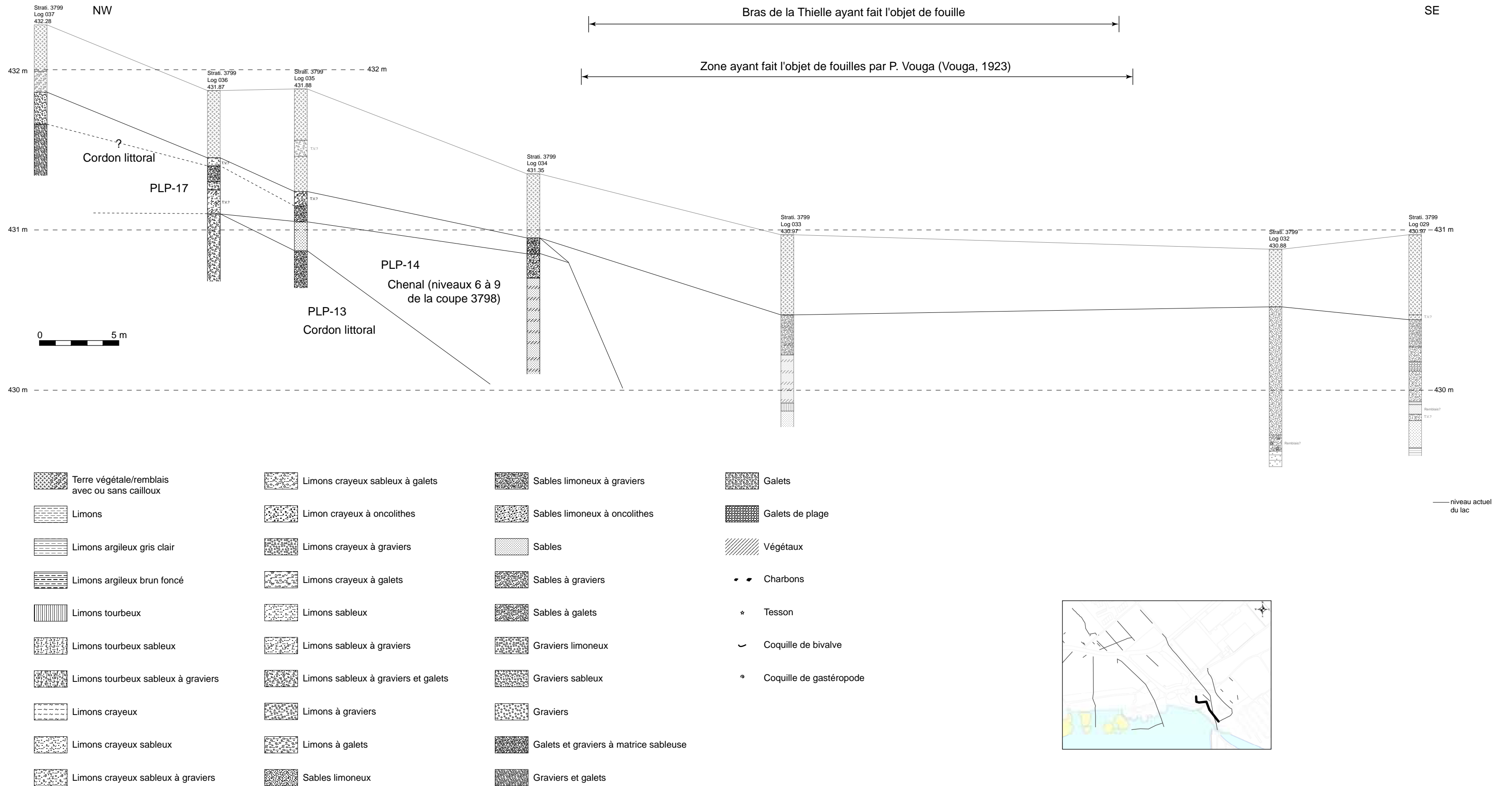
- | | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |



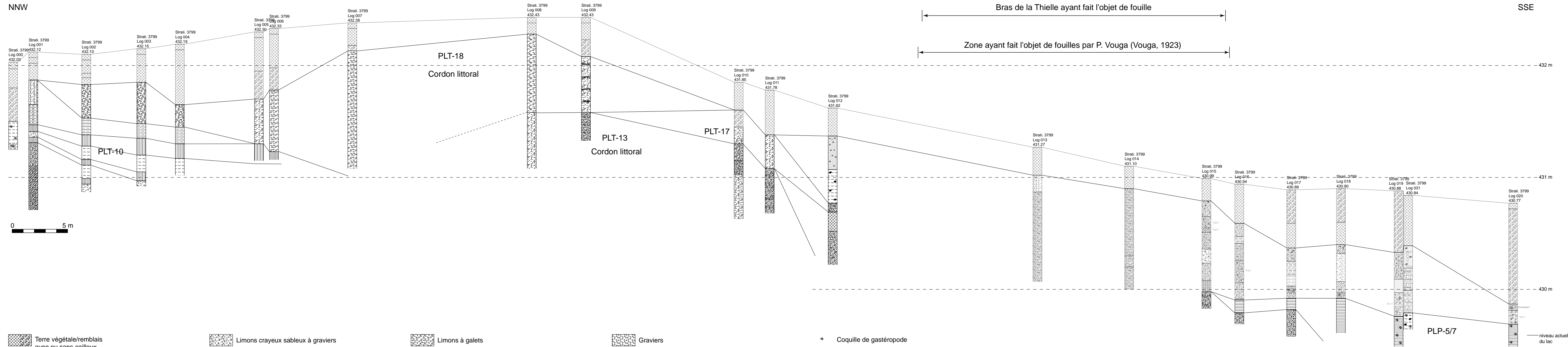
Pl. 9 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre certaines carottes des transects VI et IX-WE.



Pl. 10 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect XIV.



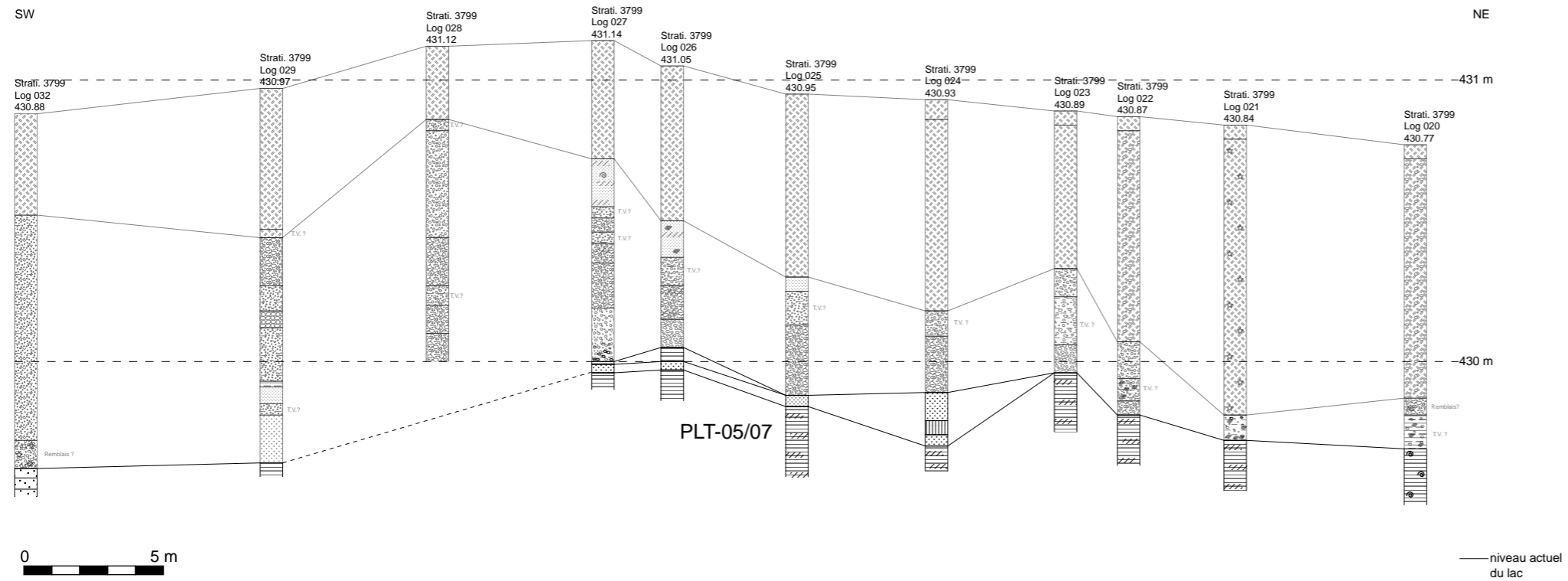
Pl. 12 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre certaines carottes du transect 3799 (3799A).



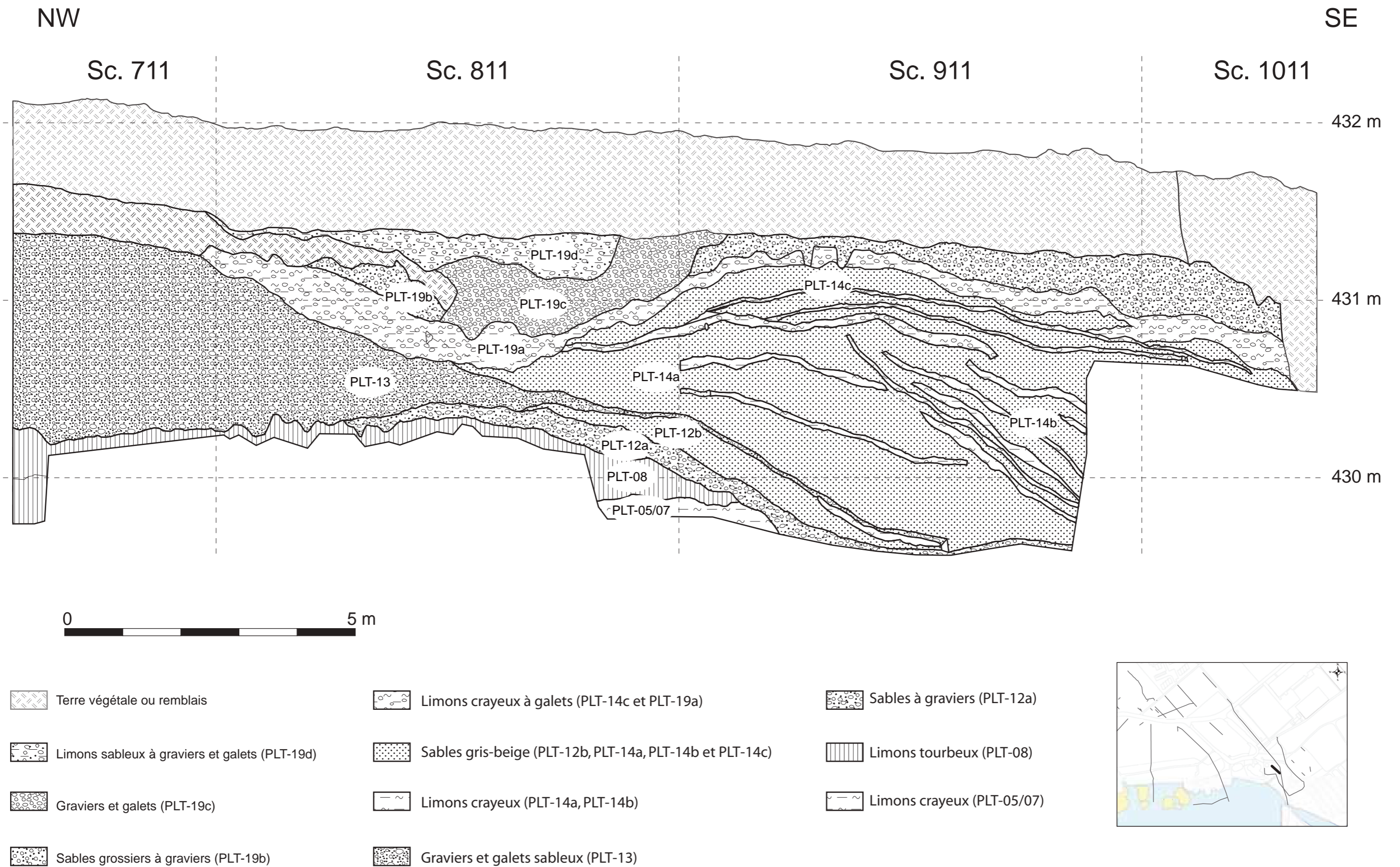
- | | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



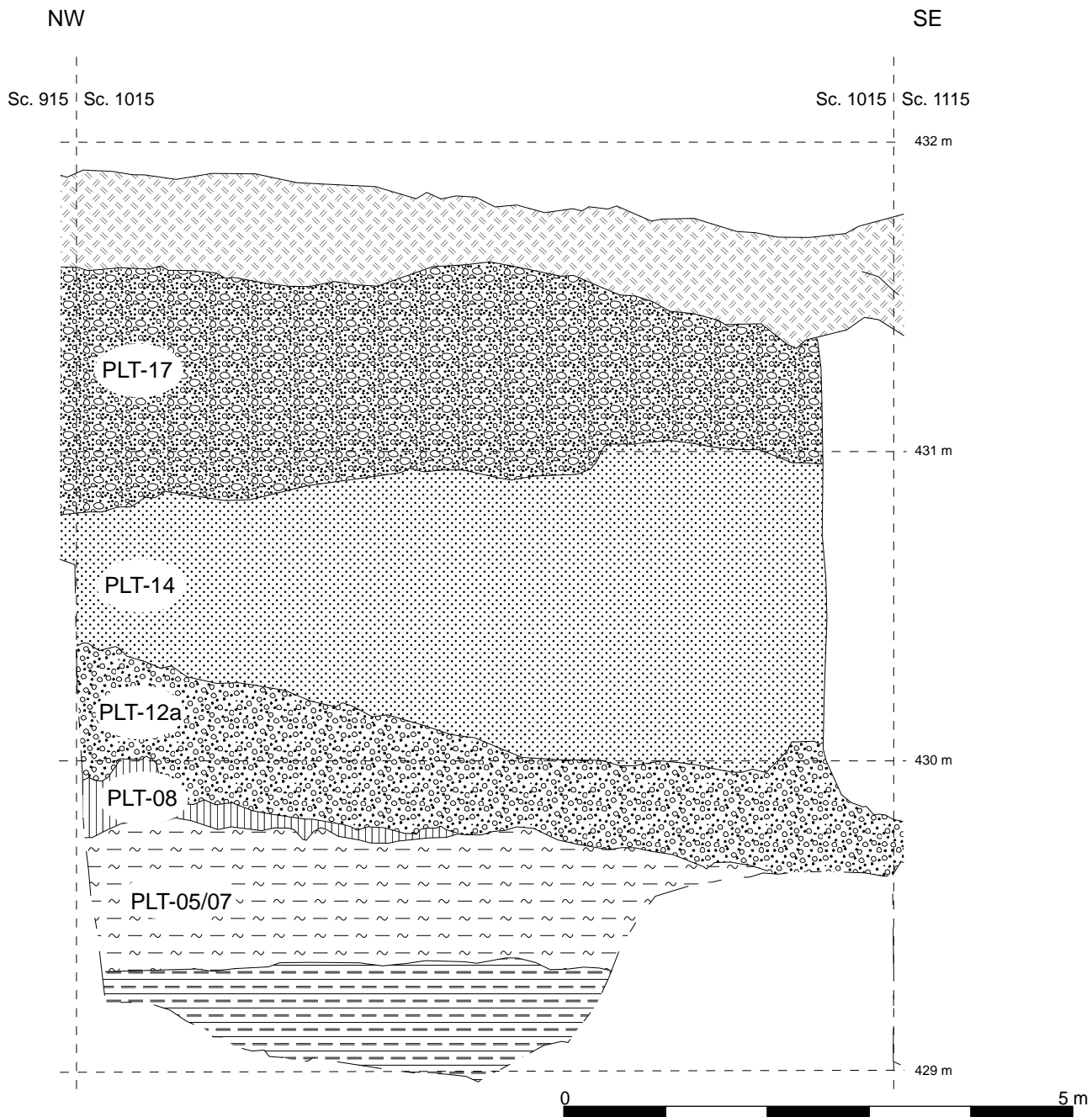
Pl. 13 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre certaines carottes du transect 3799 (3799B).









Pl. 14 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre certaines carottes du transect 3799 (3799C).



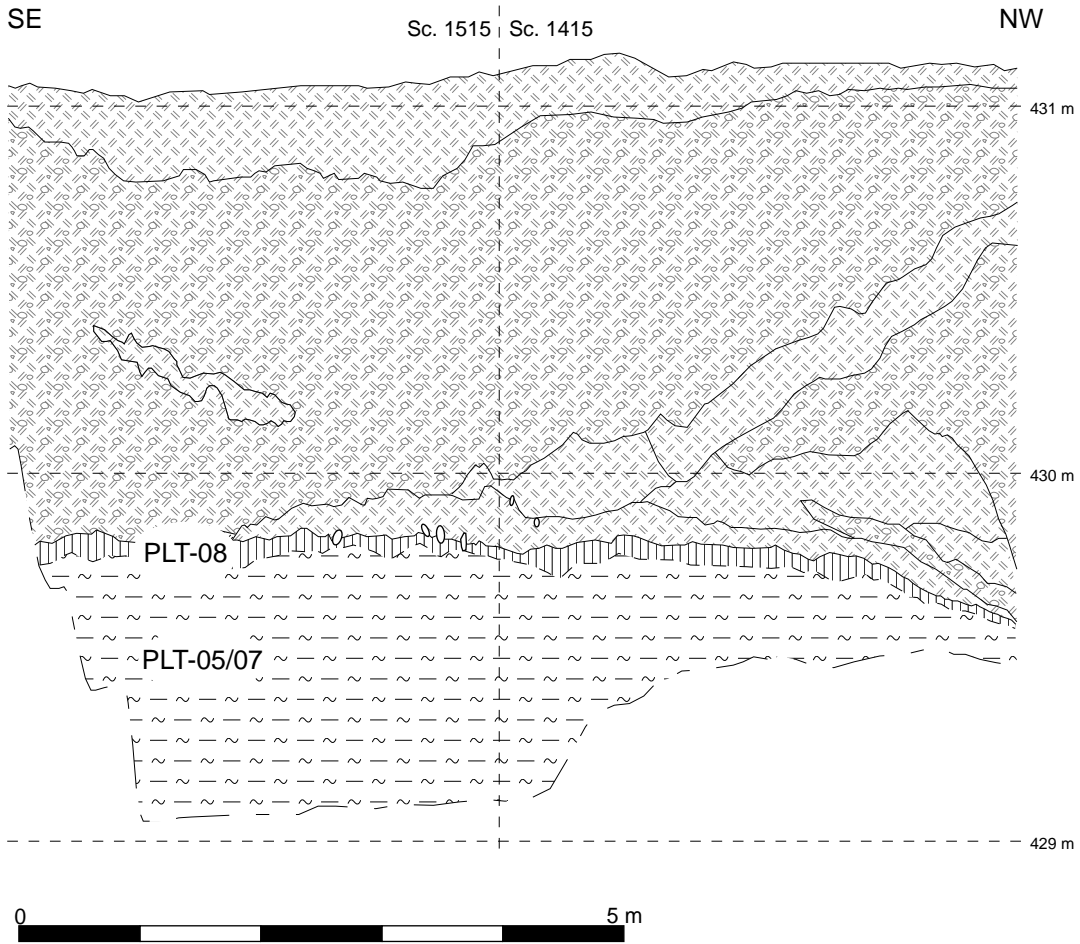
PI. 15 : Relevé stratigraphique du sondage 3798, vue nord-est, d'après Réglinelli (2007).







-  Terre végétale ou remblais
-  Sables gris-beige (PLT-14)
-  Sables à graviers (PLT-12a)
-  Limons tourbeux (PLT-08)
-  Limons crayeux (PLT-05/07)
-  Limons gris foncés riches en matière organique



Pl. 16 : Relevé stratigraphique du sondage 3801-N (berge nord de l'ancienne Thielle), vue nord-est.



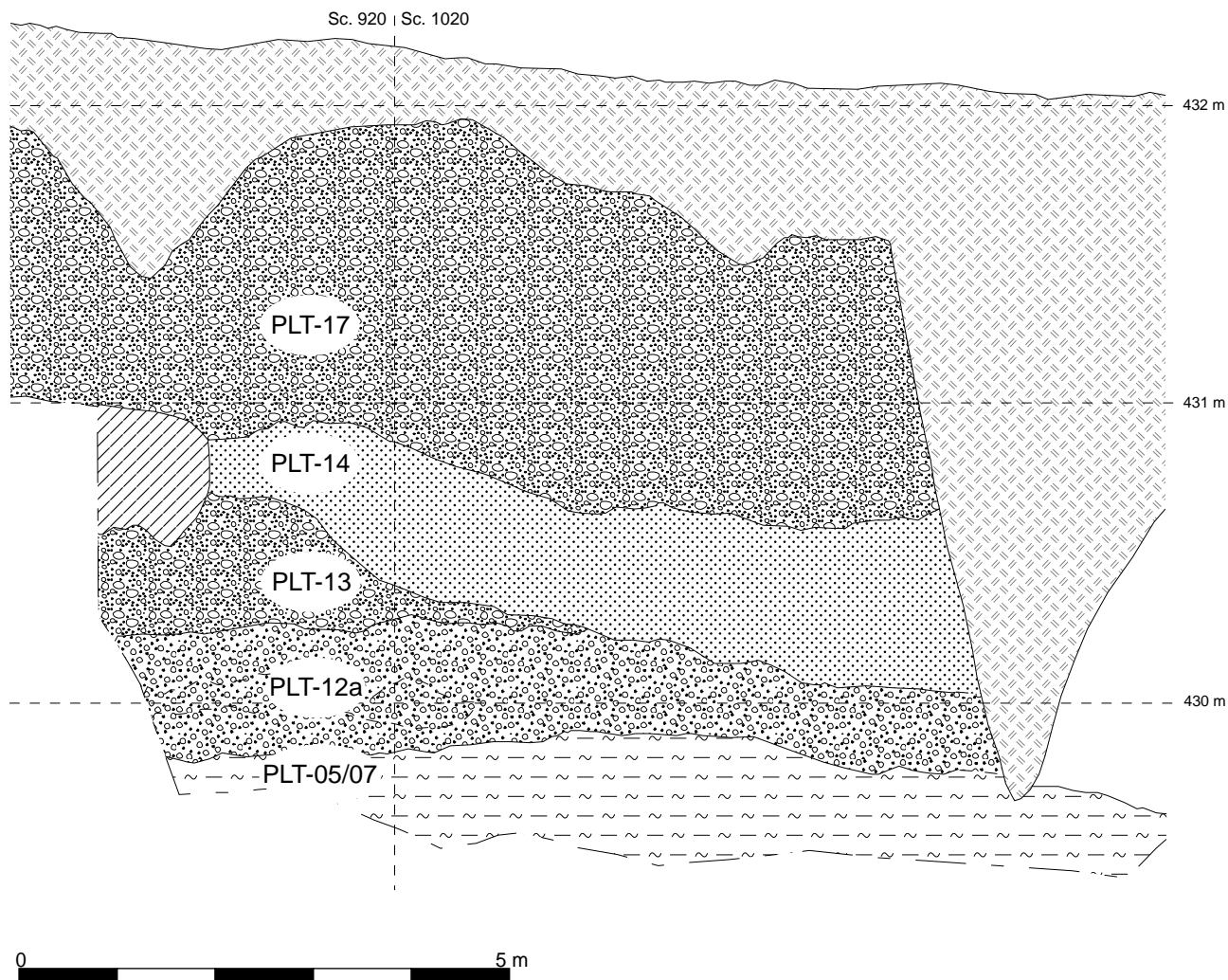
-  Terre végétale actuelle ou ancienne
-  Remblais avec des graviers
-  Limons tourbeux (PLT-08)
-  Limon crayeux (PLT-05/07)








Pl. 17 : Relevé stratigraphique du sondage 3801-S (rive Sud de l'ancienne Thielle), vue sud-ouest.

NW

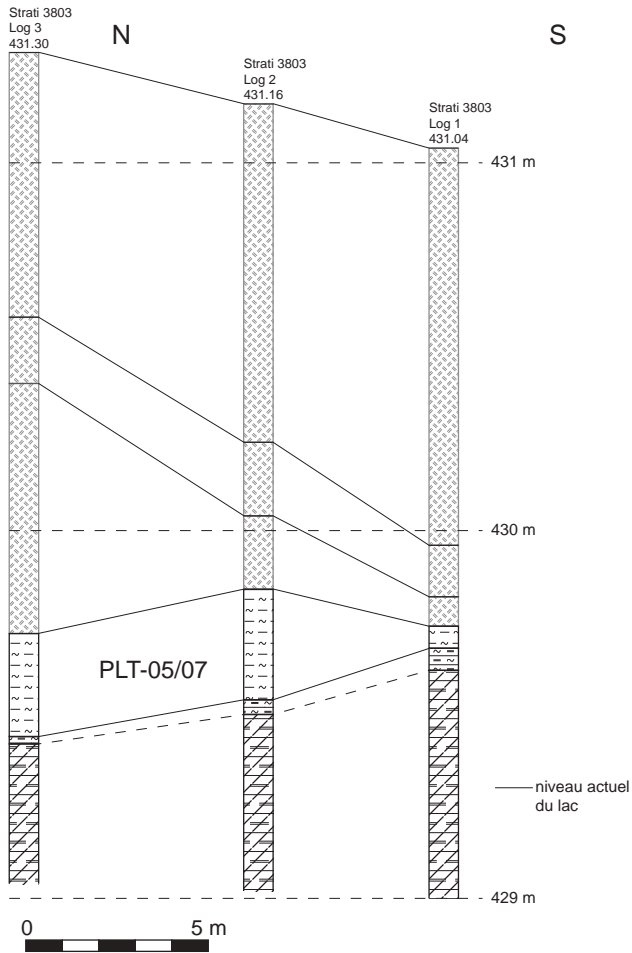
SE



-  Terre végétale ou remblais
-  Sable gris-beige a passées crayeuses (PLT-14)
-  Graviers et galets à matrice sableuse (PLT-13 et PLT-16)
-  Sable à graviers (PLT-12a)
-  Limon crayeux (PLT-05/07)



Pl. 18 : Relevé stratigraphique du sondage 3802 (rive nord de l'ancienne Thielle), vue nord-est.



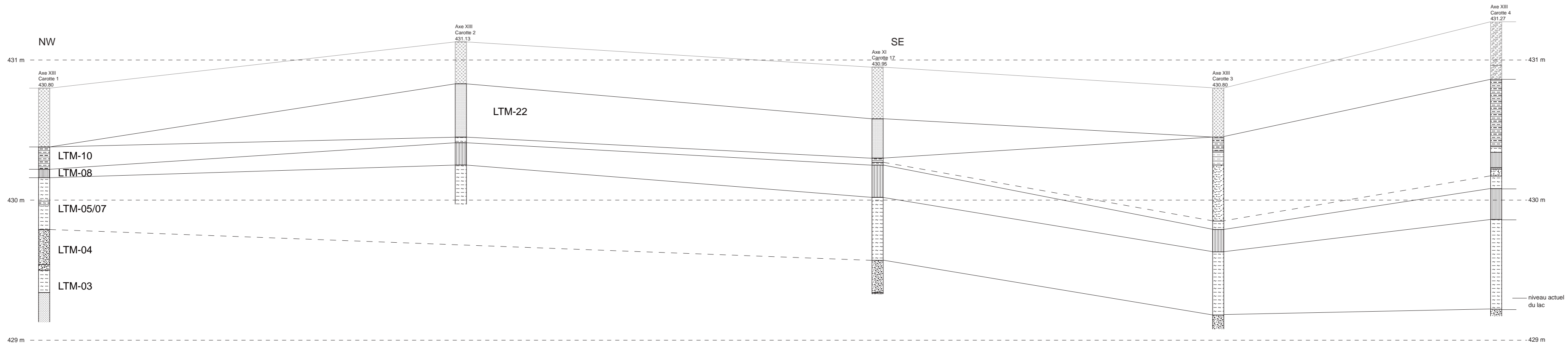
• Charbons

☆ Tesson

✓ Coquille de bivalve

◉ Coquille de gastéropode

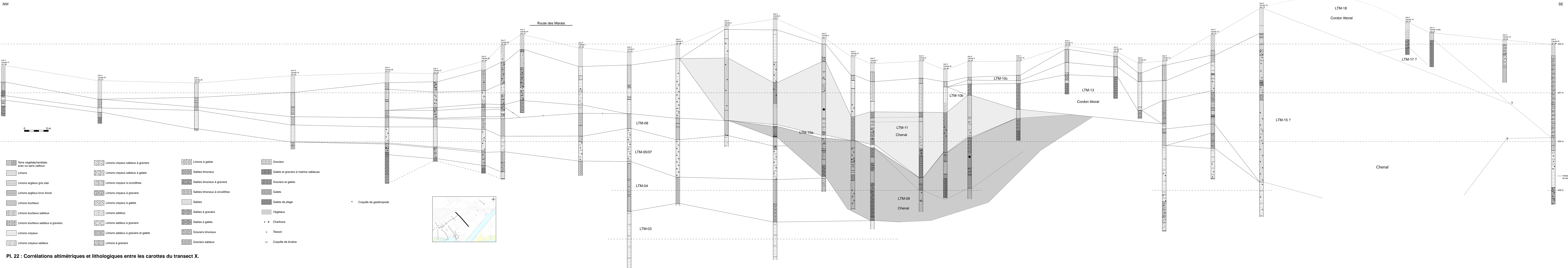
Pl. 19 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du sondage 3803.



- | | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



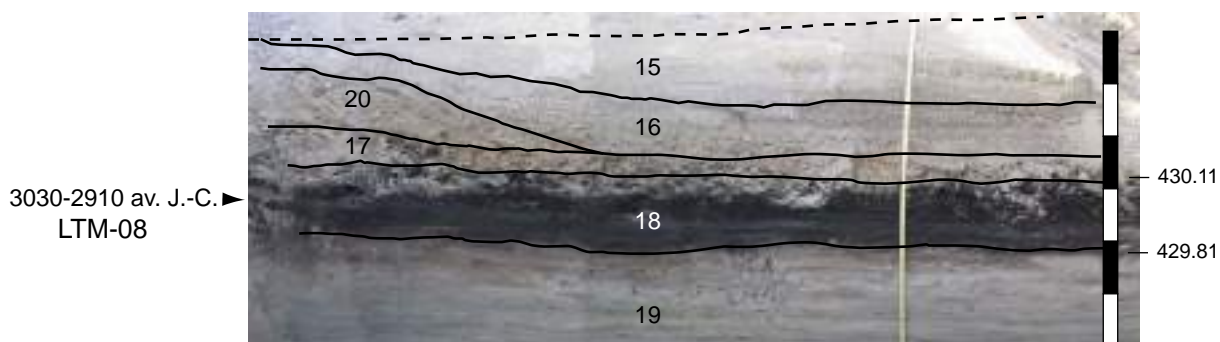
PI. 21 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect XIII et la carotte 17 de l'axe XI.



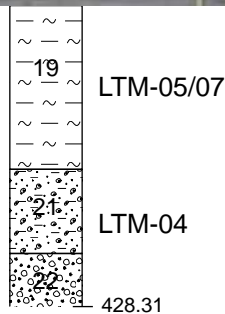
Pl. 22 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les carottes du transect X.

SSE

NNW



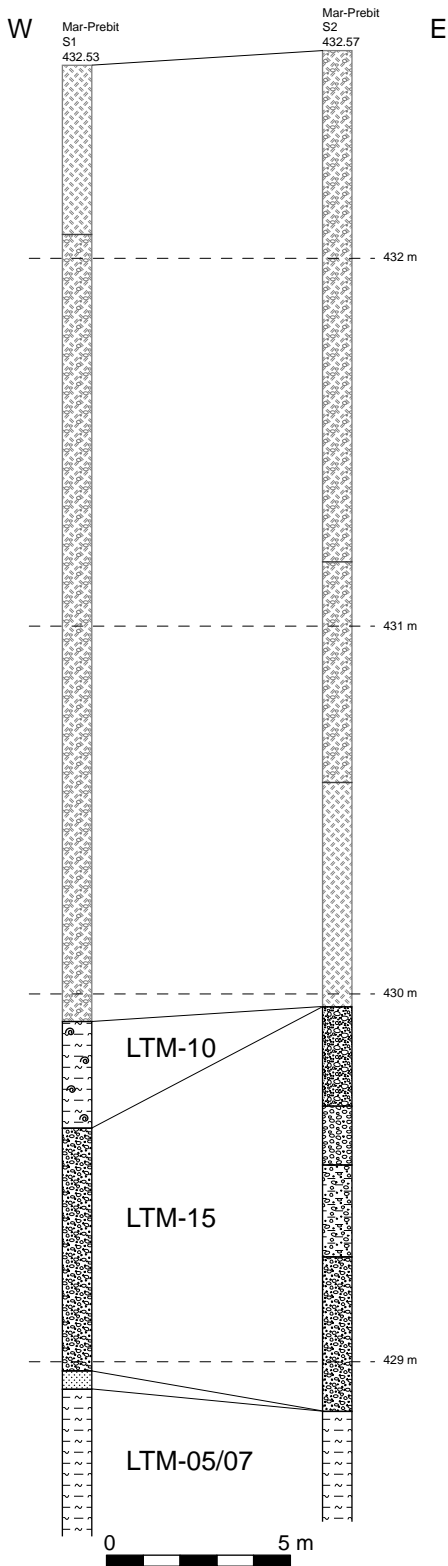
Zondage inférieur réalisé à la tarière à main



Partie supérieure : 1) graviers sableux ; 2) sables ; 3) petits graviers ; 4a) sables ; 4b) sables à petits graviers ; 4c) sables ; 5) petits graviers ; 6) sables à graviers ; 7) limons crayeux ; 8) sables fins ; 9) limons crayeux ; 10) limons ; 11) remblais.

Partie inférieure : 15) sables fins ; 16) graviers sableux ; 17) graviers oxydés ; 18) limon tourbeux ; 19) limon crayeux contenant des racines de roseaux ; 20) sables graveleux ; 21) sables à oncolithes contenant des débris de végétaux ; 22) sables grossiers à graviers et débris de végétaux.

Pl. 23 : Relevé stratigraphique du sondage 3881, stratigraphie W.

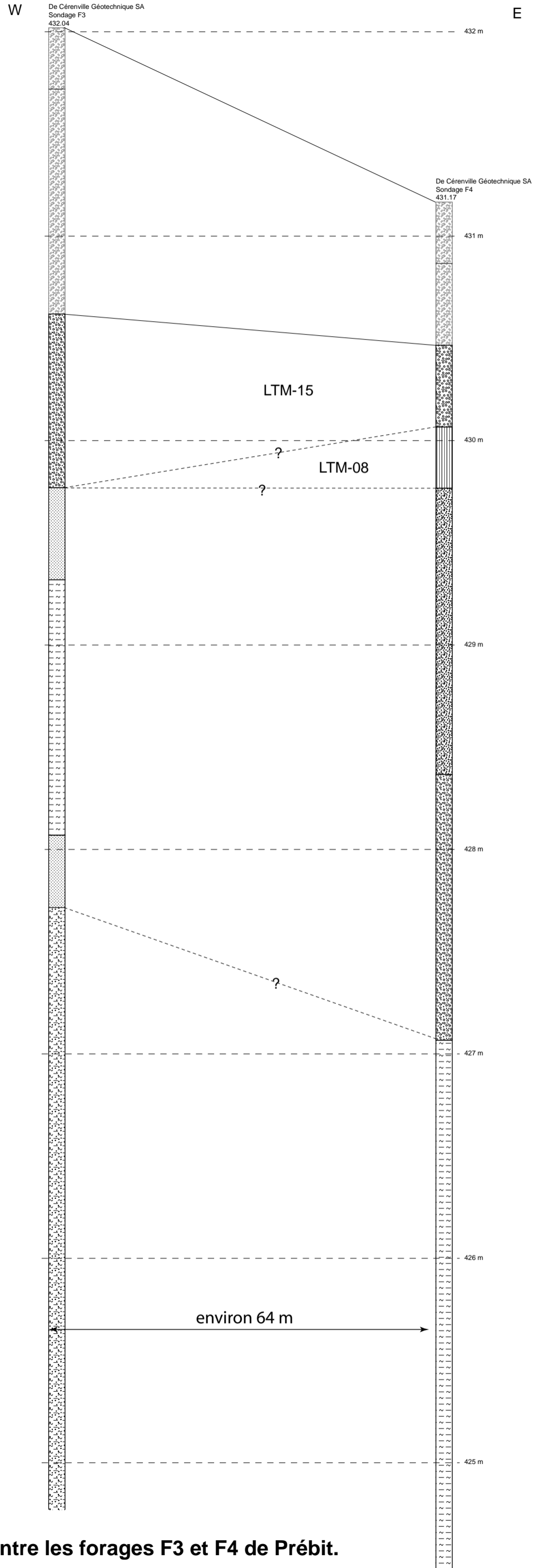


- | | | | |
|--|---|--|---------------------------------------|
| | Terre végétale/remblais avec ou sans cailloux | | Limons à graviers |
| | Limons | | Limons à galets |
| | Limons argileux gris clair | | Sables limoneux |
| | Limons argileux brun foncé | | Sables limoneux à graviers |
| | Limons tourbeux | | Sables limoneux à oncolithes |
| | Limons tourbeux sableux | | Sables |
| | Limons tourbeux sableux à graviers | | Sables à graviers |
| | Limons crayeux | | Sables à galets |
| | Limons crayeux sableux | | Gravier limoneux |
| | Limons crayeux sableux à graviers | | Gravier sableux |
| | Limons crayeux sableux à galets | | Gravier |
| | Limons crayeux à oncolithes | | Galets et graviers à matrice sableuse |
| | Limons crayeux à graviers | | Gravier et galets |
| | Limons crayeux à galets | | Galets |
| | Limons sableux | | Galets de plage |
| | Limons sableux à graviers | | Végétaux |
| | Limons sableux à graviers et galets | | Coquille de gastéropode |

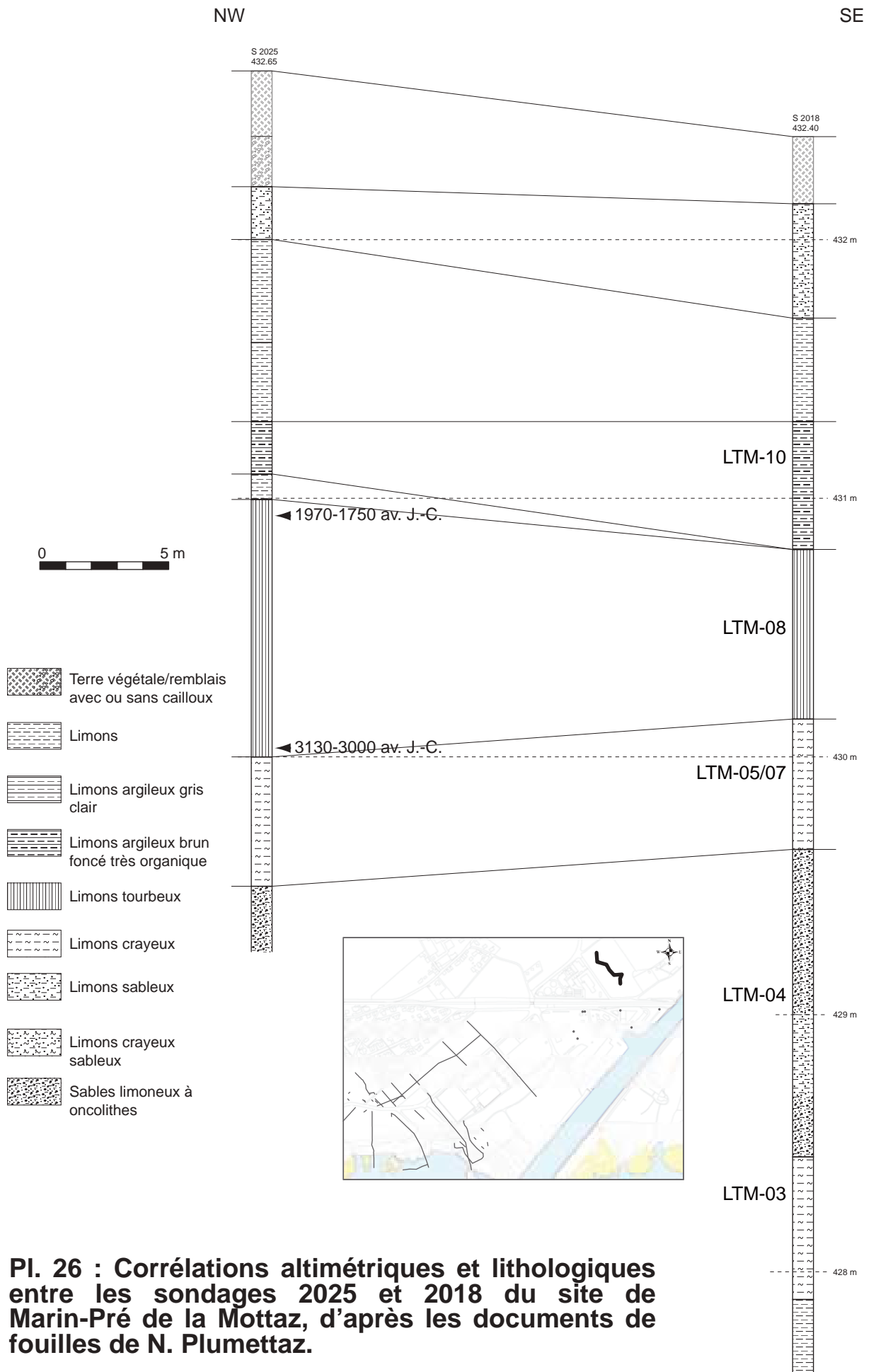
Pl. 24 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les forages de Prébit S1 et S2.



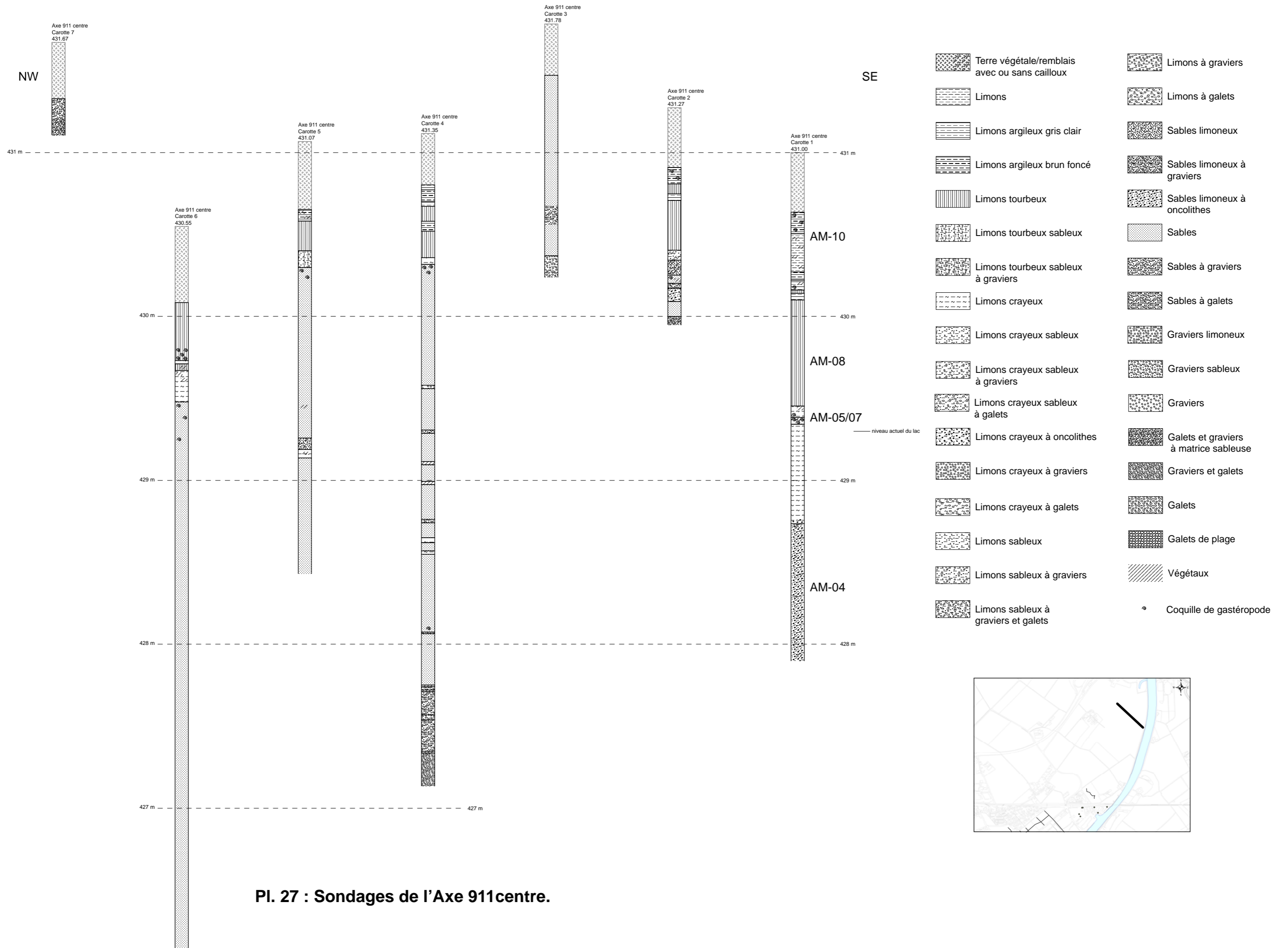
- | | | | |
|--|---|--|---------------------------------------|
| | Terre végétale/remblais avec ou sans cailloux | | Limons à graviers |
| | Limons | | Limons à galets |
| | Limons argileux gris clair | | Sables limoneux |
| | Limons argileux brun foncé | | Sables limoneux à graviers |
| | Limons tourbeux | | Sables limoneux à oncolithes |
| | Limons tourbeux sableux | | Sables |
| | Limons tourbeux sableux à graviers | | Sables à graviers |
| | Limons crayeux | | Sables à galets |
| | Limons crayeux sableux | | Gravier limoneux |
| | Limons crayeux sableux à graviers | | Gravier sableux |
| | Limons crayeux sableux à galets | | Gravier |
| | Limons crayeux à oncolithes | | Galets et graviers à matrice sableuse |
| | Limons crayeux à graviers | | Gravier et galets |
| | Limons crayeux à galets | | Galets |
| | Limons sableux | | Galets de plage |
| | Limons sableux à graviers | | Végétaux |
| | Limons sableux à graviers et galets | | Coquille de gastéropode |



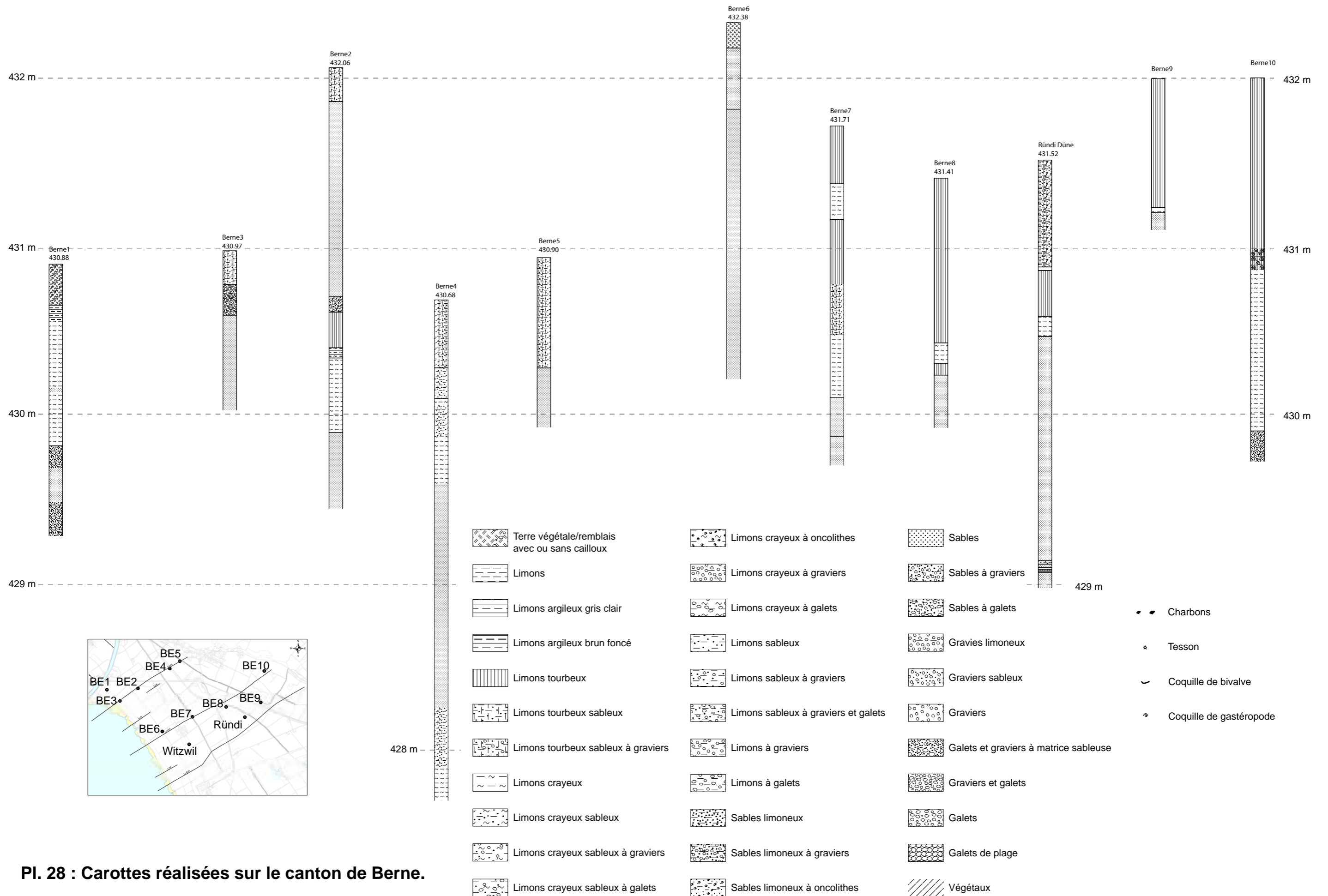
Pl. 25 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les forages F3 et F4 de Prébit.



Pl. 26 : Corrélations altimétriques et lithologiques entre les sondages 2025 et 2018 du site de Marin-Pré de la Mottaz, d'après les documents de fouilles de N. Plumettaz.



Pl. 27 : Sondages de l'Axe 911centre.



Pl. 28 : Carottes réalisées sur le canton de Berne.

