

Laurent Chalumeau

La zone exutoire du lac de Neuchâtel du Néolithique à l'actuel. Apport d'une étude géoarchéologique pour la compréhension des enregistrements sédimentaires.

Thèse

Soutenue le 25 novembre 2008 à la Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel  
Pour l'obtention du grade de Docteur ès Sciences



Acceptée par les membres du jury :

Pr. Thierry Adatte, Université de Lausanne (Suisse); Examineur

Dr. Pierre Corboud, Université de Genève (Suisse); Examineur

D.R. Michel Magny, Université de Besançon (France); Examineur

MCF Christophe Petit, Université de Dijon (France); Examineur

Pr. Eric Verrecchia, Université de Neuchâtel (Suisse); Directeur de thèse



## IMPRIMATUR POUR LA THESE

La zone exutoire du lac de Neuchâtel du  
Néolithique à l'actuel. Apport d'une étude  
géoarchéologique pour la compréhension des  
enregistrements sédimentaires

**Laurent CHALUMEAU**

---

UNIVERSITE DE NEUCHATEL

FACULTE DES SCIENCES

La Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel,  
sur le rapport des membres du jury

MM. E. Verrecchia (directeur de thèse), T. Adatte,  
M. Magny (Uni. de Franche-Comté F), P. Corboud (Genève),  
C. Petit (Université de Bourgogne F)

autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 9 février 2009

Le doyen :  
F. Kessler

UNIVERSITE DE NEUCHATEL  
FACULTE DES SCIENCES  
Secrétariat - décanat de la faculté  
Rue Emile-Argand 11 - CP 158  
CH-2009 Neuchâtel  
*Felix Kessler*



## RÉSUMÉ

---

**Mots clés :** sédimentologie, géoarchéologie, Marin-La Tène, Marin-Les Piécettes, Marin-Pré de la Mottaz, Région des Trois-Lacs, Lac de Neuchâtel, Thielle, fluctuation du niveau d'eau, Holocène, variation climatique, habitats lacustres préhistoriques

Depuis l'hiver 1853-54, de nombreux sites archéologiques littoraux ont été découverts sur les rives des lacs et des rivières subalpins. La colonisation des rives du lac de Neuchâtel et de son exutoire, la Thielle moyenne, s'est faite dès le retrait du glacier du Rhône, vers 15 000 BP. Elle s'est poursuivie tout au long de l'Holocène, malgré quelques périodes d'interruption. La réalisation d'un inventaire des sites littoraux montre une densité importante de vestiges dans la zone exutoire actuelle du lac de Neuchâtel.

Cette richesse en sites est favorable à la réalisation d'une étude géoarchéologique diachronique dont l'objectif est de situer les occupations humaines depuis le Néolithique, dans leurs contextes spatial, chronologique et environnemental, liés aux variations du niveau du lac de Neuchâtel et aux changements de cours de la Thielle moyenne.

Un maximum de documents relatifs à la zone d'étude sont intégrés et analysés au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG), à savoir, les cartes topographiques, historiques et géologiques, complétés par des sondages géologiques, la liste exhaustive des sites archéologiques connus, un Modèle Numérique de Terrain, des photographies aériennes, des Images proche-infrarouge. Cette méthodologie de travail permet d'avoir des premiers indices de paléo-rives et de déterminer la démarche à entreprendre. L'étude s'organise alors autour de trois sites récemment fouillés, Marin-Les Piécettes (Néolithique), Marin-La Tène (Age du Fer) et Marin-Pré de la Mottaz (Moyen Age). La documentation importante, compilée lors des fouilles de ces sites, apporte un cadre chronologique nécessaire à la réalisation de cette étude à une échelle fine.

Les données acquises lors des fouilles archéologiques du site lacustre de Marin-Les Piécettes, et par des sondages complémentaires dans la zone du site sensu lato, sont complétées par des datations au radiocarbone réalisées principalement sur des charbons. L'étude de la

géométrie des corps sédimentaires et les changements lithologiques permettent de proposer une séquence sédimentaire, bien callée temporellement. Plusieurs phases majeures de bas et haut niveau relatifs du plan d'eau sont reconnues, travail qui n'avait pas encore été effectué pour la zone exutoire du Lac de Neuchâtel.

Afin de caractériser les formations superficielles de tout le secteur, liées aux variations des cours de l'exutoire du lac de Neuchâtel et du niveau du lac lui-même, deux cent six carottages géologiques à la tarière ainsi que dix panneaux géophysiques par tomographie électrique sont réalisés, en complément des observations faites sur les différents sites. La séquence sédimentaire obtenue par l'analyse des relevés issus du site de Marin-Les Piécettes est alors affinée, avec en particulier l'insertion de paléo-chenaux. L'intégration des données de terrain au SIG permet de comparer les relevés aux cartes historiques qui présentent d'anciens réseaux hydriques naturels et anthropiques. Cette approche géo-historico-archéologique est apparue comme une méthode nécessaire pour comprendre les formations observées sur le terrain et surtout pour pouvoir distinguer les aménagements anthropiques des morphologies naturelles, comme les chenaux.

Au final, 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 proposée, impliquant une nouvelle chronologie pour le site éponyme de Marin-La Tène. Quatre cordons graveleux ont été identifiés sur la rive gauche du canal de la Thielle, et un cordon sableux sur la rive droite, sous la dune éolienne de Witzwil. Les cours de plusieurs chenaux ont pu être retracés et datés. L'interprétation des enregistrements sédimentaires vis à vis du niveau moyen du lac sont confrontés aux cotes des sites littoraux du lac de Neuchâtel et à celles proposées par les auteurs à partir de séquences sédimentaires d'autres sites. Il en ressort que les sites archéologiques sont préférentiellement présents durant les périodes de bas niveaux lacustres. La similitude entre les phases de haut et bas niveau lacustres mises au jour et celles des lacs d'Europe Centrale indique que le lac de Neuchâtel a réagi majoritairement aux fluctuations holocènes du climat, avec des variations à l'intérieur de ces grands cycles, liées à des changements locaux. En revanche, l'arrêt de l'écoulement de l'Aar dans le lac n'a pas affecté directement ses fluctuations.

## ABSTRACT

---

**Keywords:** sedimentology, geoarchaeology, Marin-La Tène, Marin-Les Piécettes, Marin-Pré de la Mottaz, Swiss Seeland, Lake Neuchâtel, Thielle, changes in lake level, Holocene, climatic variations, prehistoric lake-dwellings

Since the winter of 1953-54, numerous lacustrine archeological sites have been discovered on subalpine lake- and river-shores. Colonization of such lakeshores around Neuchâtel lake and its outlet (named “Thielle moyenne”) occurred as soon as the Rhone glacier retreated around 15’000 BP. The colonization continued during all the Holocene except for several interruptions. An inventory of archeological sites located around Neuchâtel lakeshore shows a high density of vestiges in the lake outlet area.

Such a density of sites favors a diachronic geo-archaeological study. The goal of such study is to reconstruct human occupation at these sites since the Neolithic. In addition the human occupation events are placed in their spatial, chronological, and environmental contexts with respect to the fluctuation of the lake level and the movement of the Thielle riverbed.

This study integrates as much documentation as possible of the study area using a Geographical Information System (GIS). The documents include topographic, historic and geologic maps, geological sounding, an exhaustive list of all known archaeological sites, a digital terrain model, aerial and near-infrared photographs. This study focuses on three sites that have been recently excavated: Marin-Les Piécettes (Neolithic), Marin-La Tène (Iron Age) and Marin-Pré de la Mottaz (Middle Age). The large amount of documentation obtained and compiled during these excavations has refined chronological settings necessary for this study.

Data obtained during archeological excavations at the lacustrine site of Marin-Les Piécettes as well as additional data obtained by boring auger holes at the site *sensu lato* are completed by carbon radioisotope dating (mainly performed on charcoal). The study of the geometry of sedimentary elements and lithological changes allows the construction of a temporally well-defined sedimentary sequence. Several major high and low relative water level

phases are recognized. Such work was not achieved by previous studies in the outlet zone of Neuchâtel Lake.

In order to characterize the surficial formations related to the movement of the lake outlet riverbed and to the fluctuations of the lake-level itself, two hundred and six auger holes were bored. In addition to the data collected at the different sites, 10 geophysical panels were obtained using electrical tomography. The insertion of paleo-channels is used to refine the sedimentary sequence, obtained using surveys performed at Marin-Les Piécettes. The association of field data and GIS allows our surveys to be compared to historical maps presenting past natural and anthropic hydrological networks. Such a geo-historico-archeological approach appeared to be necessary to understand the formation observed. It provides the information necessary to distinguish between man-made developments and natural morphologies, such as channels.

In conclusion, this study proposes a reconstruction of the different events observed in the sedimentary record and linked to the fluctuation of the Neuchâtel Lake level and the movement of the « Thielle moyenne » riverbed. Such a reconstruction indicates a new chronology for the archeological site of Marin-La Tène. Four gravel bars have been distinguished on the left shore of the Thielle channel. On the right shore of the Thielle channel a sand bar was observed below the aeolian dune of Witzwil. It was also possible to redraw and date the riverbeds of several channels. The interpretations of the sedimentary records with respect to the average lake level are compared with the elevation of the archeological sites. These interpretations are also compared to elevations proposed by the authors for other archeological sites. These comparisons reveal that the archeological sites are present mostly during lower lake levels. The high and low lake level phases described for Neuchâtel Lake are in agreement with observations made for other central European lakes. This shows that Neuchâtel Lake mainly reacts to Holocene climate fluctuations. However, minor variations observed within main cycles are linked to local changes. On the other hand, the interruption of the flow of the Aar river into the lake did not result in a direct effect on the lake-level fluctuations.

L'histoire du genre humain,  
c'est aussi l'histoire de ses rapports avec la nature.

Johann Wilhelm Ritter, 1810

Couverture : La Tène, Auguste Bachelin, 1879.



## AVANT-PROPOS

---

Mes premiers remerciements vont à Eric P. Verrecchia pour avoir répondu à mon mail il y a déjà maintenant sept ans : merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir proposé ce projet pluridisciplinaire avec les archéologues. Je tiens ensuite à remercier tout particulièrement Matthieu Honegger qui a été un soutien important lors de la mise en œuvre de ce projet et qui par la suite a toujours été à l'écoute de mes interrogations. Je le remercie aussi d'accepter d'évaluer ce travail.

Je remercie également les membres de mon jury, Thierry Adate, Pierre Corboud, Michel Magny et Christophe Petit, d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Au-delà de cette participation au jury, je les remercie aussi pour leur intérêt à la géoarchéologie du lac de Neuchâtel : Thierry Adate, pour nos discussions sédimentologique et géochimique, Pierre Corboud, pour la mise à disposition de la base de données de Palafittalp mais aussi pour nos discussions archéo-géologico-politico-administratives, Michel Magny, pour les dates <sup>14</sup>C et la collaboration à l'article des «Eclog», et enfin Christophe Petit, pour les débats «tsunamiques».

Je remercie Béat Arnold, actuellement archéologue cantonal à l'Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel (OMAN), pour sa confiance, l'implication qu'il a eu tout au long de ce travail et le financement des campagnes de sondages dans la zone exutoire. Je tiens aussi à remercier le Pr. Michel Egloff, pour son soutien à ce travail.

Comment ne pas remercier Nicole Plumettaz, Gianna Reginelli et Nigel Thew de l'OMAN qui ont toujours été de bon conseil et d'une grande disponibilité. Merci encore pour tout ce que vous m'avez appris dans le domaine de l'archéologie et la confiance que vous m'avez accordée en me prêtant vos documents de fouille. J'espère que les collaborations, et l'amitié, débutées durant ce travail se poursuivront. Merci aussi Philippe Zuppinger, Sonia Wüthrich, Judith Becze-Deák, et de manière générale à l'ensemble du personnel de l'OMAN pour leur disponibilité et nos discussions. Merci aussi aux personnes des services archéologiques des cantons de Berne, Fribourg et Vaud qui se sont intéressées à ce travail et qui ont mis à disposition leurs données.

Je remercie Karl Follmi et Thierry Adate d'avoir eu confiance dans mon travail au sein du GEA pendant ces 5 dernières années. Merci surtout à Thierry pour tout le matériel mis à ma disposition et les analyses à un tarif préférentiel. Merci à Philipp Steinmann pour les analyses de la matière organique et à Virginie Matera pour toutes nos discussions autour des protocoles et autres. Merci aussi à Pierre-André Schnegg pour le prêt du matériel de la tomographie électrique et à Nicolas Coppo pour la démonstration. Merci à Vincent Barbin, directeur du GEGENA<sup>2</sup> (EA 3795 Université de Reims Champagne-Ardenne) pour le prêt du traceur, et Olivier Lejeune pour l'imprimante laser.

Je remercie également André Villard qui a été amené à perfectionner son protocole d'induration afin de confectionner mes quelques lames minces. Je le remercie aussi pour sa participation à l'élaboration et la réalisation du carotteur «pieds dans l'eau» et du système permettant de découper les carottes. Merci André pour ta bonne humeur, même si certaines de tes blagues ne valent pas plus de 10 centimes, et pour tout ce que tu as fait pour moi à côté.

Merci à toutes les personnes qui m'ont autorisé à réaliser des petits trous sur leur terrain, la nouvelle commune de La Tène (Marin-Epagnier, Thielle-Wavre), le club de football de Marin-Epagnier, la Maison de santé Préfargier et tous les nombreux propriétaires. Merci à Marc-Olivier Bühler pour la mise à disposition des rapports de sondages.

Merci à toutes les personnes venues se faire piquer sur les rives du lac, pour leurs grimaces lors des sorties de carottes ou encore leur démarche à la «Robocop» les lendemains, avec une mention spéciale pour Léonard Kramer, alias Njall le Brûlé.

Merci à Christophe Dupraz, Guillaume Cailleau, Olivier Braissant et Cyril Dommergues pour leur aide. Merci aux doctorants, post-docs et associés de l'ANEG, Stéphane, Erwan, Flurin, Cécile, Jaouher, Mélodie, Saskia, Laure M., Christina, Brahimsamba, Natalia, Raoul, Laure P., tous les Jean-Paul et surtout Isa pour leurs coups de mains et leur bonne humeur.

Merci aux plieurs / cartonners du samedi tardif pour les planches et pour tout le reste. Un salut au cocon familial de la Bresse, de Marseille et plus récemment du Berry, avec une pensée pour celle qui n'a pu lire ces lignes...

# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET HISTORIQUE</b>	<b>7</b>
<b>1. Cadres géomorphologique et géologique</b>	<b>8</b>
<b>2. Cadre climatique</b>	<b>12</b>
2.1. Le climat actuel	12
2.2. La variabilité climatique à l'Holocène en Europe et sur le Plateau suisse	14
<b>3. Cadre hydromorphologique du lac de Neuchâtel</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Hydromorphologie du lac</b>	<b>20</b>
3.1.1. Morphologie	20
3.1.2. Hydrologie simplifiée	21
- Hydrologie du lac de Neuchâtel	21
- Le bassin d'alimentation du lac de Neuchâtel	22
<b>3.2. Origine et histoire sommaire de l'ensemble des trois lacs</b>	<b>24</b>
3.2.1. Origine des lacs	24
3.2.2. Hypothèse du lac de Soleure	24
3.2.3. Evolution globale et naturelle du niveau moyen du lac	25
3.2.4. Origines supposées des hautes eaux	27
3.2.5. Une menace à contrôler et les premières mesures	30
3.2.6. Les corrections des Eaux du Jura (C.E.J.)	31
<b>3.3. La Thielle</b>	<b>34</b>
<b>4. Implantation humaine</b>	<b>36</b>
4.1. Contexte archéologique du bassin versant du lac de Neuchâtel	36
4.2. Les sites littoraux	44
4.3. La zone «exutoire du lac de Neuchâtel»	47
<b>5. Conclusion</b>	<b>49</b>

<b>MÉTHODOLOGIE D'UNE ÉTUDE GÉO-ARCHÉOLOGIQUE</b>	<b>53</b>
<b>1. Contexte environnemental : les documents existant</b>	<b>54</b>
<b>1.1. Cartes topographiques actuelles</b>	<b>54</b>
1.1.1. Les données originales	54
1.1.2. Le traitement	54
1.1.3. L'apport	56
<b>1.2. Les Cartes géologiques</b>	<b>56</b>
1.2.1. Les données originales	56
1.2.2. Le traitement	56
1.2.3. L'apport	58
<b>1.3. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT)</b>	<b>58</b>
1.3.1. Les données originales	58
1.3.2. Le traitement	58
1.3.3. L'apport	58
<b>1.4. Les photographies aériennes</b>	<b>61</b>
1.4.1. Les données originales	61
1.4.2. Le traitement	64
1.4.3. L'apport	64
<b>1.5. Images proche-infrarouge</b>	<b>64</b>
1.5.1. Les données originales	64
1.5.2. Le traitement	64
1.5.3. L'apport	68
<b>1.6. Les cartes historiques</b>	<b>68</b>
1.6.1. Les données originales	68
1.6.2. Le traitement	68
1.6.3. L'apport	71
- cartes digitalisées	71
- cartes complémentaires	77
<b>2. Etude archéologique : état des lieux</b>	<b>85</b>
<b>2.1. La zone exutoire</b>	<b>85</b>
<b>2.2. Les sites de référence</b>	<b>85</b>
2.2.1. Le site de Marin-Les Piécettes	85
2.2.2. Le site de Marin-La Tène	89

2.2.3. Le site de Marin-Pré de la Mottaz	91
<b>3. Méthodologie de l'étude sédimentologique</b>	<b>93</b>
<b>3.1. Sondages géologiques préexistants</b>	<b>93</b>
3.1.1. Les données originales	93
3.1.2. Intérêt pour la compréhension sédimentaire de la zone exutoire	98
<b>3.2. Prospections de terrain</b>	<b>100</b>
3.2.1. Sondages	100
- sondages à la pelle mécanique	100
- sondages à la tarière	101
- sondages dans le lac	101
- prélèvement et conservation des échantillons	101
3.2.2. Prospection par géophysique électrique	103
3.2.3. Situation des sondages et des panneaux électriques	104
- Carte d'occupation des sols : une aide à la détermination	104
- Situation des sondages	109
- Situation des panneaux géophysique	109
<b>3.3. Description des échantillons</b>	<b>110</b>
3.3.1. Observations macroscopiques des prélèvements	110
3.3.2. Observations microscopiques des prélèvements	110
3.3.3. Exoscopie des quartz	111
3.4. Analyses sédimentologiques	111
3.4.1. Analyse granulométrique	111
3.4.2. Analyse minéralogique	113
3.4.3. Dosage du calcaire total	114
3.4.4. Analyse de la matière organique	114

<b>SÉQUENCE DE RÉFÉRENCE : LE SITE DE MARIN-LES PIÉCETTES</b>	<b>117</b>
<b>1. La stratigraphie générale du site de Marin-Les Piécettes</b>	<b>120</b>
1.1. Transect NW-SE et Axe I	120
1.2. Coupe 3201NE	123
1.3. Coupe 2802W	126
1.4. Sondage 3206SE	129
1.5. Coupes 272-273W et 282W	130
1.5.1. coupe 282W	130
1.5.2. coupe 272-273W	130
<b>2. Analyses sédimentologiques</b>	<b>133</b>
<b>2.1. Description précise des coupes</b>	<b>133</b>
2.1.1. Les coupes 272-273W et 282W	134
2.1.2. La coupe du bac B4	138
2.1.3. La coupe du prélèvement L5	140
<b>2.2. Analyse granulométrique</b>	<b>142</b>
2.2.1. Les coupes 272-273W et 282W	142
- qualification des échantillons	142
- évolution granulométrique	144
2.2.2. La coupe du bac B4	146
- qualification des échantillons	146
- évolution granulométrique	147
2.2.3. La coupe du prélèvement L5	148
- qualification des échantillons	148
- évolution granulométrique	148
<b>2.3. Analyse minéralogique</b>	<b>149</b>
2.3.1. Les coupes 272-273W et 282W	149
2.3.2. La coupe du bac B4	151
2.3.3. La coupe du prélèvement L5	152
<b>2.4. Analyse de la matière organique</b>	<b>153</b>
<b>3. Environnements enregistrés à Marin-Les Piécettes</b>	<b>153</b>
3.1. Apport de la description précise des échantillons	153
3.2. Apport de l'étude granulométrique	156
3.3. Apport de l'étude minéralogique	156

<b>3.4. Apport de l'étude de la matière organique</b>	<b>158</b>
<b>4. Synthèse des enregistrements sédimentaires</b>	<b>158</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>166</b>

## **ZONE EXUTOIRE DU LAC DE NEUCHÂTEL** **167**

### **1. Analyse des séquences sédimentaires** **172**

#### **1.1 Périphérie du site de Marin-Les Piécettes** **172**

1.1.1. Axe VII 172

1.1.2. Axe II 172

1.1.3. Axe III 174

1.1.4. Axe VIII 175

1.1.5. Axe IV 175

1.1.6. Axe V 176

1.1.7. Axe VI 176

1.1.8. Axe IX N-S 179

1.1.9. Axe IX W-E 180

1.1.10. Axe XIV 180

#### **1.2. Périphérie du site de Marin-La Tène** **181**

1.2.1. Axes XII et Camping1998 181

1.2.2. Sondage 3799 184

- 3799A 185

- 3799B 185

- 3799C 186

1.2.3. Coupe 3798 186

1.2.4. Coupe 3801-N 188

1.2.5. Coupe 3801-S 188

1.2.6. Coupe 3802 188

1.2.7 Coupe 3803 191

#### **1.3. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz** **191**

1.3.1. Axe XI 191

1.3.2 Axe XIII 194

1.3.3. Axe X 194

1.3.4. En périphérie du site Marin-Prébit 197

- 3881	197
- S1 et S2	199
- F3, F4 et F5	199
1.3.5. Marin-Pré de la Mottaz	200
<b>1.4. Rive gauche, en aval du site de Marin-Pré de la Mottaz</b>	<b>201</b>
<b>1.5. Rive droite du canal de la Thielle</b>	<b>205</b>
1.5.1. Sondage Berne 1	205
1.5.2. Périphérie du profil I de Lüdi (1935)	207
- Sondage Berne 3	207
- Sondage Berne 2	207
- Sondage Berne 4	207
- Sondage Berne 5	208
1.5.3. Périphérie du profil II de Lüdi (1935)	208
- Sondage Berne 6	208
- Sondage Berne 7	208
- Sondage Berne 8	209
- Sondage Ründi 1	209
- Sondage Berne 9	211
- Sondage Berne 10	211
<b>2. Apports de la prospection géophysique</b>	<b>212</b>
<b>2.1. Principe de la tomographie électrique</b>	<b>212</b>
<b>2.2. Périphérie du site de Marin-La Tène</b>	<b>213</b>
2.2.1. Marin-Ep 3348W-le long du camping	213
2.2.2. Marin-Ep 3348W-Chemin du débarcadère Est	216
<b>2.3. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz</b>	<b>216</b>
2.3.1. Marin-Ep 3305-3348	216
2.3.2. Marin-Ep 3302NE	218
2.3.3. Marin-Ep 3348E	218
2.3.4. Marin-Ep 3244-2545W_Chemin de la Mottaz Est	219
<b>2.4. Rive gauche, aval du site de Marin-Pré de la Mottaz</b>	<b>219</b>
2.4.1. Thielle-Wavre 911 W	219
2.4.2. Theille-Wavre 911 centre	221
<b>2.5. Rive droite du canal de la Thielle</b>	<b>221</b>

<b>3. Cordon littoral et dune</b>	<b>221</b>
<b>3.1. Cordon littoral</b>	<b>221</b>
3.1.1. Site de Marin-Les Piécettes	223
3.1.2. Périphérie du site de Marin-Les Piécettes	224
3.1.3. Du site de Marin-La Tène au site de Marin-Pré de la Mottaz	224
<b>3.2. Dune de Witzwil</b>	<b>225</b>
3.2.1. Description de la séquence	228
3.2.2. Analyse granulométrique	230
- qualification des échantillons	230
- évolution granulométrique	231
- exoscopie de quartz	235
- étude de l'assemblage faunistique	235
<b>4. Conclusion</b>	<b>240</b>
<b>SYNTHÈSE ET DISCUSSION</b>	<b>241</b>
<b>1. Chronologie de la zone exutoire du lac de Neuchâtel</b>	<b>243</b>
1.1. Rive gauche	247
1.2. Rive droite	269
1.3. Les remplissages de chenaux	270
1.4. Le cas des cordons littoraux et des dunes	272
1.4.1. Les cordons littoraux	272
1.4.2. Les dunes	274
1.5. Conclusion	275
<b>2. Contexte géo-archéologique</b>	<b>275</b>
2.1. Première occupation	275
2.1.1. Axe VI (secteur PLP)	279
2.1.2. Axe IX-NS (secteur PLP)	279
2.2. Deuxième occupation	279
2.2.1. Axe VI (secteur PLP)	279
2.2.2. Axe IX-NS (secteur PLP)	279
2.3. Troisième occupation	279
2.4. Le site de Marin-La Tène	281
2.5. Quatrième occupation	284

<b>2.6. Marin-Prébit</b>	<b>284</b>
<b>2.7. Le site de Marin-Pré de la Mottaz</b>	<b>285</b>
<b>3. Validation des altitudes proposées</b>	<b>286</b>
3.1. Comparaison avec l'altitude des sites	286
3.2. Comparaison avec les altitudes proposées sur d'autres sites	289
<b>4. Origines des variations du niveau moyen du lac</b>	<b>293</b>
4.1. Origine climatique	293
4.2. Divagation de l'Aar	297
4.3. Phénomène local	297
<b>CONCLUSION</b>	<b>299</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>305</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>319</b>
<b>PLANCHES</b>	<b>351</b>

## **INTRODUCTION**



# INTRODUCTION

---

Depuis l'hiver 1853-54, de nombreux sites archéologiques littoraux ont été découverts au bord des lacs et des rivières subalpins, dont le lac de Neuchâtel. Les vestiges archéologiques apparaissent en bordure des lacs dès le retrait des glaciers à la fin de la dernière période glaciaire, vers 15 000 BP (Gaillard et Moulin, 1989). Les rives sont alors colonisées par l'homme comme l'attestent les campements magdaléniens de Hauterive-Champréveyres et Neuchâtel-Monruz (Leesch *et al.*, 2004). Puis l'occupation littorale du lac de Neuchâtel, de ses affluents et de son exutoire s'est poursuivie, malgré quelques périodes d'interruption, avec entre autre, l'apparition des stations lacustres. Les phases d'absence de sites lacustres peuvent être reliées, soit à des phases de non occupation des rives, soit à l'érosion et la non préservation des villages (Corboud et Pugin, 2002). Ces deux phénomènes sont liés aux changements environnementaux et plus particulièrement aux variations altitudinales du lac de Neuchâtel. Le contexte environnemental de nombreux sites, dont le site éponyme de Marin-La Tène, est encore méconnu malgré les nombreuses études réalisées. L'objectif de ce travail est donc d'apporter de nouvelles données sédimentologiques afin de préciser l'évolution environnementale du lac de Neuchâtel et plus particulièrement de sa zone exutoire. Cette zone est préférentiellement retenue, de par la présence de nombreux sites archéologiques du Néolithique à l'actuel, permettant de réaliser une étude géoarchéologique diachronique. La démarche d'une telle étude permet de mettre en évidence et de dater de façon la plus précise possible les interactions entre les événements naturels et les activités anthropiques révélatrices de changements plus globaux (Adams *et al.*, 2008; Arnaud-Fassetta, 2008; Berger *et al.*, 2000; Petit *et al.*, 2005). Ainsi, l'ambition de ce travail est d'apporter des éléments de compréhension quant aux variations environnementales de la zone exutoire du lac puis de comparer cette évolution à ce qui a été observé dans d'autres sites du lac et d'autres secteurs géographiques afin de proposer une origine aux variations observées (Magny, 2004).

Le premier travail a pour objectif de replacer le lac de Neuchâtel dans son contexte régional actuel et passé et ainsi de présenter les différents facteurs qui ont pu agir sur les variations environnementales du lac et de la Thielle moyenne. Puis, l'analyse et la compilation des données existantes au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG) permettront

de circonscrire plus précisément la démarche de terrain à suivre pour répondre au mieux à la problématique.

Un travail préliminaire à partir des relevés et des échantillons prélevés lors des fouilles du site de Marin-Les Piécettes permet de proposer une première séquence sédimentaire liée à l'enregistrement des variations du niveau du lac de Neuchâtel dans sa zone exutoire. Les descriptions macroscopiques et microscopiques, ainsi que les analyses granulométriques, minéralogiques et de la matière organique, permettent de replacer les niveaux rencontrés dans leur environnement de dépôt. Les datations dendrochronologiques et radiochronologiques réalisées sur des éléments provenant de niveaux archéologiques ou de couches sédimentaires naturelles, situent ces enregistrements dans un cadre chronologique.

Cette séquence est complétée par la réalisation de coupes et sondages dans toute la zone exutoire. Les données issues de sites récemment fouillés comme Marin-La Tène, Marin-Prébit et Marin-Pré de la Mottaz, sont alors intégrées à ce travail. Complétant ces sondages, des panneaux électriques ont été réalisés afin de cartographier les chenaux et les cordons littoraux. Comme précédemment, divers datations sont prises en compte ou réalisées afin de situer chronologiquement les observations.

La dernière partie synthétise les observations de la zone exutoire du lac de Neuchâtel, afin de proposer une chronologie de l'enregistrement sédimentaire, que ce soit pour le cours de la Thielle ou pour le lac. Une comparaison avec les données issues de différents sites archéologiques littoraux du lac de Neuchâtel complète ce travail, avant de proposer des hypothèses relatives à l'origine des changements environnementaux de la zone exutoire et du lac.

***Remarque :***

Dans ce manuscrit, les âges donnés par la dendrochronologie sont indiqués en années av. J.-C. ou ap. J.-C., ceux livrés par les analyses au radiocarbone sont indiqués en années cal BC ou cal AD. Ces derniers sont calibrés en utilisant Calib Rev 5.0.1. et sont donnés à  $2\sigma$ . Seuls quelques âges apparaissent en BP lorsqu'ils sont extraits de publications sans être calibrés.

## **1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET HISTORIQUE**



# 1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET HISTORIQUE

---

Ce chapitre a pour objectif de replacer le lac de Neuchâtel dans son contexte régional actuel et passé. Cette présentation est complétée par une étude des paramètres agissant sur les variations du niveau du lac et par conséquent sur les enregistrements sédimentaires. Ces facteurs peuvent être naturels, comme le climat, ou anthropiques, comme la colonisation du bassin versant du lac et les aménagements permettant de limiter les variations saisonnières de son niveau.

En avant-propos de cette présentation régionale et de la zone d'étude, il est nécessaire de préciser qu'en 1902 l'altitude de la Pierre du Niton, qui sert d'altitude référence pour les relevés topographiques en Suisse, a été revue. Elle est passée de 376,86 m à 373,60 m entraînant une baisse relative d'altitude de 3,26 m. Cette nouvelle référence est intégrée progressivement dans les mises à jour des cartes issues de l'atlas Siegfried jusqu'en 1927 voire 1940. Toutes les altitudes mentionnées dans ce travail sont rapportées à la base utilisée actuellement, soit 373,60 m.

## 1. Cadres géomorphologique et géologique

Le lac de Neuchâtel fait partie, avec les lacs de Morat et Bienne, des grands lacs subjurassiens. (Fig. 1.1). Ils sont parallèles à l'orientation générale nord-est/sud-ouest de la chaîne du Jura. Ils sont creusés dans les formations tertiaires tendres du bassin molassique qui correspond à une zone de subsidence encore active entre les Alpes et le Jura (Gubler *et al.*, 1981). Les flancs nord-ouest des lacs de Neuchâtel et de Bienne s'appuient sur les premiers contreforts constitués des calcaires crétacés de l'arc intérieur du Jura (Fig. 1.2). Ces trois lacs sont séparés par une zone plane, composée de sédiments récents, alluvions et tourbes, d'altitude similaire au niveau d'eau. Les collines se situant entre les lacs - Vully, Jolimont - sont quant à elles constituées de molasse oligo-miocène.

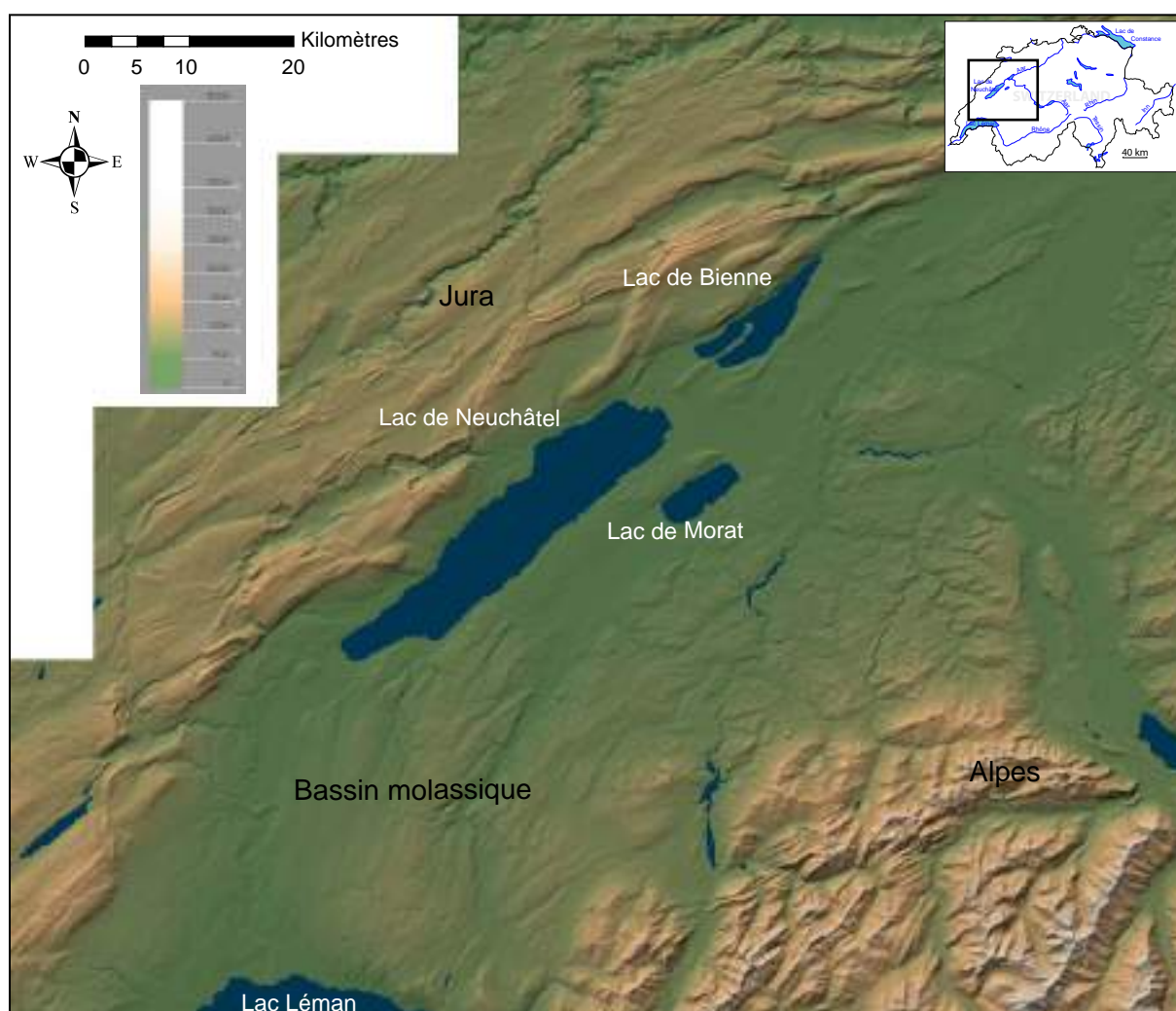


Fig. 1.1 : Contexte topographique de la région des trois lacs subjurassiens (Atlas de la Suisse interactif © 2000 swisstopo).

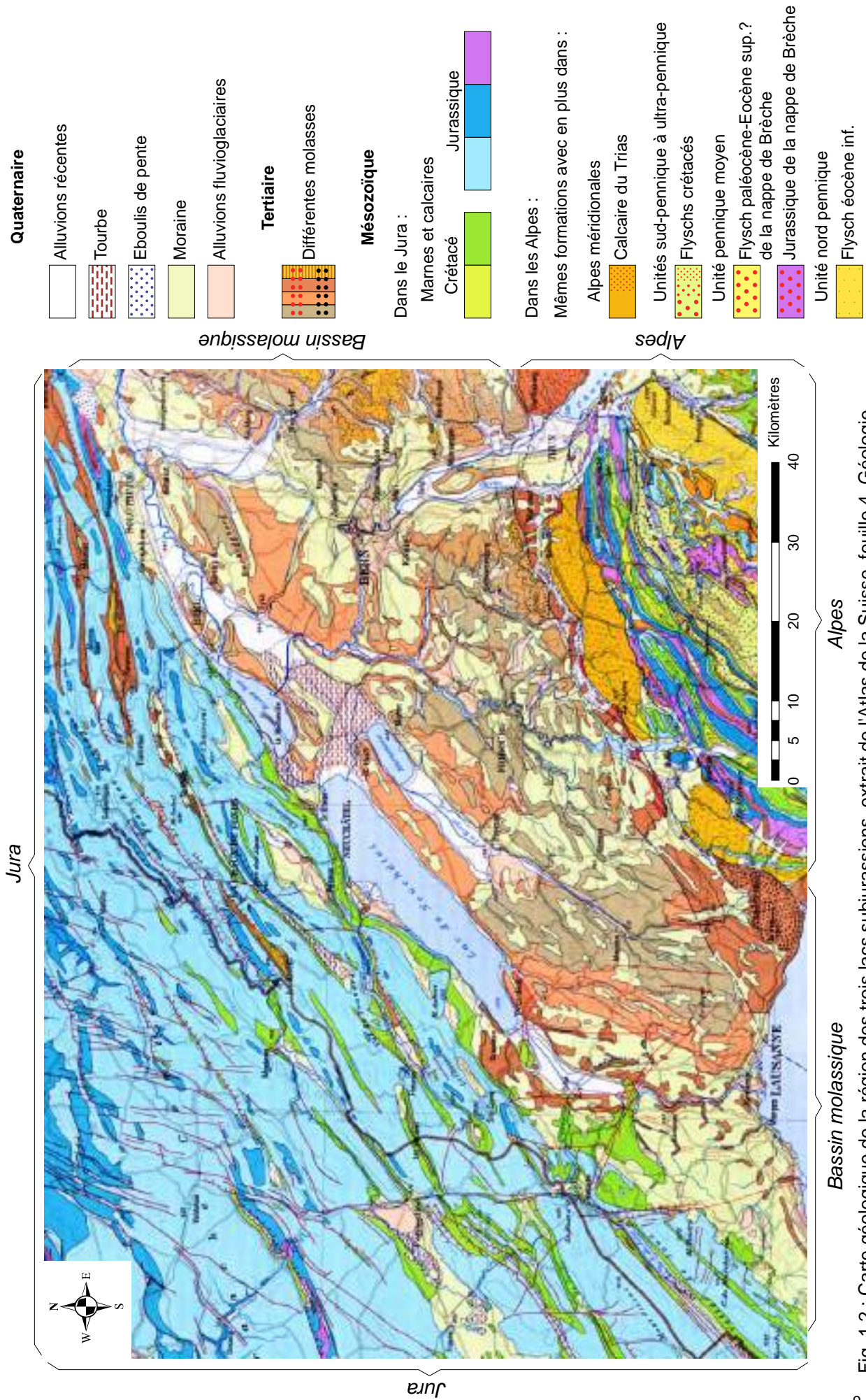


Fig. 1.2 : Carte géologique de la région des trois lacs subjurassiens, extrait de l'Atlas de la Suisse, feuille 4, Géologie.

La zone exutoire du lac de Neuchâtel, située à l'extrémité NE de ce dernier, est formée principalement d'une plaine d'altitude comprise entre 429,30 m (altitude moyenne actuelle du lac de Neuchâtel) et 433 m. Cette étendue est constituée d'alluvions lacustres récentes et de tourbes (Fig. 1.3 ; Becker et Ramseyer, 1972-73; Meia et Frei, 1974-76; Schär *et al.*, 1971; Suter et Lüthi, 1969) qui recouvrent des dépôts limno-palustres : sables, limons et argiles lacustres, tourbes et sédiments marécageux (Becker et Ramseyer, 1972-73; Lüdi, 1935). Enfin, de la craie lacustre serait présente sous la tourbe (Schär *et al.*, 1971).

Des dunes et des cordons littoraux sub-parallèles au littoral actuel apparaissent au milieu et en bordure de cette plaine. Si certains auteurs utilisent indifféremment ces deux termes, d'autres distinguent granulométriquement les dunes sableuses des cordons littoraux graveleux. Pour cette étude, la distinction est faite entre les deux termes : une dune désigne une formation constituée de sables bien triés alors qu'un cordon littoral est composé de graviers et de galets. Concernant les dunes, cinq sont cartographiées sur les cartes géologiques : quatre entre le lac de Neuchâtel et les communes de Gampelen et Ins - Witzwil Düne, Nussdorf Düne, Rundi Düne et Isleren Düne<sup>1</sup> - et une à l'ouest de la Thielle (Fig. 1.3 ; Becker et Ramseyer, 1972-73; Meia et Frei, 1974-76; Schär *et al.*, 1971; Suter et Lüthi, 1969). Lüdi (1935, p. 188) mentionne une dune supplémentaire (Seedüne) en bordure de lac mais ne la fait pas apparaître sur la carte des sols de la planche 10 du même ouvrage (Fig. 1.3). Pour toutes ces dunes, les auteurs ne sont d'accord ni sur leur minéralogie, quartzique (Schardt, 1901) ou calcaire (van der Meer, 1976), ni sur le mode de leur mise en place : transport éolien (Piaget, 1913; Schardt, 1901; Sebag *et al.*, 2002), alluvial grâce à l'Aar (van der Meer, 1976) ou lacustre. Concernant les cordons littoraux, un seul est cartographié sur les cartes géologiques alors que Lüdi (1935, p. 188) en mentionne deux, à savoir les cordons de Kieswall et de Heidenweg (Fig. 1.3). Vouga (1923), en décrivant ce dernier, explique pourquoi il n'apparaît pas sur les cartes géologiques : "*...l'ancienne levée de galets, celle qui s'était déjà formée à l'époque de La Tène et dont les restes visibles sous les eaux avaient reçu des pêcheurs le nom de Heidenweg. Celle-ci s'étendait du môle de Préfargier dans la direction des nouveaux môles de la Thièle. Aujourd'hui cette levée de galets immergés est arasée et ne peut plus s'apercevoir nettement comme c'était le cas, il y a encore une vingtaine d'années*". Mais, la concordance entre le cordon de la carte géologique et ceux délimités par Lüdi n'est pas évidente. En effet, les délimitations ne coïncident pas exactement entre le cordon de la carte et le cordon de "Kieswall" de Lüdi, qui est le plus proche géographiquement (Chalumeau, 2005a). Le problème des cordons littoraux (mise en place, chronologie,...) étant

---

<sup>1</sup> L'Isleren Düne est, sur la carte de Lüdi (1935), la continuité de la Dählisand Düne.

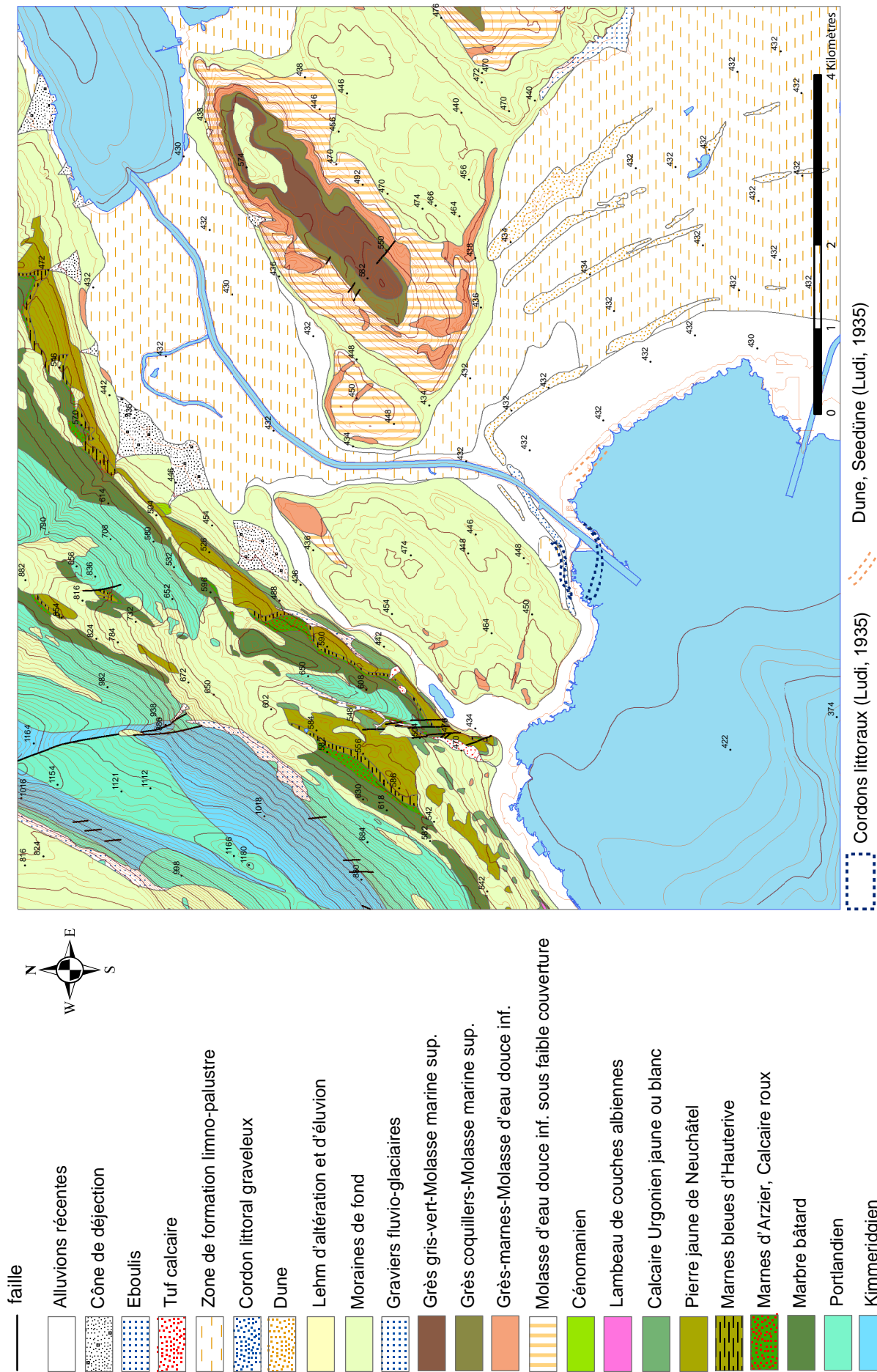


Fig. 1.3 : Carte géologique du secteur d'étude d'après Becker et Ramseyer (1972-73), Meia et Frei (1974-76), Schär et al. (1971) et Suter et Lüthi (1969).

traité dans le chapitre 5 de ce travail, seuls le cordon Heidenweg et celui de la carte géologique sont représentés sur la figure 1.3.

La butte de Wavre et celle de Niederhölzli qui s'appuie sur la colline de Jolimont, forment à la sortie du lac de Neuchâtel, un entonnoir dont la partie la plus étroite mesure près de 500 m de large. Ce resserrement se situe au niveau de la commune de Thielle (Fig. 1.3). Ces formes molassiques allongées selon l'axe NE-SW, recouvertes partiellement de moraine de fond würmienne, peuvent être interprétées comme des drumlins. En aval de ces buttes, la plaine s'évase entre les formations du Jura et la bordure nord-ouest de la colline de Jolimont. Les formations du Jura sont partiellement recouvertes de mollasse ou de moraine de fond. A noter, la présence du petit lac du Loclat encaissé entre le Jura à l'Ouest et la butte de Wavre à l'Est. L'altitude de ce plan d'eau avoisine actuellement 431,50 m mais il a été relié au lac de Neuchâtel à certaines périodes (Filippi, 1996; Hadorn, 1994). Il faut encore mentionner la présence d'un relief sous-lacustre, le "récif de Marin", entre Neuchâtel-Monruz à l'Ouest et le rivage de Marin-Epagnier à l'Est (Arnold, 1993). Ce haut-fond morainique parsemé de gros blocs erratiques mesure une centaine de mètres de large et atteint l'altitude 427,5 m. Ainsi, durant les périodes de bas niveau du lac de Neuchâtel, cette formation pouvait servir de brise-lames protégeant les rives de St. Blaise, et si la baisse était plus importante, le petit lac de Rouges-Terres apparaissait en arrière du récif. Le cordon de Heidenweg a dû jouer un rôle protecteur semblable dans la baie de La Tène.

## **2. Cadre climatique**

Les conditions météorologiques et climatiques régionales influent sur les précipitations ainsi que sur les niveaux et les mouvements du lac de Neuchâtel - houle et courants sous lacustres - et par conséquent sur les conditions locales de sédimentation. Aussi, pour mieux appréhender l'évolution des environnements sédimentaires, le contexte climatique de la région doit être étudié depuis la formation du lac.

### **2.1. Le climat actuel**

Le climat de Neuchâtel est de type tempéré avec une diminution de la composante océanique, due à sa position centrale européenne. La température annuelle de l'air varie entre 0 °C en janvier et 18,6 °C en juillet, établissant ainsi une moyenne de 9,2 °C pour la période 1901-1980 (Lambert, 1999).

Les vents dominants sont sensiblement parallèles aux rives du lac de Neuchâtel (SW-NE), conditionnés par la présence du Jura. Les principaux sont : "Le Vent" de direction W-SW et "La Bise" de direction E-NE. A ceux-ci s'ajoute "Le Joran", vent thermique de direction N-NW. Les vents soufflent principalement du sud-ouest et du nord-est en hiver alors qu'en été aucune direction ne prédomine (Dufour et Robin, 1982). La rose des vents à Neuchâtel pour la période 1978-1990 montre que les vents faibles (inférieurs à 2 m/s) proviennent plus fréquemment du nord-est alors que c'est l'inverse pour les vents forts (Fig. 1.4 ; Lambert, 1999). La zone d'étude de ce travail, se situant à l'extrémité nord-est du lac, est exposée à la houle générée par les vents de Sud-Ouest. Ces vents à fetch relativement long (supérieur à 30 km) forment des vagues de forte amplitude provoquant alors des turbulences dans l'eau. Lorsque la lame d'eau est de faible épaisseur, comme au niveau de la beine, les particules fines des sédiments déjà déposés vont être remises en suspension. De plus, le déferlement des rouleaux au contact de la rive va trier les éléments grossiers (galets et graviers) pour former des cordons littoraux.

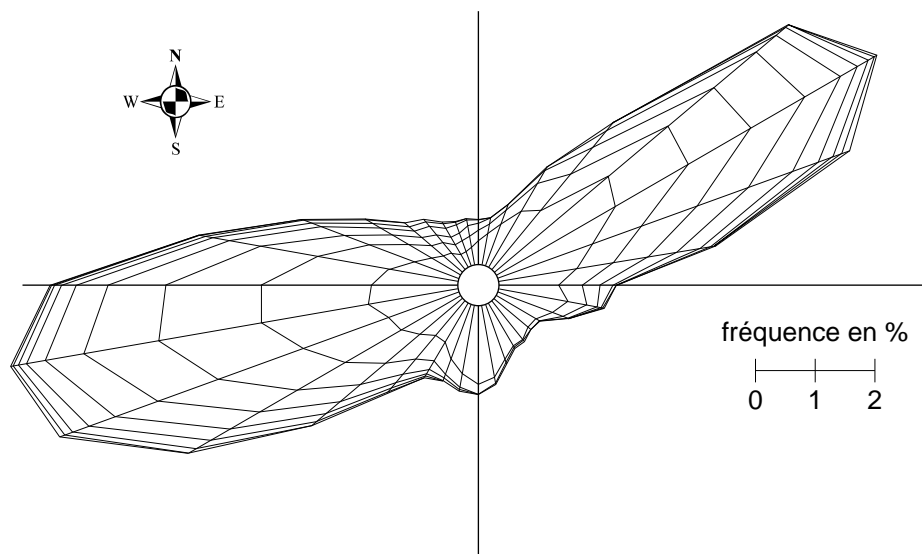


Fig. 1.4 : Rose des vents établie pour la période de 1978-1990 à la station de Neuchâtel ; le polygone intérieur représente la fréquence des vents d'intensité comprise entre 1 et 2 m/s, le suivant les vents compris entre 2 et 3 m/s et ainsi de suite d'après Lambert (1999).

Cette relation entre le vent, la turbulence des eaux et le transport des sédiments témoigne de l'importance de l'impact du climat sur le lac. Pour cette étude, traitant de l'implantation humaine en liaison avec l'évolution du niveau du lac, il apparaît alors nécessaire d'étudier l'évolution climatique du secteur au cours de l'Holocène.

## 2.2. La variabilité climatique à l'Holocène en Europe et sur le Plateau suisse

Les enregistrements des températures des 400 000 dernières années, reconnues par analyses isotopiques de carottes de glace forées en Antarctique, présentent une alternance de longues périodes froides d'environ 80 000 ans (stades glaciaires) et de périodes plus courtes, de 10 à 20 000 ans, plus chaudes (stades interglaciaires) (Fig. 1.5 ; Jouzel *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 1999). L'alternance glaciaire/interglaciaire est régulière, les stades interglaciaires se produisant en moyenne tous les 100 000 ans, correspondant au cycle d'excentricité de Milankovitch. L'Holocène, stade interglaciaire actuel, ne fait donc pas exception. Concernant le dernier cycle glaciaire/interglaciaire, approximativement de 100 000 ans à nos jours, les températures de la période glaciaire du Würm sont en moyenne 5 °C plus basses que celles de l'Holocène (Fig. 1.6 ; Grootes *et al.*, 1993). De plus, cette période glaciaire est caractérisée par une extrême irrégularité du climat avec des fluctuations abruptes de grande amplitude des températures alors que l'Holocène semble une période stable d'un point de vue climatique (Deconinck, 2006).

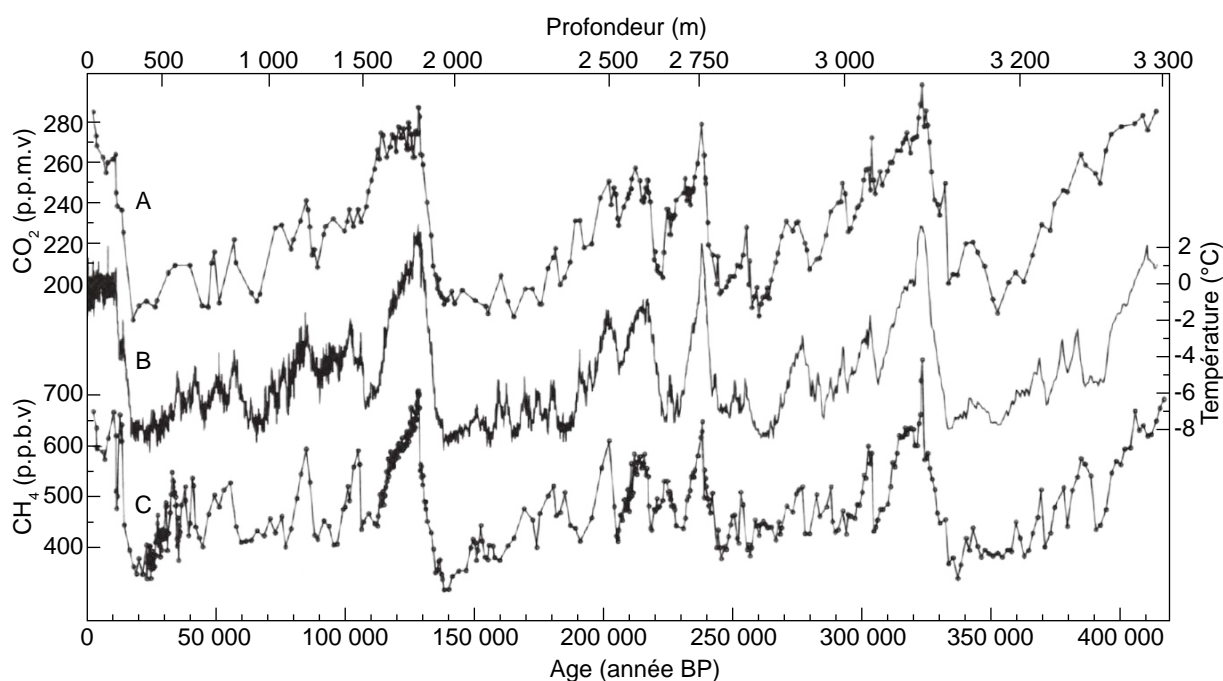


Fig. 1.5 : Variations de température déduites des mesures de  $\delta D$  de la glace (B) et fluctuation des concentrations en dioxyde de carbone (A) et méthane (C) contenus dans les bulles d'air scellées dans la glace de la carotte de Vostok d'après Petit *et al.* (1999).

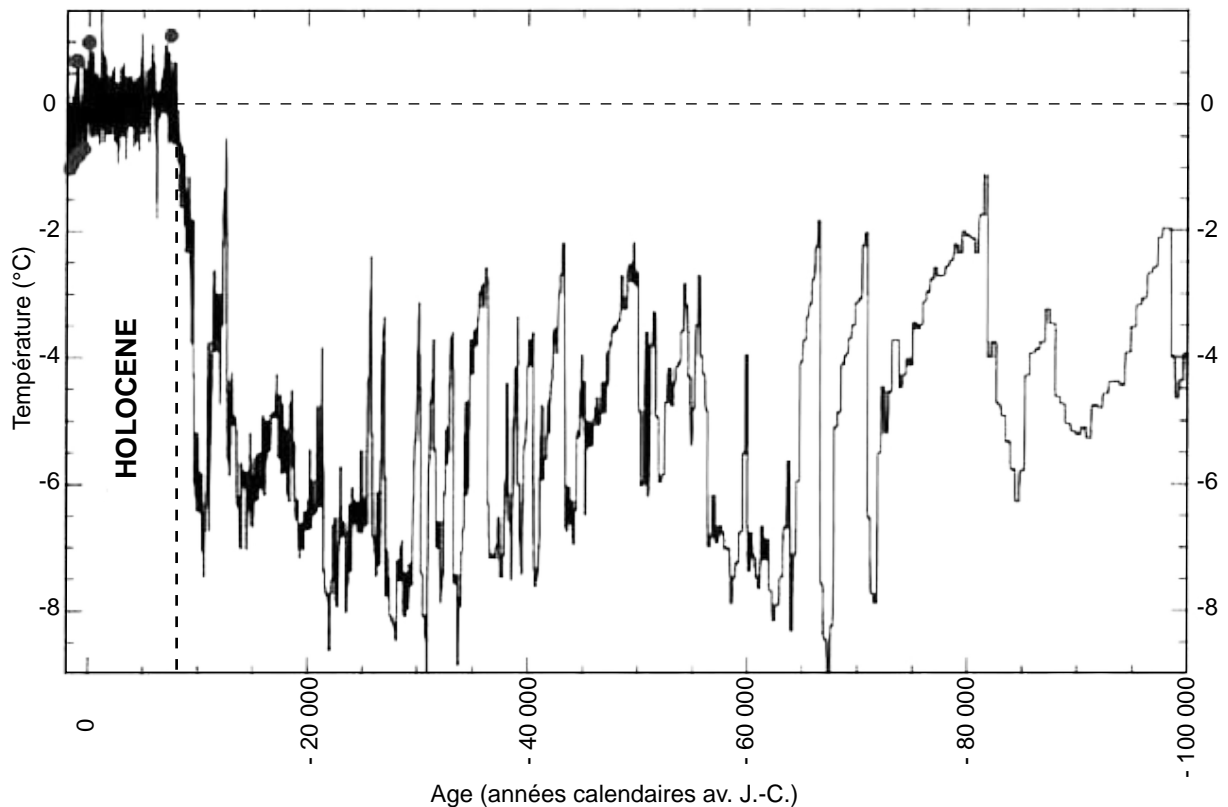


Fig. 1.6 : Evolution de la température mesurée, à partir du  $\delta^{18}\text{O}$  de la glace dans la carotte de GISP2, au cours des 100 000 dernières années d'après Grootes *et al.* (1993). Le zéro correspond à la température en 1950. Les variations de température au cours de l'Holocène sont inférieures de presque un ordre de grandeur par rapport à celles des périodes glaciaires.

Toutefois, malgré cette relative stabilité du climat de l'Holocène, des variabilités climatiques ont été identifiées à différentes échelles de temps. A l'échelle de plusieurs milliers d'années, deux périodes climatiques influencées principalement par les paramètres orbitaux de la Terre se distinguent (Bradley, 2003). La première, appelée "Maximum Thermique de l'Holocène" (MTH), s'étend de 8 000 à 4 500 cal. BP. Elle correspond à un maximum d'insolation estivale à 60 °N et se traduit par des températures "élevées" au Groenland et en Scandinavie (Heikkilä et Heikki, 2003; Johnsen *et al.*, 2001). La période qui lui succède, parfois appelée "Néoglaciation", est caractérisée par une baisse de l'insolation estivale, entraînant une diminution progressive des températures estivales et une augmentation des précipitations en Europe du Nord, principalement en bordure de l'Océan Atlantique (Barber *et al.*, 2003). A partir de 4 700 cal. BP, des épisodes d'extension de glace de mer arctique vont avoir lieu jusqu'au sud du Groenland, zone jamais atteinte durant le MTH (Jennings *et al.*, 2002). Mais ce schéma est fondé sur des enregistrements situés au-delà de 50 °N et ne peut être appliqué à l'ensemble de l'Europe. En effet, l'étude palynologique réalisée par (Davis *et al.*, 2003), afin de déterminer les températures moyennes annuelles ainsi que celles des mois les plus chauds et des plus froids, permet de distinguer six zones géographiques sur l'ensemble de l'Europe (Fig. 1.7). L'Europe

Centrale Ouest (CW), qui englobe les chaînes du Jura et des Alpes ainsi que le Plateau suisse, a connu un climat stable depuis 7 000 ans avec des températures moyennes annuelles constantes depuis 6 500 ans. Les seules tendances observables durant cette période sont une augmentation des températures hivernales de 0,5 °C et une baisse de 0,5 °C des températures estivales. Par comparaison, l'évolution des températures est semblable en Europe du Nord-Ouest (NW) mais avec des amplitudes trois à quatre fois plus importantes : les températures d'hiver ont augmenté de ~ 2 °C alors que celles des mois d'été ont diminué de ~ 1,5 °C. Par ailleurs, l'Europe du Nord-Ouest a subi une baisse des températures moyennes annuelles de 0,5 °C depuis 4 200 ans (Davis *et al.*, 2003). Ainsi, les changements climatiques à long terme, appréhendés par les variations de températures, apparaissent plus marqués en Europe du Nord-Ouest qu'en Europe Centrale Ouest.

L'amplitude des variations séculaires à pluriséculaires observables sont identiques, à plus ou moins 1 °C, entre ces deux régions. Ces changements climatiques sont enregistrés dans les Alpes, le Jura et le Plateau suisse par les fluctuations de la *timberline* (Haas *et al.*, 1998), des langues glaciaires (Hormes *et al.*, 2001; Patzelt, 1977) et du niveau des lacs jurassiens et subalpins (Magny, 1991; 1995b; 2004). Dès 1973, (Denton et Karlén, 1973) mettent en parallèle les périodes de développement de glace en Amérique du Nord et en Scandinavie avec celles de faible activité solaire déduites des fortes valeurs de  $^{14}\text{C}$  résiduel<sup>2</sup>. En Europe Centrale Ouest, Magny (1993; 1995b) corrèle les variations du niveau des lacs jurassiens, subalpins et du Plateau suisse avec les fluctuations des glaciers alpins et les variations du  $^{14}\text{C}$  résiduel. Les lacs réagissant aux deux composantes principales du climat que sont les températures et les précipitations, un refroidissement climatique se traduit en Europe Centrale Ouest par une augmentation du niveau des lacs (Magny, 1995a; 1995b). En 1997, Bond *et al.* (1997) mettent en évidence la récurrence d'épisodes de débâcle d'icebergs en Atlantique ("*Ice Rafted Debris events*") et postulent que ces événements sont liés à des variations climatiques de l'hémisphère nord. Cette hypothèse se vérifie puisque les "*IRD events*" sont contemporains des périodes de minima d'activité solaire (Bond *et al.*, 2001) et des diminutions des précipitations en Norvège (Nesje *et al.*, 2000). Afin d'expliquer le paradoxe entre une diminution des précipitations en Europe du Nord (Nesje *et al.*, 2000) et une augmentation des niveaux des lacs en Europe Centrale Ouest (Magny,

---

<sup>2</sup>  $^{14}\text{C}$  résiduel : la teneur en  $^{14}\text{C}$  de l'atmosphère varie dans le temps en fonction de l'intensité du champ magnétique bipolaire terrestre et de l'activité solaire qui tend à dévier le rayonnement cosmique à l'origine de la création du  $^{14}\text{C}$  atmosphérique. En retranchant les effets induits par la fluctuation du champ géomagnétique au  $\Delta^{14}\text{C}$  (teneur en  $^{14}\text{C}$  atmosphérique lors de la mort de l'échantillon exprimé par convention en écart par rapport à la teneur en  $^{14}\text{C}$  atmosphérique en 1950), nous obtenons la teneur de l'atmosphère en  $^{14}\text{C}$  résiduel qui traduit l'activité solaire. Ainsi, une valeur de  $^{14}\text{C}$  résiduel forte correspond à une activité solaire faible et vice versa (d'après Stuiver et Braziunas, 1993).

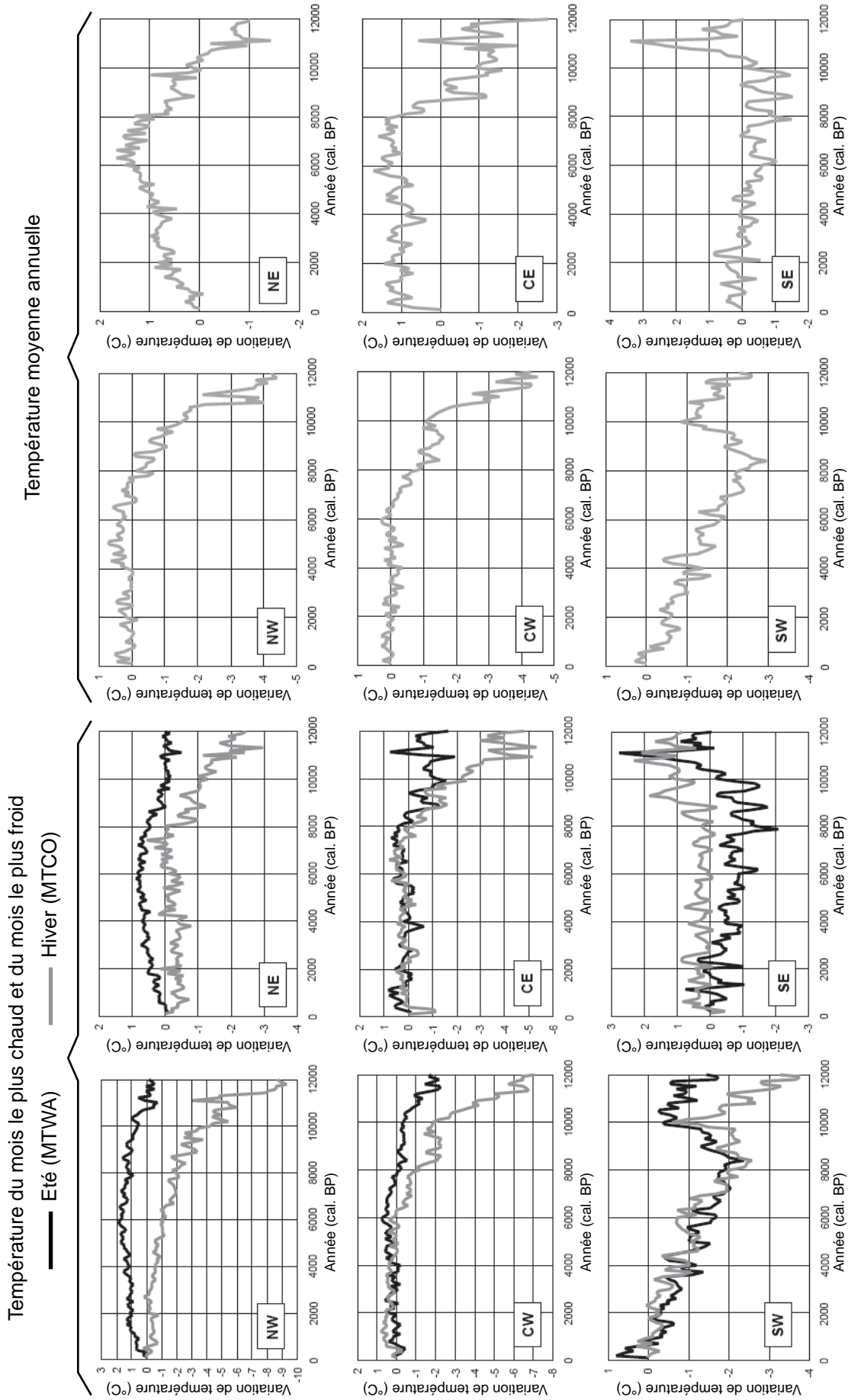


Fig. 1.7 : Reconstitution palynologique des températures du mois le plus chaud (MTWA), du mois le plus froid (MTCO) et de la température moyenne annuelle (TANN) de six régions d'Europe au cours de l'Holocène (Davis et al., 2003).

1995a; 1995b) durant les périodes de refroidissement, Magny et Bégeot (2004) et Magny *et al.* (2003) proposent un modèle intégrant les données climatiques de ces deux régions ainsi que celles de régions plus méridionales. Ce modèle permet de discuter plus particulièrement de la répartition géographique et de l'enregistrement de l'événement froid de 8 200 cal. BP enregistré au Groenland et en Europe (Alley *et al.*, 1997). Il apparaît que les événements "froids" de l'Holocène, marqués par des "IRD events" en Atlantique Nord, se traduisent par des périodes sèches en Europe du Nord (> 50 °N) et du Sud (< 43 °N) et une augmentation des précipitations associée à une diminution des températures estivales en Europe Centrale (Fig. 1.8 et 1.9). Cette répartition serait due à une augmentation des vents d'ouest sur l'Europe Centrale, vents qui apportent de l'humidité de l'Océan Atlantique nord, au détriment de l'Europe du Nord et du Sud (Boessenkool, 2001; Magny *et al.*, 2007).

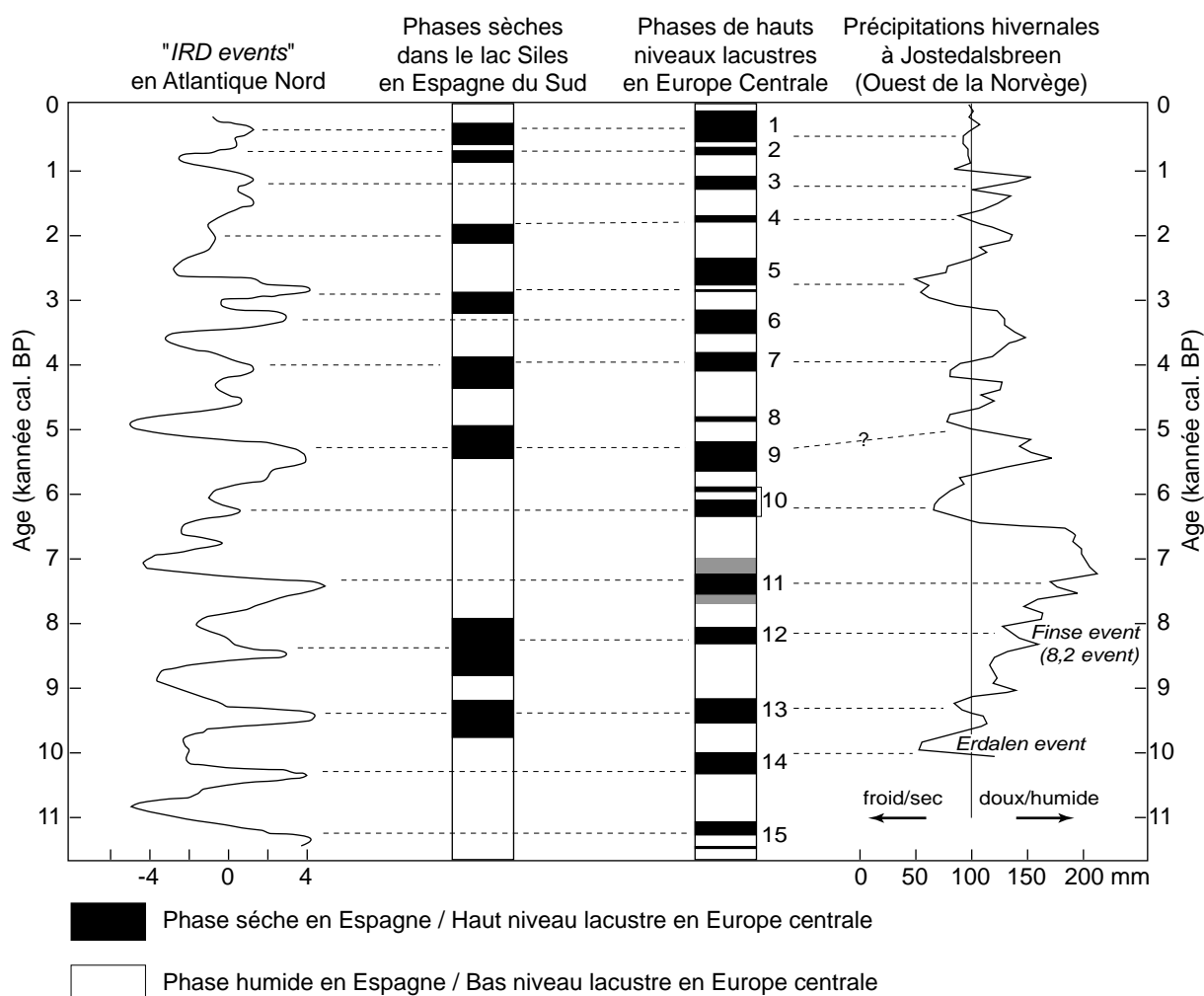


Fig. 1.8 : Comparaison de l'événement des "IRD events" en Atlantique Nord (Bond *et al.*, 2001) avec les enregistrements hydrologiques du lac Siles, Espagne du Sud (Carrion, 2002), du Jura, des Préalpes françaises et du Plateau suisse (Magny, 2004) et du nord ouest de la Norvège (Nesje *et al.*, 2000), d'après Magny *et al.* (2003). 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).

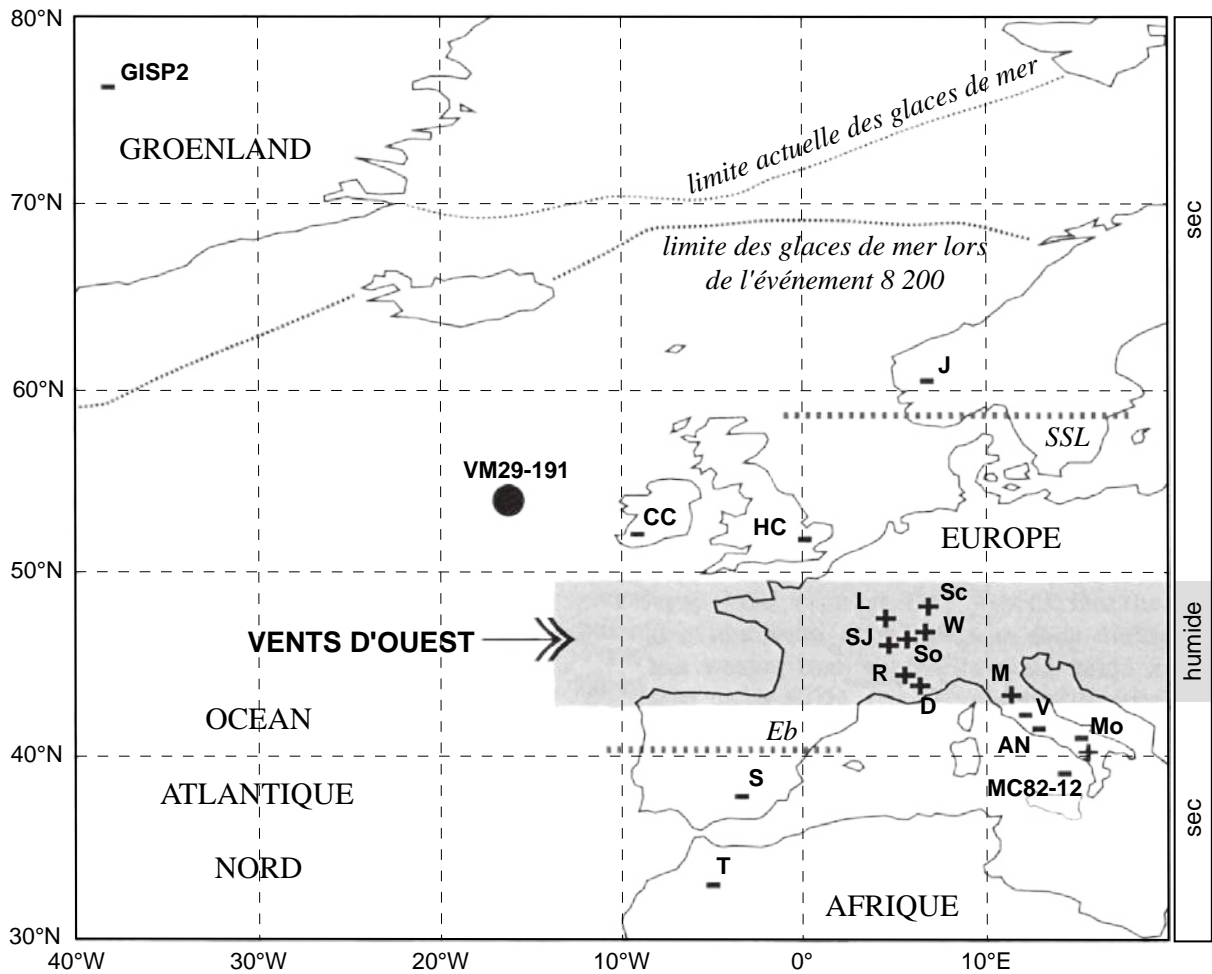


Fig. 1.9 : Comparaison de la signature hydrologique de "l'événement 8 200" en Europe. Cet événement est caractérisé par une accentuation des précipitations en Europe centrale (signes +) et par une diminution des précipitations en Europe du Nord et du Sud (signes -) alors que la glace de mer progresse vers le sud de l'Atlantique Nord. Il y aurait intensification des vents d'ouest humides sur l'Europe centrale. D'après Magny *et al.* (2003).

Ainsi, pour le lac de Neuchâtel, situé dans la région "Europe Centrale", un refroidissement du climat au cours de l'Holocène se traduit par une élévation du niveau de l'eau alors qu'un réchauffement entraîne une baisse du niveau lacustre.

## 3. Cadre hydromorphologique du lac de Neuchâtel

### 3.1. Hydromorphologie du lac

#### 3.1.1. Morphologie

Les caractéristiques morphométriques du lac ont varié au cours du temps. Actuellement, sa superficie est de 214,6 km<sup>2</sup>, sa longueur de 38,3 km et sa largeur moyenne de 5,69 km avec un maximum de 8,12 km. La cote moyenne du plan d'eau est de 429,31 m. Si sa plus grande profondeur atteint 153 m, sa profondeur moyenne n'est que de 69 m (Sollberger, 1974).

Comme la majorité des lacs du Plateau suisse, du Jura et des Préalpes savoyardes, le lac de Neuchâtel est un lac à beine (Fig. 1.10 ; Forel, 1892; Knapp *et al.*, 1905; Magny, 1978). Cela signifie qu'il est constitué d'une terrasse littorale submergée (blanc-fond), d'un talus et d'une plaine bathyale (Kübler *et al.*, 1979; Quartier, 1948). La beine s'étend sur près de 3 km de large au niveau de l'extrémité aval du lac. Les contours des rives sont relativement simples, la seule proéminence importante correspond au delta de l'Areuse sur la rive Nord-Ouest du lac. Les autres affluents n'apportent pas assez d'éléments pour former un cône de déjection conséquent (Quartier, 1948). Le fond du lac présente une morphologie particulière : la Motte, plateau de molasse immergé, culminant à 421 m, soit 8 m en-dessous du niveau actuel du lac qui sépare ainsi deux vallées lacustres, parallèles à l'orientation principale du lac. Ce plateau présente une certaine analogie morphologique avec les collines émergées de Vully, de Jolimont et la presqu'île Saint Pierre.

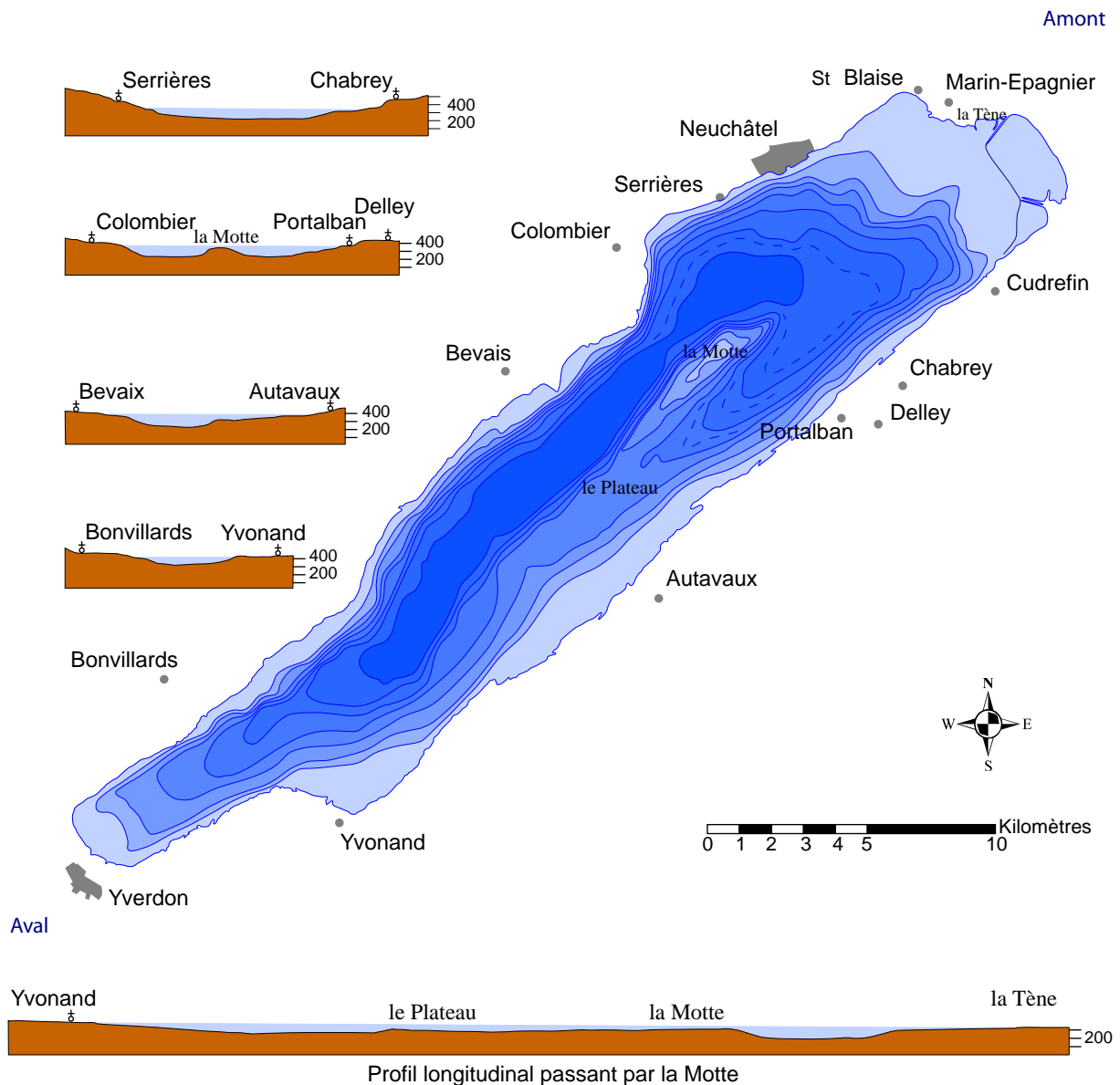


Fig. 1.10 : Topographie et profils transversaux schématiques du lac de Neuchâtel d'après Knapp *et al.* (1905).

### 3.1.2. Hydrologie simplifiée

#### - Hydrologie du lac de Neuchâtel

Le lac de Neuchâtel est un lac oligotrophe de type monomictique chaud. Les eaux de ce lac carbonaté transitent dans le lac de Biemme par la Thielle. Le profil de ce cours d'eau est divisé en deux zones : la Thielle moyenne, exutoire du lac de Neuchâtel et affluent du lac de Biemme, et la Thielle inférieure, exutoire du lac de Biemme. Ses eaux rejoignent ensuite le Rhin par l'intermédiaire de l'ancien cours de l'Aar. Le temps moyen de résidence de l'eau dans le lac de Neuchâtel est de 8 ans. La Thielle moyenne, en raison de ses caractéristiques hydrologiques

et de sa relation étroite avec les implantations anthropiques, est présentée séparément des caractéristiques hydrologiques du lac.

### - Le bassin d'alimentation du lac de Neuchâtel

Le bassin d'alimentation du lac de Neuchâtel a une superficie de 2 672 km<sup>2</sup> (Liechti, 1994; Quartier, 1948). Il culmine à 1 680 m (Mont-Tendre) alors que son altitude moyenne n'est que de 780 m (Fig. 1.11). Le rapport entre la superficie du lac et celle de son bassin d'alimentation est de 0,1. Cela signifie que les apports du bassin versant en eau, en matériaux dissous et particuliers dominent les apports atmosphériques et règlent l'essentiel du fonctionnement de l'écosystème lacustre (bilan hydrique, sédimentation, minéralisation, etc.).

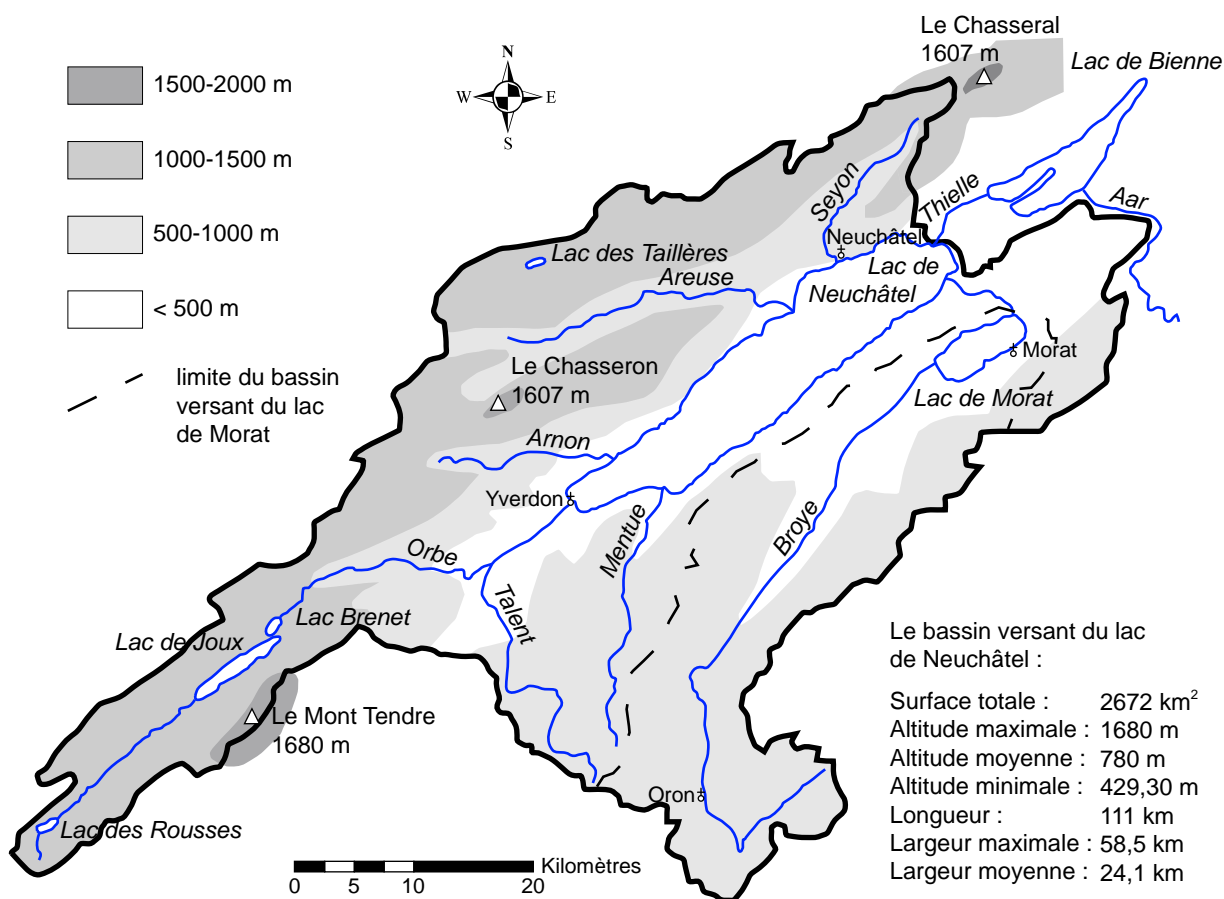


Fig. 1.11 : Topographie et réseau hydrographique du bassin versant actuel du lac de Neuchâtel d'après Lambert (1999) et Schwalb (1992).

Les précipitations varient entre 1 000 et 1 100 mm par an sur le littoral du lac de Neuchâtel mais atteignent en moyenne 1 600 mm à la station de Chaumont, située à 1 132 m d'altitude. Ainsi la moyenne annuelle des précipitations sur le bassin versant du lac de Neuchâtel est de

1 220 mm (Quartier, 1948). L'évaporation réelle annuelle est comprise entre 380 et 520 mm au niveau du lac (Mathey, 1976). De ce fait, 60 à 70 % de l'eau fluviale arrivent au lac.

Les systèmes d'écoulement rencontrés dans le bassin hydrographique sont conditionnés par les grands traits de la géologie régionale. En effet, les deux tiers de la superficie totale de ce bassin se situent au nord-ouest et sont constitués des terrains calcaires et marno-calcaires plissés du Jura, engendrant un écoulement de type karstique (Fig. 1.12 ; Persoz *et al.*, 2004). En revanche, au sud-est, dans les terrains constitués de grès, marnes et conglomérats molassiques, l'écoulement est superficiel. Cette différence de lithologie des substrats n'entraîne pas de différence appréciable de la teneur en bicarbonate des eaux des affluents (Portner, 1951). Mais, les eaux ayant coulé sur le plateau molassique sont relativement plus chargées en fines particules solides.

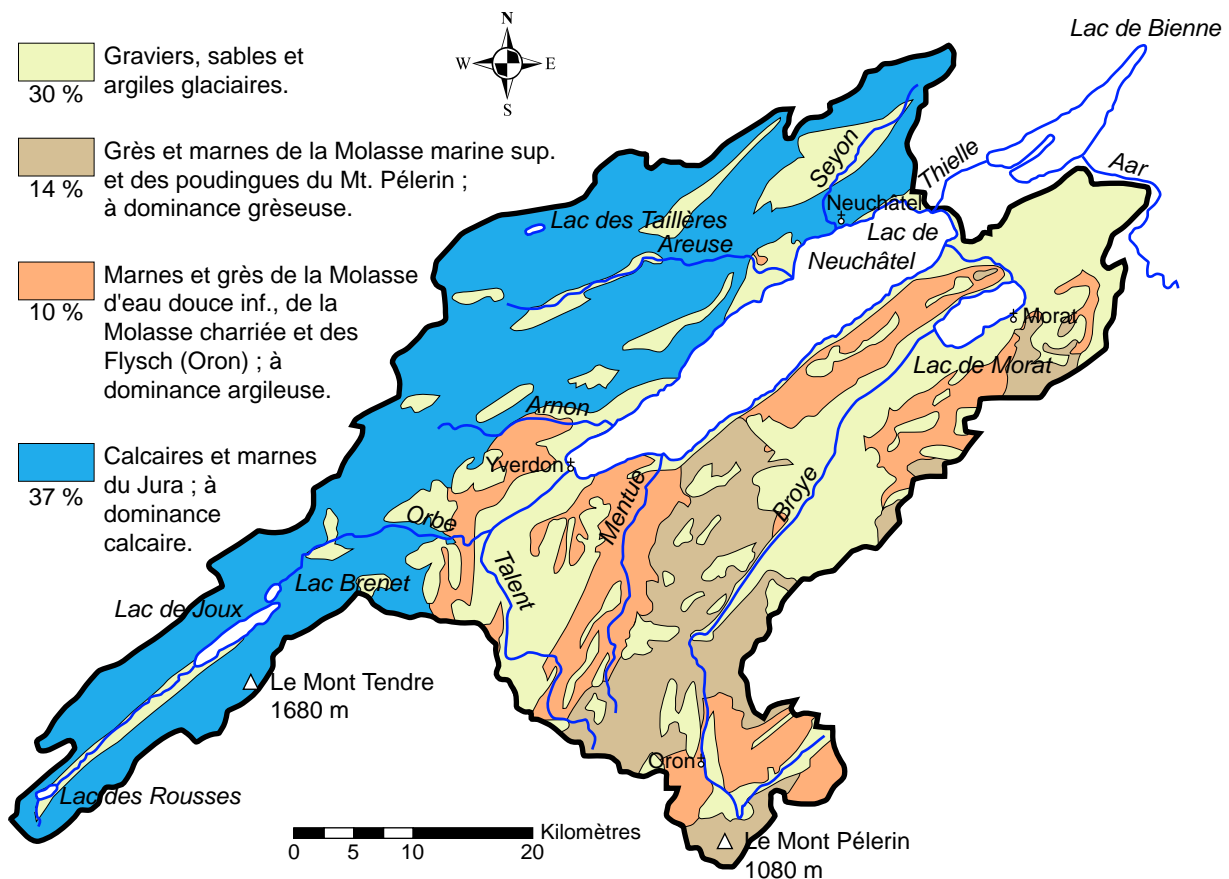


Fig. 1.12 : Carte lithologique du bassin versant du lac de Neuchâtel d'après Persoz *et al.* (2004). Les valeurs données sont un pourcentage de la surface totale du bassin, les lacs représentent 9 %.

Les trois affluents majeurs du lac que sont la Broye, l'Areuse et l'Orbe, fournissent à eux seuls les trois quarts des apports en eau (Fig. 1.11). Sollberger (1974) a recensé 77 autres affluents qui peuvent être considérés comme mineurs.

## 3.2. Origine et histoire sommaire de l'ensemble des trois lacs

### 3.2.1. Origine des lacs

Du Trias (250 millions d'années) à la fin du Crétacé (65 millions d'années), l'Europe occidentale est recouverte d'une mer peu profonde dans laquelle se déposent des calcaires et des marnes. Lors de l'édification des Alpes, la plaque européenne se déforme et crée, au front de la chaîne alpine, un bassin d'avant-pays qui s'étend de Chambéry (France) jusqu'à Vienne (Autriche). C'est dans cette dépression, tantôt marine, tantôt continentale, que les produits de l'érosion des Alpes se sédimentent pour former la molasse au cours de l'ère Tertiaire, de l'Oligocène au Miocène moyen (de 35 à 10 millions d'années).

Le plissement du Jura (à partir de 12 millions d'années) crée une barrière septentrionale aux écoulements venant des Alpes, les contraignant à prendre une orientation sud-ouest ou nord-est. A partir de 2,4 millions d'années, des glaciers vont emprunter les dépressions fluviales creusées précédemment pour arriver jusque dans les régions du Plateau. Leur progression va être faite d'avancées et de reculs liés aux variations climatiques de l'hémisphère Nord. Lors de la dernière période glaciaire du Würm (entre 100 000 et 15 000 ans), le glacier du Rhône atteint son extension maximale à Wangen an der Aare (Jäckli, 1970; Pugin, 1991). Il va éroder irrégulièrement le bassin molassique et ainsi créer des auges de surcreusement lors de son écoulement. L'époque de son retrait de la région de Neuchâtel est estimée à 15 000 ans BP (Gaillard et Moulin, 1989) alors que pour Schlüchter (1988) la déglaciation a été simultanée dans les Alpes et dans l'avant-pays vers 14 000 ans BP. Lors du retrait du glacier, les auges glaciaires vont en partie se remplir de matériaux glaciaires, fluvioglaciaires et lacustres (Pugin, 1991). Au niveau des lacs, ce comblement n'a été que partiel.

### 3.2.2. Hypothèse du lac de Soleure

Le grand lac de «Soleure», formé en amont d'un barrage constitué par la moraine terminale du glacier du Rhône dans la région de Wangen, aurait atteint une altitude d'environ 480 m au Pléistocène puis 447 m à l'Holocène ancien (Fig. 1.13 ; Favre, 1883; Lüdi, 1935; Müller, 1973; Portmann, 1974; Schardt, 1898; Schwab, 1973). Pour Lüdi (1935) et Müller (reprenant les données de Lüdi dans Müller, 1973), le scénario concernant son évolution est relativement simple (Fig. 1.14). Pour eux, il s'est abaissé progressivement jusqu'à une cote de 428,50-429 m vers 11 000 ans BC, suite à l'érosion de la moraine frontale lui servant de barrage. Contestée à plusieurs reprises, en particulier par Meia *et al.* (1971), cette hypothèse du lac unique est maintenant rejetée pour deux raisons. Tout d'abord, les études palynologiques et

sédimentologiques de Cortailod-Les Pendants (Brochier, 1986) indiquent une sédimentation en période interglaciaire antérieure (Moulin, 1991), réfutant alors la mise en place due à une moraine du glacier du Rhône. Par ailleurs, la présence d'un habitat magdalénien à Hauterive-Champréveyres (avant 12 600 ans BP) à une altitude de 425-426 m ainsi que l'absence d'un haut niveau lacustre avant cette période permettent de réfuter les altitudes supposées (Egloff, 1989; Gaillard et Moulin, 1989; Moulin, 1991).

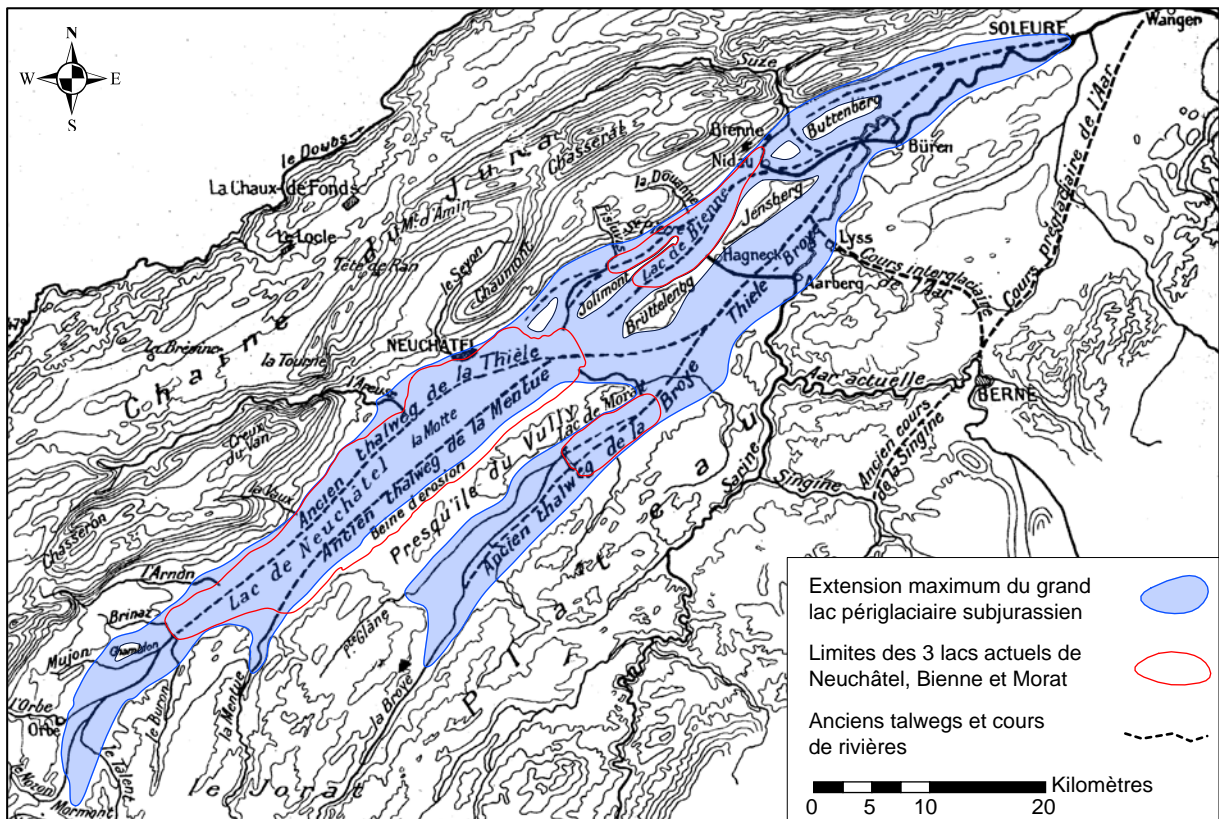


Fig. 1.13 : L'hypothèse du grand lac subjurassien de "Soleure" d'après Schardt *in* Knapp *et al.*, 1905.

### 3.2.3. Evolution globale et naturelle du niveau moyen du lac

Le lac subit ensuite une hausse rapide de son niveau lac jusqu'à 432-433 m liée à l'éboulement du versant nord du Jensberg (Müller, 1973), puis une baisse progressive est constatée, pour atteindre 427,50 m vers 1 300 av. J.-C. (Fig. 1.14). Pour Lüdi (1935) et Müller (1973), seules trois périodes de hautes eaux apparaissent vers 5 200 ans BC, 3 500 ans BC et 2 600 ans BC (l'origine proposée de ces hausses par les auteurs est traitée en 3.2.4). En revanche, Moulin (1991) montre que le niveau d'eau du lac de Neuchâtel a atteint 425-426 m vers 11 000 ans BC avant de remonter (Fig. 1.14). Selon lui, une série de fluctuations se serait ensuite produite.

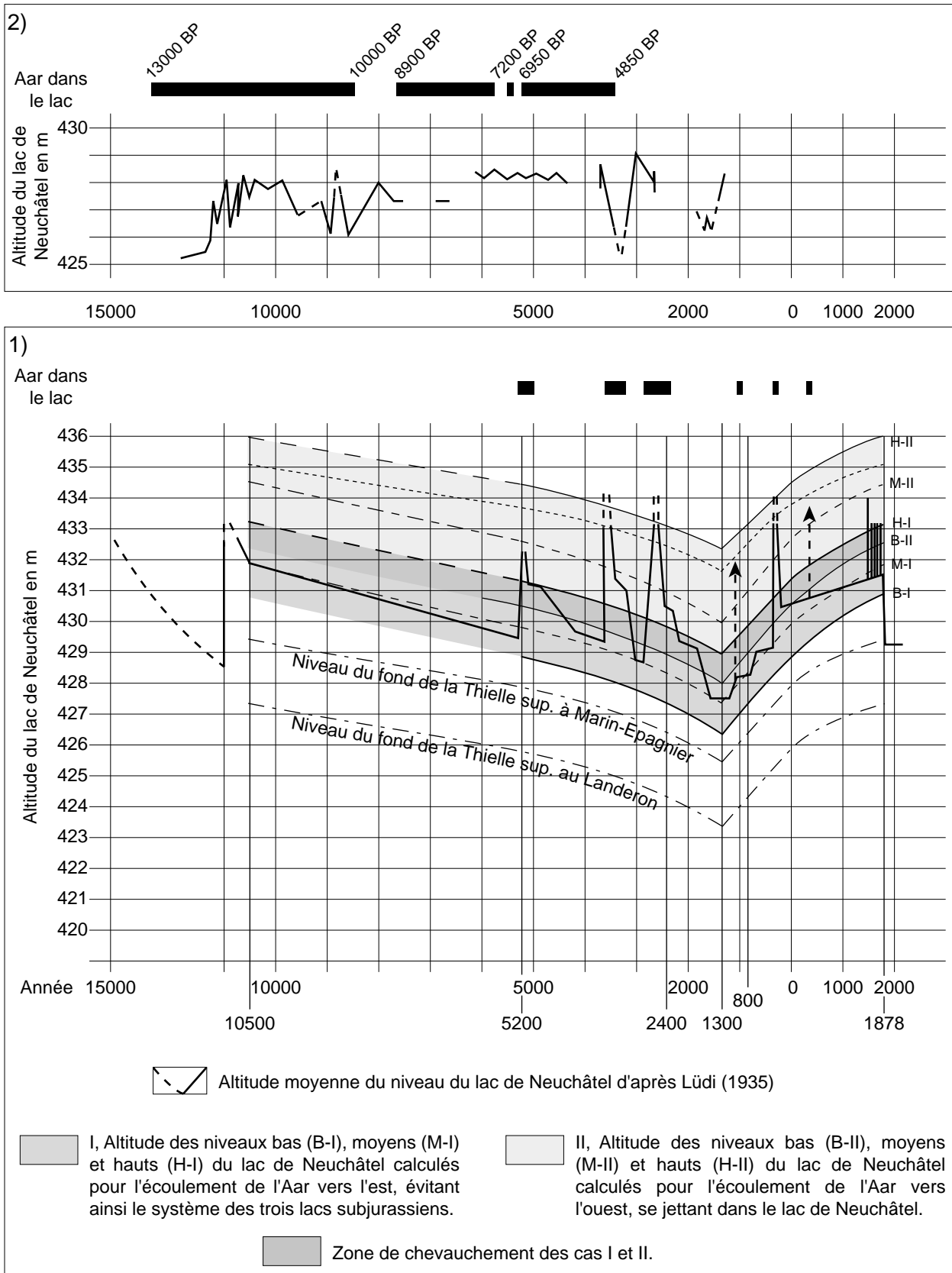


Fig. 1.14 : Variations du niveau du lac de Neuchâtel et direction d'écoulement de l'Aar.

1. selon Lüdi (1935) avec le développement des niveaux bas, moyens et hauts calculés pour les périodes où l'Aar s'est écoulé vers l'Est (I) ou vers l'Ouest (II), ainsi que l'estimation des hauteurs du fond de la Thielle supérieure à Marin-Epagnier et au Landeron (Müller *in* Schwab, 1973).

2. selon Moulin (1991) pour les variations du niveau moyen du lac et Schwab (1992) pour les changements de cours de l'Aar (figure reprise de Schwab (1992)).

Depuis 1 300 av. J.-C., le niveau des lacs et des rivières s'est élevé de plusieurs mètres (Fig. 1.14 ; Lüdi, 1935; Müller, 1973). Ce phénomène est lié à la présence de deux rivières alpines, l'Aar et l'Emme, qui ont tendance à déposer une grande partie de leur charge en arrivant dans la région plate que constitue le Seeland (Fig. 1.15 et 1.16). Tout d'abord, l'Emme, qui se jette dans l'Aar à Luterbach, en aval de Soleure, va modifier l'hydrodynamisme de celle-ci, engendrant un remous en amont de la confluence, et son style fluvial, passant d'un style méandriforme, entre Büren et Soleure, à rectiligne en aval (Fig. 1.16). De plus, en aval des collines du Plateau suisse, l'Aar va déposer une partie de sa charge. Ces dépôts sont surtout conséquents avant 1714, date à laquelle la Kander, affluent important de l'Aar, et considérée comme un des plus grands torrents de Suisse, charriant de grandes quantités de matériaux, est déviée dans le lac de Thoune (Vischer, 2003). Elle forme ainsi un immense cône d'alluvions allant d'Aarberg à Büren qui obstrue la confluence de la Thielle inférieure (Fig. 1.16). Ces différents dépôts créent alors une sorte de barrage limitant le débit de l'exutoire des grands lacs subjurassiens, ce qui engendre une montée du niveau moyen de ces derniers (Vischer, 2003).

### 3.2.4. Origines supposées des hautes eaux

L'Aar, cours d'eau d'origine alpine, divague dans la région du Grand Marais à partir d'Aarberg, et s'écoule vers le nord-est, évitant ainsi le système des trois lacs sub-jurassiens. Le régime naturel du lac de Neuchâtel a donc une forte tonalité jurassienne avec de hautes eaux au printemps, lors de la fonte des neiges, et de basses eaux en automne, au moment de l'étiage des cours d'eau (Quartier, 1948). Mais l'Aar peut temporairement s'écouler vers l'ouest dans le Grand Marais, empruntant un autre chenal et devenant alors un affluent du lac de Neuchâtel (Fig. 1.16 ; Lüdi, 1935). Durant ces périodes, l'extension du bassin versant ainsi que le régime du lac changent puisque l'Aar lui apporte une forte influence alpine, perturbant l'altitude de son niveau moyen (Fig. 1.15). Ce sont ces changements de direction de l'Aar qui, selon Lüdi (1935) et Müller (1973), expliquent les hausses du niveau moyen du lac de Neuchâtel (Fig. 1.14). Pour eux l'Aar se serait écoulé, en cumulé, au maximum 1 000 ans vers l'ouest, entraînant des hausses du niveau du lac de 2,70 m chaque fois.

Les études plus récentes de Schwalb (1992), Schwalb *et al.* (1998), Wohlfarth et Schneider (1991) et Wohlfarth-Meyer (1987a) ont permis de préciser ces variations. Ainsi, l'Aar a évité le lac entre 10 000 et 8 900 BP, puis au cours de deux courtes périodes, vers 7 200 et 6 950 BP, et enfin, de façon continue depuis les environs de 4 850 BP (Fig. 1.14 ; Schwalb, 1992; Schwalb *et al.*, 1998). L'abandon définitif par l'Aar de la région du Plateau est attribué à la combinaison de facteurs naturels, comme le rebond isostatique associé au retrait du glacier

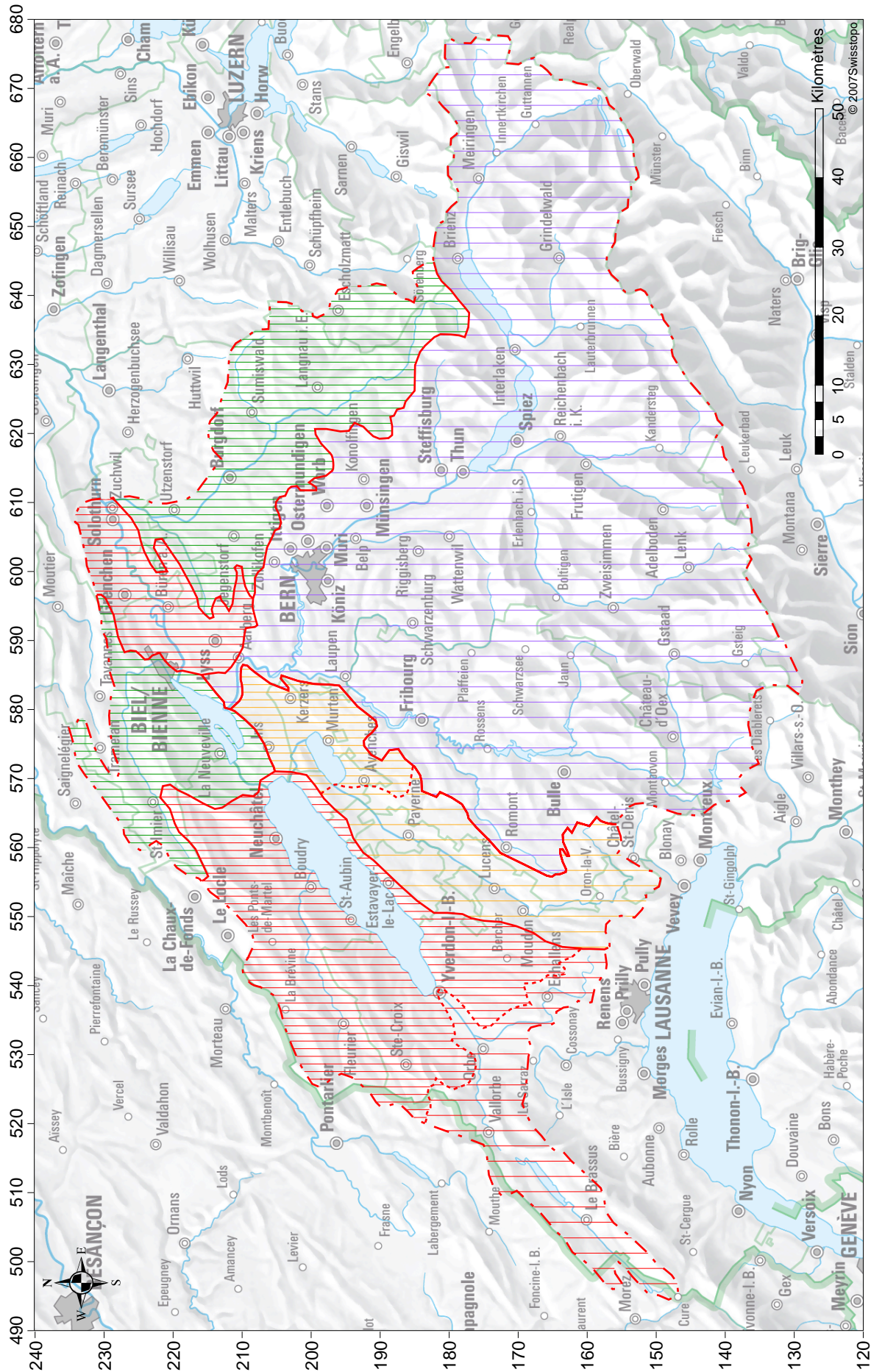


Fig. 1.15 : Carte des différents bassins versants rejoignant la région des trois lacs subjurassiens d'après Peter (1922).

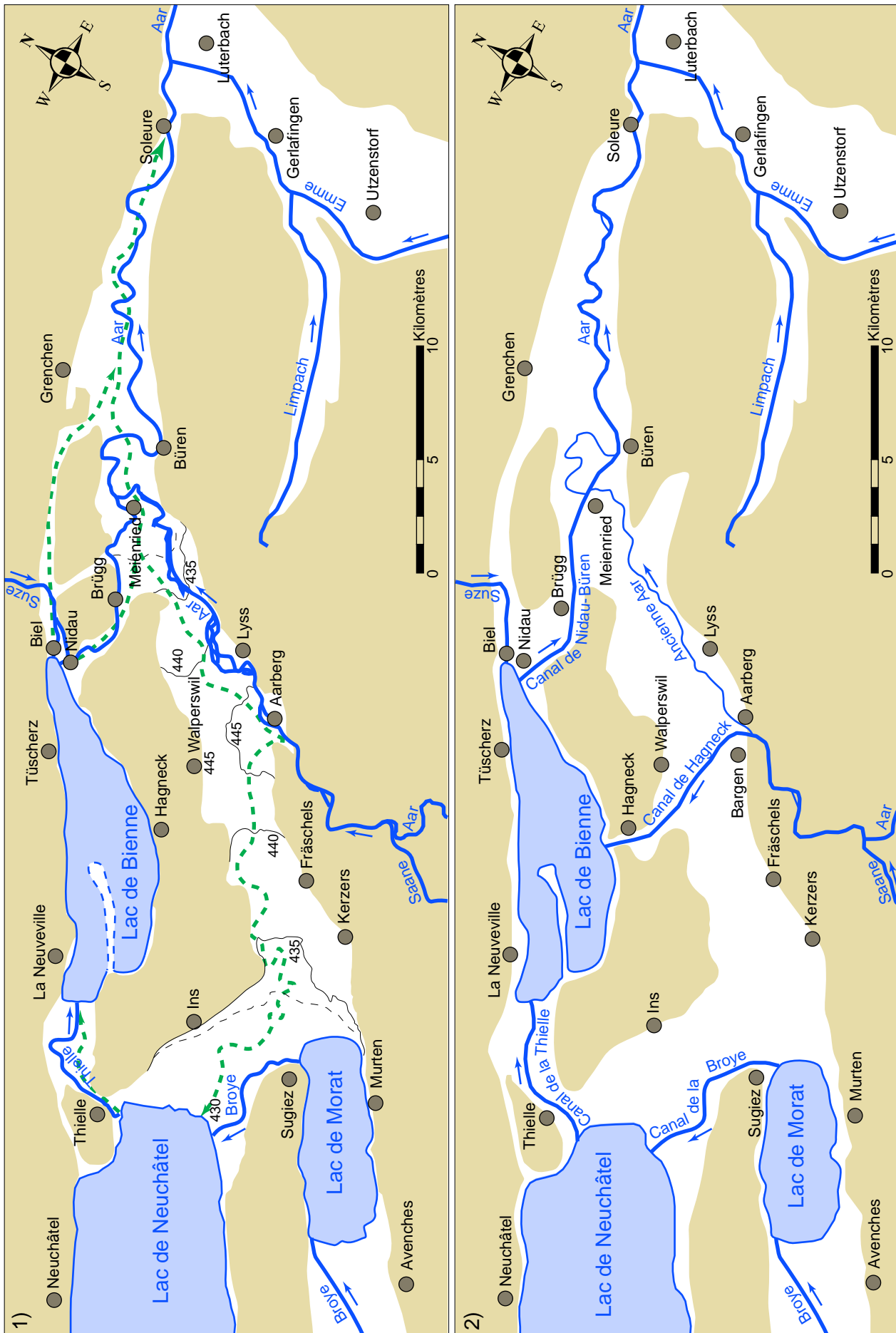


Fig. 1.16 : Système hydrographique de la région des trois lacs :

1) Avant les 1<sup>ère</sup> C.E.J. d'après Ehrsam (1974) avec en pointillé les différents cours post-glaciaires d'après Persoz et al. (2004) et Müller (1973) et l'altitude du Seeland montrant les cônes de déjections partant de Aarberg d'après Müller (1973). 2) Après les C.E.J. d'après Vischer (2003).

du Rhône, et à des facteurs anthropiques, comme l'impact des forts alluvionnements engendrés par des défrichements néolithiques dans son bassin. La plaine est alors tapissée d'alluvions de granulométrie généralement fine, de tourbes et de craies, à l'origine du Seeland.

### **3.2.5. Une menace à contrôler et les premières mesures**

Dans ce contexte environnemental, des marécages se développent et les crues submergeant de grandes étendues affectent l'ensemble de la région des trois lacs subjurassiens. Une série de crues, liées à des événements pluviométriques importants (violents orages ou précipitations durant plusieurs jours) ou de fonte de grandes quantités de neige, est mentionnée dans la littérature dès le XIV<sup>e</sup> siècle. En effet, lors de crues en 1318, 1472, 1480, 1550, 1555 et 1556 de nombreux ponts sont détruits et la vallée de l'Aar ne forme alors plus qu'un seul lac avec celui de Bienne (Ehram, 1974). Les premières plaintes ainsi que les premières mesures de défense contre les crues datent de la seconde moitié du XVI<sup>e</sup> siècle (Vischer, 2003). Afin de ne pas perturber les écoulements de la Thielle, l'installation de pièges à poissons est interdite à partir de 1574. Cette mesure n'empêche pas la crue exceptionnelle de 1651 qui réunit à nouveau l'Aar, qui avait débordé en amont de Soleure, et le lac de Bienne (Schneider, 1881). A partir de 1652, des mesures plus globales sont planifiées comme, le curage de la Thielle et le démantèlement d'ouvrages naturels et anthropiques. En fait, selon Peter (1922), seuls les curages locaux des émissaires des lacs et de la confluence de la Thielle à Meienried sont réalisés. Les améliorations obtenues seront de courte durée, les rivières rebouchant rapidement les zones curées.

La recrudescence des crues aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, comme par exemple en 1865 où les lacs de Neuchâtel et de Bienne sont ponctuellement réunis, va entraîner une aggravation de la situation avec des conséquences de moins en moins supportables pour les habitants de la région. En effet, les parties basses des villes et les voies de communication sont régulièrement submergées et les récoltes détruites, suite aux inondations. A cela s'ajoute le fait que les marais s'étendent, limitant les surfaces cultivables et favorisant la multiplication de la vermine et des épidémies. La réalisation de travaux de plus grande ampleur est alors planifiée.

### 3.2.6. Les Corrections des Eaux du Jura (C.E.J.)

Avant d'entreprendre des travaux, les altitudes des niveaux des trois lacs subjurassiens sont mesurées de 1817 à 1868 (Fig. 1.17, Annexe 1). Si l'altitude du niveau moyen du lac de Neuchâtel est de 432,07 m, ce niveau varie de 431,06 m à 433,35 m. Cette amplitude de 2,29 m est importante dans une zone relativement plate comme le Seeland (Chavaz, 1953).

Dans le but de limiter les risques d'inondation dans le Seeland et de permettre l'assainissement puis la mise en culture des plaines de l'Orbe, de la Broye et du Grand Marais, des travaux du génie sont effectués entre 1868 et 1891, permettant une régularisation artificielle du niveau des lacs (Ehram, 1974). Les grandes phases de ces travaux nommés Premières Corrections des Eaux du Jura (1<sup>ère</sup> C.E.J.) sont les suivantes (Fig. 1.16) :

- aménagement du canal Nidau-Büren avec la mise en place d'un barrage à la sortie du lac de Bienne ;
- détournement de l'Aar dans le lac de Bienne par le canal de Hagneck afin qu'elle y dépose son charriage, évitant ainsi de combler la zone aval au lac de Bienne ;
- canalisation de la Thielle moyenne entre les lacs de Neuchâtel et de Bienne : canal de la Thielle ;
- réalisation du canal de la Broye entre les lacs de Morat et de Neuchâtel ;
- drainage du Seeland.

Suite à ces premiers aménagements, le niveau moyen du lac de Neuchâtel baisse de 2,73 m pour atteindre la cote 429,31 m (Fig. 1.17 ; Quartier, 1948). Sa superficie passe ainsi d'environ 270 km<sup>2</sup> à 214,60 km<sup>2</sup> (Persoz *et al.*, 2004). L'assèchement des marais et l'abaissement des eaux souterraines vont avoir des effets plus ou moins néfastes dans la région (Fig. 1.18) :

- la beine de la rive sud du lac, qui s'étendait jusqu'aux falaises molassiques, émerge et forme une grève où se développent des roselières puis des zones boisées. Elle constitue actuellement la réserve naturelle de la Grande Cariçaie ;
- les sols tourbeux qui ne sont plus gorgés d'eau s'effondrent ; l'affaissement des sols du Grand-Marais est en moyenne de 1 m mais peut atteindre 4 m par endroits (Burri, 1995). Ce phénomène réduit l'écart entre le niveau des lacs et celui des champs augmentant le risque d'inondations (Nast, 2006) ;
- la plupart des constructions reposent sur des piliers en bois qui, en se retrouvant à l'air libre, commencent à pourrir ;
- la navigation est également affectée car lors de périodes de basses eaux, le niveau des lacs, canaux et rivières n'est plus suffisant pour permettre le passage des bateaux.

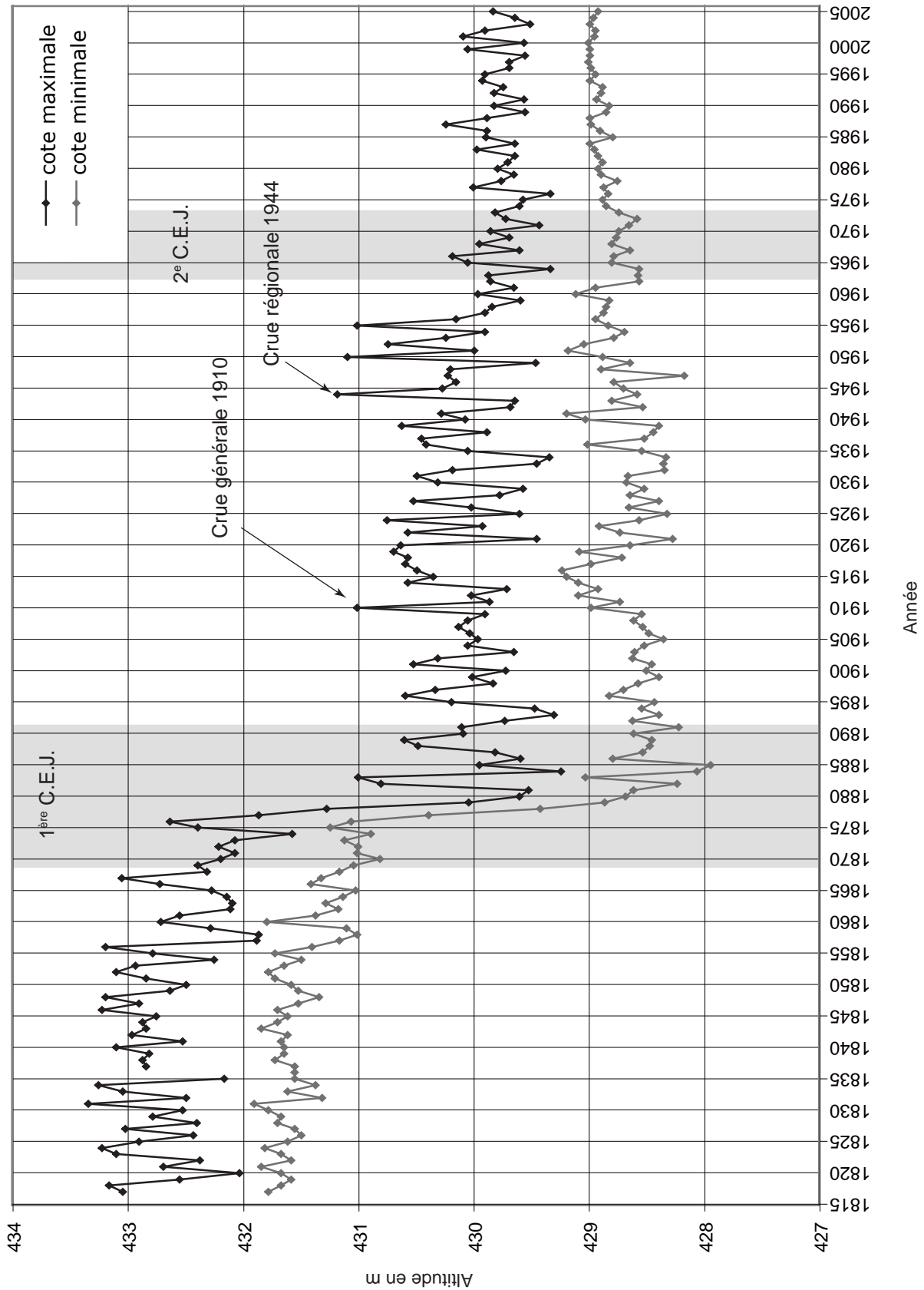


Fig. 1.17 : Niveaux extrêmes annuels atteints par le lac de Neuchâtel, de 1817 à 2005 d'après les données extraites de Office fédéral de l'économie hydraulique (1934-1979); Quartier (1948); Service des eaux (1886-1916); Service hydrologique national (1980-2005). Les valeurs présentées ont été rapportées à l'altitude de la Pierre de Niton actuelle et compilées en annexe 1.

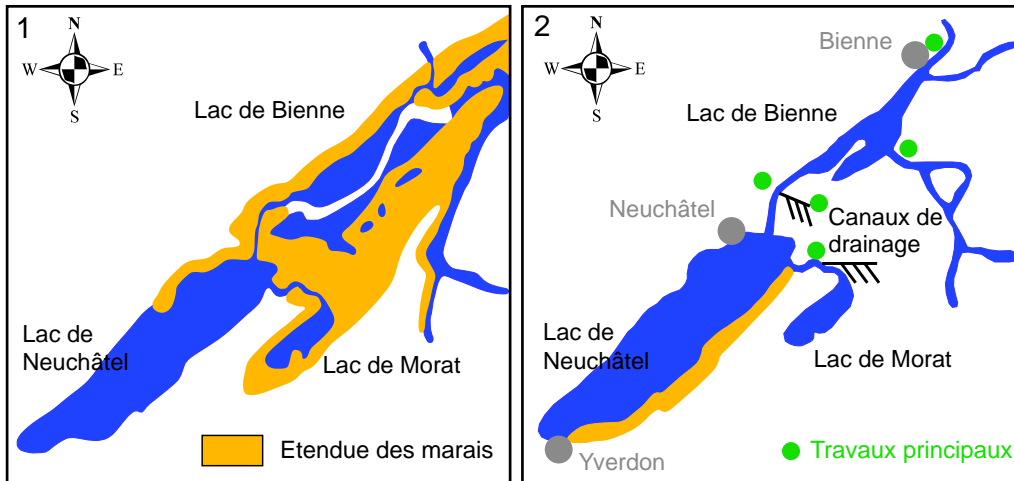


Fig. 1.18 : Impact de la première correction des eaux du Jura sur le réseau hydrographique 1, en 1850 avant correction ; 2, après la première correction (www.grande-caricaie.ch).

De plus, à la suite de ces travaux, le niveau du lac oscille encore entre 428,17 et 431,18 m voire 431,82 m lors de la crue exceptionnelle de décembre 1944 (Fig. 1.17 ; Bureau fédéral des travaux publics, 1867-1916; Chavaz, 1953; Ehram, 1974; Office fédéral de l'économie hydraulique, 1917-1979; Quartier, 1948; Sollberger, 1974). Ainsi, les nombreuses crues qui ont lieu dès 1891 et plus particulièrement en 1910, 1944, 1948, 1950, 1952, 1953 et 1955 provoquent les plaintes des riverains, lesquelles vont entraîner la réalisation d'une deuxième tranche de travaux (2<sup>e</sup> C.E.J.) de 1962 à 1973 (Fig. 1.17). Afin de réduire l'amplitude des variations des trois lacs, les canaux de la Broye, de la Thielle et de Nidau-Büren sont élargis, approfondis et des aménagements sont réalisés plus en aval (Ehram, 1974; Vischer, 2003). Depuis, le niveau moyen du lac est régulé par des vannes au Port près de Nidau, à la sortie du lac de Bienne, à la cote de 429,30 m, limitant ainsi le nombre et l'amplitude des fluctuations (Fig. 1.17).

**Remarque :**

Les variations altitudinales saisonnières du niveau du lac de Neuchâtel pouvant atteindre 3 m, une mise en garde et une précision sont nécessaires. Dans la littérature, les auteurs ne mentionnent pas toujours s'ils parlent de haut, bas ou moyen niveau lacustre. Dans ce travail, nous nous efforcerons de parler de niveau moyen du lac et, si ce n'est pas le cas, de préciser de quel niveau il s'agit.

### 3.3. La Thielle

L'arrivée d'eau dans les auges de surcreusement délaissées par le glacier du Rhône va entraîner leur remplissage et leur débordement. L'écoulement des eaux du lac de Neuchâtel est alors fonction de la topographie façonnée par le glacier. D'après Axelrod (1978), l'altitude du toit de la moraine est inférieure au Nord de la colline de Jolimont par rapport au Sud. Ainsi, l'excédent d'eau peut s'écouler entre la colline de Jolimont et la butte de Wavre mais aussi entre la butte de Wavre et les premiers contreforts du Jura comme le montrent les travaux de Hadorn (1994). Du niveau du lac de Neuchâtel dépend le style fluvial et l'hydrodynamisme de la Thielle moyenne, et de ce fait la sédimentation dans cette zone. En période de haut niveau lacustre, le lac de Neuchâtel recouvre toute la région et la Thielle moyenne, en tant que cours d'eau n'existe plus. La sédimentation est alors contrôlée par un système lacustre, avec des dépôts de craie, par exemple. Si le niveau du lac est moindre, un marais se forme, traversé par des chenaux, et si le niveau du lac est bas, des chenaux apparaissent au milieu d'une plaine d'inondation. La migration de ces chenaux à méandres est limitée par la topographie, d'autant plus que la butte de Wavre et la colline de Jolimont forment un entonnoir. Enfin, l'emplacement de l'exutoire de la Thielle moyenne est, elle aussi, dépendante du niveau du lac de Neuchâtel.

Avant les C.E.J., la Thielle moyenne sortait du lac de Neuchâtel à Maison-Rouge avant de traverser le marais de Gals (Fig. 1.19). A l'aval, elle n'était constituée que d'un seul chenal, avant de diffuser dans le secteur de Cressier, le bras nord se jetant dans le lac de Bienne au niveau de la commune de Landeron, et le bras sud vers St. Jean.

Suite à la canalisation de la Thielle moyenne lors des 1<sup>ère</sup> C.E.J. puis à son élargissement lors des 2<sup>e</sup> C.E.J., son débit moyen est actuellement de 55 m<sup>3</sup>/s (Fig. 1.20). Depuis ces travaux, l'écoulement des eaux de la Thielle moyenne a un fonctionnement particulier. En contexte hydrologique normal, l'écoulement se fait du lac de Morat vers le lac de Neuchâtel puis vers le lac de Bienne. Mais la faible différence d'altitude entre ces trois lacs permet au système de s'inverser, lorsque le niveau du lac de Bienne s'élève. Cette inversion d'écoulement se produit en moyenne 32 jours par an (Portner, 1951) et entraîne une hausse du niveau du lac de Neuchâtel qui, à son tour, peut se déverser dans le lac de Morat. Ce phénomène est dû au fait que le bassin d'alimentation du lac de Bienne reçoit plus d'eau que celui du lac de Neuchâtel, suite au détournement de l'Aar lors des 1<sup>ère</sup> C.E.J. En effet, ce bassin d'alimentation est plus étendu avec des précipitations moyennes plus abondantes ; de plus, en raison de son altitude plus élevée, il possède de nombreux glaciers (Quartier, 1948). Ainsi, si la Thielle moyenne peut refouler tous les mois de l'année, cette inversion se produit principalement à la fin du printemps



Fig. 1.19 : Extrait de la "Carte de la Principauté de Neuchâtel levée aux frais de Sa Majesté dans les années de 1838 à 1845 par J. F. d'Ostervald ancien Commissaire Général", 2<sup>ème</sup> édition.



Fig. 1.20 : Carte de l'entre deux lacs actuel.

et en été, période où les cours d'eau alpins sont en crue. Cet espace de bassin d'alimentation supplémentaire pour le lac de Neuchâtel joue un rôle sur la limnimétrie et l'hydrologie actuelles (Quartier, 1948).

Ainsi, l'homme a fortement modifié son environnement durant les deux derniers siècles, comme il le faisait certainement auparavant. Il est donc important d'avoir un aperçu de l'évolution de l'implantation humaine au cours de l'histoire mais aussi durant la préhistoire et la protohistoire, au sein du bassin versant du lac de Neuchâtel et le long de la Thielle moyenne.

## 4. Implantation humaine

L'objectif de ce paragraphe est de présenter les stations lacustres du pourtour du lac de Neuchâtel après les avoir replacées dans le contexte archéologique général du bassin versant.

### 4.1. Contexte archéologique du bassin versant du lac de Neuchâtel

Afin de se repérer géographiquement, les communes mentionnées ci-dessous sont replacées sur la carte de la figure 1.21 et le canton auquel elles appartiennent est spécifié entre parenthèses.

Les premières traces de fréquentation humaine trouvées dans le bassin versant du lac de Neuchâtel remontent au Paléolithique moyen. Les néandertaliens ont occupé la grotte de Cotencher (Rochefort, NE, altitude 660 m), ainsi que celle des Plaints (Couvet, NE, altitude 1 120 m), il y a 40 000 ans au cours d'une période de réchauffement durant la dernière glaciation (Egloff, 1989; Kaenel, 2004).

A partir de la fin du Paléolithique supérieur (vers 14 000 av. J.-C.), des campements saisonniers de chasseurs sont établis au bord du lac de Neuchâtel comme l'attestent les sites de Hauterive-Champréveyres et Neuchâtel-Monruz datés approximativement de 13 500 av. J.-C. (Leesch *et al.*, 2004). Les chasseurs-cueilleurs du Magdalénien qui ont occupé ces sites évoluaient dans un paysage de pelouse de type alpin et de lande à arbrisseaux nains dans lequel les arbres faisaient encore totalement défaut (Gaillard, 2004).

L'Epipaléolithique correspond à la fin des temps glaciaires, le radoucissement généralisé est accompagné du développement du couvert forestier ainsi que d'une modification de la faune. Pour l'homme, cela induit un certain nombre d'adaptations techniques (arc, flèche, *etc.*). Les groupes de chasseurs-cueilleurs de cette époque sont présents sur les rives des lacs (occupation azilienne de Hauterive-Champréveyres) mais ils ne délaissent toutefois pas le Jura puisque le squelette d'un *Homo sapiens sapiens*, daté approximativement de 11 500 av. J.-C., a été

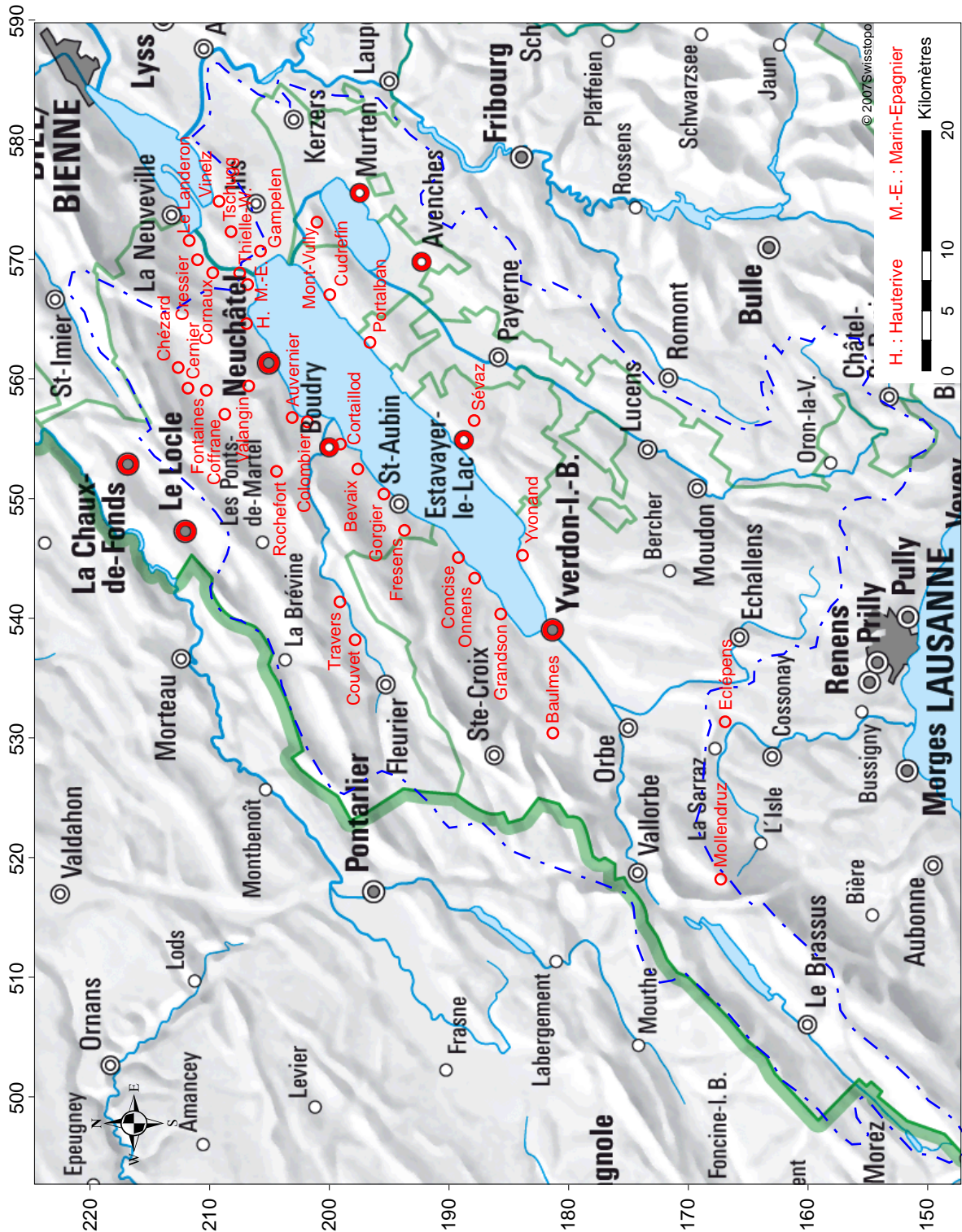


Fig. 1.21 : Situation géographique des villes mentionnées.

découvert dans la grotte du Bichon (Chaux-de-Fonds, NE ; Egloff, 1989). Mais, jusque vers 10 000 av. J.-C., il y a assez peu de nourriture et les populations restent clairsemées (Nast, 2006).

Au Mésolithique (9 500 à 5 500 av. J.-C.), le réchauffement permet à une forêt dense de pins et de bouleaux, puis de noisetiers, tilleuls, chênes et ormes de coloniser le paysage. Les groupes humains conservent un mode de vie nomade, bien que l'abondance et la diversité des ressources par rapport à l'âge glaciaire restreignent les distances à parcourir. Les chasseurs-cueilleurs continuent de s'adapter, et poursuivent un gibier au comportement solitaire, armés d'arcs et de flèches aux armatures microlithiques. Les traces qu'ils laissent se situent surtout dans les abris-sous-roche du Jura - Col-des-Roches (Le Locle, NE), Mollendruz (VD), La Cure (Baulmes, VD) - mais aussi dans la plaine, au pied du Mont Vully (VD et FR), à Onnens-Praz Berthoud (Onnens, VD), sur des dunes de sable comme Gampelen-Jänet 3 (Gampelen, BE) et dans la région de Morat (FR ; Egloff, 1989; Kaenel, 2004). Un site mésolithique a été découvert en 2007 sur la commune de Cornaux en bordure de la Thielle (Sonia Wüthrich, OMAN, com. pers.).

Les débuts de l'agriculture et de l'élevage sur le Plateau suisse ne sont pas datables précisément, mais les archéologues estiment que les céréales et le lin étaient déjà cultivés il y a plus de 8 500 ans (Nast, 2006). De ce fait, c'est à partir de cette période que l'homme commence à modifier son environnement en défrichant les forêts.

Cette modification s'accroît au Néolithique avec la sédentarisation et le passage de l'état de chasseur-cueilleur à celui d'agriculteur-éleveur. En effet, les cultures - de lin, pavot, orge, millet, blé, pois - et l'élevage - de bœufs, moutons, chèvres, porcs - produisent assez de nourriture pour permettre une augmentation de la population. Cette dernière a donc un besoin plus important de nourriture qui se traduit par une augmentation des surfaces cultivées engendrant de nouveaux défrichages. L'homme modifie ainsi le paysage dans lequel il évolue et provoque inconsciemment l'érosion des terrains défrichés. Les défrichements sont facilités par de nouvelles acquisitions techniques - haches et herminettes en roches dures polies - et économiques - possibilité de stockage dans des silos ou des céramiques. Les préhistoriens se fondent sur l'évolution des styles de céramique pour individualiser les cultures dans le temps et l'espace (Annexe 2 ; Michel, 2002). Si l'homme occupe encore occasionnellement des abris-sous-roche comme celui de La Baume du Four (Boudry, NE), il colonise les berges des lacs - principalement des baies - et des rivières à partir de 4 300 av. J.-C., date approximative de l'apparition des premiers villages palafittiques (Balleys, 2005; Kaenel, 2002). La densité

d'occupation est croissante sur tout le pourtour du lac de Neuchâtel jusqu'au XXV<sup>e</sup> siècle av. J.-C., marquée par quelques interruptions notables au XXXIII<sup>e</sup> siècle et de la fin du XXV<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (Balley, 2005; Kaenel, 2004). Ces abandons pourraient être liés à des transgressions lacustres qui refléteraient des dégradations climatiques. Les hommes seraient alors amenés à se déplacer vers l'intérieur des terres (Egloff, 1989; Hafner et Wolf, 1997). Bien que moins connues que les habitations lacustres, des communautés villageoises existaient en retrait des rives (Egloff, 1989; Kaenel, 2002; Mauvilly, 2003). A ces traces d'habitat, il faut ajouter les témoignages funéraires découverts sur les rives du lac avec les mégalithes, comme l'alignement de Clendy à Yverdon-les-Bains (VD), la sépulture d'Auvernier sur la commune de Colombier (NE) ainsi que ceux découverts à l'intérieur des terres comme à Fresens (NE) et Gorgier (NE ; Egloff, 1989; Kaenel, 2004).

Si, au Néolithique final, la métallurgie du cuivre était déjà présente, l'utilisation de l'alliage cuivre-étain, amenant plus de solidité, ne se généralise qu'à l'Age du Bronze. Après l'interruption d'occupation des rives du lac de Neuchâtel pendant près de 600 ans, les hommes les colonisent à nouveau au Bronze ancien (~ 1 850 à 1 500 av. J.-C.). Quelques vestiges non lacustres existent aussi comme la sépulture de Thoune-Renzenbühl (BE ; Egloff, 1989). Au Bronze moyen (~ 1 500 à 1 300 av. J.-C.), le niveau du lac est relativement haut, avec des altitudes similaires à celles d'avant les C.E.J., soit 432 m, limitant ainsi les possibilités d'implantation (Egloff, 1989). Aucune installation littorale n'est connue pour cette période (Fig. 1.21), seuls de rares objets ont été trouvés sur la terre ferme. L'homme défriche alors des régions nouvellement ouvertes à l'agriculture comme le Val de Travers où de nombreux mobiliers ont été découverts. Le Bronze final (~ 1 300 à 800 av. J.-C.) est la seconde période faste de l'habitat littoral. En raison d'un climat plus chaud et plus sec, le niveau du lac de Neuchâtel avoisine 426,5-428 m, donc plus bas qu'actuellement (Egloff, 1989). Ces conditions favorisent l'implantation humaine sur les rives, principalement dans les baies et les criques, et font de cette période la plus riche en nombre de villages découverts : Auvernier (NE), Concise (VD), Corcelettes (Grandson, VD), Cortaillod (NE), Hauterive-Champréveyres (NE), Le Landeron (NE), Portalban (VD), Vinelz (BE), *etc.* Ces derniers, ainsi que l'important mobilier associé, sont très bien conservés. L'essor démographique de cette période se traduit par un besoin important en bois, aussi bien pour la construction que pour la vie quotidienne (réfection, foyers, *etc.*), ce qui entraîne de nouvelles déforestations. Les forêts sont dès lors entretenues ; de nouvelles céréales comme l'épeautre et le froment complètent celles cultivées depuis le Néolithique. La chasse et la pêche sont toujours pratiquées ainsi que l'élevage auquel il faut ajouter la domestication du cheval. Les

échanges entre les différentes communautés s'intensifient, comme en témoignent des objets non indigènes de plus en plus nombreux, ainsi que les restes de moyens de transport, de chars, découverts à Cortaillod (NE, roue en Bronze) et à Grandson-Corcelettes (VD, roue en bois), mais aussi de pirogue, à Bevaix (NE). Une nouvelle péjoration climatique est probablement la cause de l'abandon de ces villages au cours de la seconde moitié du IX<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

Au premier Age du Fer (Hallstatt), l'occupation est exclusivement terrestre sur les terrasses et plateaux de l'arrière-pays. En effet, l'altitude du lac à 429-430 m, voire 434 m lors de crues, rend les rives marécageuses, et favorise l'installation de forêts humides (aulnes, frênes), rendant toute installation palafittique difficile (Wagner, 2003). Les quelques habitats à vocation agricole recensés, à Onnens (VD) et Marin-Epagnier (NE) par exemple, laissent supposer que les fermes et villages étaient entourés de champs cultivés (Kaenel, 2004). Les connaissances de cette période dans la région proviennent principalement du matériel contenu dans des tertres funéraires ou *tumuli*, comme ceux des Favargettes (Coffrane, NE), de La Baraque (Cressier, NE) ou de Bussy (Valangin, NE). La forte différenciation des mobiliers funéraires témoigne d'une société fortement hiérarchisée. Deux poignards en fer ont été découverts dans le lac, un à Cudrefin (VD) et l'autre à Estavayer-le-Lac (FR).

Le second Age du Fer ou période de La Tène (~ 450 à 20 av. J.-C.) tire son nom du site éponyme situé sur la Thielle moyenne à Marin-Epagnier (NE), à l'extrémité orientale du lac de Neuchâtel. Le Plateau suisse, occupé par les Helvètes, est alors au cœur de l'Europe celtique. Les sites d'habitat de La Tène ancienne et moyenne (V<sup>e</sup> – III<sup>e</sup> siècle av. J.-C.) sont quasi inconnus, mentionnons simplement l'atelier de forgerons de Sévaz-Tudingues (Sévaz, FR ; Kaenel, 2004). Nos connaissances sur la période proviennent principalement de fouilles de grands cimetières à tombes plates à inhumations, typiques de la période. Au début du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C., l'incinération réapparaît à côté de l'inhumation. L'autre source d'informations pour la période provient de sites cultuels comme le Mormont (Eclépens, VD) où 260 fosses remplies d'objets et de restes animaux et humains ont été découverts en 2006. Sont connus quelques établissements agricoles, parmi lesquels l'enceinte quadrangulaire de Marin-Les Bourguignonnes (Marin-Epagnier, NE) au-dessus du site de Marin-La Tène (Arnold, 1992 et 1999) et des *oppida*, villes servant de centres politiques et économiques, généralement dotées d'un rempart (Yverdon, VD et Mont-Vully, FR ; Curdy *et al.*, 1995; Kaenel, 2002). Le riche mobilier découvert dans ces villes témoigne d'un important commerce avec d'autres peuples (romains, grecs) alors que la monnaie s'impose progressivement. Les voies de communication se développent, de nombreux ponts sont connus, comme ceux mis au jour sur la Thielle moyenne à Marin-La Tène (Marin-

Epagnier, NE) et à Cornaux-Les Sauges (Cornaux, NE ; Reginelli Servais, 2007; Schwab, 1973; Schwab, 1989; Vouga, 1923). En 58 av. J.-C., les Helvètes décident d'émigrer vers le sud-ouest de la Gaule et mettent le feu à leur demeure en partant. Ils sont battus par César à Bibracte et ramenés de force à leur point de départ par les Romains, qui en profitent pour s'y installer (Egloff, 1989).

Suite à la conquête des Alpes et de la Rhétie par les Romains en 16 et 15 av. J.-C., le Plateau suisse se trouve *de facto* intégré au monde romain. Un nouvel ordre s'installe et les habitudes architecturales, culturelles et artisanales changent. Il en est de même pour l'aménagement du territoire : des routes, des villes (Yverdon, VD), des *vici* (bourgades), de luxueuses *villae* à la campagne (Colombier, NE ; Yvonand, VD ; Tschugg, BE), de vastes domaines agricoles (Chézard, NE ; Cernier, NE ; Fontaines, NE), des constructions en "dur" et un parcellaire bien défini apparaissent. Les agglomérations comme Yverdon (*Eburodunum*) se développent sur les ruines des *oppida* celtiques (Egloff, 1989; Kaenel, 2002). Une croissance urbanistique a lieu dès le début du I<sup>er</sup> siècle de notre ère. L'influence humaine marque toujours davantage le paysage. De nouvelles variétés de plantes sont cultivées comme le noyer et le châtaigner. Des carrières de calcaire jaune servant à la construction sont exploitées au pied du Jura, comme celles de la Raisse à Concise (VD). Les blocs sont ensuite transportés sur des embarcations avant d'être transbordés dans des ports comme celui d'Avenches (VD). De nombreuses routes relient les villes et villas situées sur la rive du lac, dans le Seeland mais aussi à l'intérieur du massif jurassien. De ce fait, des ponts romains sont construits comme à Pont-de-Thielle (Thielle-Wavre, NE ; Egloff, 1989; Schwab, 1973). A partir du III<sup>e</sup> siècle, l'Empire décline, les vecteurs en sont une chute démographique, des guerres, des incursions de Germains, des épidémies, des famines, et une perte d'autorité de Rome.

Le Haut Moyen Age (environ 450 à 750) n'a laissé que peu d'indices. Les habitats sont peu connus contrastant avec les importantes nécropoles mises au jour à Yverdon (VD, 300 tombes) ou Neuchâtel (NE, 150 tombes). L'occupation du territoire est en général moins dense que durant l'époque romaine et la forêt regagne du terrain sur les terres cultivées.

Le Moyen Age (environ 750 - 1650) est marqué par une succession de conflits. En effet, différentes peuplades vont se succéder à la tête du territoire. Tout d'abord les Burgondes puis les Francs, et dès 888 la région va faire partie du royaume de Bourgogne, avant d'être annexée à l'Empire Romain Germanique en 1032. A partir du XIII<sup>e</sup> siècle, des cantons vont se lier et parviendront à gagner leur indépendance en 1648. La croissance démographique des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles intensifie à nouveau les défrichements, par besoin de terres cultivables. Cette croissance

est à mettre en relation avec des conditions climatiques favorables et s'accompagne une fois encore de l'apparition de nouvelles techniques agricoles, comme la charrue en fer. Parallèlement, les agglomérations et le commerce se développent. Des châteaux forts sont construits sur des reliefs ; des villes, des villages et des cloîtres sont fondés dans la région des trois lacs. Afin de mieux exploiter les ressources naturelles, des aménagements sont réalisés sur les cours d'eau, comme la Thielle moyenne, sur laquelle des pêcheries et le moulin ont été découverts au lieu-dit Pré-de-la-Mottaz sur la commune de Marin-Epagnier (NE ; Plumettaz, 2000). Dès le XIV<sup>e</sup> siècle, les hommes construisent des murets et remblaient derrière afin d'essayer de gagner du terrain sur le lac. Mais durant ce siècle, la population est décimée par de nombreuses famines, dues à une invasion de sauterelles en 1338, aux inondations des années 1340, et à l'épidémie de peste de 1348. Comme beaucoup d'autres, la région du Seeland se dépeuple, les terres ne peuvent plus être travaillées et la forêt reprend peu à peu ses droits (Nast, 2006).

Par la suite, la population s'accroît à nouveau et cherche à gagner du terrain sur les terres non exploitées. Les grandes villes comme Neuchâtel continuent de s'étendre et se construisent même sur le lac (Fig. 1.22 ; Lasserre, 2004). Dans le Seeland, après son utilisation comme pâturage, l'exploitation des joncs des marais s'y développe dès le XVIII<sup>e</sup> siècle. A partir de 1857, les niveaux de tourbe du Grand Marais - à Witzwil par exemple - sont exploités de façon industrielle pour être utilisés comme combustible (Nast, 2006).

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, les C.E.J. permettent l'assèchement du Seeland et la transformation de cette région en un immense "potager pour la Suisse". Elles mettent un terme à des siècles de ravages provoqués par les débordements des lacs et des rivières de la région. Actuellement, la rive nord du lac de Neuchâtel est très fortement urbanisée alors que la rive sud est consacrée à l'agriculture.

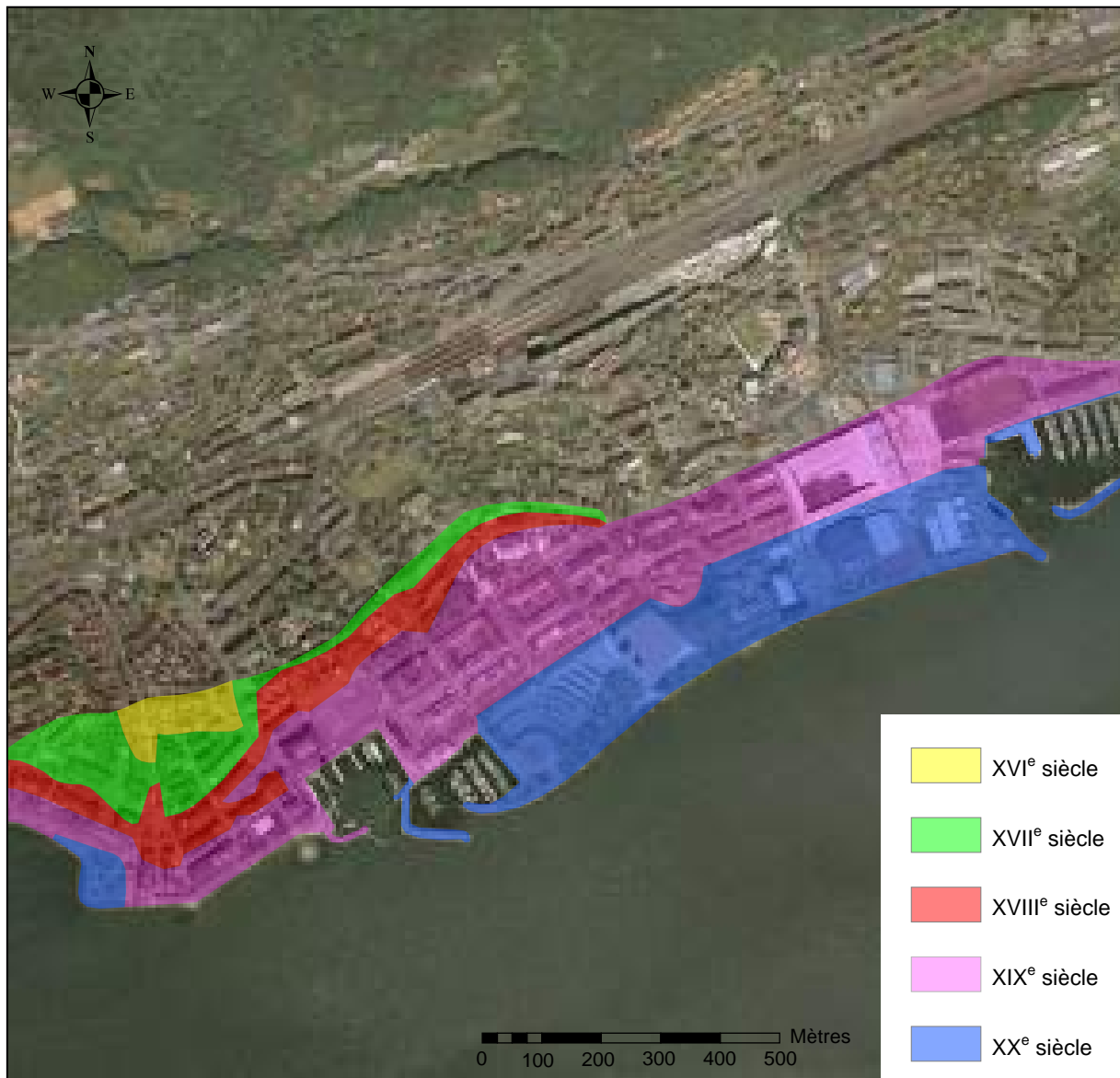


Fig. 1.22 : Terrains gagnés sur le lac au niveau de la ville de Neuchâtel d'après Lasserre (2004).

Ainsi, l'homme a colonisé l'ensemble des milieux naturels du bassin versant du lac de Neuchâtel et s'est adapté aux changements de son environnement, tout en tentant de l'approprier. Ses pratiques ont affecté le cycle sédimentaire naturel et déstabilisé les sols. Il est à la fois un perturbateur de son environnement et un indicateur des changements environnementaux auxquels il a dû adapter son mode de vie. Il est donc important de prendre en compte, dans une étude sur les changements environnementaux comme celle-ci, le facteur humain et plus particulièrement son implantation, comme indicateur de variation environnementale.

## 4.2. Les sites littoraux

L'objectif de ce travail étant de mettre en parallèle les variations du niveau du lac et les implantations humaines, une étude plus approfondie de la répartition des sites littoraux au cours du temps est nécessaire. En effet, la connaissance de la répartition spatiale des sites littoraux apporte des éléments favorisant la compréhension des variations du niveau du lac. De plus, ils permettent de vérifier la continuité des enregistrements sédimentaires, et l'interprétation qui en est faite. Par ailleurs, en raison de la morphologie et de l'extension des berges, l'homme ne peut pas s'implanter en bordure du lac lors de hauts niveaux lacustres prolongés.

Il est alors intéressant de faire un inventaire de ces sites, même s'il ne peut être exhaustif du fait de l'importance de la zone géographique à reconnaître et de la disparition, naturelle ou non, d'un certain nombre d'entre eux. Toutefois, un inventaire des sites actuellement connus est réalisable. Fondé sur les données des sites littoraux des cantons de Vaud et de Fribourg rassemblées par M. Pierre Corboud et son équipe depuis 1994, il est complété par les données transmises par les services cantonaux d'archéologie de Berne et Neuchâtel. Après avoir extrait les données utiles à notre étude de la base de données réalisée sous Microsoft Office Access par M. Pierre Corboud, elles sont transférées sous ESRI ArcGIS afin de créer une géodatabase permettant d'avoir une représentation spatiale des occupations. Les données des cantons de Berne et Neuchâtel sont issues d'un inventaire consacré aux stations lacustres de l'arc alpin en vue d'une proposition de mise sous protection de l'UNESCO de ce patrimoine. Les «fiches Unesco» étant plus des données administratives, très résumées, que des documents scientifiques, elles sont complétées par une analyse de la bibliographie proposée dans ces dernières. De plus, les données du travail de Balleys (2005) sont aussi intégrées tout comme les sites présents sur la carte des stations littorales de Marin-Epagnier réalisée par De Mandrot (1879-1880 ; Fig. 1.23). Une carte, transmise par M. Béat Arnold - archéologue cantonal à l'Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel (OMAN) -, regroupe les sites présents tout le long du cours de la Thielle moyenne et complète ainsi cet inventaire, dont la majorité sont issus de Schwab (1973). Ainsi, pour chaque site archéologique, en plus de son nom et son emplacement (canton, commune, coordonnées selon le système de projection suisse CH1903\_LV03) la période archéologique de la ou des différents niveaux d'occupation est renseignée (Annexe 3<sup>3</sup>).

---

<sup>3</sup> A la demande des archéologues cantonaux, les coordonnées des sites sont supprimées de la base de données présentée en annexe 3.

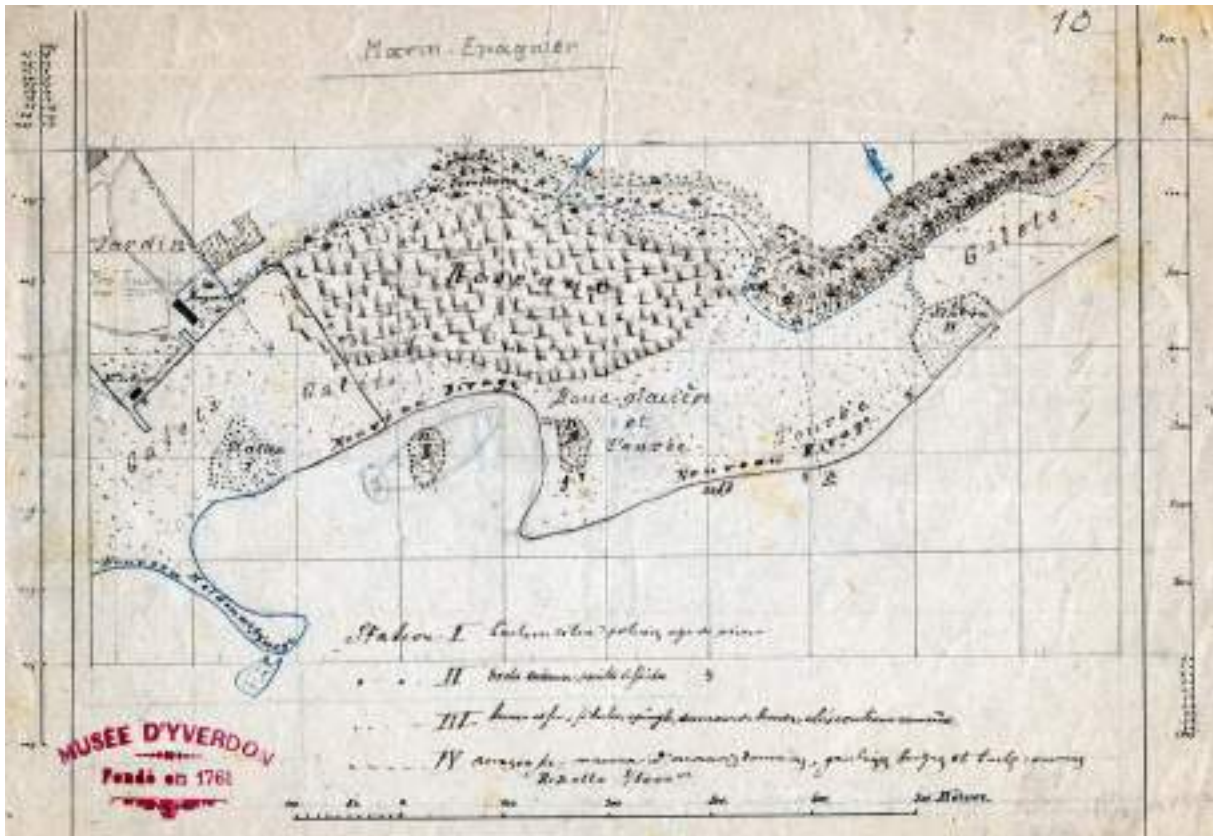


Fig. 1.23 : Carte de situation des stations littorales de la commune de Marin-Epagnier relevées par De Mandrot en 1879-1880. Carte originale au 1/5000.

Une compilation des sites intégrés à notre étude et classés par période est présentée dans le tableau 1.1. Elle permet de visualiser leur abondance sur le littoral du lac de Neuchâtel et dans sa zone exutoire (Fig. 1.24). Pour certains, n'ayant pas fait l'objet de fouilles, leur âge reste inconnu (20 sites). Sur la carte présentée en figure. 1.24, 27 sites se remarquent de par leur occupation à deux périodes archéologiques. Ainsi, 208 des 235 sites répertoriés sont mono-périodes (Tab. 1.1). Tous ces sites, sans considération de leur période d'occupation, sont présents sur tout le pourtour du lac de Neuchâtel, mais à des densités variables selon les secteurs. En prenant en compte les âges d'occupation, la période majoritairement représentée est le Néolithique avec 103 sites, puis l'Age de Bronze avec 47 sites. Parmi les sites occupés sur deux périodes, 20 d'entre eux sont du Néolithique et de l'Age du Bronze, accentuant encore la prédominance de ces deux périodes. Leur répartition spatiale est différente ; alors que les sites néolithiques se répartissent sur toutes les rives du lac, ceux de l'Age de Bronze sont essentiellement concentrés sur la rive Sud.

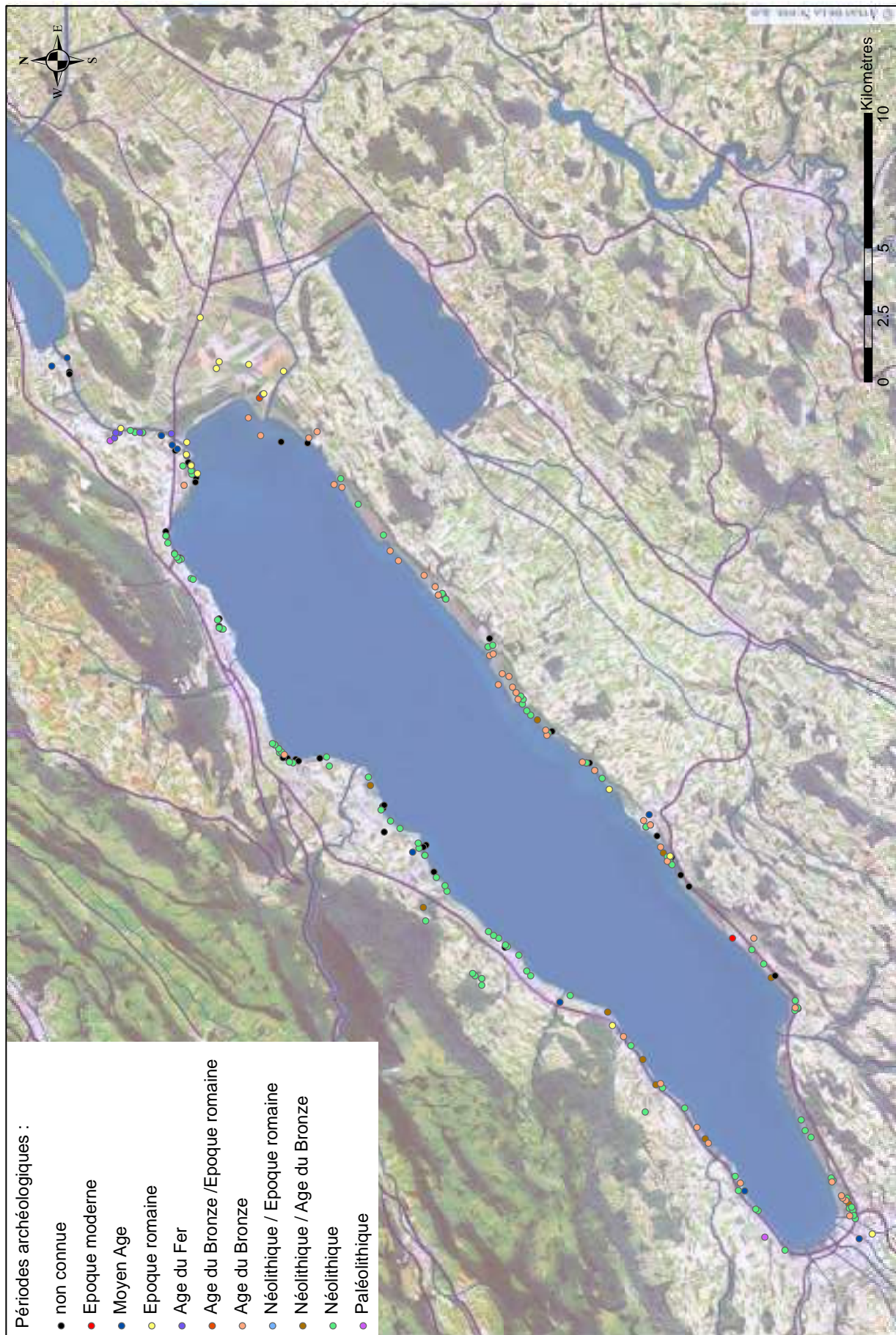


Fig. 1.24 : Carte des sites archéologiques littoraux du lac de Neuchâtel et de son exutoire.

Période	Nb. sites
Epoque moderne	1
Moyen-Age / Epoque moderne	3
Moyen Age	9
Epoque romaine	18
Age du Fer	8
Age du Bronze / Epoque romaine	2
Age du Bronze	47
Néolithique / Epoque romaine	2
Néolithique / Age du Bronze	20
Néolithique	103
Paléolithique	2
aucune période renseignée	20
<b>Nombre total de sites</b>	<b>235</b>

Tab. 1.1 : Liste des sites archéologiques littoraux et de l'exutoire du lac de Neuchâtel.

Une zone géographique se distingue autour du lac par sa densité de points mais aussi pour la présence de toutes les périodes archéologiques du Paléolithique au Moyen-Age : la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Dans cette présente étude, la zone géographique prise en compte comme "exutoire du lac de Neuchâtel" correspond à l'actuel exutoire, étendu jusqu'au resserrement entre les buttes de Wavre et de Gals, zone faisant partie du lac lors des hauts niveaux lacustres.

### 4.3. La zone "exutoire du lac de Neuchâtel"

La zone "exutoire du lac de Neuchâtel" regroupe 41 sites archéologiques (Tab. 1.2), dont 7 sont d'âge inconnu. Les nombreux travaux effectués dans cette zone, notamment lors des Corrections des Eaux du Jura, expliquent la densité des découvertes. Les sites se répartissent le long des rives actuelles du lac et de la Thielle moyenne, mais aussi dans le lac (Fig. 1.25). Quelques uns se situent plus en arrière du rivage et d'autres dans le Seeland, mais peu se trouvent sur les rives bernoises, entre l'actuel canal de la Thielle et Lindehof. Cela peut s'expliquer par l'absence de topographie et une exposition aux vents, entraînant des inondations fréquentes et la formation de marécages (zone exploitée pour la tourbe dès le XVIII<sup>e</sup> siècle ; Nast, 2006).

Il est à noter que tous les sites inventoriés et datés de la période de l'âge du Fer sont inclus dans ce secteur. Par ailleurs, sur les 41 sites, 40 sont mono-périodes, et seul celui de Witzwil sur la commune de Ins (BE) est occupé à l'Age du Bronze et à l'Epoque romaine.

Période	Nb. sites
non connue	7
Epoque moderne	0
Moyen Age	3
Epoque romaine	11
Age du Fer	7
Age du Bronze + Epoque romaine	1
Age du Bronze	3
Néolithique + Epoque romaine	0
Néolithique + Age du Bronze	0
Néolithique	8
Paléolithique	1
<b>Nombre total de sites</b>	<b>41</b>

Tab. 1.2 : Liste des sites archéologiques de l'exutoire du lac de Neuchâtel.

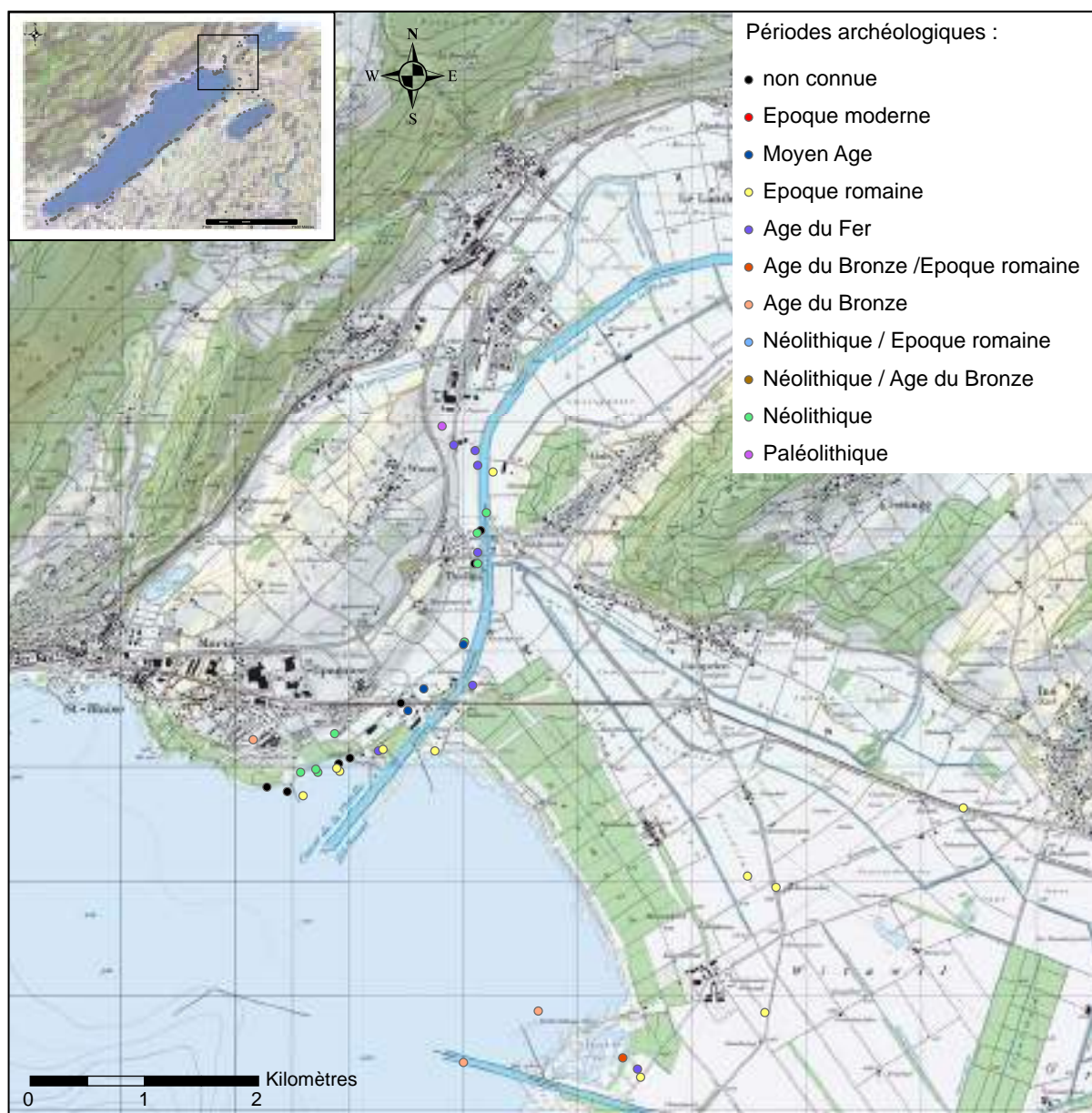


Fig. 1.25 : Carte des sites archéologiques de l'exutoire du lac de Neuchâtel.

## 5. Conclusion

Travailler sur l'ensemble du lac de Neuchâtel est un travail considérable non envisageable dans le laps de temps imparti. Il est alors apparu plus judicieux de se restreindre à la compréhension de l'évolution environnementale d'une zone plus petite, représentative des implantations archéologiques autour du lac et relativement bien documentée. Ainsi, le choix du secteur d'étude est influencé par les travaux actuels de l'OMAN. Leurs recherches sont axées sur plusieurs sites archéologiques situés autour de l'exutoire du lac de Neuchâtel et plus spécifiquement au SW de la butte de Thielle-Wavre. Ce travail s'est donc intégré tout naturellement aux problématiques développées par l'OMAN d'autant plus que la compréhension géo-archéologique de la zone exutoire du lac de Neuchâtel est intéressante pour sa richesse en sites. Elle est cependant plus complexe scientifiquement puisque le travail doit porter sur l'enregistrement des variations du niveau du lac et sur les changements de cours de la Thielle moyenne. Après l'analyse des documents existants sur ce secteur, une stratégie d'approche de la problématique sera présentée.



## **2. MÉTHODOLOGIE D'UNE ÉTUDE GÉO-ARCHÉOLOGIQUE**



## 2. MÉTHODOLOGIE D'UNE ÉTUDE GÉO-ARCHÉOLOGIQUE

---

L'étude de la relation entre les variations du niveau du lac et les implantations archéologiques dans un contexte géographique précis nécessite le traitement et l'analyse de données pluridisciplinaires, contraints par le type de données. Par ailleurs, les données sont dépendantes de leurs situations spatiale et temporelle. Ces contraintes impliquent l'emploi d'un Système d'Information Géographique (SIG ; Combaud, 2008). Un SIG est un ensemble organisé intégrant le matériel, le logiciel et les données nécessaires pour permettre la saisie ou l'acquisition, le stockage ou la gestion, l'analyse et la manipulation, et enfin la visualisation de toutes les informations géoréférencées (Michel, 1995). Ainsi, il inclut toutes les fonctionnalités du gestionnaire de base de données comme par exemple l'analyse statistique ou les requêtes, mais inclus dans un environnement géoréférencé. L'utilisation du logiciel ESRI ArcGIS pour la réalisation du SIG permet la création d'une géodatabase qui facilite la gestion des documents rasters et vecteurs dans un domaine spatial et un système de projection bien définis pour l'ensemble des données intégrées. Pour cette étude, le système de projection retenu est le système de projection suisse CH1903\_LV03, système géographique permettant les calculs directs de surfaces et de distances grâce à son unité métrique.

De par la pluridisciplinarité des données et des sources, le mode d'acquisition dépend des documents originaux. Ce chapitre présente l'ensemble des données intégrées à l'étude et leur mode d'intégration au projet SIG. Plusieurs types de documents sont à distinguer :

- les cartes papier : elles sont numérisées, géoréférencées puis digitalisées<sup>4</sup> donc transformées en documents vecteurs ;
- les cartes vecteurs : comme la maille du Modèle Numérique de Terrain (MNT) du canton, elles sont délimitées spatialement puis intégrées directement au SIG ;
- les fichiers raster : comme les photographies aériennes ou les images proche infrarouge, ils sont intégrés au SIG après projection dans le système retenu ;

---

<sup>4</sup> La numérisation consiste à scanner le document, le géoréférencement permet d'ajouter des coordonnées géographiques à cette image informatique. La digitalisation consiste à redessiner les éléments importants de l'image dans un environnement géographique défini.

- les données : elles sont, soit extraites de bases de données existantes, soit compilées à partir de la bibliographie. Leur intégration au SIG est possible après ajout des coordonnées géographiques.

De l'apport des documents existants va dépendre la démarche entreprise par la suite pour essayer de répondre à la problématique. Ainsi, pour chaque type de document intégré à l'étude sont présentés : le document original, son traitement et les éléments de réponse qu'il apporte.

## **1. Contexte environnemental : les documents existants**

### **1.1. Cartes topographiques actuelles**

#### **1.1.1. Les données originales**

Le secteur d'étude se répartit sur les quatre feuilles de la carte nationale de la Suisse (Landeskarte der Schweiz) au 1:25 000 suivantes :

- feuille 1144, Val de Ruz (Office fédéral de la topographie, 1982a) ;
- feuille 1145, Bieler See (Office fédéral de la topographie, 1982b) ;
- feuille 1164, Neuchâtel (Office fédéral de la topographie, 1987a) ;
- feuille 1165, Morat (Office fédéral de la topographie, 1987b).

#### **1.1.2. Le traitement**

L'intégration de ces cartes consiste à transformer les documents papier en fichiers informatiques compatibles avec le SIG. Après numérisation puis géoréférencement des cartes, les données semblant intéressantes pour cette étude sont digitalisées. Il s'agit de la délimitation d'une partie du lac de Neuchâtel et d'une partie du canal de la Thielle, digitalisées sous forme de polygones. Il en est de même pour toutes les zones humides présentes dans le secteur (Fig. 2.1). Des données altitudinales précises étant à disposition (*cf. infra*), les courbes de niveau ne sont pas prises en compte ici. En effet, en raison du manque de résolution des cartes topographiques à cette échelle d'étude, l'équidistance des courbes de niveau ne permet pas d'identifier les micro-dépressions associées aux zones humides. Par ailleurs, pour les contextes généraux, un MNT avec une maille de 50 mètres est disponible pour l'ensemble de la Suisse.



Fig. 2.1 : Carte topographique avec indication des cours d'eau et des zones d'eau stagnante (contours rouges).

### 1.1.3. L'apport

Les cartes topographiques récentes permettent de spatialiser précisément les rives du lac ainsi que le canal de la Thielle (Fig. 2.1). Les zones humides repérées sur les cartes peuvent être des indices épars d'anciens chenaux de la Thielle qui n'auraient pas encore été complètement comblés. Cette hypothèse doit être vérifiée par l'analyse d'autres documents et/ou des observations de terrain. En admettant qu'elle se vérifie, la disposition de ces seuls indices ne permet pas de retracer un cours complet de la Thielle moyenne à une période donnée. De plus, les cartes topographiques n'apportent aucune information quant à la délimitation de la plaine d'inondation du lac de Neuchâtel et de la Thielle moyenne.

Il est alors nécessaire de regarder la contribution d'autres documents pour la délimitation de la plaine d'inondation, à savoir les cartes géologiques et le Modèle Numérique de Terrain.

## 1.2. Les cartes géologiques

### 1.2.1. Les données originales

Le secteur étudié se situe sur les quatre cartes de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25 000 suivantes :

- feuille 51, 1144 Val de Ruz (Suter et Lüthi, 1969) ;
- feuille 60, 1145 Bieler See (Schär *et al.*, 1971) ;
- feuille 63, 1165 Murten (Becker et Ramseyer, 1972-73) ;
- feuille 67, 1164 Neuchâtel (Meia et Frei, 1974-76).

### 1.2.2. Le traitement

L'acquisition de ces cartes se fait selon le même principe que les cartes topographiques. Lors de la digitalisation, toutes les données géologiques sont intégrées. En raison de la différence de traitement des lignes et des polygones par le logiciel de SIG, il faut distinguer les failles représentées par une ligne, des formations géologiques représentées par des polygones. A chaque élément digitalisé est attribué un certain nombre d'informations comme le nom de la formation, sa nature géologique et son âge. L'homogénéisation nécessaire des données provenant des différentes cartes est présentée dans le tableau 2.1. L'acquisition manuelle des formations géologiques a permis d'étendre l'étude à une zone plus large afin de mieux comprendre la particularité géologique du secteur archéologique de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

Carte de Neuchâtel feuille 1164	Carte de Morat feuille 1165	Carte du Val de Ruz feuille 1144	Carte de Bienne feuille 1145	Mes digitalisations
Dépôt artificiel, remblais	Dépôt artificiel, remblais	Dépôt artificiel, remblais		
a : alluvions récentes	a	a	a	a : alluvions récentes
Cône de déjection	Cône de déjection	Cône de déjection	Cône de déjection	Cône de déjection
Eboulis	Eboulis de pente	Eboulis	Eboulis	Eboulis
Blocs éboulés		Blocs éboulés	Blocs éboulés	Blocs éboulés
Tuf calcaire	Tuf calcaire	Tuf calcaire		Tuf calcaire
Tourbe (absent sur cette carte)	Zone de formation limono-palustre (marais, tourbe, craie,...)		Zone de formation limono-palustre (marais, tourbe, craie,...)	Zone de formation limono-palustre
	Dune de sable		Cordon littoral graveleux	Cordon littoral graveleux
	Dépôts lacustres (argile et sable à Unios)		Dune de sable	Dune
	qL			a : alluvions récentes
q4m	q4m	q4m	qL	qL : Lehm d'altération et d'éluvion
	q4mG		q4m	q4m : moraine de fond
	q3-4s		q4s	q4s : Gravier fluvioglaciers
m1	m1		m1	m1 : Grès gris-vert-Molasse marine sup.
	m1c		m1c	m1c : Grès coquillers-Molasse marine sup.
O3-4	O3-4	O3-4	O3-4	O3-4 : Grès-marnes-Molasse d'eau douce inf.
O3-4 /s faible couverture	O3-4 /s faible couverture		O3-4 /s faible couverture	O3-4 recouvert : Molasse eau douce inf. sous faible couverture
C8	C8		C8	C8 : Cénomaniens
C7		C7		C7 : Lambeau de couche albiennes
C4b	C4b			
C4a	C4a		C4	C4 : Calcaire Urgonien jaune – Urgonien blanc
C3k	C3k	C3k	C3k	C3k : Pierre jaune de NE
C3m	C3m	C3m	C3m	C3m : Marnes bleues d'Hauterive
C2	C2	C2	C2	C2 : Marnes d'Arzier, Calcaire roux
C1	C1	C1-2	C1-2	C1-2 : Marbre bâtarde
i8i / i8s i8-C1	i8-C1	i8	i8-C1	i8 : Portlandien
i7		i7	i7	i7 : Kimméridgien

: formation absente sur le secteur digitalisé

Tab. 2.1 : Correspondance entre les formations présentes sur les cartes géologiques et liste de formations digitalisées pour cette étude.

### **1.2.3. L'apport**

La géomorphologie générale du lac de Neuchâtel et de son exutoire résultant du retrait du glacier du Rhône, la limite de leur plaine de débordement, constituée d'alluvions récentes et de marais, est bordée latéralement par les collines de molasse recouvertes de moraine de fond würmienne (Fig. 2.2). Cette délimitation est peu précise car si lors d'une crue, des alluvions récentes ont pu être déposées, elles ont aussi bien pu être érodées lors de périodes de bas niveau lacustre suivantes. La limite alluvions récentes-molasse tertiaire ou moraine würmienne ne peut donc être considérée comme une limite stricte de la zone d'étude.

## **1.3. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT)**

### **1.3.1. Les données originales**

Les données altitudinales de la zone d'étude fournies par le Système d'Information du Territoire Neuchâtelois (SITN) sont extraites du modèle numérique de terrain, avec un maillage de 1 mètre. Ce modèle a été obtenu par mesure laser - système LIDAR - de la topographie de la surface à partir d'un avion. Les bâtiments et les cimes des arbres étant incluses dans ces premières données, elles sont filtrées afin d'obtenir l'altitude du sol (<http://www.ne.ch/sitn/plaquettes>). Les données fournies forment une grille au sein d'un rectangle de 6364 m sur 5499 m, soit environ 35 millions de points.

### **1.3.2. Le traitement**

Une carte raster est calculée à l'aide du logiciel Geovariances Isatis afin d'avoir une représentation de la topographie. Dans une première étape une grille de maillage 2 m x 2 m est créée puis, dans un second temps, cette grille est superposée à la grille originale de résolution 1m x 1m. La valeur de chaque nouvelle cellule correspond alors à la moyenne des 4 cellules de la grille originale qu'elle englobe. Cette résolution spatiale permet d'éliminer certains artefacts tout en restant suffisamment précis. Cette nouvelle carte raster du Modèle Numérique de Terrain peut directement être intégrée sous ARC GIS.

### **1.3.3. L'apport**

Moulin (1991) a montré que le niveau du lac de Neuchâtel, et par conséquent de son exutoire, n'a jamais dépassé l'altitude 436 m, permettant de délimiter l'étendue maximale de la plaine d'inondation (Fig. 2.3). Par ailleurs, elle détermine la zone où l'enregistrement sédimentologique des variations du niveau du lac a été possible. Cette délimitation coïncide

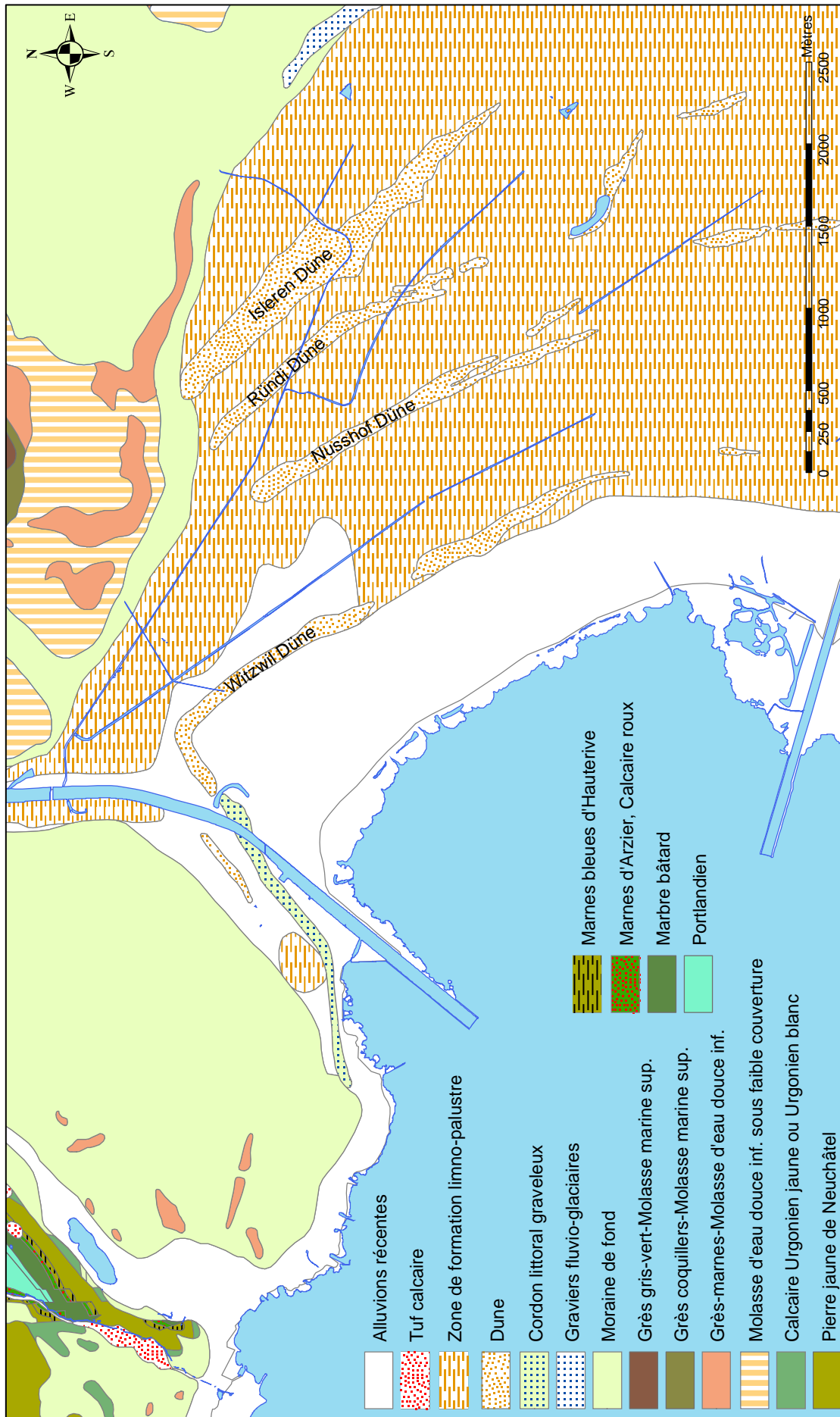
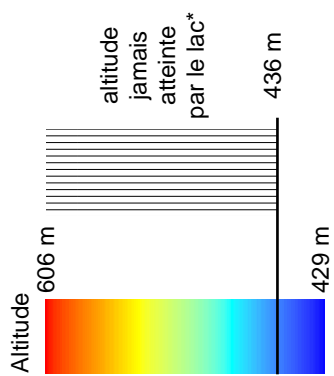
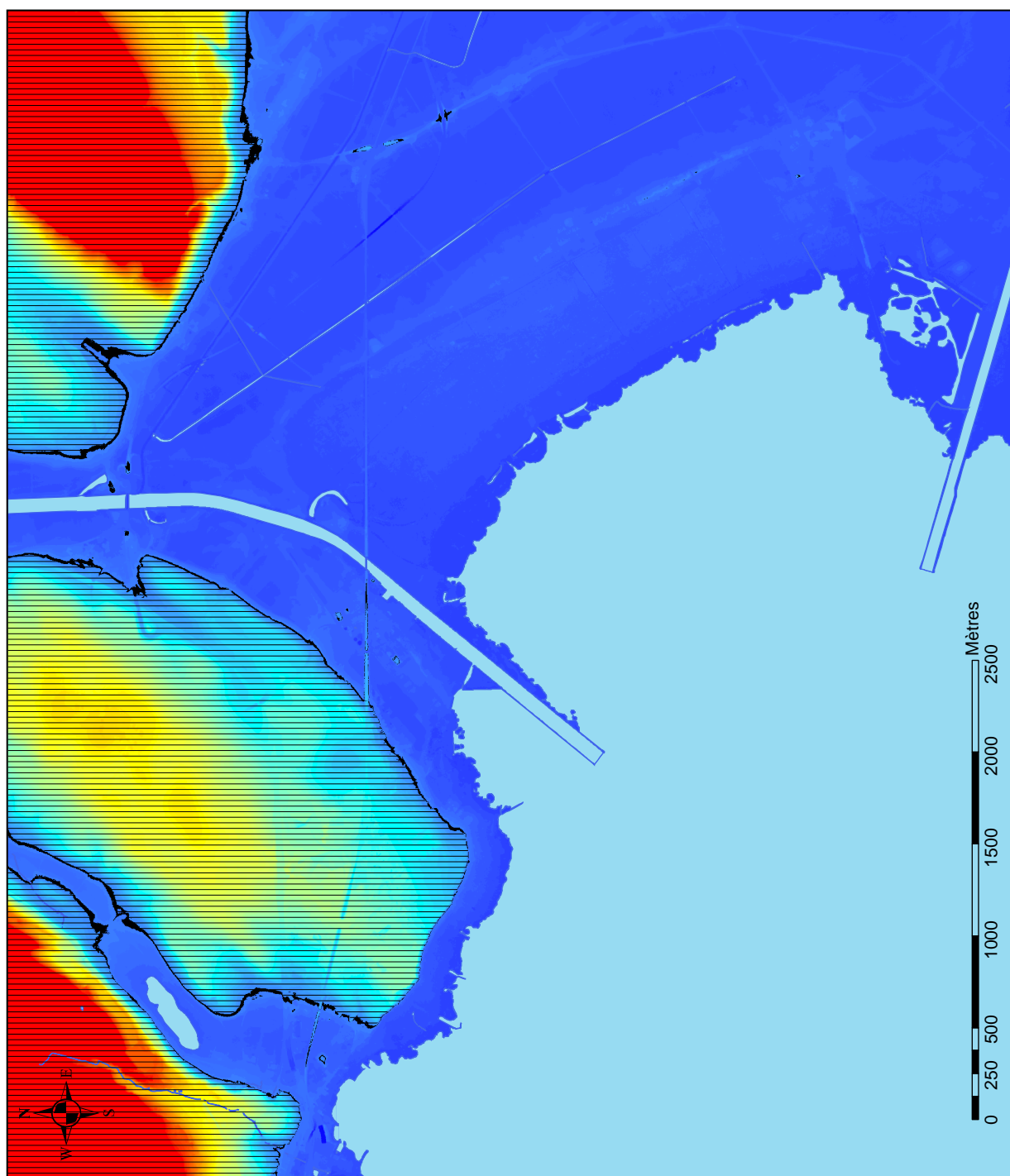


Fig. 2.2 : Carte géologique de la zone exutoire du lac de Neuchâtel d'après Becker et Ramseyer (1972-73), Meia et Frei (1974-76), Schär *et al.* (1971) et Suter et Lüthi (1969).



\* d'après Moulin (1991).

Fig. 2.3 : Délimitation de la plaine d'inondation pouvant être recouverte d'eau lors de périodes de haut niveau lacustre. Calcul effectué à partir du MNT avec une résolution spatiale de 2 m.

avec la limite alluvions récentes-moraine de fond qui se situe à la base du versant sud de la butte de Wavre (Fig. 2.4). Par contre, elle est altitudinalement plus élevée que cette limite à l'est de la butte de Wavre et autour de la colline de Jolimont.

Il est possible d'analyser les variations topographiques au sein de cette zone délimitée (Fig. 2.5). En faisant abstraction des aménagements récents observables sur les cartes topographiques (*cf. supra*) et sur les photographies aériennes (*cf. infra*), le MNT permet de distinguer plusieurs entités. Ainsi apparaissent sous forme de dépressions, les zones humides observées sur les cartes topographiques, et considérées comme des indices d'anciens chenaux. L'ancien chenal le plus au nord est bordé à l'ouest par une petite butte qui commence en amont. Néanmoins, cette limite est à confirmer à l'aide d'autres sources. La dépression sud-est, qui avait aussi été repérée sur les cartes topographiques, présente, en amont de ce qui avait été observé, deux dépressions qui pourraient être liées à un ancien chenal ou à des zones draguées. D'autres dépressions dont la nature ne peut être déterminée par les seules analyses des cartes topographiques et du MNT sont signalées ; il s'agit des dépressions marquées par un point d'interrogation sur la figure 2.5. Quant aux zones hautes observables sur le MNT, elles correspondent au cordon littoral graveleux et aux dunes sableuses présents sur les cartes géologiques (Fig. 2.4). La dune de Witzwil semble être composée de deux monticules. Le premier, à l'est, est le plus important et le plus haut alors que le second à l'ouest est moins élevé et plus étalé.

Pour compléter et affiner les observations réalisées sur le MNT, les photographies aériennes fournissent une visualisation directe du secteur d'étude dans la gamme du visible. Quant aux images proche-infrarouge, leur traitement permet d'identifier les zones humides du secteur.

## 1.4. Photographie aérienne

### 1.4.1. Les données originales

Les orthophotos géoréférencées - photos aériennes orthorectifiées - ont été fournies par le SITN et par l'Office de l'Information Géographique du canton de Berne. Ne provenant pas de la même campagne de vol, elles n'ont pas la même résolution. Celles du SITN datent de 2005 et ont une résolution de 20 cm alors que celles de l'Office de l'Information Géographique du canton de Berne ont été prises en 1998 et ont une résolution de 50 cm. Les orthophotos fournies par le SITN ont comme numéros : 1144-44, 1145-33, 1164-22 et 1165-11 et celles mises à disposition par l'Office de l'information géographique du canton de Berne sont les suivantes : 1145-33, 1145-34, 1165-11, 1165-12, 1165-13, 1165-14.

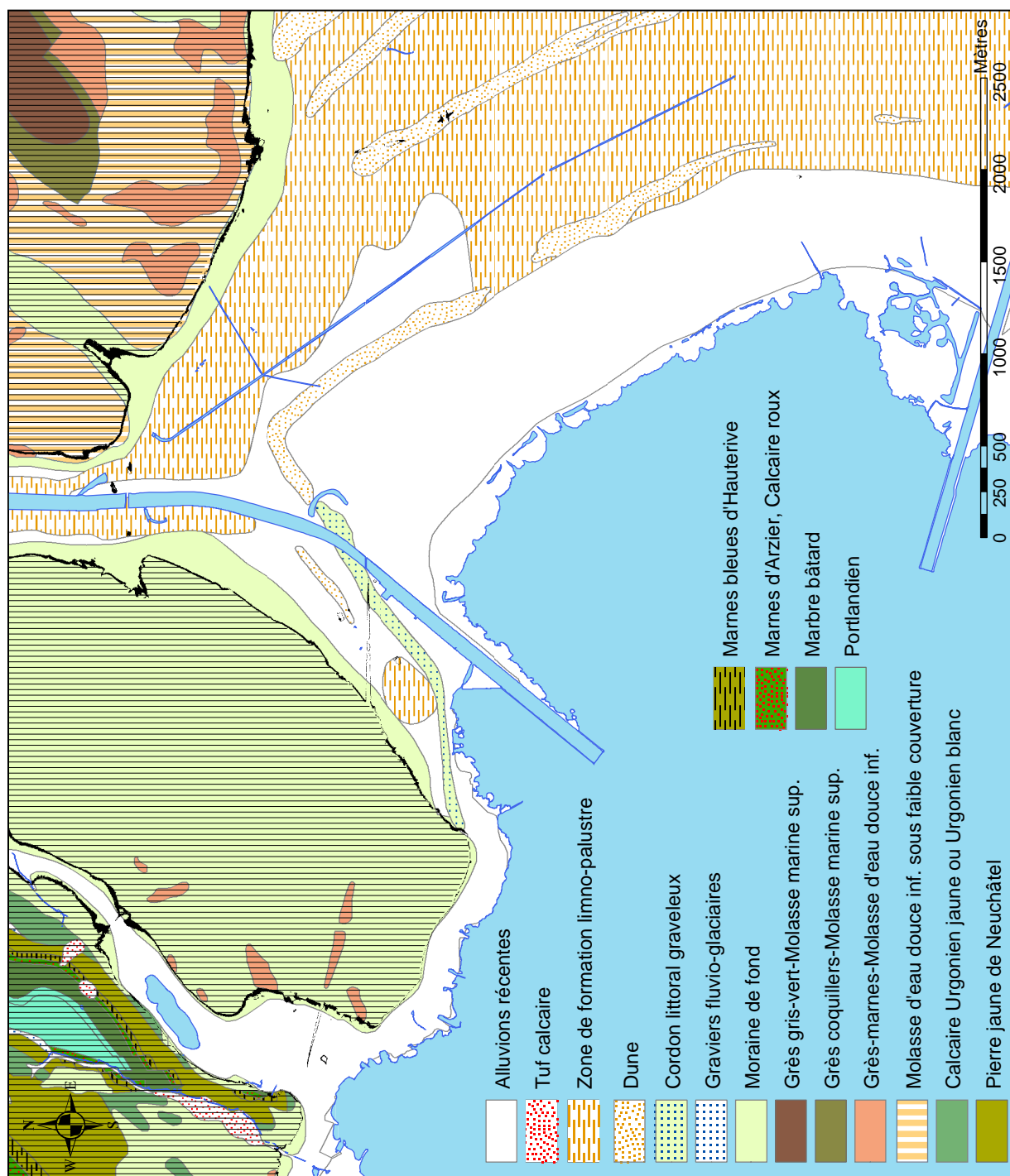


Fig. 2.4 : Limite de la zone pouvant être recouverte d'eau lors de haut niveau lacustre plaquée sur la carte géologique.

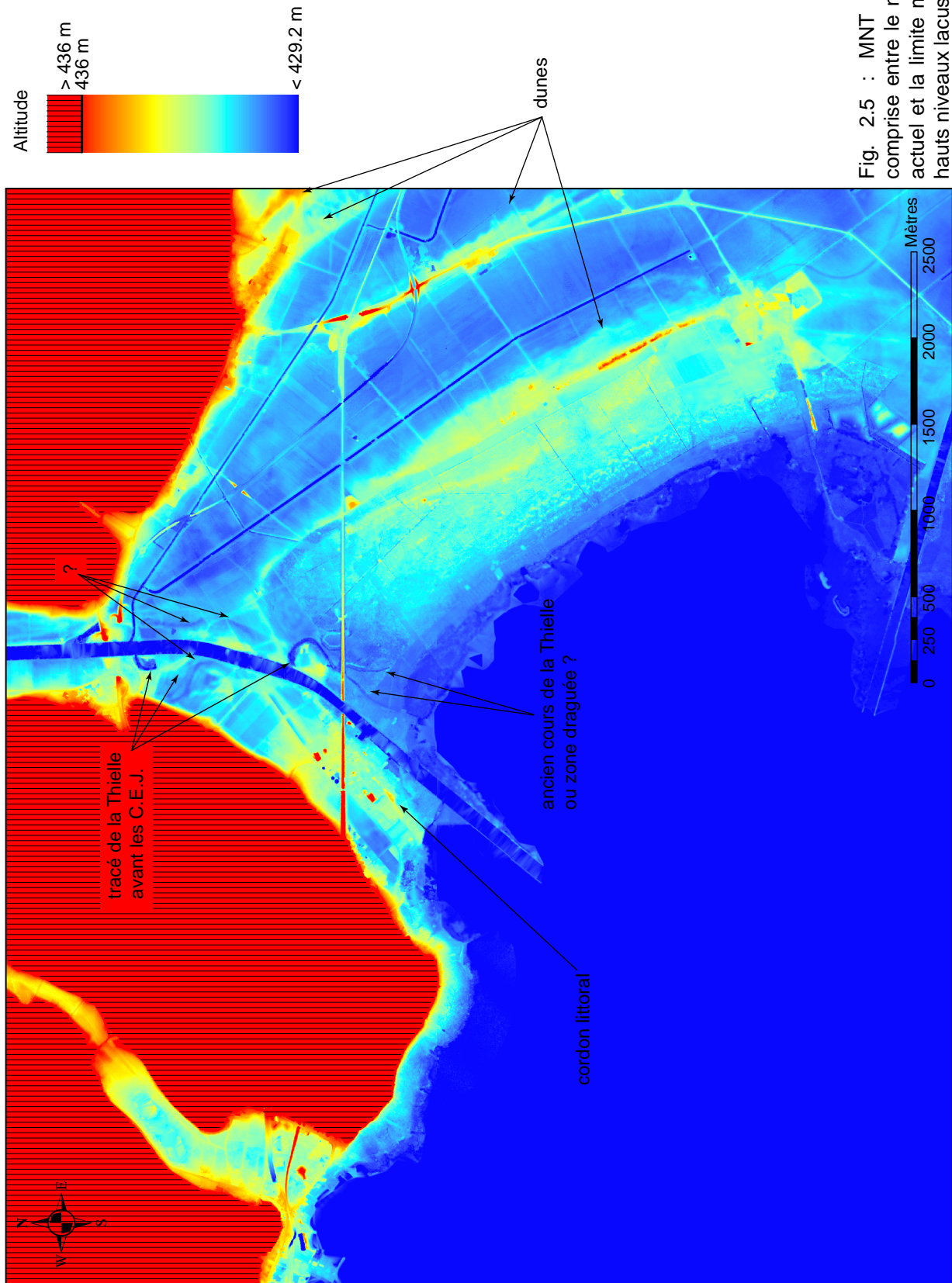


Fig. 2.5 : MNT de la zone comprise entre le niveau du lac actuel et la limite maximale des hauts niveaux lacustres.

### **1.4.2. Le traitement**

Pour ces photographies, les missions sources étant différentes, la délimitation des dalles n'est pas la même. Il est alors nécessaire de spécifier que les données absentes sur les dalles du canton de Neuchâtel, et mises par défaut en blanc par le logiciel, doivent être définies comme transparentes afin de visualiser l'ensemble du secteur des dalles du canton de Berne.

### **1.4.3. L'apport**

Les photographies aériennes permettent de digitaliser les rives du lac de Neuchâtel et de la Thielle moyenne (Fig. 2.6). Les zones humides repérées sur les cartes topographiques actuelles apparaissent ici bordées d'arbres. Leur distinction avec des zones de forêt n'aurait pas été possible sans l'observation préalable des cartes topographiques. Par ailleurs, dans le prolongement de ces zones, la végétation apparaît de couleur différente par rapport au reste de la parcelle, ce qui permet d'identifier un ancien chenal (Fig. 2.6). Ainsi, un ancien lit mineur de la Thielle moyenne relie les deux zones humides repérées sur les cartes topographiques actuelles et le MNT (Fig. 2.7). Ces photographies confirment la limite ouest du chenal nord de l'ancienne Thielle qui avait été détectée sur le MNT. De plus, deux nouveaux tracés apparaissent. Le premier, d'orientation SE-NW, se situe à l'ouest de la zone d'eau stagnante la plus au sud. Le second possède une orientation SSW-NNW et peut être relié à une petite dépression remplie d'eau à l'ouest du chenal septentrional. Ces deux tracés ne sont pas complets et doivent être confirmés. En revanche, rien n'apparaît au niveau des dépressions signalées lors de l'analyse du MNT par les points d'interrogation sur la figure 2.5.

## **1.5. Images proche-infrarouge**

### **1.5.1. Les données originales**

Les images proche-infrarouge redressées et géoréférencées sont fournies par le SITN et ne couvrent qu'une partie du secteur d'étude. Prises lors d'une campagne de vol en 2006, ces images ont une résolution de 20 cm. Leur résolution spectrale est de 675-850 nm. Les images utilisées ici ont les numéros : 1144-44, 1145-33, 1164-22 et 1165-11.

### **1.5.2. Le traitement**

Comme pour les photographies aériennes, les zones présentant des contrastes colorimétriques sont surlignées (Fig. 2.7). Afin d'accentuer ces contrastes et de faciliter la mise en évidence d'anciens cours d'eau, le mode colorimétrique des différentes bandes (RVB) a été modifié (Fig. 2.8).

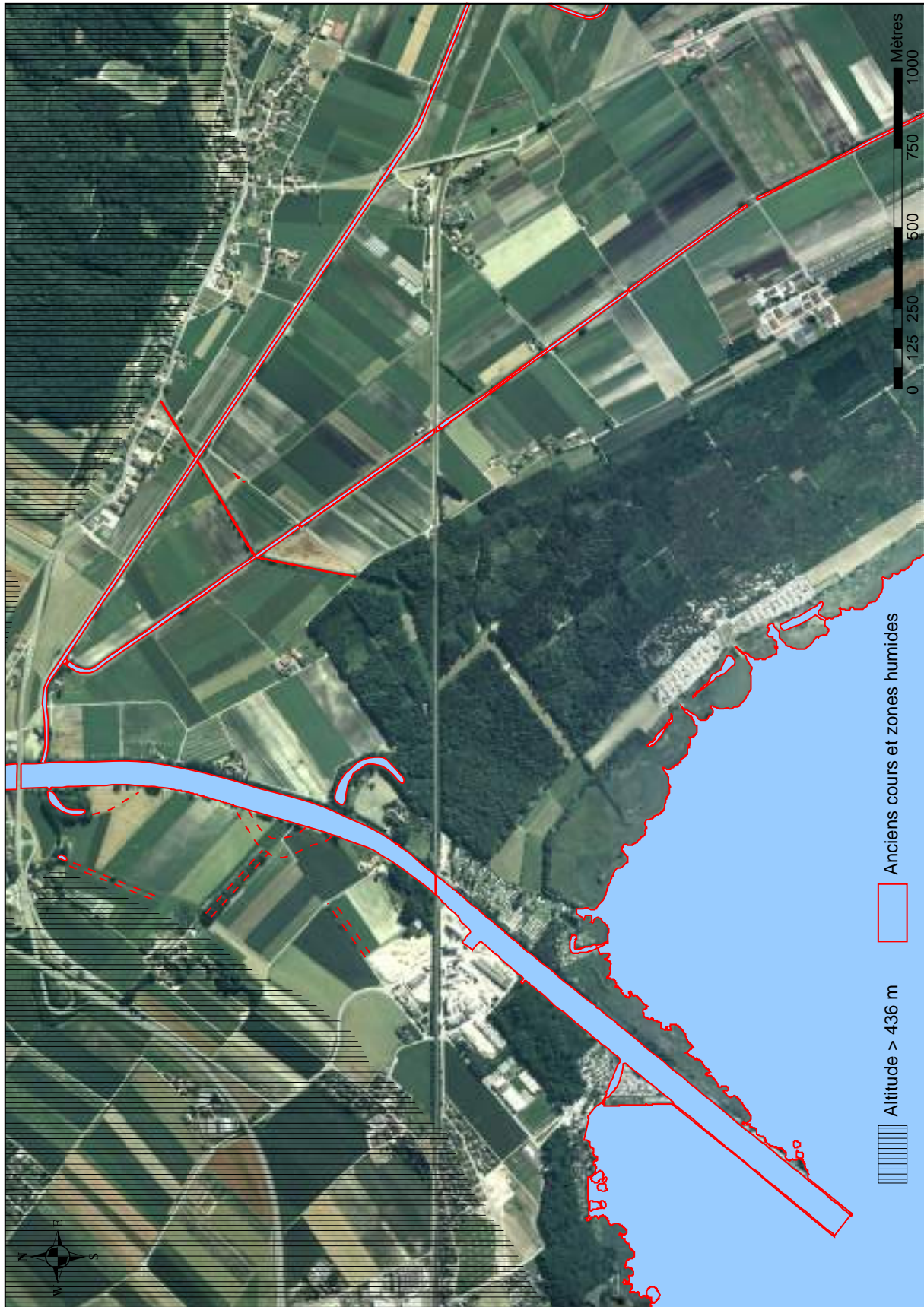


Fig. 2.6 : Photographie aérienne avec les indices des anciens cours d'eau surlignés en pointillés rouges.

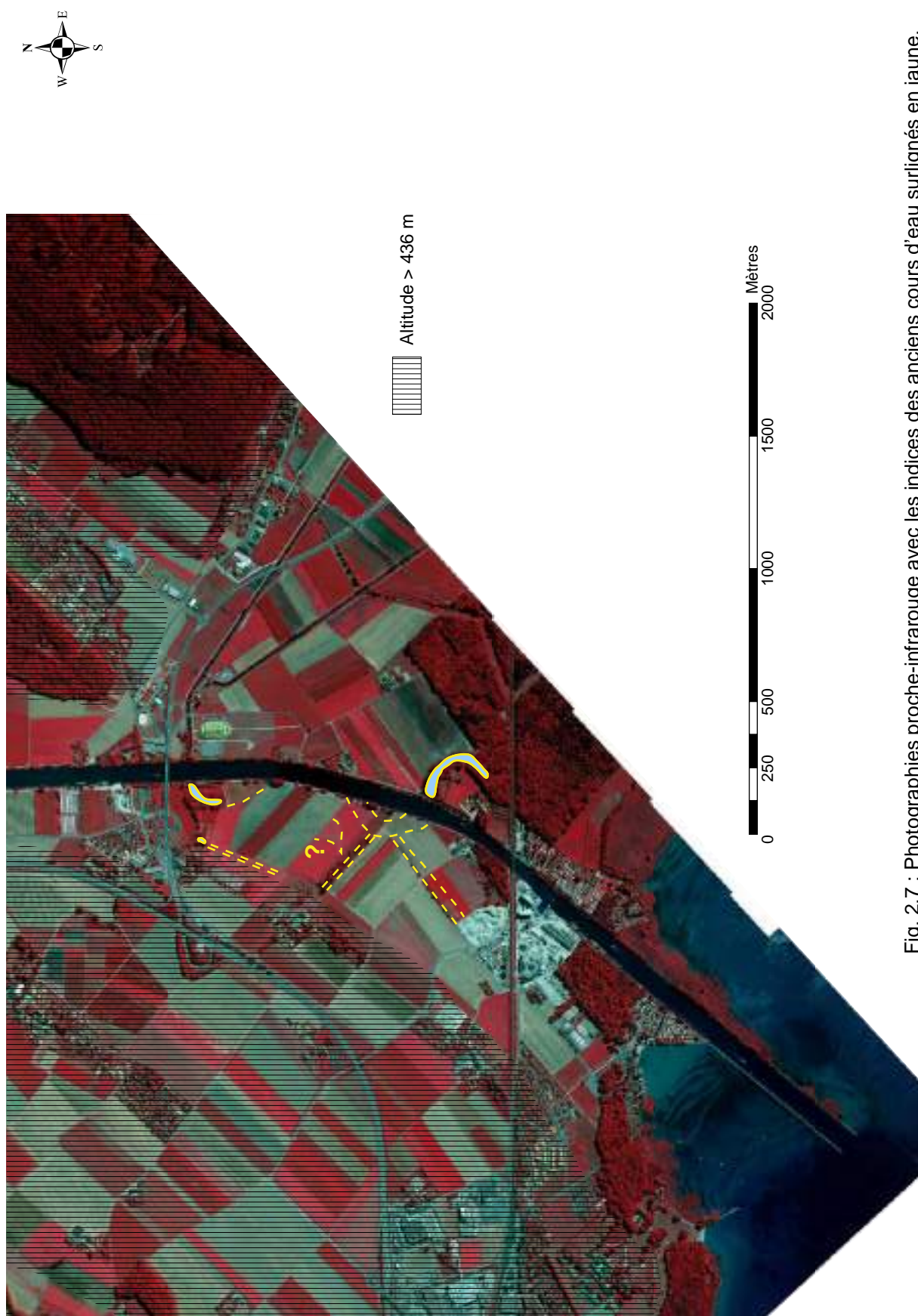
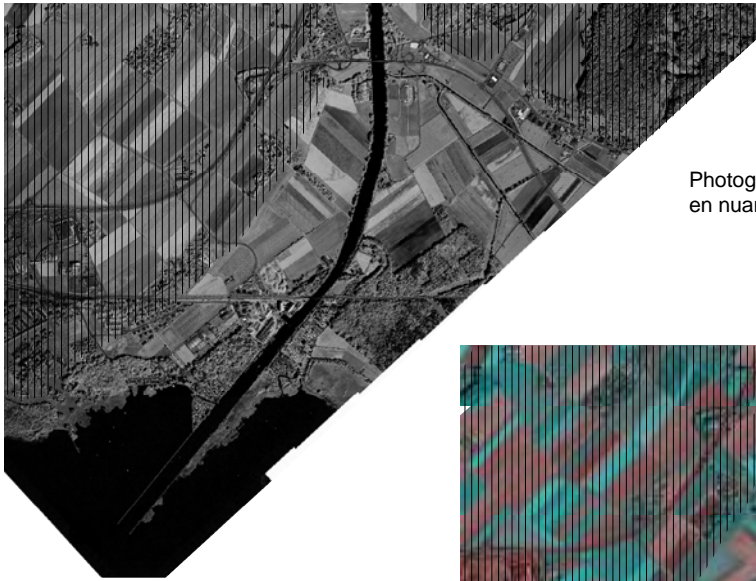
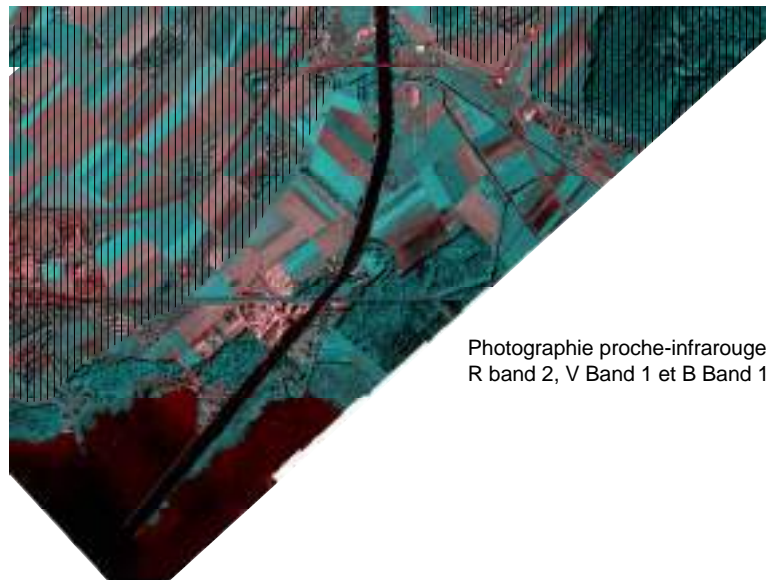


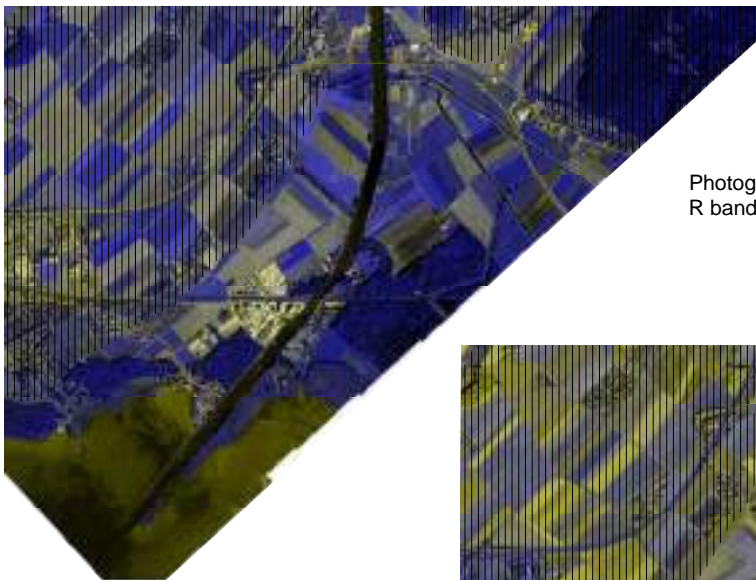
Fig. 2.7 : Photographies proche-infrarouge avec les indices des anciens cours d'eau surlignés en jaune.



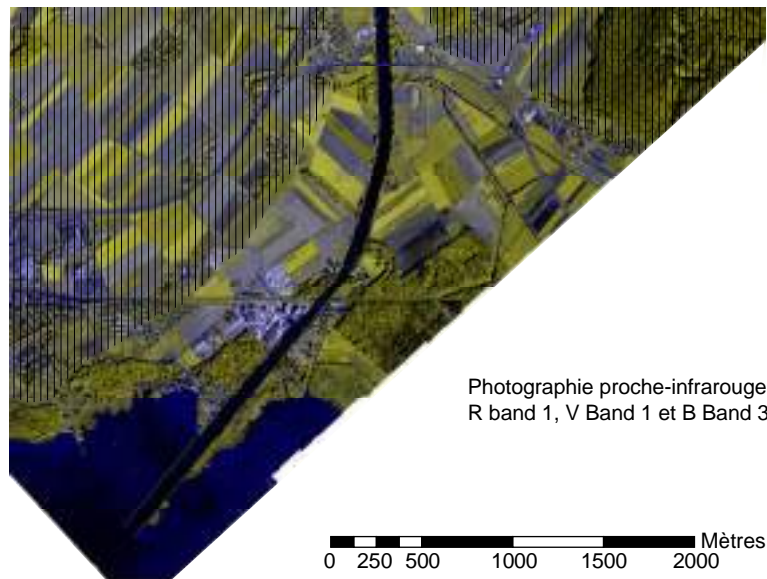
Photographie proche-infrarouge en nuance de gris



Photographie proche-infrarouge R band 2, V Band 1 et B Band 1

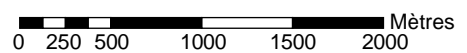


Photographie proche-infrarouge R band 3, V Band 3 et B Band 1



Photographie proche-infrarouge R band 1, V Band 1 et B Band 3

Fig. 2.8 : Exemples de différents traitements des photographies proche-infrarouge trichromiques (RVB) afin de mettre en évidence des zones pouvant correspondre à d'anciens cours d'eau.



### **1.5.3. L'apport**

Sur les images proche-infrarouge les différents chenaux observés sur les photographies aériennes ressortent très nettement. Ainsi, le tracé de l'ancienne Thielle reliant les deux zones marécageuses est confirmé. Le tracé supplémentaire d'orientation SE-NW peut être prolongé en aval et semble rejoindre le chenal principal retracé précédemment. Ces images font aussi apparaître à l'ouest du canal de la Thielle une zone plus humide qui, d'après le MNT, est altitudinalement plus haute (Fig. 2.5) mais dont la forme ne permet pas de proposer une origine.

En conclusion, la superposition spatiale des données issues du MNT, des photographies aériennes et des images proche-infrarouge permet d'affiner le contexte hydrologique passé et actuel de la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Mais, ces documents n'offrent pas de cadre chronologique pour les différents anciens chenaux repérés. C'est pourquoi une étude de l'ensemble des documents historiques, à savoir toutes les cartes connues de la région, s'est avérée nécessaire.

## **1.6. Les cartes historiques**

### **1.6.1. Les données originales**

Un inventaire de cartes historiques, gravures et anciens plans couvrant la zone d'étude, ou au moins une partie, a été réalisé en collaboration avec N. Plumettaz (OMAN) et G. Reginelli Servais (OMAN et Institut de préhistoire et des sciences de l'Antiquité, Université de Neuchâtel). Cinquante et une références ont été trouvées entre 1550 environ et 2007 (Tab. 2.2). Les documents découverts ont été réalisés pour moitié au XIX<sup>e</sup> siècle et sont liés, soit à la création de la première série de cartes topographiques de la Suisse, soit aux différents projets d'aménagement du Seeland proposés avant les C.E.J. Un seul document est attesté du XVI<sup>e</sup> siècle, 8 du XVII<sup>e</sup>, 5 du XVIII<sup>e</sup>, 25 du XIX<sup>e</sup>, 10 du XX<sup>e</sup> et 1 du XXI<sup>e</sup>. Ce dernier est mis dans le tableau 2.2 afin d'avoir un aperçu global de toutes les cartes et plans à disposition mais, comme il ne recouvre que le canton de Neuchâtel (à l'ouest de la Thielle moyenne), il n'est pas pris en compte dans cette partie de l'étude.

### **1.6.2. Le traitement**

Un tri de ces cartes est réalisé en fonction de la surface du secteur d'étude couverte et de la qualité des données qu'elles apportent. Les cartes non retenues pour cette étude ont un "non" dans la colonne "Intérêt" du tableau 2.2. Les cartes pertinentes sont intégrées au

Date	Auteur	Couverture du sol	Titre	Echelle	Commentaire	Source originale/code	Intérêt/SIG
2007	Ser. des Mensurations Cadastr			1/500	Cadastré sur le canton de Neuchâtel - SITN		
1987	Office fédéral de la topographie	1164 Neuchâtel, Topographie : Carte nationale de la Suisse		1/25000	Carte topographique de la Suisse		oui
1982	Office fédéral de la topographie	1144 Val de Ruz, Topographie : Carte nationale de la Suisse		1/25000	Carte topographique de la Suisse		oui
1982	Office fédéral de la topographie	1145 Bieler See, Topographie : Carte nationale de la Suisse		1/25000	Carte topographique de la Suisse		oui
1987	Office fédéral de la topographie	1165 Murten, Topographie : Carte nationale de la Suisse		1/25000	Carte topographique de la Suisse		oui
1977	Berger et Joss	Topographisch-hydrographische Situation beim Ausfluss der Zihlaus dem Neuenburgersee			Reprise de la carte de Lüdi, 1935	Article	?
1944	Service fédéral des Eaux	Profil en travers du canal de la Thielle entre le lac de Neuchâtel et le lac de Biennne		1/10 000		Berger and Joss, 1977	
1941	Anonymus	Carte topographique		1/25000	Carte de la Thielle à la sortie du lac de Neuchâtel	MCAN	oui
1935	Werner Lüdi	Versuch, die Umgebung von La Tène zur Zeit, da diese Siedlung lebte, darzustellen.			Carte de la Thielle à la sortie du lac de Neuchâtel	Lüdi, 1935	?
1923	Paul Vouga	Plan de situation		1/12500	Carte des fouilles et d'un ancien cours de la Thielle	Vouga, 1923	oui
1920?	Maurice Borel			1/1000	Carte de Préfargier à Pré-de-la Mottaz	MCAN-B5-200	oui
1907-1914	Maurice Borel	Carte des fouilles de la Tène de 1907 à 1914		1/1000	Topographie du site de la Tène de 1907 à 1914	MAR-LT D1-56	
1900	Maurice Borel	Canton de Neuchâtel, feuille II		1/50000	Carte de Neuchâtel / Le canton de Neuchâtel, Suisse; Société des bureaux officiels de renseignements, (Neuchâtel : Delachaux et Niestlé)	MCAN-B10-553 / RERO:R003579	non
post 1ere CEJ	Anonymus			1/50000	Carte de l'entre deux lacs	MCAN-B10-551	
post 1ere CEJ	Anonymus			1/50000	Carte de l'entre deux lacs	MCAN-B10-552	
1880-89	Maurice Borel	La Tène. Etat des fouilles archéologiques 1880-1889		1/500	Relevé réalisé durant les fouilles de E. Vouga	MAR-LT-D1-31	non
1870-92	Siegfried	Carte topographique de Siegfried		1/25000		SITN	oui
1885	Emile Vouga	Plan		1/4000 et 1/1000	Plan de la Tène et des fouilles effectuées	Vouga, 1885	oui
1885	P. Maratel			1/25000	Carte de Neuchâtel, feuille 309	MCAN-B10-575	non
1879	J. Bäckli	Carte topographique		1/25000	Carte de l'entre deux lacs, feuille 136	MCAN-B10-572	oui
1879	Anselmier, Strysenski, Meyer et Gosset	Carte topographique		1/25000	Carte allant du Lac de Neuchâtel au Lac de Morat première édition, feuille 312	MCAN-B10-583	oui
1877	Höflimann	Carte topographique		1/25000	Carte de l'entre deux lacs	MCAN-B10-560	oui
1875	H. Lindenmann	Carte topographique		1/25000	Carte centrée sur Chaumont, feuille 133	MCAN-B10-573	non
1874	Colonel Fédéral A. de Mandrot fédéral	Carte du Canton de Neuchâtel dessinée d'après la carte de l'état-major fédéral		1/100000	Carte du canton de Neuchâtel	IGUN	non
1871	J. Bäckli	Carte topographique		1/25000	Carte de l'entre deux lacs	MCAN-B10-562	oui
1868	A. Mandrot	Carte spéciale du cours de la Thielle du Lac de Neuchâtel au Lac de Bi		1/25000	Carte de l'entre deux lacs	Arch. Cant. VD/ d 1462-1464	oui
1866	Anonymus	Plan cadastral de plusieurs communes					oui
1857	Co du chemin de Fer Franco-S	Carte des chemins de fer suisse		1/1000000	Rapport du Conseil d'administration du 11 mai 1857	BCU/Riponne (Vaud)/N° RERO:21	non
1853	Kaspar Welli				Rapport sur les travaux préparatoires concernant les lignes de chemins de fer de Verrières-Neuchâtel-Yverdon	RERO:R274151760	non

Date	Auteur	Titre	Echelle	Commentaire	Source originelle/code	Intérêt/SIG
1842	Guillaume-Henri Dufour (1787-1875)	Topographische Karte der Schweiz	1/100000	Première série de carte officielles de la Suisse. Ellipsoïde : Schmidt 1828, Alt. de départ : la Pierre du Niton 376,2 m	SITN	oui
1842	Stryenski	Levé original pour la feuille Dufour	1/50000	Levé original pour la carte de G.-H. Dufour	MCAN-B10-561	
1840	Philippe Suchard			Projet de construction d'un canal navigable, entre le lac de Neuchâtel et celui de Biènnne	BPUN/N° RERO:1590577	non
1839	Charles Peseux	Plan d'un projet de canal du lac de Neuchâtel à la Thielle	5000 pieds F	Canal au Nord de la butte de Wavre	Arch. Cant. NE/CH-NE-0269	non
1838-45	Jean-Frédéric d'Ostervald	Carte de la Principauté de Neuchâtel	1/25000	Carte de la Principauté de Neuchâtel	Musée du Landeron et SITN	oui
1834	Lt Colonel Johann Leleweil (1796-1847)	Plan général d'assèchement du marais de Seeland	25000 pieds BE	Projet 1ere CE-J, plan d'ensemble	Arch. Cant. NE/CH-NE-BE-SO 236	
1825	Bellenoud	Plan de Rothaus		Plan autour de Maison Rouge	Arch. Cant. BE/AEB-AAV Zihl2	
1817	Junod	Minute de plan de la Thielle	5000 pieds NE, F	Carte allant du Lac de Neuchâtel au Lac de Biènnne	Arch. Cant. NE/CH-NE-BE 235	oui
1816-17	Trechsel	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	oui
1763 (relevés en 1688)	H.F. Breguet	Plan de la Chatellenie de Thielle	1/500 et 1/1000		Arch. Cant. NE/NE-REC-12-13	oui
1713	David-François de Mervelleux	Carte de la souveraineté de Neuchâtel et Valangin	1/100000	Extrait pour la zone de l'entre deux lacs. Gravure (burin) aquariellée	Musée du Landeron et SITN	
1715-1781	Anonymus	Plan du Domaine de Thielle	16 perches	Plan au niveau de Pont de Thielle	Arch. Cant. NE/CH-NE-04 312	
1709	Samuel Bodmer		1/16000	Entrée de la Thielle dans le lac de Biènnne	BPUN/Collection Schauenburg, n° non	
1694	David François de Mervelleux	Le Comté de Neuchâtel et la Seigneurie de Valangin			Evard (1998)	
1672-73	Père Bonjour	La Souveraineté de Neuchâtel et Valangin			Evard (1998)	
ap. 1650 au XVIIe	Anonymus		~ 1/80000	Carte des zones inondables entre le Lac de Neuchâtel au Lac de Biènnne	BPUN/Collection Schauenburg, n° 27	
1650	Anonymus			Vue générale de la Baronnerie du Landeron	AEN/CH-NE-0716	non
après 1650 au XVIIe	Anonymus		~ 1/14000	Carte de projet de fortification	BPUN/Collection Schauenburg, n° 28	
ap. 1646 au XVIIe	Anonymus		~ 1/25000	Carte de la zone exutoire du lac de Neuchâtel jusqu'au Landeron	BPUN/Collection Schauenburg, n° 26	
1630	Anonymus			Vue cavalière du cours de la Thielle	AEN/CH-NE-04.08-261	
1630	Anonymus			Vue cavalière du cours de la Thielle	AEN/CH-NE-0715	
vers 1550	Gerardo Mercatore	Carte de la Suisse romande vers 1550		Gravure (eau-forteburin) aquariellée	Musée du Landeron	

Tab. 2.2 : Liste des cartes, cartes historiques et plans de la zone ou d'une partie de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

Dans la colonne intérêt, "?" indique que les données doivent être discutées même si elles peuvent être intégrées au SIG et le "non" signifie que la carte ne recouvre pas ou très peu la zone d'étude ou qu'elle n'est pas assez précise (échelle trop petite,...) pour apporter de nouvelles informations.

SIG si cela est possible. En effet, l'intégration de ces documents pose différents problèmes liés au manque d'informations, de précision des cartes les plus anciennes, ou au mode de représentation, comme pour les vues cavalières. Le manque d'informations se traduit, par exemple, par une représentation sous forme de rond des villes et l'absence de points repères comme des intersections de routes, ce qui est le cas de la Carte de la Suisse Romande vers 1550 réalisée par Gerardo Mercator (Fig. 2.9). Certaines cartes sont déformées par rapport aux représentations actuelles, un redressement s'avère alors nécessaire avant leur intégration. Pour cela, les logiciels ArcGIS ou/et AirPhoto<sup>5</sup> permettent de définir des points de calage, points reconnaissables sur les anciennes cartes et les cartes topographiques actuelles. Lorsque la déformation est trop importante, le résultat du redressement peut ne pas être assez précis pour que la carte soit intégrée. Les seize cartes et plans historiques incorporés au SIG sont marqués par un "oui" dans la colonne SIG du tableau 2.2. Elles sont alors géoréférencées et les berges du lac de Neuchâtel, de la Thielle et les autres cours d'eau sont digitalisés. Il en est de même pour les cordons littoraux qui apparaissent sur quatre de ces cartes. Par la suite, les cartes et plans qui ne peuvent pas être redressés ou géoréférencés sont décrits. Tout ce travail est effectué en partant des cartes les plus récentes et en remontant le temps. Cinq de tous ces plans présentent un cours particulier qu'il est nécessaire de discuter suite à l'analyse des plans les plus récents et des plus anciens.

### 1.6.3. L'apport

#### - cartes digitalisées

La digitalisation des seize cartes et plans historiques redressés et géoréférencés permet d'obtenir les tracés de la figure 2.10 après plaquage de ceux-ci sur les cartes topographiques actuelles. Les annotations des anciennes cartes permettent de nommer les différents cours de la Thielle moyenne (Fig. 2.10). Le décalage plus ou moins important qui apparaît au niveau des tracés obtenus à partir de documents réalisés dans un intervalle de temps faible - quelques années - est lié à la qualité des documents originaux et aussi au redressement, qui ne peut être parfait. Il est toutefois possible de simplifier ces tracés en regroupant ceux qui sont semblables (Tab. 2.3) et en les affinant par comparaison avec les photographies aériennes (Fig. 2.11).

---

<sup>5</sup> Ces deux logiciels fonctionnent sur le même principe mais selon les déformations de la carte originale, la qualité du redressement diffère. Il est alors nécessaire de choisir entre les différents résultats obtenus.



Fig. 2.9 : Extrait de la Carte de la Suisse romande réalisée par G. Mercator vers 1550. Gravure (eau-forte/burin) aquarellée présente au Musée du Landeron.

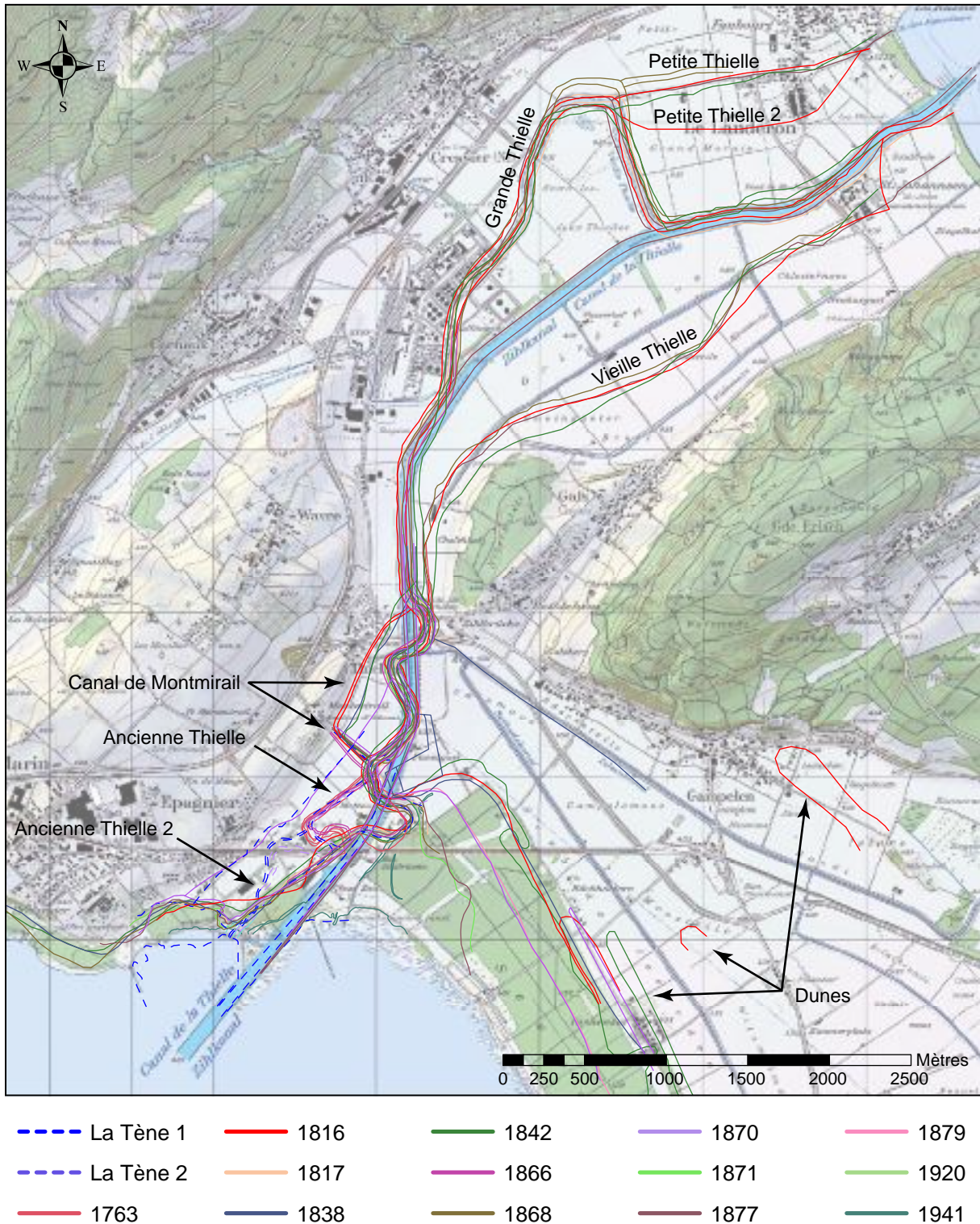


Fig. 2.10 : Position des anciens cours d'eau, rivages et dunes présents sur les différentes cartes historiques.

Les traits pleins présentent les tracés aux dates indiquées en légende qui correspondent aussi à l'année de la réalisation de ces cartes.

Les traits pointillés notés La Tène 1 et La Tène 2 correspondent respectivement aux observations des cartes de Borel (1920) et Vouga (1923) sur lesquelles, ces deux auteurs font apparaître des cours pouvant avoir existé à la période de La Tène. Ces tracés sont discutés dans le texte.

Cartes présentant un tracés semblable		
Grande Thielle	cours "fossile"	Office fédéral de la topographie, 1982b
		Anonymus, 1941
		Vouga, 1923
		Borel, 1920?
		Bäckli, 1879
		Hörlimann, 1877
	cours actif	Bäckli, 1871
		Siegfried, 1870
		Mandrot, 1868
		Anonymus, 1866
		Dufour, 1842
		Ostervald, 1838
		Junod, 1817
		Trechsel, 1816-17
Breguet, 1763		
Ancienne Thielle		Vouga, 1923
		Borel, 1920?
		Anonymus, 1866
		Breguet, 1763
Ancienne Thielle 2	partie SW	Vouga, 1923
		Borel, 1920?
Canal de Montmirail	tracé NW-SE	Office fédéral de la topographie, 1982b
		Anonymus, 1941
		Borel, 1920?
		Bäckli, 1879
		Hörlimann, 1877
		Siegfried, 1870
		Anonymus, 1866
		Dufour, 1842
		Trechsel, 1816-17
		Breguet, 1763
tracé SW-NE	Dufour, 1842	
	Ostervald, 1838	
	Trechsel, 1816-17	
Fossé ?		Borel, 1920?
		Siegfried, 1870

Tab. 2.3 : Récapitulatif des cartes intégrées au SIG et présentant des tracés similaires. Les cartes de Borel (1920?) et Vouga (1923) mentionnées ici ne sont pas contemporaines des traces de l'"Ancienne Thielle".

Il ressort de ce travail sous SIG, que la Thielle moyenne est constituée d'un cours principal nommé "Grande Thielle" qui n'a pas ou peu changé de 1816 à la réalisation du canal de la Thielle durant les 1<sup>ère</sup> C.E.J. (Fig. 2.11). C'est ce même cours qui a été repéré précédemment sur les photographies et qui apparaît en eau stagnante sur les cartes plus récentes.

Le cours secondaire "Ancienne Thielle" méandrise dès l'exutoire du lac de Neuchâtel pour passer au lieu-dit Pré-de-la-Mottaz avant de rejoindre le cours principal de la "Grande Thielle" au lieu-dit Sous-Montmirail. Ce cours est représenté en état de fonctionnement sur les



Rivage du lac	Ancienne Thielle	Fossé ?
— 1816	— 1763, 1866	— 1870, 1920
— 1842	Ancienne Thielle 2	Dune
— 1871 à 1979	— La Tène	— 1816
— 1879	Canal de Montmirail NW-SE	— 1879
Grande Thielle active	— 1763 à 2008	Barre transversale
— 1816 à 1871	Canal de Montmirail SW-NE	— 1866
— 1879 à 1 <sup>ère</sup> C.E.J.	— 1816, 1838, 1842	

Fig. 2.11 : Carte des anciens rivages, cours de la Thielle moyenne et dunes simplifiés, réalisée à partir des observations des cartes intégrées au SIG. Les dates des tracés correspondent aux périodes de fonctionnement de ces derniers.

cadastres de 1763 et 1866. Les limites de ce tracé coïncident avec les observations réalisées sur les photographies aériennes et les images proche-infrarouge, témoignant de la complémentarité des différents documents.

Une section d'un ancien cours apparaît sur les plans de Borel (1920) et Vouga (1923), réalisés suite aux fouilles archéologiques du site éponyme et prolongé sous le nom de "Ancienne Thielle 2" (Fig. 2.10). D'après ces auteurs, ce cours aurait fonctionné à la période de La Tène.

Le canal reliant Montmirail à la Thielle possède deux tracés d'orientations distinctes. Le premier orienté NW-SE est représenté sur les cartes de 1763 à nos jours, alors que le deuxième qui s'écoule du SW au NE n'apparaît que de 1816 à 1842. Le premier de ces tracés est actuellement bordé d'arbres ce qui n'a pas permis de le repérer sur les documents précédents. En revanche, une partie du deuxième correspond aux observations réalisées à partir des photographies aériennes et des images proche-infrarouge (Fig. 2.6, 2.7 et 2.8).

Une barre transversale dans la "Grande Thielle" au niveau de sa jonction avec l'"Ancienne Thielle" et le "Canal de Montmirail" figure sur le cadastre de 1866.

Sur la carte des zones inondables de Trechsel (1816-17), deux, voire trois cordons littoraux ou dunes émergent. Par comparaison avec les cartes géologiques actuelles (Becker et Ramseyer, 1972-73; Schär *et al.*, 1971), les deux principaux monticules correspondent aux dunes de Witzwil et de Dähliandhubel (Fig. 2.2).

Concernant les anciens rivages du lac de Neuchâtel, tous ceux observés à l'ouest du canal de la Thielle s'appuient contre le cordon littoral graveleux présent sur les cartes géologiques et visible sur le MNT. Cela est confirmé par A. Dubois - auteur des notes géologiques de Vouga (1923) - qui écrit : *"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 (...) si l'on ne se rappelait que l'examen géologique du terrain constituant ce mamelon démontre qu'il est formé par le cordon littoral du lac au niveau qu'il atteignait avant la Correction des eaux du Jura, mais à une époque postérieure à l'établissement helvète."* Ainsi, ce cordon s'est mis en place entre l'occupation du site de Marin-La Tène et 1763. Les rivages présents sur le canton de Berne ont, quant à eux, beaucoup plus varié géographiquement. Celui de 1816 semble s'appuyer contre la grande dune de Witzwil alors que celui de 1879 longe la petite dune de Witzwil mise en évidence sur le MNT.

Ainsi, les cartes et plans géoréférencés puis digitalisés permettent d'affiner temporellement, et dans une moindre mesure spatialement, des éléments repérés sur les documents actuels.

#### **- cartes complémentaires**

Afin de compléter ces observations, il est nécessaire de décrire les cartes qui n'ont pas pu être intégrées au SIG et qui confirment et/ou apportent de nouveaux éléments à ce qui vient d'être vu :

- la carte du Lt Colonel Lelewel (1834) présente un tracé similaire à celui de la "Grande Thielle" antérieur aux C.E.J. ;

- le petit plan de Bellenoud (1825) montre la jonction entre le "Canal de Montmirail NW-SE" et la "Grande Thielle" mais ne fait pas apparaître l'"Ancienne Thielle" ;

- la carte de Varicourt (1793) est peu précise du fait de sa grande échelle et ne fait apparaître qu'un seul exutoire au lac de Neuchâtel semblable à celui observé avant les C.E.J. ;

- la carte de Merveilleux (1713) manque de précision et d'informations mais elle présente toujours le cours de la "Grande Thielle". Il en est de même pour les cartes de Merveilleux (1694) et Bonjour (1672-73) ;

- les plans réalisés vers 1650 (Anonymus, ap. 1650 au XVII<sup>e</sup>-a) présentent la région en période de basses eaux et en période de crue. Sur ce deuxième plan, émergent de l'eau trois bandes disposées parallèlement au rivage du lac, lorsque celui-ci n'est pas en crue, au SW de Gampelen. Ainsi, au moins trois des dunes observées par Lüdi (1935) et présentes sur les cartes géologiques actuelles étaient déjà formées vers 1650 ;

- le plan des fortifications (Anonymus, ap. 1650 au XVII<sup>e</sup>-b) qui n'ont jamais été réalisées n'offre pas assez d'informations pour être replacé de façon fiable sur des cartes plus récentes. Toutefois, il faut noter que la "Grande Thielle" présente un seul et grand méandre entre le lac de Neuchâtel et le Château de Thielle. Une barre transversale est présente dans ce méandre, à la sortie du lac de Neuchâtel ;

- la vue cavalière postérieure à 1646 (Anonymus, ap. 1646 au XVII<sup>e</sup>) montre que l'exutoire du lac de Neuchâtel se compose de deux embouchures qu'il est relativement difficile de situer (Fig. 2.12). Par comparaison avec les autres cartes, il est possible d'émettre l'hypothèse que le cours le plus à l'Est, et qui présente une barre transversale, correspond au premier méandre de la "Grande Thielle". En effet, si le cours de la "Grande Thielle" semble ici assez rectiligne, il se peut que ce phénomène soit lié au type même de la représentation. Toutefois, les faibles oscillations du cours sont comparables à celles observées sur les cartes beaucoup plus récentes comme celles du XVIII<sup>e</sup> siècle. En effet, le cours vire vers le NE juste après être sorti du lac



Fig. 2.12 : Vue cavalière de la zone exutoire du lac de Neuchâtel (Anonymus, ap. 1646 au XVII<sup>e</sup>).

de Neuchâtel, puis vers le NW au niveau de Vanel-La Poissine<sup>6</sup> avant de tourner en direction du NE pour contourner le Château de Thielle par le sud. Ainsi, si cette hypothèse est exacte, la barre sableuse serait celle présente sur le plan postérieur à 1650 (Anonymus, ap. 1650 au XVII<sup>e</sup>-b) et peut être même celle du cadastre de 1866 (Anonymus, 1866). Le deuxième tracé correspondrait alors à l'"Ancienne Thielle" ;

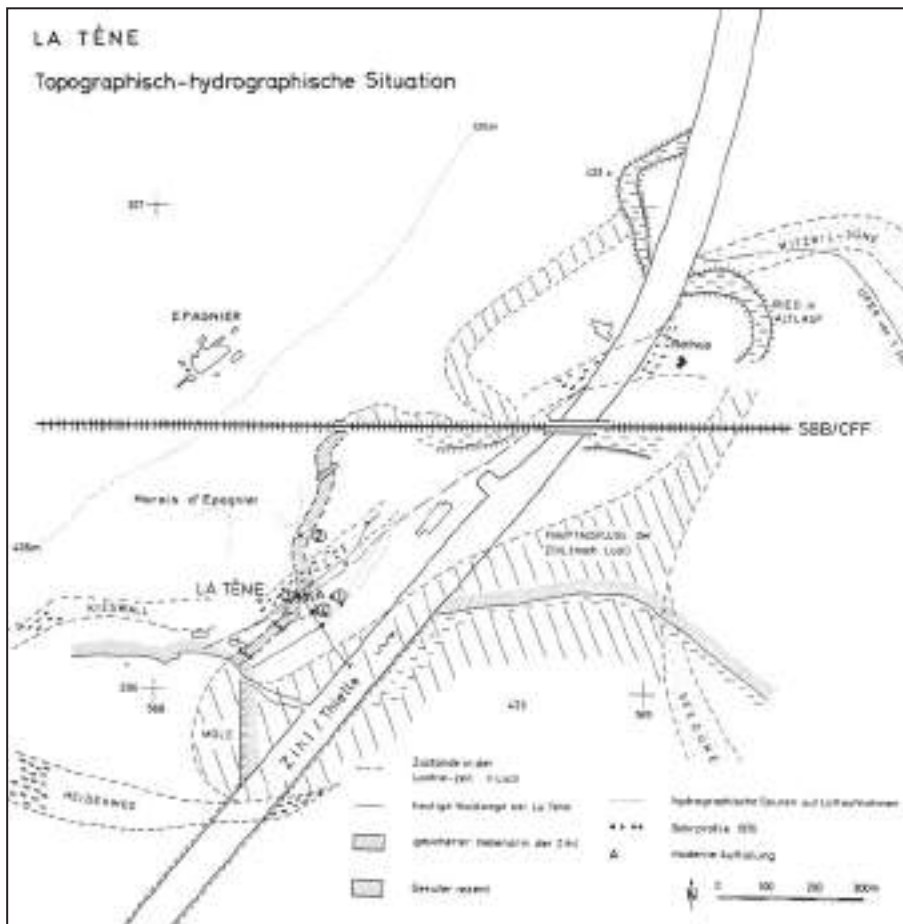
- les vues cavalières des documents de 1630 (Anonymus, 1630a; Anonymus, 1630b) ne respectant pas les échelles et les proportions, il est impossible d'estimer la position de l'unique tracé de la Thielle moyenne en amont du Château de Thielle. En aval de celui-ci, les cours observés sur les plans de 1816 à 1877 sont déjà présents ;

- la gravure aquarellée représentant la Suisse romande est peu précise et ne fait figurer que les lacs, les cours d'eau importants et la position des villages (Mercator, vers 1550). Les rivages, que ce soit du lac de Neuchâtel ou de la "Grande Thielle", semblent approximatifs même si cette dernière se sépare en deux en aval du Landeron, comme sur la carte de 1816 par exemple. Le nombre et l'orientation des méandres représentés entre le lac de Neuchâtel et la séparation de la "Grande Thielle" sont identiques aux représentations pré-1<sup>ère</sup> C.E.J. Ainsi, il apparaît que le cours majeur de la "Grande Thielle" a peu changé entre 1550 et 1875 (début des travaux d'aménagement du canal de la Thielle lors de la 1<sup>ère</sup> C.E.J.).

Après analyse de ces cartes et plans, il apparaît que le tracé de l'"Ancienne Thielle 2" n'est représenté sur aucune des cartes ou plans anciens en dehors de ceux réalisés lors des fouilles du site de Marin-La Tène. En effet, la dernière mention de ce tracé figure dans l'article de Berger et Joos (1977 ; Fig. 2.13). Ces auteurs ont repris le plan proposé par Lüdi (Figure 33, 1935 ; Fig. 2.13), qui présente le tracé d'une "Ancienne Thielle 2" partant du site de Marin-La Tène et rejoignant le cours de l'"Ancienne Thielle". Mais Lüdi précise que ce tracé aurait fonctionné à la période de La Tène et qu'il l'a repris d'une carte de Vouga (1923) : "*Den La Tène-Zilhllauf haben wir nach einem Kärtchen in Paul Vouga (1923) eingezeichnet*". En effet, en 1923, P. Vouga propose un tracé similaire (Fig. 2.14) qui apparaît en pointillé, comme tous les anciens cours, mais sans distinction temporelle de fonctionnement des différents chenaux. En commentaire du tracé qu'il propose, P. Vouga écrit seulement : "*...l'ancien méandre qui entoure Maison Rouge semble indiquer que son prolongement vers le sud devait passer à l'ouest du canal actuel, donc précisément à l'endroit où nous en connaissons la trace*". Malheureusement

---

<sup>6</sup> Le nom Vanel-La Poissine a évolué au cours du temps et certainement en fonction des auteurs qui ont réalisé les différentes cartes. Ainsi, il apparaît comme Poissine en 1672-73, 1713 ; Fanel en 1825 ; la Poissine en 1838, Vanel en 1842 ; Vanelgut en 1870, 1941, 1977, 1979 ; Fanelgut en 1871 et finalement Fanelguet actuellement.



a) d'après Berger et Joos (1977)

Situation topographique et hydrographique de la Thielle en sortie du lac de Neuchâtel.

---- état à la période de La Tène d'après Lüdi

— chemin forestier actuel de La Tène

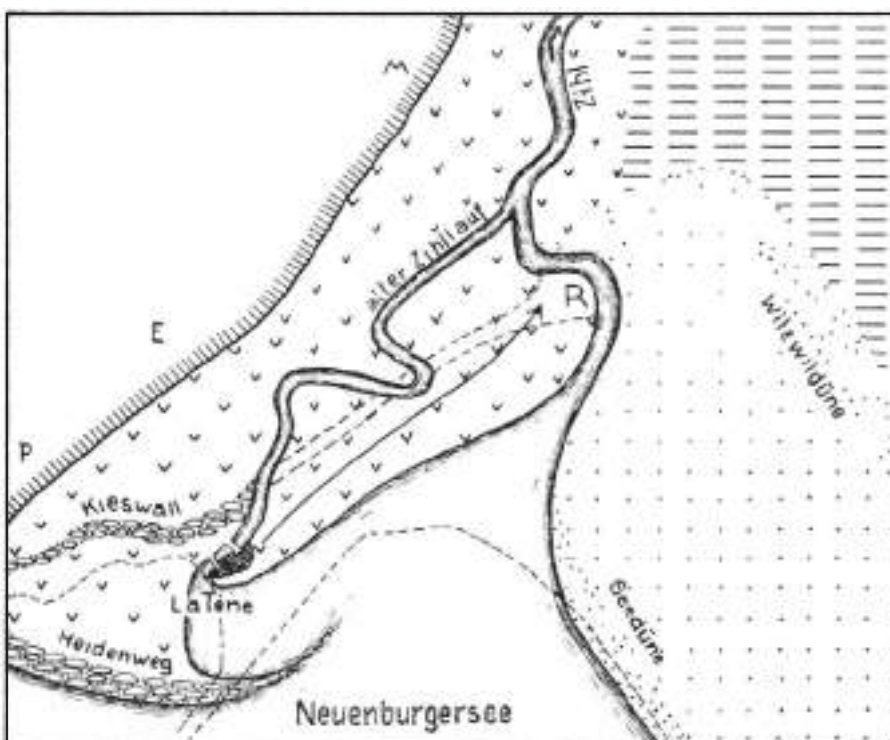
▨ affluent de la Thielle "sécurisé"

▨ rives actuelles du lac

..... traces hydrographiques vues sur photographies aériennes

• sondages 1976

A remplissage moderne



b) d'après Lüdi (1935)

Essai de reconstitution du paysage à l'époque de La Tène.

▨ Tourbe

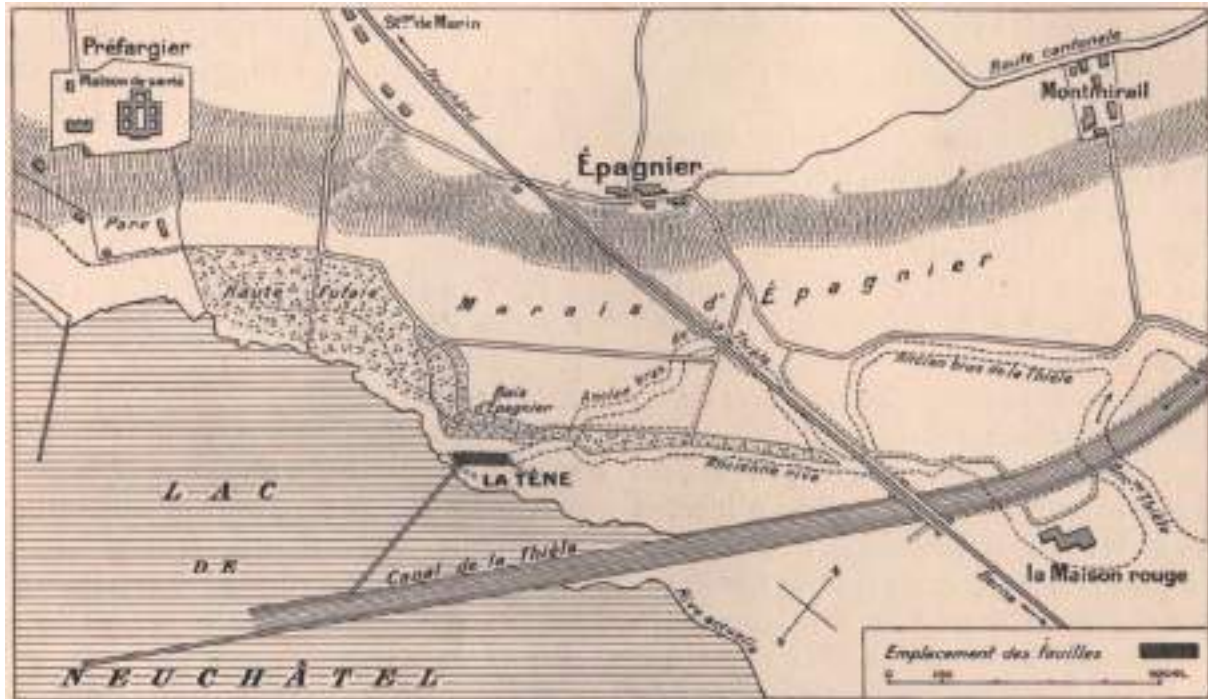
▨ Sable

▨ Dune de sable

▨ Argile

M : Montmirail, E : Epagnier, P : Préfargier, R : Maison Rouge

Fig. 2.13 : Cartes de l'exutoire du lac de Neuchâtel et des anciens cours d'eau d'après a) Berger et Joss (1977) et b) Lüdi (1935).



a.



b.

Fig. 2.14 : Cartes de l'exutoire du lac de Neuchâtel et des anciens cours d'eau d'après a) Vouga (1923) et b) Borel (1920).

il n'explique pas sur quoi il fonde son intuition et encore moins pourquoi, sur son plan, la Thielle fait une grande boucle vers le nord-ouest. Sur le plan réalisé par Maurice Borel vers 1920, le tracé de l'"Ancienne Thielle 2" diffère légèrement dans le sens où il ne fait plus une boucle mais rejoint directement l'"Ancienne Thielle" vers "Sous Montmirail" (Fig. 2.14). La partie du tracé qui diffère de celui de P. Vouga est en pointillé ce qui laisse penser que Borel n'est pas certain de ce dernier. Borel a dressé une carte des fouilles de Marin-La Tène de 1907 à 1914 d'après E. Vouga, P. Zwahlen et les levés de la Commission de la Tène de 1907 à 1914 (Fig. 2.15). Cette carte ne présente que la zone fouillée du site de Marin-La Tène sans aucun cours d'eau qui aurait pu compléter le tracé de l'époque de La Tène. Par contre, ce plan reprend en grande partie la carte de Vouga (1885) au 1/1000<sup>e</sup> (Fig. 2.16). Ainsi, il apparaît deux cours de la Thielle distincts subparallèles qui sont reliés entre eux par un petit chenal. Sur le plan au 1/4000<sup>e</sup>, E. Vouga propose un tracé en aval des fouilles jusqu'au niveau de Maison Rouge qui longe le canal de la Thielle et qui "*suit la direction de la colline d'Epagnier pour rejoindre, à 800 ou 900 mètres de là, la Thielle actuelle*". De ce fait ce tracé ne ressemble en rien à ceux proposés ultérieurement. Aucune des cartes plus anciennes ne fait mention de cours d'eau dans ce secteur et rien n'est apparu lors de l'analyse des photographies aériennes, des images proche-infrarouge et du MNT. A noter aussi que Vouga (1885) présente sur le plan à grande échelle (Fig. 2.16) un tracé de la Thielle constitué de deux bras qui se rejoignent en aval. Il propose pour ces différents cours comme période de fin de fonctionnement le IV<sup>e</sup> siècle mais n'explique pas comment il a pu proposer cette date. De plus, le cours nord n'ayant pas été exploré, il faut se demander comment celui-ci a pu être retracé d'autant que Borel (1907-14) semble mettre en doute ces tracés puisqu'il les annote de la mention : "*Ancien bras ? de la Thièle d'après E. Vouga*" (Fig. 2.15).

En conclusion, de nouvelles investigations semblent indispensables pour compléter mais aussi vérifier la répartition spatiale des éléments cartographiés sur les anciennes cartes et repérés sur les documents actuels, afin de mieux appréhender le contexte hydrologique, et sédimentologique, de la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Auparavant, pour définir les limites de l'étude géoarchéologique, il est nécessaire de cartographier la zone où les données sont suffisantes pour être confrontées aux analyses sédimentologiques.

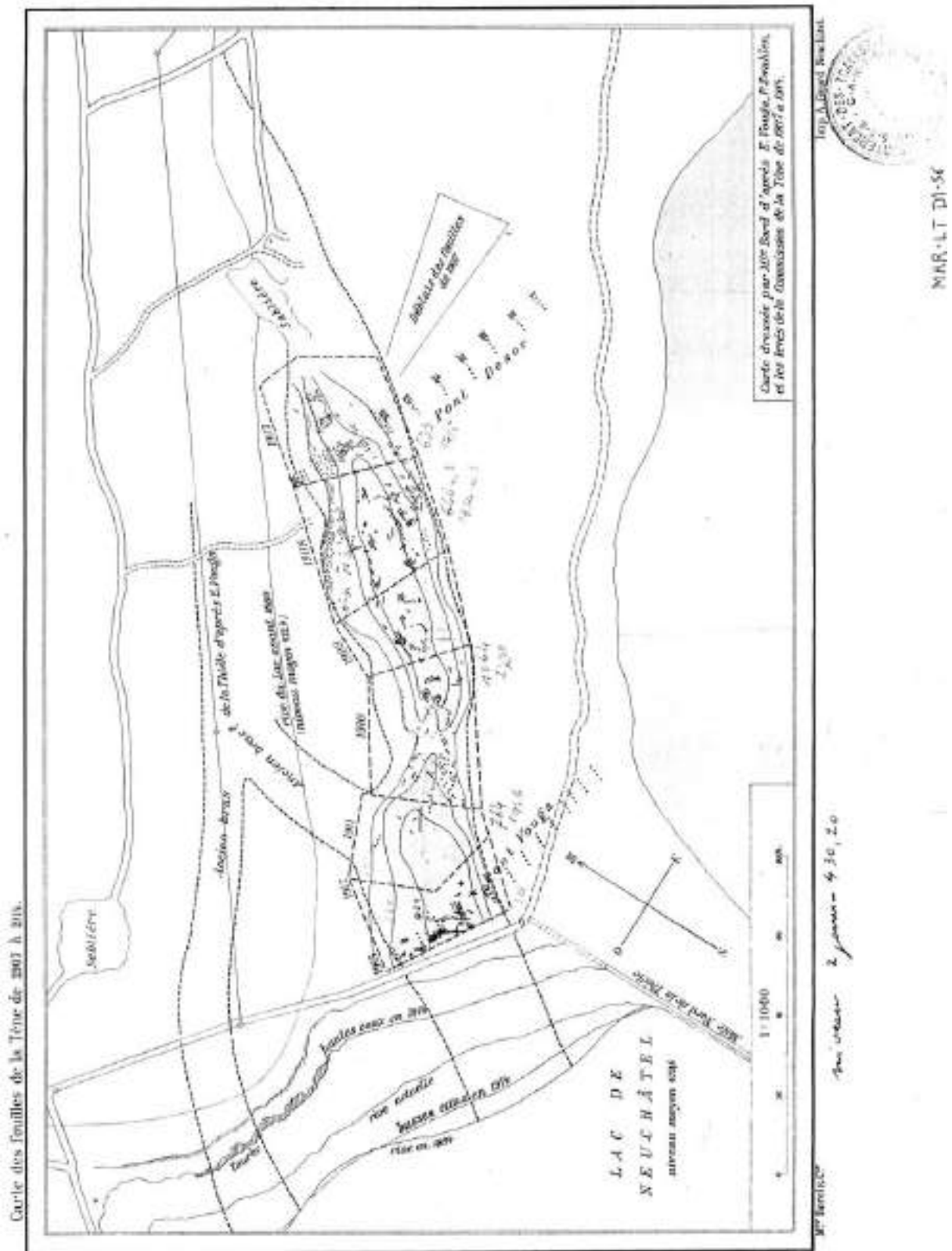


Fig. 2.15 : Carte des fouilles du site de Marin-La Tène de 1907 à 1914 dressée par Maurice Borel.

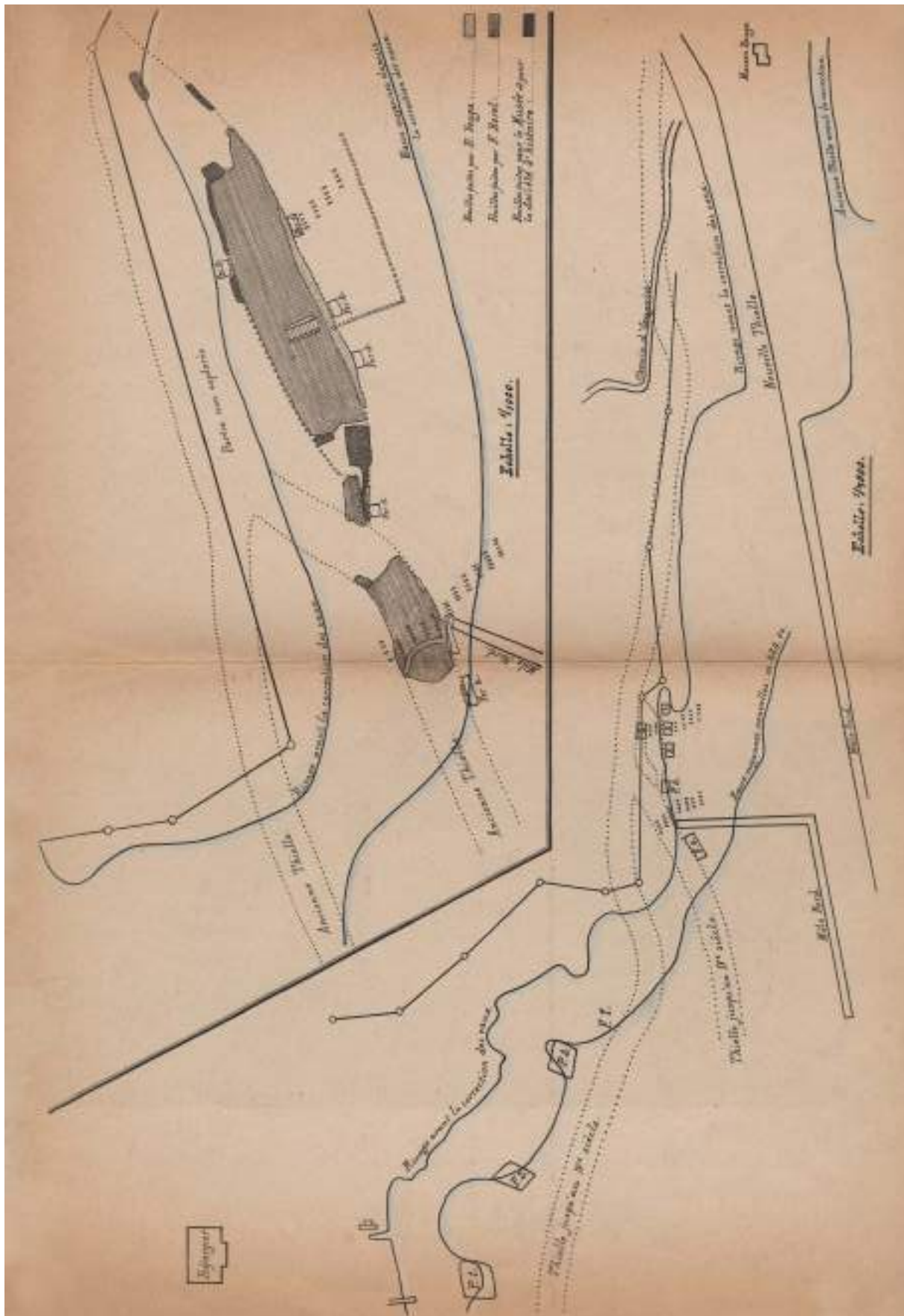


Fig. 2.16 : Plan du site de Marin-La Tène d'après Vouga (1885).

## 2. Etude archéologique : état des lieux

### 2.1. La zone exutoire

Les sites archéologiques de la zone exutoire du lac de Neuchâtel sont ceux listés dans le chapitre sur l'implantation des sites littoraux (Chap. 1). Ils sont au nombre de 41 et leurs données archéologiques sont complétées, quand les informations sont disponibles, par les périodes et les cultures archéologiques, ainsi que leur environnement, lacustre ou fluvial. Après intégration au SIG, une carte prenant en compte ces trois facteurs peut être réalisée (Fig. 2.17).

Seuls quelques sites, seulement mentionnés en bibliographie, n'ont pu être replacés dans un environnement précis. Pour les autres, l'environnement renseigné a pu être comparé aux limites des anciens cours et rivages du lac obtenus par l'analyse des documents historiques (Fig. 2.17). Il apparaît que les sites de Marin-Pré-de-la-Mottaz (XI-XII<sup>e</sup> siècle) et de Bois de Montmirail (XIII-XIV<sup>e</sup> siècle), qui ont tous deux livré des restes liés à un environnement fluvial, sont en bordure des anciens cours de la Thielle pré-C.E.J. Ces deux sites du Moyen-Age, ainsi que le pont celtique et les deux ponts romains découverts à Pont-de-Thielle dans le cours de la Thielle moyenne pré-1<sup>ère</sup> C.E.J. (Schwab, 1989), confirment que le cours a historiquement peu évolué avant les C.E.J. Ces sites démontrent l'intérêt de combiner les études archéologiques, géologiques et historiques précises. Les trois sites fouillés ou refouillés dernièrement dans la zone exutoire ont permis d'acquérir une documentation relativement importante, que ce soit d'un point de vue archéologique, sédimentologique ou chronologique. Ainsi, ils servent de sites de référence pour cette étude et permettent une analyse à une échelle fine. Il s'agit des sites de Marin-Les Piécettes, Marin-La Tène et Marin-Pré-de-la-Mottaz (Fig. 2.17). Une brève description de ces sites est nécessaire avant de déterminer une méthodologie de travail qui complètera les données.

### 2.2. Les sites de référence

#### 2.2.1. Le site de Marin-Les Piécettes

Les investigations archéologiques au niveau du site de Marin-Les Piécettes ont commencé en 1998 par une série de sondages de prospection avant la construction d'un lotissement. Ces premiers travaux ont permis de découvrir dans la pente quelques éléments d'époque romaine, des céramiques de La Tène et des traces d'habitat du Bronze final. Le village néolithique de Marin-Les Piécettes est repéré à cette occasion par la présence de pieux, foyers et mobilier (Fig. 2.18). Les fouilles entreprises durant plusieurs campagnes de 1999 à 2002 permettent

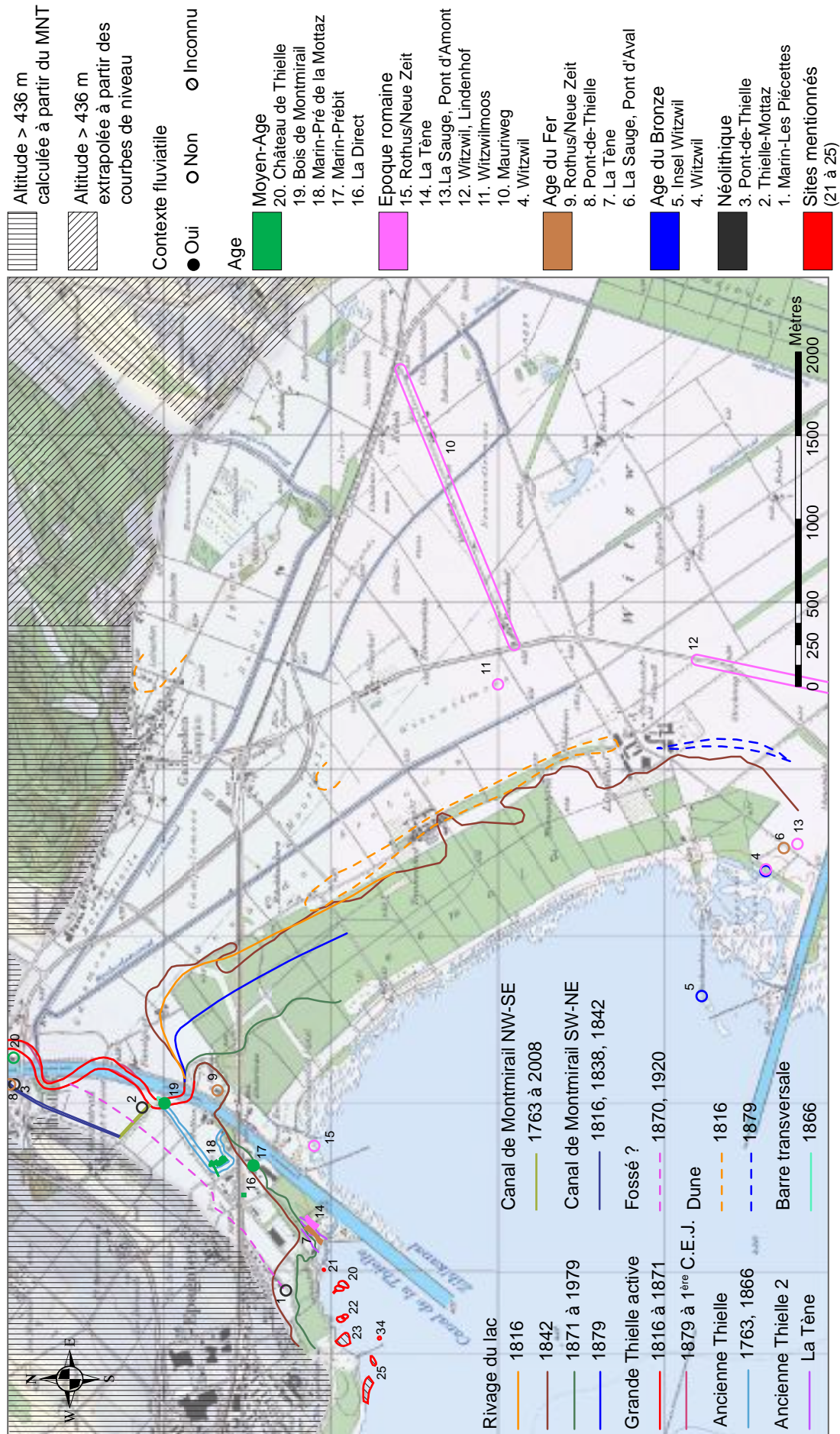


Fig. 2.17 : Carte des sites archéologiques connus et classés en fonction de leur âge et de leur environnement, et des anciens rivages et cours de la Thielle moyenne simplifiés présentés en figure 2.11.

d'explorer une surface de près de 3 000 m<sup>2</sup>. L'attribution à la culture Cortaillod de type Port-Conty (3500-3300 av. J.-C. ; Honegger, 2001; 2002) de cette station littorale a été confirmée par cinq datations <sup>14</sup>C. Les études dendrochronologiques, s'appuyant sur un faible nombre de pieux en chêne, sont encore approximatives (datations P. Gassmann, laboratoire de dendrochronologie du Laténium). Ces dernières fournissent une première fourchette chronologique de 3504-3483 av. J.-C. qui ne correspond sans doute pas à toutes les phases d'abattage, vu le nombre restreint de pieux analysés (Magny *et al.*, 2005). Ainsi, l'occupation humaine perdure pendant plusieurs décennies. Pour la zone fouillée, la couche archéologique se situe à une profondeur variant entre 0,50 et 1,50 m sous la surface actuelle du sol. Son altitude moyenne est proche de 430 m, soit 0,70 m au-dessus du niveau actuel du lac (429,29 m). Son épaisseur atteint au maximum 30 cm. Elle peut être séparée par un à trois niveaux de transgression lacustre selon les endroits (Honegger, 2001; 2002). La répartition spatiale des pieux et des trous de poteaux permet d'appréhender l'organisation du village (Fig. 2.18) et d'individualiser des structures telles que :

- un chemin d'accès d'une longueur de 110 m constitué de remblais argilo-sableux à petits graviers disposés entre deux rangées de poteaux. D'orientation NW-SE, il descend vers le village en passant sur un cordon sableux où une construction de 5 m sur 3 m le borde. Il rejoint ensuite une entrée matérialisée par une chicane puis, rejoint un tertre (*cf. infra*) avant de bifurquer en direction du lac ;

- des rangées de palissades ceinturant le village du côté de la terre ferme. Elles n'ont pas toutes fonctionné en même temps et sont asymétriques par rapport au chemin d'accès. Cela laisse penser qu'un deuxième chemin d'accès pourrait exister comme c'est le cas sur d'autres sites (Hafner, 1992; Winiger, 1989) ;

- un bâtiment reconstruit à plusieurs reprises sur un tertre sept fois rehaussé. Ce dernier mesure à sa phase maximale 90 cm de haut, 15 m de large et 24 m de long. Au centre, une construction rectangulaire à deux nefs asymétriques est érigée. Elle est dépourvue de structure domestique (foyer, etc.) et son rôle au sein du village reste énigmatique (Honegger, 2002) ;

- des maisons d'habitation, vraisemblablement bâties sur pilotis, se situent de part et d'autre du tertre. Leurs dimensions sont de 3,50 m sur 10 m. Elles sont implantées parallèlement les unes aux autres et sont composées de trois rangées de pieux. De nombreux foyers ont été mis au jour.

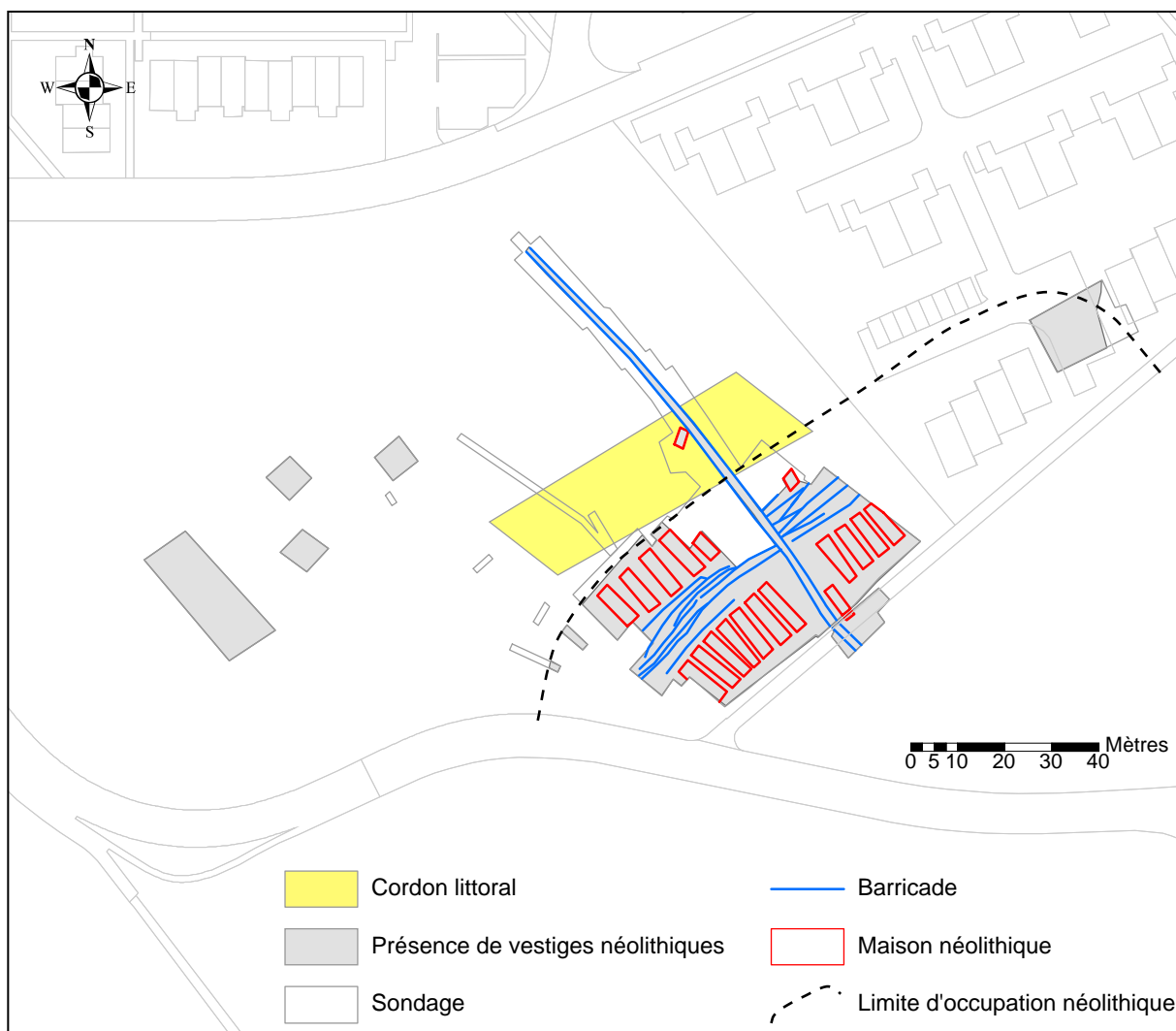


Fig. 2.18 : Plan du site archéologique de Marin-Les Piécettes suite aux dernières fouilles.

Le matériel, ainsi que les foyers, sont découverts en position de vie. Cette absence de remaniement du matériel indique un environnement calme et pousse à croire à son bon état de conservation. Ce n'est malheureusement pas le cas. En effet, suite aux C.E.J. et à l'abaissement du niveau du lac et de la nappe phréatique, les pieux ont commencé à se décomposer en surface. La même cause a provoqué l'altération des céramiques et l'éclatement des os. Malgré cela, des restes de vannerie et de textiles ont été trouvés.

L'étude sédimentologique et paléoenvironnementale est partie intégrante de ce manuscrit. Elle est présentée dans le chapitre 3.

## 2.2.2. Le site de Marin-La Tène

De 1857, date de la découverte de la station de Marin-La Tène, à 1907, la station a fait l'objet de plusieurs campagnes "d'exploration sauvage" menées par différentes personnes dont F. Schwab et E. Desor, puis E. Vouga (Fig. 2.19 ; Vouga, 1923). Dans un premier temps, une quantité importante d'ustensiles en fer (épées dans leur fourreau, pointes de lances et de flèches, fibules, *etc.*) ainsi que quelques objets de bronze et des tuiles romaines sont récoltés dans les dépôts de comblement d'un ancien bras de la Thielle moyenne. Tous ces objets se situent aux abords des vestiges de deux ponts et sont datés majoritairement du Second Age du Fer. Puis, suite à la 1<sup>ère</sup> C.E.J. et à l'abaissement du niveau moyen du lac de Neuchâtel, E. Vouga entreprit des fouilles. Il mit alors au jour les vestiges de six habitations et de nombreux objets (Vouga, 1885). Jusqu'en 1885, ces découvertes ont suscité l'intérêt de nombreuses personnes, dont certaines ont pratiqué des récoltes d'objets. Des fouilles dites "officielles" dirigées par W. Wavre puis P. Vouga furent entreprises en 1907 pour s'achever en 1917. Les résultats donnèrent lieu à une monographie en 1923 (Vouga, 1923). Ainsi, il a fallu dix ans (1907 à 1916) pour fouiller le site dans son intégralité et une année supplémentaire (1917) pour s'assurer que les ponts Desor et Vouga en constituent bien les limites, puis procéder à quelques vérifications (Reginelli Servais, 2007; Wyss *et al.*, 2002). Durant cette période la Thielle moyenne a été fouillée en négatif sur une longueur de 170 m, une largeur de 30 à 40 m et une profondeur dépassant 4 m par endroits. Au final, le site de Marin-La Tène a livré plus de 3 000 objets, deux ponts de bois (pont Vouga et pont Desor) et des restes de bâtiments, principalement le long de la berge sud de l'ancien cours. P. Vouga considère le site comme un "entrepôt fortifié, occupé militairement" mais cette interprétation est remise en cause à de nombreuses reprises. En effet, le site a été considéré comme un lieu de sacrifice par un certain nombre d'auteurs dont Raddatz (1952) et Wyss *et al.* (2002), un sanctuaire, ou du moins un lieu sacré à vocation cultuelle par d'autres, ou encore d'enregistrement d'une catastrophe liée à une inondation (Schwab, 1989). Actuellement considéré comme un lieu à caractère culturel, le site de Marin-La Tène soulève toujours des interrogations. En 2003, des réaménagements en eau et en électricité ont conduit l'OMAN à intervenir (Reginelli, 2007). L'objectif de l'intervention menée par Gianna Reginelli était d'ordre topographique et stratigraphique afin d'apporter de nouveaux éléments sur la formation, l'évolution, et la fréquentation de cette station. Mais ce travail pose de nouvelles questions, liées par exemple à la datation d'une pile du Pont Desor au milieu du VII<sup>e</sup> siècle et à la présence de mobilier hallstien associé (Reginelli Servais, 2007). Les relevés sédimentologiques de ce site sont présentés puis discutés dans les chapitres 4 et 5 de ce manuscrit.

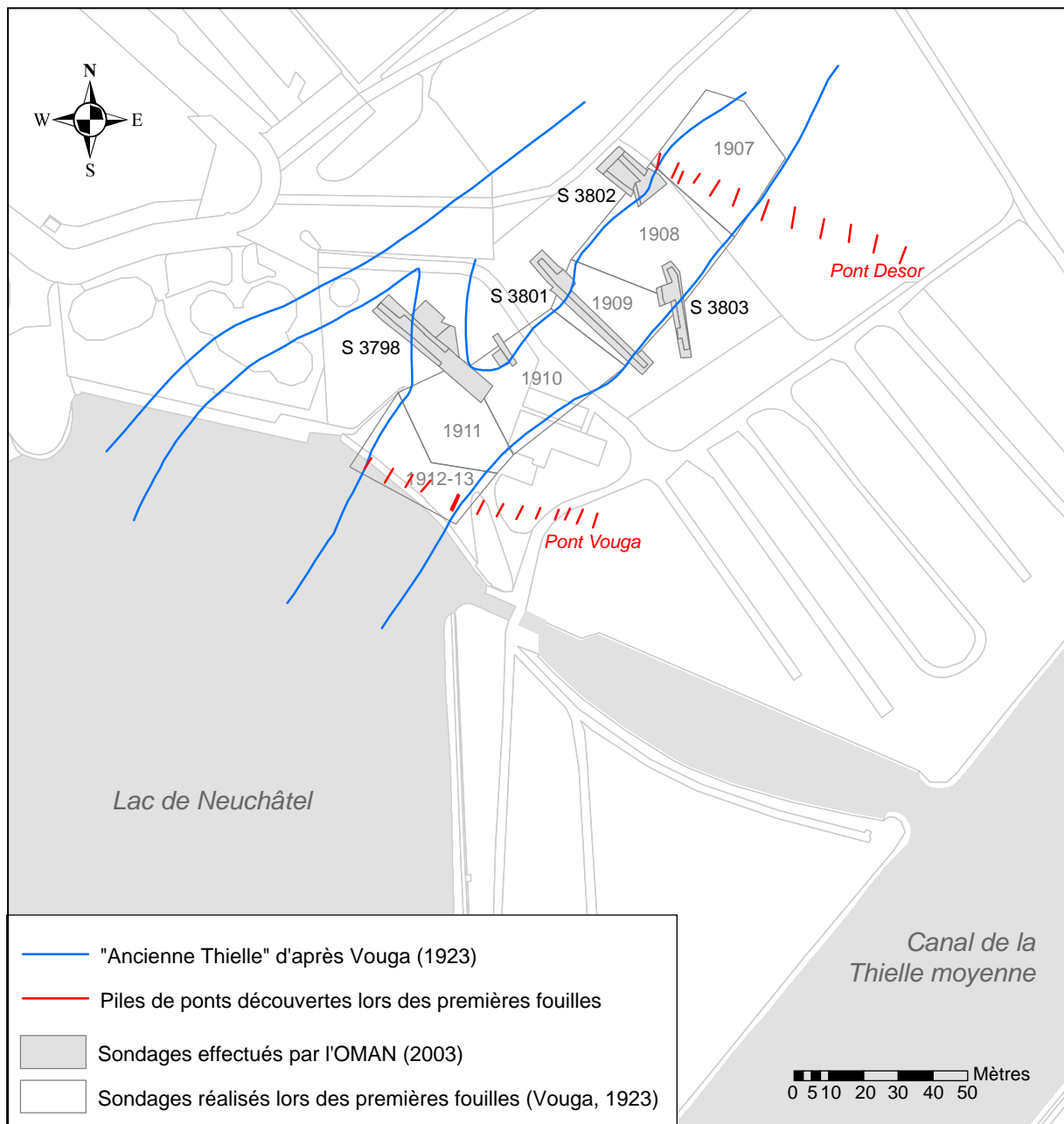


Fig. 2.19 : Plan du site archéologique de Marin-La Tène et des sondages réalisés lors des premières fouilles de 1907 à 1913 et en 2003 par l'OMAN.

### 2.2.3. Le site de Marin-Pré de la Mottaz

Découvert en 1996 par le Service et Musée cantonal d'Archéologie de Neuchâtel (devenu actuellement l'OMAN), lors de fouilles pré-aménagement d'une aire de stockage de gravier, le site de Marin-Pré-de-la-Mottaz fut l'objet de deux courtes campagnes de fouilles (Fig. 2.20 ; Plumettaz, 1998). Elles ont permis à l'OMAN de décaper une surface de 2 500 m<sup>2</sup> mettant ainsi au jour 850 pieux dans le lit de la Thielle moyenne et sur ses berges. Deux ensembles de pieux se distinguent. Le premier présente un double alignement d'une centaine de pieux reliés entre eux, pour la plupart, par un clayonnage d'une hauteur de 3,5 m. Ce dispositif, interprété comme une pêcherie, est placé dans l'axe du cours d'eau et forme un V ouvert en amont, de 15 m au maximum, et long de 60 m. Cette pêcherie a livré quelques objets comme des flotteurs de filets en écorce, des fragments de bols en bois, des morceaux de cuir, dont une chaussure haute pratiquement complète (Plumettaz, 2000). La chaussure est datée par comparaison typologique de 1125-1150 ap. J.-C. Les datations dendrochronologiques, effectuées par P. Gassmann au Laboratoire de dendrochronologie du Musée cantonal de Neuchâtel, situent l'abattage des bois utilisés pour la réalisation de cet ouvrage entre 1152 et 1154 ap. J.-C., mais ces dates demandent à être confirmées (Plumettaz, com. pers.). Cet ensemble se situe dans les limons et graviers du lit mineur d'un chenal fossile, vraisemblablement secondaire, qui mesurait 15 à 20 m de large (Plumettaz, 2000). Le deuxième ensemble est constitué de 700 pieux et 350 trous de poteaux sur une surface de 900 m<sup>2</sup> environ dans le lit majeur d'un bras de la Thielle moyenne. Des galets ont été épandus sur toute cette surface. La complexité de la répartition des pieux et trous de poteaux suppose que plusieurs constructions se sont succédé dans le temps. La présence de plus de 70 fragments de meules en grès coquiller de près d'un mètre de diamètre laisse penser à la présence d'un moulin (Plumettaz, 2000). Un pieu en chêne a livré comme date <sup>14</sup>C : 950-1160 cal AD. Cette datation est confirmée et affinée par la présence de deux monnaies en argent attribuées à Bernard Guillaume, duc d'Aquitaine de 984 à 1010 ap. J.-C.

Les observations stratigraphiques réalisées par l'OMAN mettent en évidence les tracés de quatre paléochenaux successifs. Les cinq dates obtenues par l'OMAN du plus ancien se situent entre 2210-1954 cal BC et 1466-1190 cal BC (Plumettaz, com. pers). Le second aurait fonctionné à la fin du Haut Moyen Age (entre le VIII<sup>e</sup> et le X<sup>e</sup> siècle), le troisième renferme les aménagements médiévaux décrits précédemment et le quatrième, résultant d'un déplacement latéral du troisième, aurait fonctionné jusqu'au XV<sup>e</sup> voire XIX<sup>e</sup> siècle (Plumettaz, 2008).

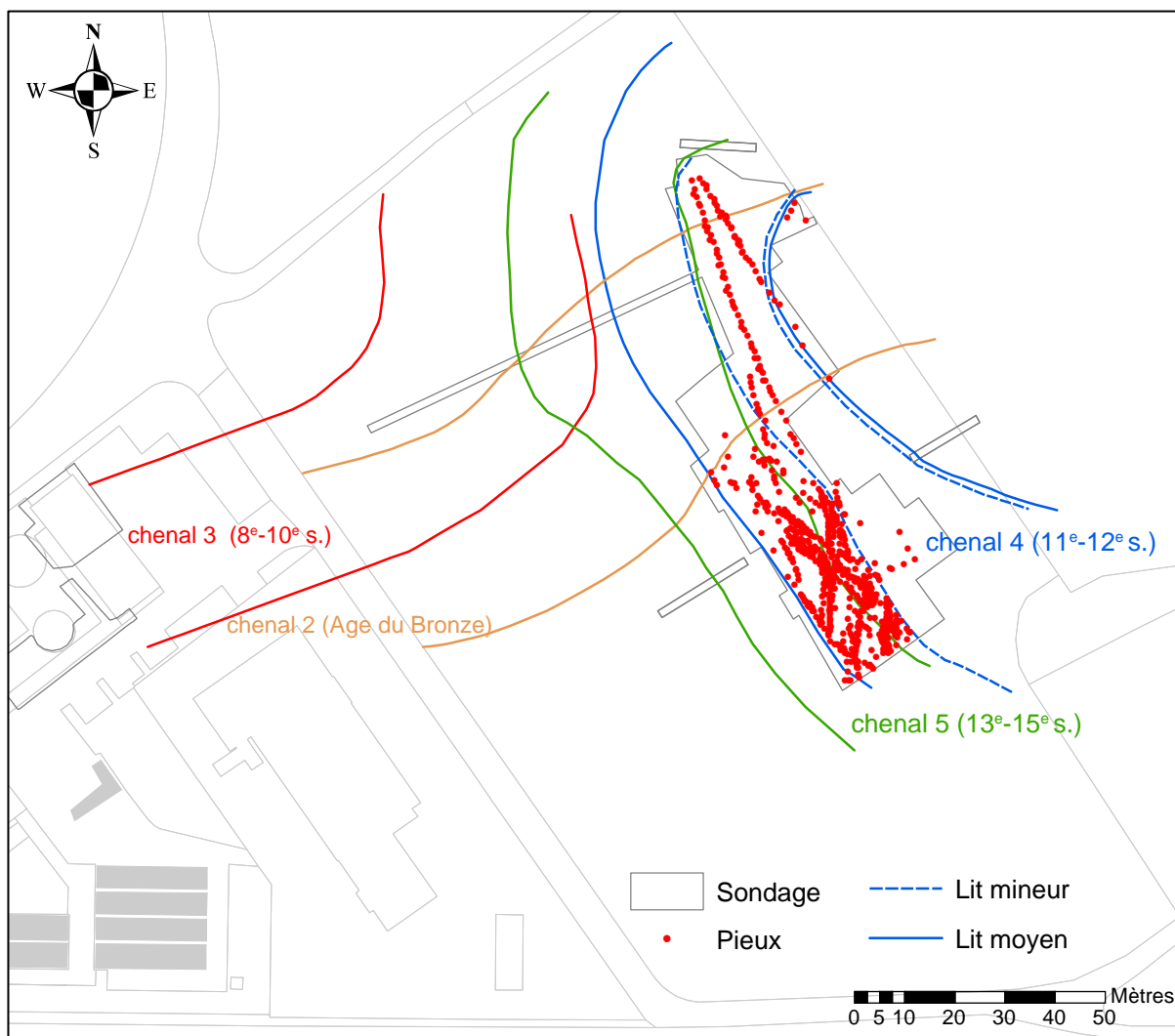


Fig. 2.20 : Plan du site archéologique de Marin-Pré de la Mottaz d'après Plumettaz (2000 et 2008). Les trous de pieux ne sont pas indiqués sur ce plan.

En conclusion, ces trois sites implantés, soit sur les rives du lac de Neuchâtel (Marin-Les-Piéchettes), soit au bord de la Thielle (Marin-La-Tène et Marin-Pré-de-la-Mottaz) constituent une zone archéologique suffisamment dense et bien datée pour être intégrée à une étude sédimentologique à une échelle fine, dans un secteur complexe, sous influence des variations du niveau du lac et des divagations des chenaux de la Thielle.

### 3. Méthodologie de l'étude sédimentologique

L'étude sédimentologique de la zone exutoire du lac de Neuchâtel doit permettre de cartographier les rives successives du lac de Neuchâtel et les divagations des chenaux de la Thielle. Pour ce faire, elle s'appuie sur les données de sondages, préexistants en bibliographie, effectués lors de fouilles archéologiques antérieures ou réalisés pendant ce doctorat.

#### 3.1. Sondages géologiques préexistants

##### 3.1.1. Les données originales

155 sondages géologiques effectués dans la zone d'étude inférieure à 436 m d'altitude sont extraits, soit de rapports, soit d'ouvrages publiés. Ils ne sont rattachés à aucun site archéologique et se présentent comme suit (Fig. 2.21) :

- huit sondages figurent sur les cartes géologiques couvrant le secteur d'étude (Becker et Ramseyer, 1972-73; Meia et Frei, 1974-76; Schär *et al.*, 1971; Suter et Lüthi, 1969 ; Fig. 2.22) ;

- W. Lüdi (1935) a réalisé plus de soixant-dix sondages dans la partie bernoise du Seeland prise en compte pour cette présente étude. Le résultat de ce travail se traduit, entre autre, par une série de coupes à travers le Seeland et une carte des formations superficielles (Lüdi, 1935 ; Fig. 2.21, 2.23 et 2.24) ;

- un rapport concernant trois sondages réalisés par l'entreprise De Cérenville Géotechnique SA sur l'enceinte de l'entreprise Buhler et fils SA, à Marin-Epagnier (De Cerenville Géotechnique SA, 1991 ; Fig. 2.21) ;

- un rapport réalisé par l'OMAN concernant la surveillance d'une tranchée réalisée afin de remplacer une conduite d'eau en 2003. Durant ces travaux, 38 logs ont été levés par différentes personnes. L'ensemble de ces logs est regroupé sous le nom "Sondage 3799" (Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel, 2003 ; Fig. 2.21) ;

- une série de relevés a été effectuée par l'OMAN lors d'un suivi archéologique du creusement d'une tranchée de canalisation reliant le terrain d'entraînement de football de Marin-Epagnier au bord du lac (Office et Musée d'Archéologie de Neuchâtel, 1999 ; Fig. 2.21). Ces travaux, effectués en 1998, ont permis de relever 36 stratigraphies réparties sur 200 m.

Les coordonnées géographiques d'un certain nombre de sondages présents dans les cartes géologiques sont connues. Pour les autres, les cartes et plans, sur lesquels ils sont situés, sont géoréférencés afin de définir leur position spatiale.

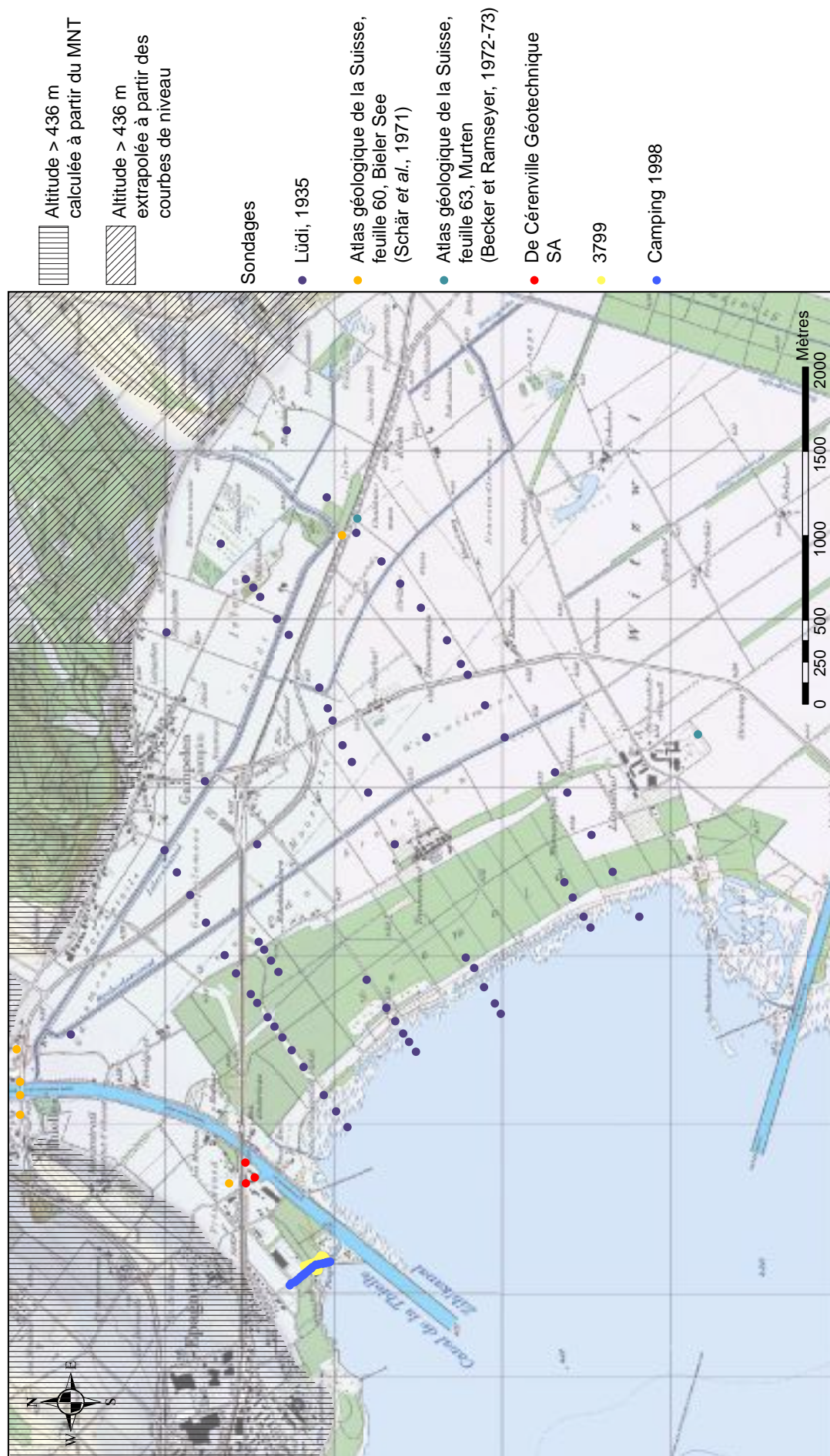


Fig. 2.21 : Position de sondages géologiques présents dans la bibliographie et non liés à des sites archéologiques.

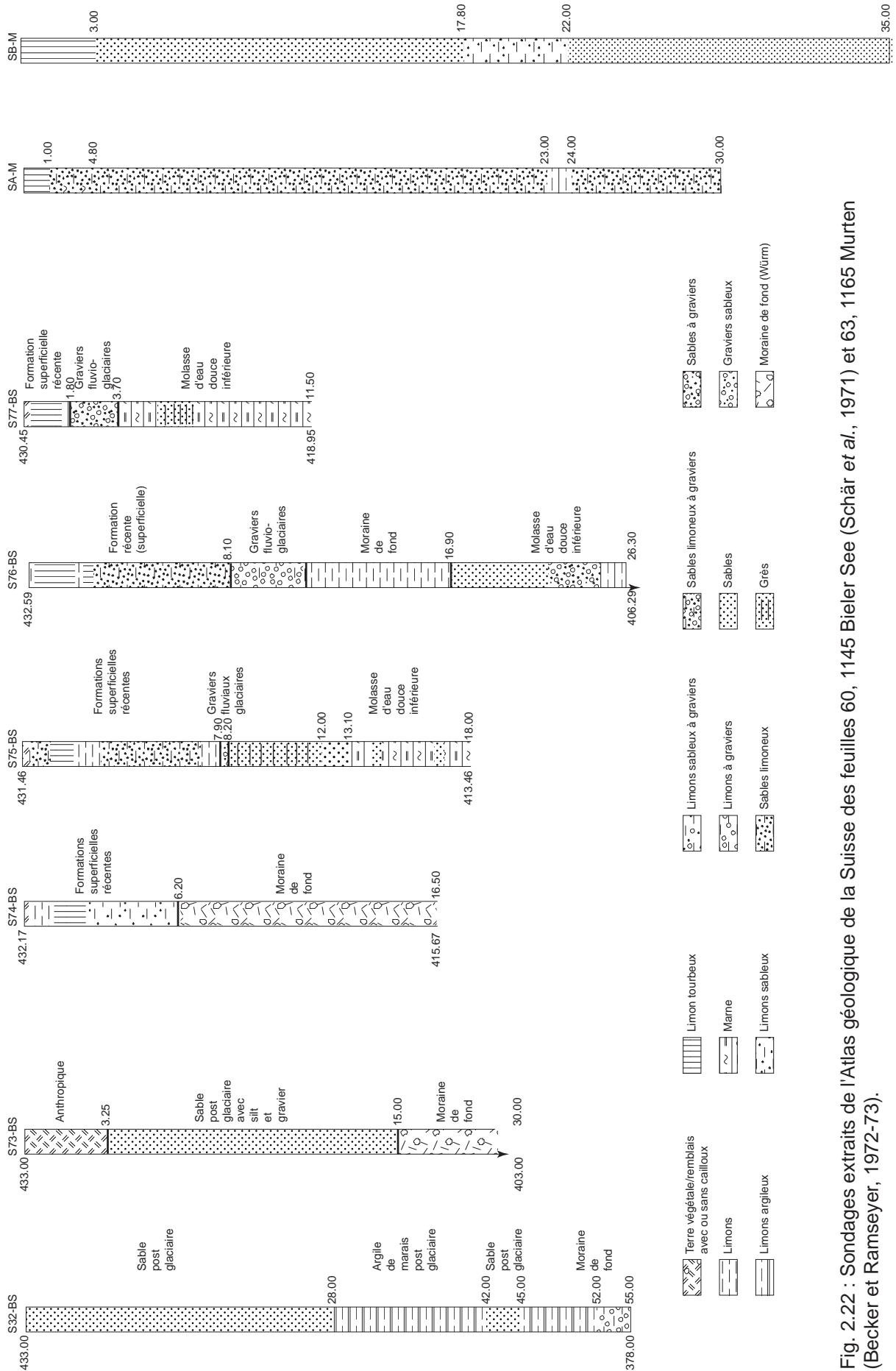


Fig. 2.22 : Sondages extraits de l'Atlas géologique de la Suisse des feuilles 60, 1145 Bieler See (Schär et al., 1971) et 63, 1165 Murten (Becker et Ramseyer, 1972-73).

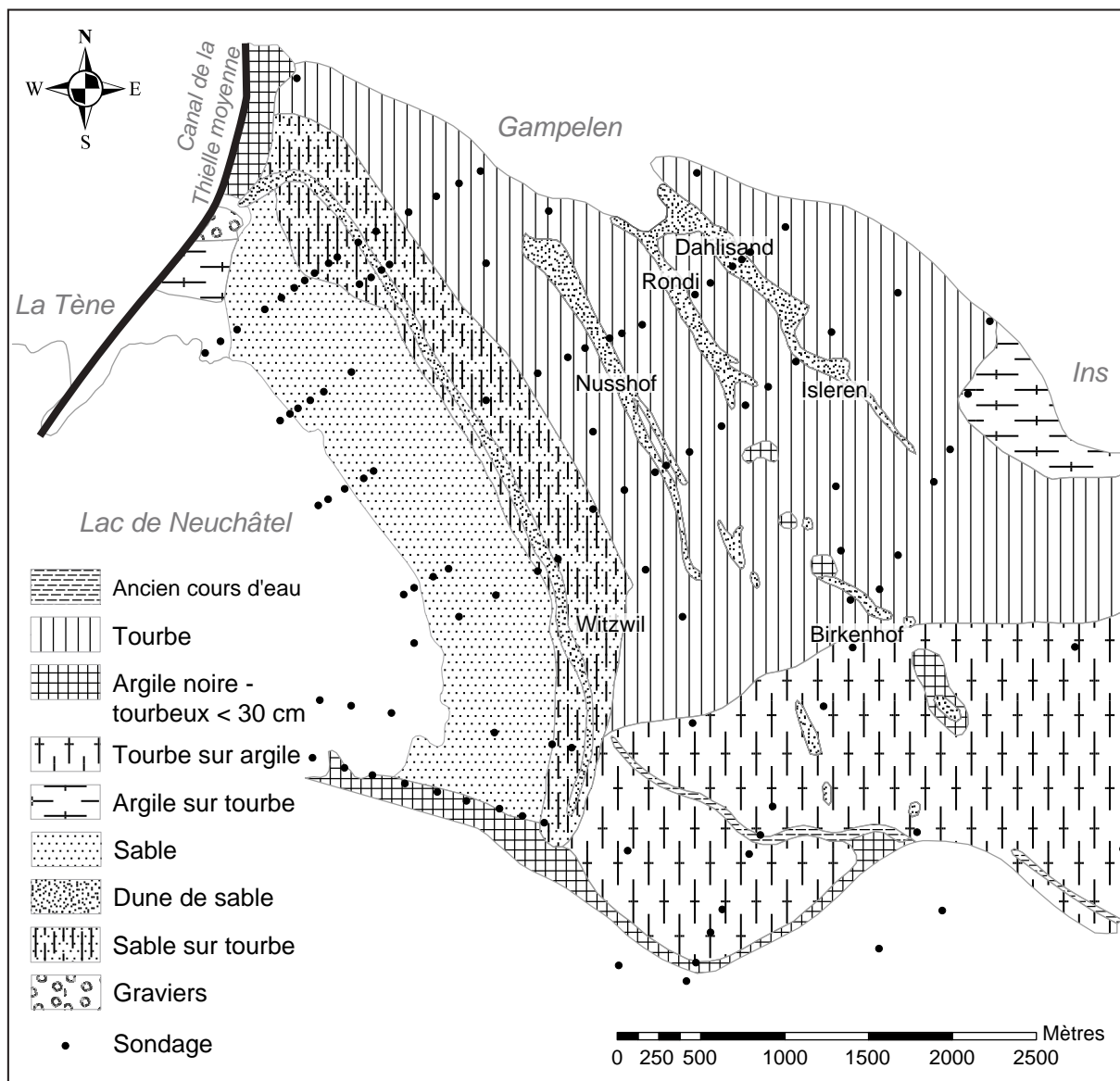


Fig. 2.23 : Extrait de la carte géologique réalisée par Lüdi (1935).

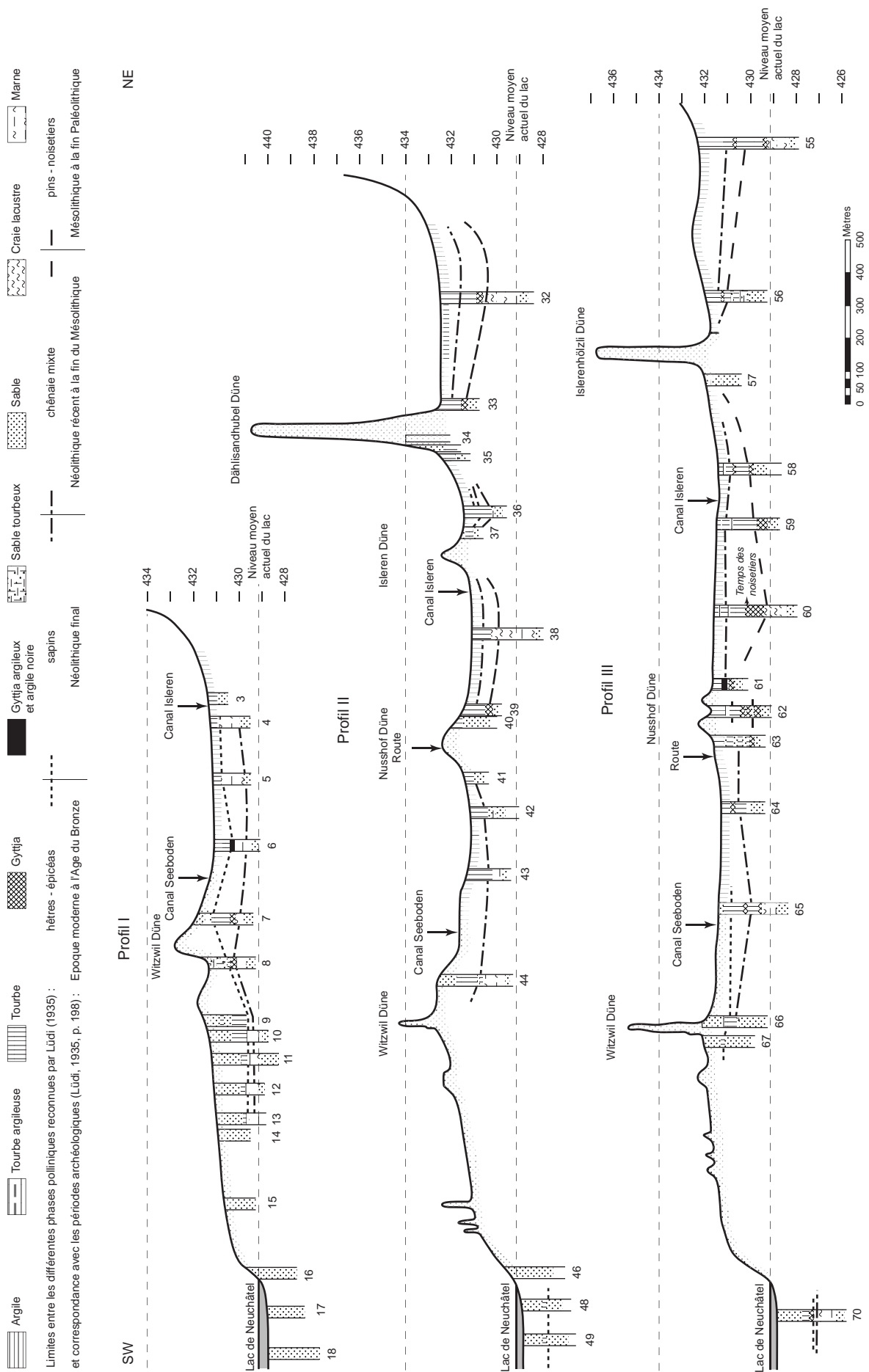


Fig. 2.24 : Profils réalisés dans le Seeland d'après Lüdi (1935).

### 3.1.2. Intérêt pour la compréhension sédimentaire de la zone exutoire

Les données des sondages extraits des cartes géologiques sont relativement peu précises quant à la description des formations récentes (Fig. 2.22). Les limites bien indiquées sont celles des formations plus anciennes comme la molasse d'eau douce inférieure, la moraine de fond et les graviers fluvio-glaciaires. Les sédiments composant les formations récentes sont des sables, des limons, de la tourbe et des limons sableux mais les limites entre ces différentes unités sont imprécises. De ce fait, ces sondages ne peuvent être utilisés pour cette étude.

Les données de (Lüdi, 1935) sont plus précises et présentent la composition des formations superficielles récentes. Sur la carte et les coupes qu'il a réalisées se retrouvent les dunes observées précédemment sur les cartes géologiques (Fig. 2.4, 2.23 et 2.24). Au SW de la dune principale de Witzwil, se trouve un deuxième monticule moins important et plus étalé, ce qui confirme les observations réalisées lors de l'analyse du MNT. Les trois éléments qui sont la matière organique, le sable et la craie lacustre sont à la base de toutes les formations observées. En simplifiant la succession chronologique, la base est constituée de sables sur lesquels s'est déposée une phase carbonatée. Par la suite, une phase organique a recouvert le tout, avant d'être elle-même enfouie sous des sables à l'ouest. Cette chronologie ne tient pas compte des dunes de sable dont le soubassement n'a pas fait l'objet d'observations. Lüdi a couplé ces observations géologiques avec des analyses polliniques ce qui lui a permis de distinguer plusieurs phases. Afin de replacer ces phases par rapport à une échelle de temps absolue, il a analysé des pollens issus de sites archéologiques. Ainsi, la datation proposée est fonction des limites des périodes archéologiques connues à l'époque. Ces limites ayant depuis évolué, il est nécessaire, pour les intégrer à cette étude, de replacer temporellement les phases polliniques en se fondant sur les connaissances archéologiques actuelles de la région (Tab. 2.4 et Annexe 2).

Dates (cal. BC/AD)	Période archéologique actuelle	Histoire de la forêt du Grand Marais d'après Lüdi (1935)*
1950 ap. J.-C.	Epoque moderne	Epiceas
1000 ap. J.-C.	Moyen Age	
0 ap. J.-C.	Haut Moyen Age Epoque romaine	
	Age du fer	Premiers épicéas et deuxième phase de sapins
	La Tène Hallstatt	
1000 av. J.-C.	Age du Bronze	Hêtres
2000 av. J.-C.	Néolithique	Sapins
3000 av. J.-C.		Chênaie mixte
4000 av. J.-C.		
5000 av. J.-C.		
6000 av. J.-C.	Mésolithique	Noisetiers
7000 av. J.-C.		Pins
8000 av. J.-C.		
9000 av. J.-C.	Azilien	Bouleaux
10000 av. J.-C.		
11000 av. J.-C.	Magdalénien	
12000 av. J.-C.		
13000 av. J.-C.		

\* Limites callées par la mise en parallèle des limites des périodes archéologiques utilisées par Lüdi en 1935 et celles connues actuellement (Cf. Annexe 2)

Tab. 2.4 : Correspondance entre les limites des périodes archéologiques déterminées actuellement et l'histoire de la forêt du Grand-Marais déterminée par Lüdi (1935). Ce dernier s'était basé sur les connaissances de limites des périodes archéologiques de l'époque.

Les sondages réalisés par l'entreprise De Cérenville Géotechnique SA étant des sondages de reconnaissance pré-construction, ils ne peuvent être intégrés à cette étude qu'en complément aux observations déjà réalisées dans le secteur. Ainsi, ils sont intégrés à cette étude au chapitre 4.

Les deux séries de relevés réalisées par l'OMAN n'ont pas encore fait l'objet d'une étude. Ils sont donc pris en compte dans ce manuscrit et analysés au chapitre 4.

Ainsi, sur l'ensemble des sondages préexistants, seuls ceux de Lüdi (1835) apportent des informations sur la sédimentation liée au lac, avec des calages chronologiques utilisant une analyse pollinique. Or, ces sondages sont concentrés sur le canton de Berne. Il paraît alors nécessaire de réaliser de nouveaux sondages afin d'analyser les successions stratigraphiques et d'effectuer des corrélations entre les sites dans ce secteur complexe sous influence du lac et de la Thielle.

## **3.2. Prospections de terrain**

Comme expliqué précédemment, l'étude sédimentologique doit prendre en considération les deux facteurs physiques que sont les variations du niveau du lac et les divagations des chenaux de la Thielle, et cela dans un contexte archéologique. Ainsi, concernant les variations du niveau du lac, deux secteurs doivent être complétés : le premier concerne les fouilles du site de Marin-Les Piécettes, avec des sondages à réaliser en périphérie du site et plus en amont, jusque dans le lac actuel ; le deuxième se situe aux alentours des coupes de Lüdi (1835), avec des sondages ciblés au niveau des cordons littoraux et des dunes de sable afin d'affiner leur spatialisation et de proposer un mode de mise en place. Pour les divagations des chenaux de la Thielle, les nouveaux sondages doivent être situés en périphérie des sites de Marin-La-Tène et Marin-Pré de la Mottaz. Ils sont complétés par des prospections géophysiques afin de réaliser une analyse spatiale sur une plus grande superficie. Le site de Marin-Prébit ayant fait l'objet d'une reconnaissance par l'OMAN durant cette étude, il y est intégré même si chronologiquement il reste encore mal calé.

### **3.2.1. Sondages**

#### **- sondages à la pelle mécanique**

Lors de fouilles archéologiques, des secteurs sont dégagés à l'aide d'une pelleteuse. Le décapage par couches centimétriques permet de voir l'évolution planaire des sédiments. Les parois des fosses obtenues sont ensuite nettoyées. Sur ces coupes propres, un quadrillage peut être mis en place afin de faciliter le relevé de la stratigraphie mise au jour. De cette façon, la succession verticale des sédiments peut être observée ainsi que leur évolution latérale. De telles observations ont pu être réalisées sur les sites de Marin-Les Piécettes, Marin-La Tène et Marin-Prébit.

### **- sondages à la tarière**

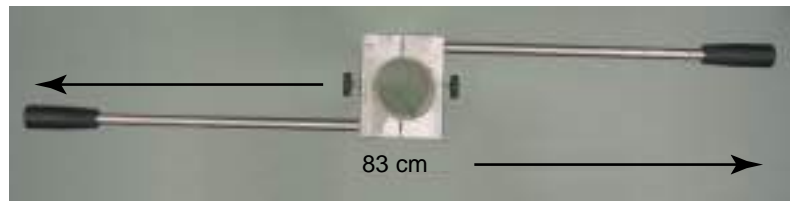
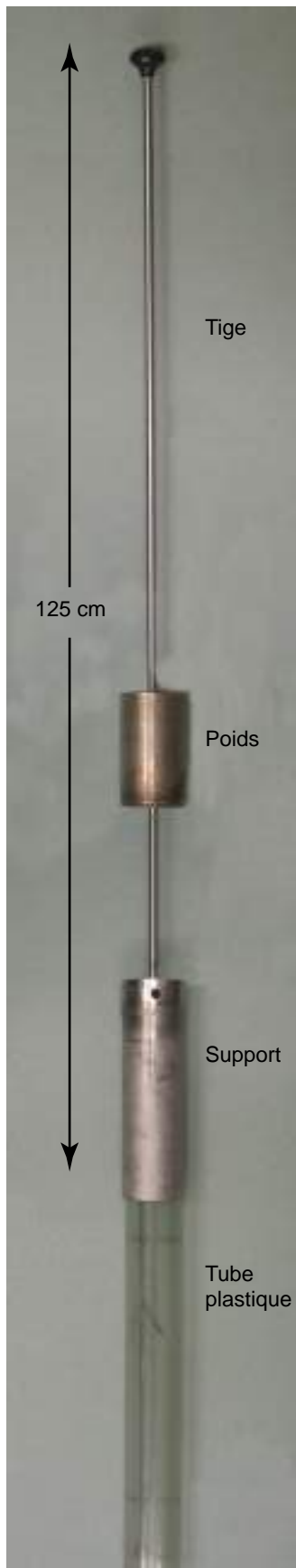
L'utilisation de tarières manuelles permet de travailler dans presque tous les types d'environnement - forêt, champs cultivés, terrain de football, *etc.* - sans trop endommager la surface du terrain. Après avoir essayé différents types de tarières, la tarière à lames spéciales pour horizons graveleux s'est avérée la plus appropriée. La tête de tarière mesure 20 cm de long et 6 cm de diamètre. Bien que conçue pour traverser des niveaux graveleux, elle pénètre très bien les niveaux de limons argileux et, contrairement à la tarière à lames de type Hélix ou Edelman, elle déforme peu les horizons rencontrés. Il est possible d'ajouter des rallonges de 1 m entre la tête et le manche afin d'atteindre la profondeur souhaitée. Le seul inconvénient rencontré réside dans l'impossibilité de traverser des horizons caractérisés par la présence d'abondants éléments grossiers (graviers, galets) ou une grosse racine.

### **- sondages dans le lac**

Les sondages se situant dans le lac sont réalisés sous une tranche d'eau d'environ 1 m. Dans ces conditions, il est possible d'utiliser une tarière comme précédemment mais cela pose tout de même des problèmes liés au fait que l'eau favorise le fluage des sédiments dans le trou réalisé. Si ce phénomène se produit lorsque la tarière est dans le trou, le sédiment bloque la tête de tarière au fond du sondage et rend son extraction très laborieuse. Si le même phénomène se produit alors que la tarière est hors du trou, ce dernier se comble et la progression du sondage devient impossible. Afin de pallier ces difficultés, un appareillage entièrement démontable a été mis au point à l'Institut de Géologie et d'Hydrogéologie de Neuchâtel, dans le cadre de cette étude. Un premier système, composé d'un support, d'une tige et d'un poids, permet d'enfoncer un tube plastique d'un diamètre de 6 cm dans les sédiments (Fig. 2.25). Lorsque la profondeur de prospection souhaitée est atteinte, l'extrémité supérieure du tube est hermétiquement bouchée. L'extraction du tube peut alors être réalisée sans perte de sédiments. Cette phase est facilitée par l'utilisation d'un deuxième appareil, constitué d'un jeu de poignées, et vissé autour du tube. Enfin, l'extrémité inférieure du tube est bouchée dès que possible, à savoir dans la tranche d'eau. Ainsi, chaque sondage correspond à un seul prélèvement, les parois du trou réalisées s'effondrant lors du retrait du tube. De par la matière plastique des tubes, cet appareil ne permet pas de traverser les niveaux à graviers et galets.

### **- prélèvement et conservation des échantillons**

Lors d'observations de sondages réalisés à la pelle mécanique, des séquences continues de stratigraphies ont pu être prélevées dans des bacs à géraniums. Afin d'échantillonner



Système permettant de retirer les tubes plastiques après enfoncement.



Carottage sur le terrain

Carotteur sur un tube plastique

Fig. 2.25 : Système de carottage dans le lac.

des stratigraphies complètes, plusieurs bacs sont utilisés. Ils sont alors disposés de façon à reprendre une petite partie de ce qui a déjà été prélevé. Cette méthode a l'avantage de ne pas perturber le sédiment lors des prélèvements. L'inconvénient est qu'il est quasi impossible de prélever des niveaux de graviers et galets. Les bacs numérotés sont ensuite enveloppés dans des sacs plastiques fermés avant d'être stockés dans une chambre froide. Dans le cas de niveaux graveleux, le prélèvement est effectué comme pour les sondages à la tarière.

Lors de sondages à la tarière, les niveaux différenciés sont prélevés séparément dans des sacs à échantillons et sont stockés en chambre froide. Ces échantillons ne peuvent être prélevés sans être perturbés.

Les tubes prélevés dans le lac sont coupés en deux dans le sens de la longueur avant d'être enveloppés dans un film plastique et stockés en chambre froide.

### **3.2.2. Prospection par géophysique électrique**

Le système employé est une tomographie électrique Campus Tigre n°8 avec deux lignes de trente-deux électrodes chacune. Les réglages et l'acquisition des données se font directement sur un ordinateur à l'aide du logiciel ImagePro2000 1.0.5 ©.

Afin que les panneaux électriques réalisés aient une bonne résolution, deux essais d'écartement d'électrodes ont été effectués. Lors de la réalisation du premier panneau la distance entre les électrodes était de 3 m. Elle a été réduite à 2 m pour les essais suivants afin d'augmenter la résolution tout en gardant une profondeur d'investigation suffisante. Le dispositif utilisé est de type Wenner (Marescot, 2006) avec neuf niveaux de mesure en profondeur. Selon la longueur d'investigation souhaitée, le dispositif est déplacé le long du transect grâce au mode "Roll-on". Suite à la collecte des données (résistivités apparentes) sur le terrain, il est nécessaire d'effectuer un traitement, via un processus d'inversion, afin de reconstituer un modèle du sous-sol (résistivités inversées) et d'évaluer la qualité de ce résultat. Ce traitement est réalisé à l'aide du logiciel Res2Dinv 3.4 © (Geological Imaging 2D & 3D ; Annexe 4). L'altitude et la topographie du sol, mesurées avec une lunette de chantier calée sur un point coté, sont incorporées au modèle grâce aux logiciels ImagePro2000 1.0.5 © (Campus International Products Ltd.) et Res2Dinv 3.4 © (Geological Imaging 2D & 3D).

Les facteurs limitants de cette méthode viennent de la nature de la surface du sol. En effet, l'enfoncement des électrodes dans un sol dur (goudronné par exemple) est impossible. Dans l'eau - dans le lac ou dans les cours d'eau - son utilisation n'est pas possible. L'analyse par résistivité électrique des milieux permet de distinguer des formations de résistance nettement différentes. Cette méthode n'est donc pas adaptée pour la distinction entre des niveaux limono-

crayeux et limono-tourbeux. En revanche, dans le contexte de notre étude, elle souligne les formations graveleuses ou sableuses.

### **3.2.3. Situation des sondages et des panneaux électriques**

#### **- Carte d'occupation des sols : une aide à la détermination**

Afin d'avoir le meilleur aperçu possible de l'évolution de la sédimentation dans la zone exutoire, la situation des prospections doit être choisie en fonction des rives du lac et de la Thielle moyenne, et des sites archéologiques de Marin-Les Piécettes, Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz, qui ancrent chronologiquement ce travail. D'autre part, un minimum de juxtaposition spatiale entre les panneaux électriques et les sondages à la tarière est nécessaire afin de calibrer les résultats géophysiques.

Les méthodes de prospection étant soumises à des contraintes liées à la nature de l'occupation du sol, un travail préalable d'analyse de l'occupation du sol est nécessaire (Fig. 2.26). La carte obtenue est un croisement sous ArcGIS des données suivantes :

- pour le secteur d'étude neuchâtelois : extrait cadastral du canton fourni par le SITN ;
- pour le secteur d'étude bernois : l'occupation du sol a été digitalisée à partir des photographies aériennes fournies par l'Office de l'information géographique du canton de Berne et de cartes topographiques récentes.

Des observations de terrain viennent confirmer ou modifier ces données afin d'avoir une carte la plus récente possible (Fig. 2.26). Les 17 classes d'occupation des sols distinguées, avec un bref descriptif, sont résumées dans le tableau 2.5. Par requêtes sur la nature de l'occupation du sol, cinq types de couverture sont distingués (Tab. 2.5). A partir de cette carte du type de couverture, de nouvelles requêtes sont réalisées sous ArcGIS, dont les classes envisagées sont présentées dans le tableau 2.6., afin de déterminer la faisabilité de chaque méthode de prospection. Il faut préciser que pour le canton de Neuchâtel, les constructions souterraines sont indiquées séparément et constituent des zones inintéressantes pour l'étude. Enfin, des nuances sont à apporter aux résultats des requêtes en fonction de la réceptivité des propriétaires des terrains. Au final, il est possible de réaliser deux cartes, une pour les sondages à la tarière et une pour la prospection géophysique (Fig. 2.27 et 2.28).



Classes d'occupation du sol	Description	Type de couverture
accès, place	regroupe les cours et les chemins de particuliers quel que soit leur revêtement	dure
bassin	bassin artificiel comme ceux de la station d'épuration de Marin-Epagnier	dure
chemin de fer	voies de chemin de fer	dure
cimetière		sans végétation
construction	regroupe tous les bâtiments	dure
cours d'eau	regroupe les différents cours d'eau et la canal de la Thielle actuel	eau
eau stagnante	regroupe le lac de Neuchâtel, les étangs (artificiel ou non), les anciens cours de la Thielle	eau
forêt		bois
inculte	regroupe tout ce qui est remblais sur les parcelles, le long des routes, des voies de chemin de fer, etc	sans végétation
jardin		vert
pâturage		vert
pré-champs		vert
rocher		dure
roselière		eau
route, chemin	regroupe les routes, chemins, cours et trottoirs publics quel que soit leur revêtement	dure
terrain de sport	terrain de tennis ou de football	dure ou vert
vigne		vert

Tab. 2.5 : Classes de la carte d'occupation du sol et type de couverture pouvant y être associé.

Classes d'occupation du sol	Sondage tarière	Tomographie électrique
accès, place	Impossible	Impossible
bassin	Impossible	Impossible
chemin de fer	Impossible	Impossible
cimetière	Impossible	Impossible
construction	Impossible	Impossible
cours d'eau	Impossible à difficile (dépend de la profondeur)	Impossible
eau stagnante	Impossible à difficile (dépend de la profondeur)	Impossible
forêt	Difficile	Difficile
inculte	Impossible	Difficile
jardin	Faisable	Faisable
pré-champs	Faisable	Faisable
pâturage	Faisable	Faisable
rocher	Impossible	Impossible
roselière	Interdit (réserve naturelle) - difficile	Interdit (réserve naturelle) - impossible
route, chemin	Impossible	Impossible
terrain de sport	Faisable (terrain de football) Impossible (terrain de tennis)	Faisable (terrain de football) Impossible (terrain de tennis)
vigne	Faisable	Faisable

Tab. 2.6 : Faisabilité des prospections en fonction de l'occupation du sol.

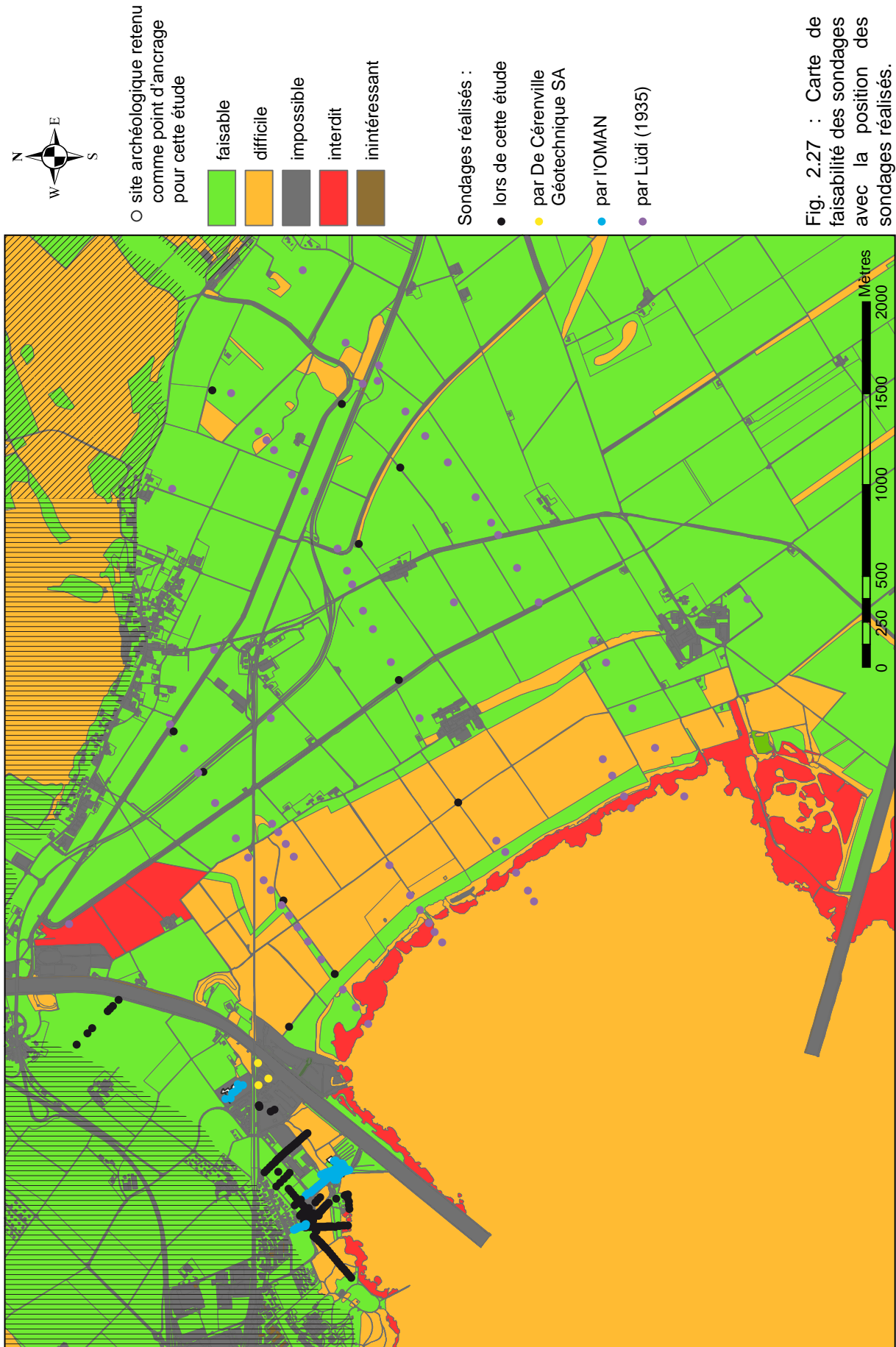


Fig. 2.27 : Carte de faisabilité des sondages avec la position des sondages réalisés.

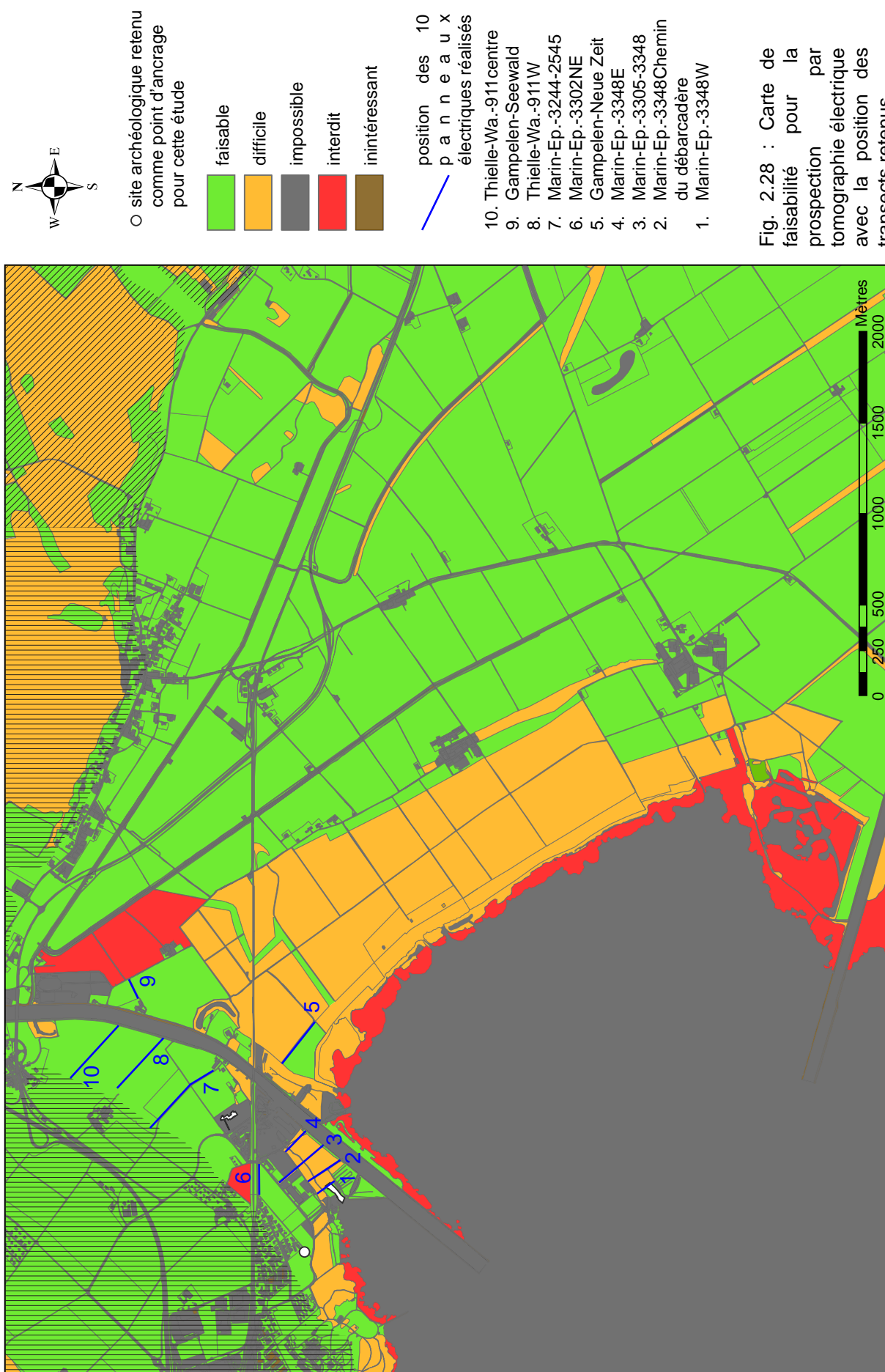


Fig. 2.28 : Carte de faisabilité pour la prospection par tomographie électrique avec la position des transects retenus.

### - Situation des sondages

Dans ce paragraphe, seul le choix des positionnements des sondages à la tarière et/ou dans le lac est abordé. Ceux réalisés à la pelle mécanique étant liés à de la reconnaissance pré-travaux de construction, leur emplacement n'a pu être choisi.

Les sondages ont été réalisés dans un premier temps autour des sites archéologiques sélectionnés afin d'en compléter les données sédimentaires et archéologiques. Puis, d'autres sondages ont été effectués afin de vérifier les observations faites par tomographie électrique et celles présentes dans la bibliographie ancienne comme Lüdi (1935). Au total deux cent six sondages ont été réalisés dans la zone exutoire du lac de Neuchâtel (Fig. 2.27). Hormis six sondages ponctuels, tous les autres sont réalisés le long de dix-huit transects, dont trois de Lüdi (1935). Ces axes sont perpendiculaires aux rives du lac ou du canal de la Thielle, sauf deux qui sont subparallèles au canal, servant à relier les autres entre eux. La distance entre deux sondages successifs est fonction de la précision recherchée et des variations latérales de faciès. Au niveau des sites archéologiques, l'écartement retenu est de 5 m afin d'avoir une bonne résolution. Cette distance peut être réduite par la réalisation de sondages intermédiaires lors de variations importantes au sein de la stratigraphie. Pour les axes en-dehors des sites archéologiques, la distance entre les sondages est de 10 m, voire plus lorsque la séquence sédimentaire est constante. La position des sondages permettant de vérifier les observations de Lüdi (1935) est fonction de ses résultats.

Les axes sont numérotés en chiffres romains précédés de la lettre A. La numérotation d'une carotte comprend le numéro du transect auquel elle appartient suivi de la lettre C et d'un numéro arabe. Ainsi le sondage AVI.C2 est la deuxième carotte de l'Axe VI. La notation Bis ou Ter peut être ajoutée en suffixe lorsque plusieurs tentatives ont été nécessaires à la réalisation du sondage. Dans les rares cas où un sondage n'est pas directement lié à un axe, il porte le nom du secteur géographique dans lequel il a été réalisé suivi de la lettre S et d'un numéro en chiffre arabe.

### - Situation des panneaux géophysiques

Les dix panneaux sont perpendiculaires au cours de la Thielle moyenne pré-1<sup>ère</sup> C.E.J. (Fig. 2.28). Pour des raisons d'occupation du sol, ils se situent majoritairement sur la rive gauche (canton de Neuchâtel), les plus en amont étant au niveau du site archéologique de Marin-La Tène. La dénomination commence par le nom du village puis le numéro de la ou des parcelles sur lesquelles la prospection a été réalisée. Si plusieurs mesures sont effectuées au sein d'une même parcelle, un suffixe indiquant la position dans la parcelle est rajouté. Ainsi, le panneau

électrique Thielle-Wavre-911W a été réalisé à l'ouest de la parcelle 911 de la commune de Thielle-Wavre.

### **3.3. Description des échantillons**

#### **3.3.1. Observations macroscopiques des prélèvements**

Toutes les formations rencontrées sur le terrain ont fait l'objet de descriptions in situ. Lorsque des prélèvements sont réalisés, les niveaux sont décrits de façon plus précise au laboratoire. Les différents points d'observation sont :

- la couleur : sur le terrain elle est appréhendée et qualifiée par l'observateur. Cela pose des problèmes lors de l'intégration à cette étude d'anciennes descriptions réalisées par différentes personnes. En laboratoire, l'analyse des couleurs est effectuée, sur échantillons secs et homogénéisés, avec la charte de couleur des sols de Munsell ;

- la granulométrie : une estimation de la texture de chaque niveau est proposée in situ. L'analyse granulométrique de certains niveaux est réalisée ultérieurement en laboratoire (*cf. infra*) ;

- les lithoclastes : leur quantité est évaluée et leur description réalisée principalement en laboratoire ;

- les restes végétaux : une estimation de la quantité et une rapide description est faite au sein des quatre classes distinguées, à savoir : 1)les charbons, 2)les tiges de Characées, 3)les oogones et 4)les végétaux divers ;

- les traces de racines, terriers et bioturbations : leur observation étant difficile pour les sondages à la tarière, elle est principalement réalisée sur les échantillons prélevés en bac à géraniums ;

- les mollusques : ils constituent l'essentiel des restes d'origine animale parmi lesquels se distinguent les fragments de tests, les tests complets, qu'ils soient de bivalves ou de gastéropodes, et les opercules de gastéropodes.

#### **3.3.2. Observations microscopiques des prélèvements**

Les échantillons destinés à la confection de lames minces étant meubles, ont été séchés puis indurés. Le séchage est réalisé, soit dans une étuve, soit par lyophilisation. L'induration est réalisée avec une résine époxy à deux composants sous vide d'air. Ce procédé permet la réalisation de lames d'échantillons non perturbés. Le matériel d'une épaisseur de 30-35 µm est poli.

### 3.3.3. Exoscopie des quartz

La préparation des échantillons est effectuée selon les méthodes proposées par Le Ribault (1977) et Legigan (2002). La fraction des échantillons analysés correspond au rejet de tamis 250  $\mu\text{m}$  de l'analyse granulométrique. Ces grains ont donc été immergés dans un bain d'acide chlorhydrique (*cf. infra*). Après observation à la loupe binoculaire, quelques grains sont sélectionnés, puis passés brièvement aux ultrasons dans de l'éthanol absolu. Après séchage, ils sont montés sur un plot métallique et métallisés avant d'être observés au microscope électronique à balayage.

## 3.4. Analyses sédimentologiques

### 3.4.1. Analyse granulométrique

Elle est effectuée selon le protocole mis au point par Chalumeau (2003 ; Annexe 5). Les divisions des classes granulométriques proposées dans cette étude sont celles de Cailleux (1954), avec toutefois une variante en ce qui concerne la limite limon-sablon qui est empruntée à celle de Wentworth (1926 ; Tab. 2.7). Ce découpage de classes croît en progression géométrique, ce qui a pour avantage de donner des abscisses régulièrement espacées lors de l'utilisation de l'échelle logarithmique  $\Phi$ . La correspondance entre les limites inférieures de classe et l'échelle  $\Phi$  est donnée dans le tableau 2.8.

Classification de Cailleux		Classification de Wentworth		Classification utilisée		
Taille des particules	Nom	Taille des particules	Nom	Taille des particules	Nom	
> 20 mm	Galets / cailloux	> 20 mm	Galets / cailloux	> 20 mm	Galets / cailloux	
2 à 20 mm	Gravillons	2 à 20 mm	Graviers	2 à 20 mm	Graviers	
200 $\mu\text{m}$ à 2 mm	Sables	63 $\mu\text{m}$ à 2 mm	Sables	1 à 2 mm	Sables grossiers	
20 à 200 $\mu\text{m}$	Sablons			500 $\mu\text{m}$ à 1 mm	Sables moyens	
				250 à 500 $\mu\text{m}$	Sables fins	
2 à 20 $\mu\text{m}$	Limons	2 à 63 $\mu\text{m}$	Silts	125 à 250 $\mu\text{m}$		Limons grossiers
				63 à 125 $\mu\text{m}$		
				32 à 63 $\mu\text{m}$	Limons moyens	
0 à 2 $\mu\text{m}$	Précolloïdes et colloïdes	0 à 2 $\mu\text{m}$	Argiles	16 à 32 $\mu\text{m}$		Limons fins
				8 à 16 $\mu\text{m}$		
				4 à 8 $\mu\text{m}$	Argiles grossières	
				2 à 4 $\mu\text{m}$	Argiles fines	
				1 à 2 $\mu\text{m}$		
				0 à 1 $\mu\text{m}$		

Tab. 2.7 : Classes granulométriques utilisées pour l'étude comparées aux classifications de Cailleux (1954) et Wentworth (1926).

Particules fines (< 63 µm) en µm		Particules grossières (> 63 µm) en µm	
Limite inférieure de classe	Echelle des Φ	Limite inférieure de classe	Echelle des Φ
0,00001 µm	13,3	125 µm	3
1 µm	10	250 µm	2
2 µm	9	500 µm	1
4 µm	8	1 mm	0
8 µm	7	2 mm	-1
16 µm	6	4 mm	-2
32 µm	5	8 mm	-3
63 µm	4	16 mm	-4

Tab. 2.8 : Correspondance entre les limites inférieures des classes granulométriques et l'échelle Φ.

La quantité d'échantillon nécessaire est déterminée, après estimation à l'œil nu de la taille maximale des particules grossières, à l'aide de la courbe de la figure 2.29. Les échantillons sont décarbonatés par ajout d'acide chlorhydrique 10 %, tout en veillant à ce que le pH ne soit pas inférieur à 2-3, afin d'éviter une attaque des particules argileuses. Après rinçage, les échantillons sont amenés à pH 8. La matière organique est détruite par ajout d'eau oxygénée à 15 % pendant 24 heures puis à 30 % jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégazage. Durant cette deuxième phase, l'échantillon est chauffé au bain-marie afin d'accélérer la réaction. Les échantillons sont alors séchés et pesés. La dispersion des particules fines (i.e. défloculation des argiles) est réalisée par agitation pendant 17 heures en présence d'une solution d'hexamétaphosphate de sodium. La séparation des particules supérieures à 63 µm est effectuée par tamisage humide pendant 10 minutes à l'aide d'une vibreuse de type Retsch VS 1000 et d'une colonne de tamis. Les particules inférieures à 63 µm sont récupérées à la sortie de la colonne de tamis et sont analysées par un système laser de type GALAI CIS-1. Toutes les fractions sont ensuite exprimées en pourcentage massique de l'échantillon initial.

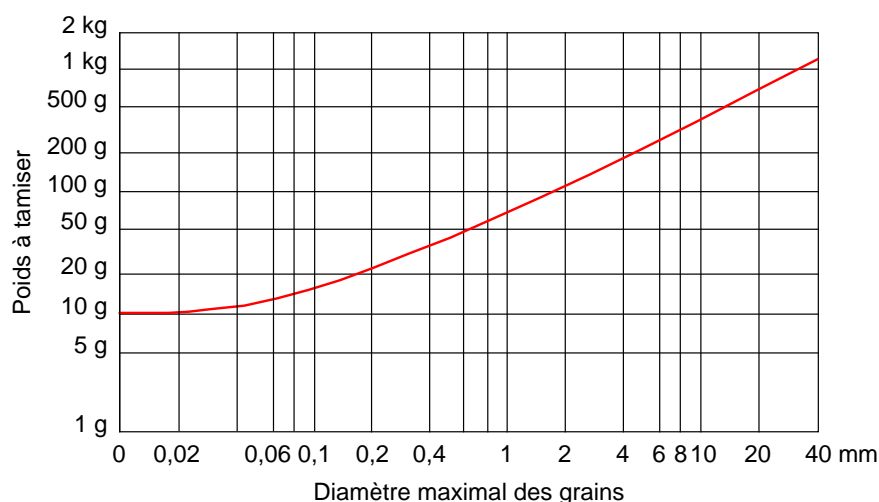


Fig. 2.29 : Poids à tamiser en fonction du diamètre maximal des grains (Chalumeau, 2003).

L'utilisation de diagrammes triangulaires des textures permet de qualifier le sédiment de façon précise. Deux classifications complémentaires sont utilisées : la nomenclature de Folk (1954) pour la granulométrie globale, pour laquelle les limons et les argiles sont regroupés et où les deux autres pôles sont occupés par les graviers et les sables, et le triangle des textures de l'U.S.D.A. (1975), pour les fractions inférieures à 2 mm (sables, limons et argiles).

L'analyse de la distribution des particules en fonction de la profondeur est réalisée selon la méthode de Beierle *et al.* (2002). Les tailles granulométriques sont exprimées en abscisse, selon l'échelle logarithmique  $\Phi$ , et la profondeur en ordonnée. Des précisions quant à la répartition des particules au sein d'un échantillon sont données par le calcul de la moyenne ( $M_Z$ ), la médiane ( $x$ ) et les coefficients d'acuité (kurtosis  $K_G$ ) et de dissymétrie (skewness  $Sk_J$ ) calculés selon la méthode de Folk et Ward (1957).

### 3.4.2. Analyse minéralogique

La composition minéralogique des échantillons analysés est obtenue par diffraction des rayons X (XRD). Le diffractomètre SCINTAGTM XDS 2000 permet de quantifier les principaux minéraux en pourcentages relatifs. L'analyse est effectuée sur la roche totale et sur les argiles.

Pour obtenir le cortège minéralogique de la roche totale, l'échantillon est réduit en poudre puis pressé dans un porte-objet afin d'obtenir une préparation non orientée (Annexe 6). Chaque minéral présent apparaît dans les résultats en fonction de son intensité en coups par minute. Une conversion permet alors de transformer ces résultats en un dosage semi-quantitatif, en tenant compte des coefficients d'absorption massique des minéraux (Rolly, 1992).

Pour les argiles, afin de mieux identifier les minéraux, la phase carbonatée est éliminée par adjonction d'acide chlorhydrique à 10 % (Annexe 7). Les échantillons sont ensuite lavés de l'acide par centrifugations successives. Les deux fractions, inférieure à 2  $\mu\text{m}$  et comprise entre 2 et 16  $\mu\text{m}$ , sont séparées selon le principe de la loi de Stokes, avant que quelques gouttes de ces suspensions ne soient déposées sur des verres de montre. Les particules argileuses se déposant à plat selon leur plan principal, les lames deviennent orientées. Après un premier passage au diffractomètre, les échantillons de la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$  sont traités à l'éthylène glycol afin d'identifier les argiles gonflantes.

### 3.4.3. Dosage du calcaire total

La méthode utilisée est celle proposée pour l'analyse de sols par Pauwels *et al.* (1992 ; Annexe 8). Ce dosage permet de déterminer la concentration de toute base (calcite, dolomie,...) dans un échantillon et de l'exprimer en équivalent  $\text{CaCO}_3$ .

Une masse de 1 g d'échantillon broyé est pesée sur une balance de précision  $10^{-4}$  g puis dissoute par un mélange de 25 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,5 N et 125 ml d'eau déionisée. L'échantillon est placé au bain-marie pendant 1 h à 90 °C avant d'être refroidi. L'excès d'acide est titré par dosage-retour avec une solution de NaOH à 0,5 N.

### 3.4.4. Analyse de la matière organique

L'analyse de la matière organique par pyrolyse Rock Eval permet de quantifier le Carbone Organique Total (TOC), de préciser l'origine de la matière organique et son état d'évolution. Une masse de 70 mg d'un échantillon préalablement séché et broyé est placée dans une nacelle porte-échantillon (cette masse peut varier suivant la teneur supposée de matière organique). La méthode comprend deux étapes analytiques durant lesquelles l'échantillon est pyrolysé à des températures croissantes. Durant la première phase, l'échantillon est chauffé en atmosphère inerte alors que la seconde est effectuée sous conditions oxydantes. Les gaz effluents sont mesurés en continu pendant la pyrolyse. La calibration de l'appareillage Rock-Eval 6 est réalisée régulièrement à partir du standard IFP-55000 (IFP, 2001).

### **3. SÉQUENCE DE RÉFÉRENCE : LE SITE DE MARIN-LES PIÉCETTES**



### 3. SÉQUENCE DE RÉFÉRENCE : LE SITE DE MARIN-LES PIÉCETTES

---

Le site de Marin-Les Piécettes remplit les différents critères permettant de proposer une séquence sédimentaire relativement complète pour la compréhension de la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Ce site a fait l'objet de plusieurs campagnes de fouilles de 1998 à 2002, durant lesquelles de nombreuses coupes ont été décrites et prélevées (Fig. 3.1), fournissant une base de données importante. Par ailleurs, le site est en contexte essentiellement lacustre, ce qui signifie que les enregistrements sédimentaires des variations du niveau du lac n'ont pas été perturbés par d'anciens cours de la Thielle moyenne. La datation des enregistrements sédimentaires y est assez complète grâce à différents projets. En effet, en plus des dates dendrochronologiques et radiochronologiques du niveau archéologique néolithique financés par l'OMAN, des datations  $^{14}\text{C}$  de différentes unités sédimentaires (US) ont été effectuées grâce aux financements octroyés à Michel Magny par le programme Environnements et Climats du Passé du CNRS (France) et de l'Union Européenne (programme ACCROTELM) (Tab. 3.1).

A partir de ces données, la stratigraphie générale du site est décrite, avec des précisions relatives à la sédimentation. Tout cela permet de replacer les différents niveaux rencontrés dans leur environnement de dépôts puis de proposer pour chacun une altitude moyenne du lac de Neuchâtel.

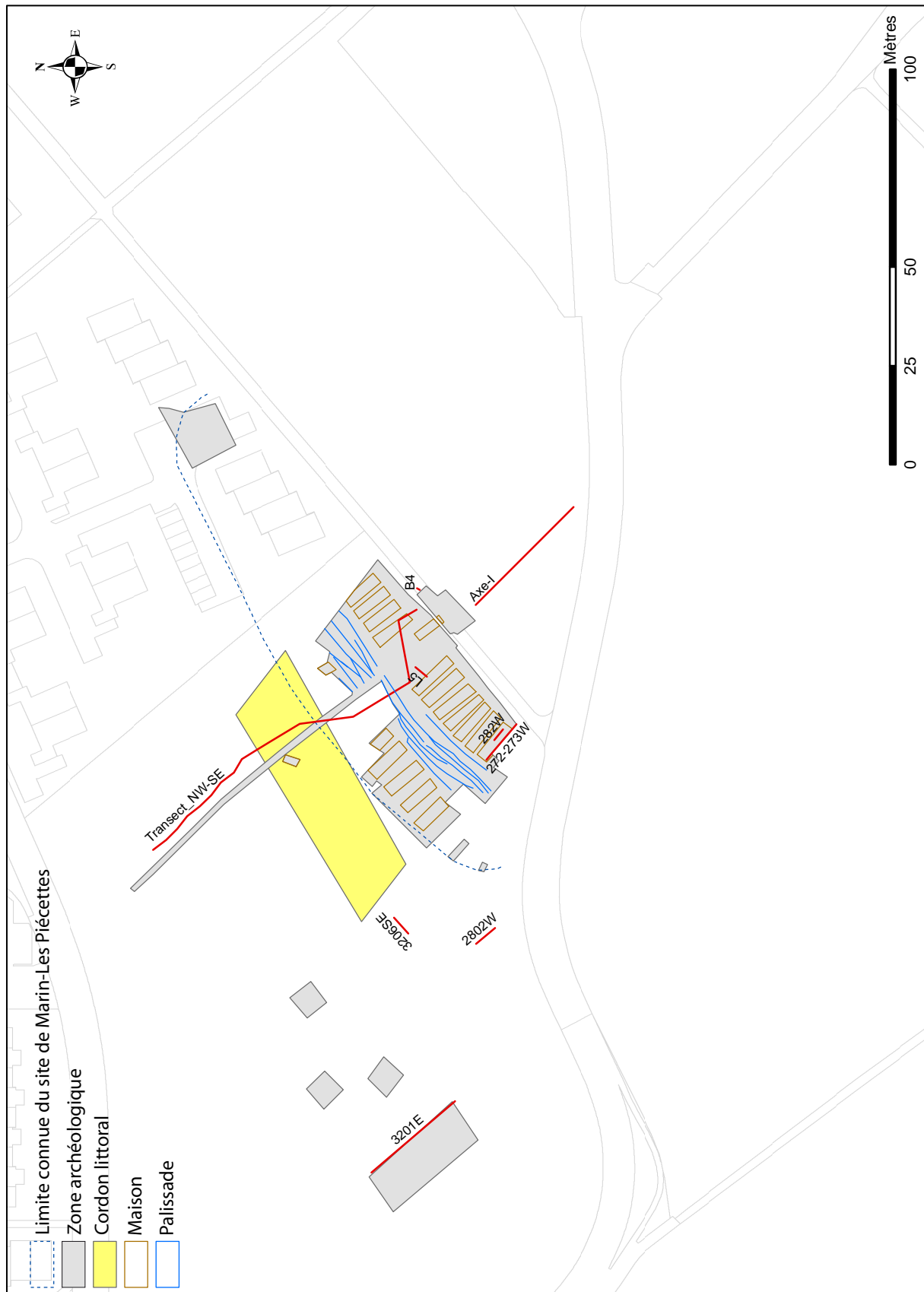


Fig. 3.1 : Carte de situation des transects et coupes du site de Marin-Les Piécettes.

Site	Séquence sédimentaire	Unité sédimentaire	Matériel	Age C14 BP	Age (1 sigma)	Age (2 sigmas)	N° de laboratoire (Zürich)
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	03	tourbe	1240 ± 50	689-753 cal AD	669-889 cal AD	ETH-27394
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	04	rameau de bois	1435 ± 50	585-652 cal AD	537-674 cal AD	ETH-25554
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	05	tourbe	1740 ± 60	238-383 cal AD	134-416 cal AD	ETH-27393
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	07	tourbe	2315 ± 50	413-355 cal BC	522-344 cal BC	ETH-27392
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	09	rameau de bois	3350 ± 75	1694-1599 cal BC	1781-1490 cal BC	ETH-25553
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	13	tourbe	3660 ± 60	2062-1953 cal BC	2201-1889 cal BC	ETH-27391
Marin-Les Piécettes	coupe 272-273W	13	tourbe	4420 ± 65	3106-2922 cal BC	3140-2910 cal BC	ETH-27390
Marin-Les Piécettes	fouille 1998	Couche archéologique	rameau de bois	4605 ± 65	3515-3422 cal BC	3525-3263 cal BC	ETH-18704
Marin-Les Piécettes	fouille 1998	Couche archéologique	rameau de bois	4690 ± 60	3470-3373 cal BC	3540-3363 cal BC	ETH-18706
Marin-Les Piécettes	fouille 2002	Couche archéologique	rameau de bois	4660 ± 50	3516-3422 cal BC	3533-3351 cal BC	ETH-25957
Marin-Les Piécettes	fouille 1998	Couche archéologique	rameau de bois	4725 ± 65	3631-3561 cal BC	3638-3484 cal BC	ETH-18705
Marin-Les Piécettes	fouille 1998	Couche archéologique	rameau de bois	4735 ± 60	3632-3558 cal BC	3639-3489 cal BC	ETH-18703
Marin-Les Piécettes	transect nord-sud	US 7	rameau de bois	4930 ± 55	3716-3653 cal BC	3804-3636 cal BC	ETH-27433
Marin-Les Piécettes	transect nord-sud	US 8-2	rameau de bois	5105 ± 50	3877-3804 cal BC	3991-3780 cal BC	ETH-25555
Marin-Les Piécettes	transect nord-sud	US 9	rameau de bois	6050 ± 50	5020-4896 cal BC	5069-4822 cal BC	ETH-27432
Marin-Les Piécettes	Axe I	Al.C10bis.A	charbon	4670 ± 55	3476-3393 cal BC	3536-3356 cal BC	ETH-30397
Marin-Les Piécettes	Axe VI (niveau sup)	AVI.C4.A	charbon	4705 ± 55	3460-3376 cal BC	3539-3370 cal BC	ETH-30398
Marin-Les Piécettes	Axe VI (niveau moy)	AVI.C4.B	charbon	4860 ± 55	3706-3632 cal BC	3771-3622 cal BC	ETH-30399
Marin-Les Piécettes	Axe VI (niveau inf)	AVI.C4.C	charbon	4865 ± 55	3707-3633 cal BC	3774-3624 cal BC	ETH-30400

Les dates sont calibrées à l'aide de Calib Rev 5.0.1 (Reimer *et al.*, 2004; Stuiver et Reimer, 1993).

Remarques:

Les US 3, 4, 5, 7 et 9 de la coupe 272-273W correspondent à l'US 2 du transect nord-sud (Chalumeau, 2005a; Magny *et al.*, 2005).

Les US 13 de la coupe 272-273W correspondent à l'US 3 du transect nord-sud (Chalumeau, 2005a; Magny *et al.*, 2005).

Tab. 3.1 : Dates au radiocarbone obtenues sur le site de Marin-Les Piécettes. Les dates concernant la couche archéologique de Marin-Les Piécettes ont été livrées par des échantillons prélevés en différents points du site archéologique.

## 1. La stratigraphie générale du site de Marin-Les Piécettes

La stratigraphie générale du site est obtenue par la description du transect NW-SE et de l'Axe I (Fig. 3.2 ; Chalumeau, 2005a; Magny *et al.*, 2005). Elle est ensuite complétée par l'analyse de quatre autres coupes qui permettent d'affiner ces observations de terrain et d'avoir un aperçu plus général de la répartition des sédiments sur le site.

### 1.1. Transect NW-SE et Axe I

La série de sondages à la pelle mécanique du transect NW-SE a été réalisée par l'OMAN lors des fouilles du site le long du chemin néolithique. Les données de l'Axe I ont été obtenues en 2004 lors d'une campagne de sondages dans le cadre de ce travail, en collaboration avec l'OMAN et l'Institut de préhistoire et des sciences de l'Antiquité de l'Université de Neuchâtel.

Dans cette stratigraphie générale du site, douze unités sédimentaires (US) se distinguent de bas en haut, dont certaines ont pu être datées au radiocarbone (Fig. 3.2) :

- US-11 correspond à des sables limoneux gris qui passent à des limons argileux en aval ;

- US-10 est constituée de galets vermiculés formant une plage de réduction. Une déclivité plus prononcée est observable entre 429,20 et 430,70 m ;

- US-09, composée de limons carbonatés de couleur beige riches en restes de végétaux, n'est présente que dans la partie amont du site. Les végétaux trouvés dans cette couche ont livré comme date 5070-4820 cal BC (Tab. 3.1) ;

- US-08 est formée de limons carbonatés argileux de couleur beige, recouvrant l'intégralité du site (US-08.1 et 08.3), séparés par un niveau discontinu de sables et de débris végétaux (US-08.2) daté de 3990-3780 cal BC (Tab. 3.1). La partie inférieure, US-08.3, est plus sableuse que la US-08.1 ;

- US-07 correspond à un dépôt de limons carbonatés beiges contenant de nombreux tests de mollusques aquatiques et des débris de végétaux. Si dans la zone aval du site cette couche ne dépasse pas quelques centimètres d'épaisseur, voire disparaît, elle atteint 0,20 m en amont. Cette US présente une déclivité plus importante entre 429,70 et 430,80 m. Elle est datée au radiocarbone de 3800-3640 cal BC (Tab. 3.1) ;

- US-06 est une accumulation de sables, graviers et galets. Elle est interprétée comme un cordon littoral qui mesure une trentaine de mètres de large et 0,50 m d'épaisseur. Il atteint la cote de 431,20 m ;

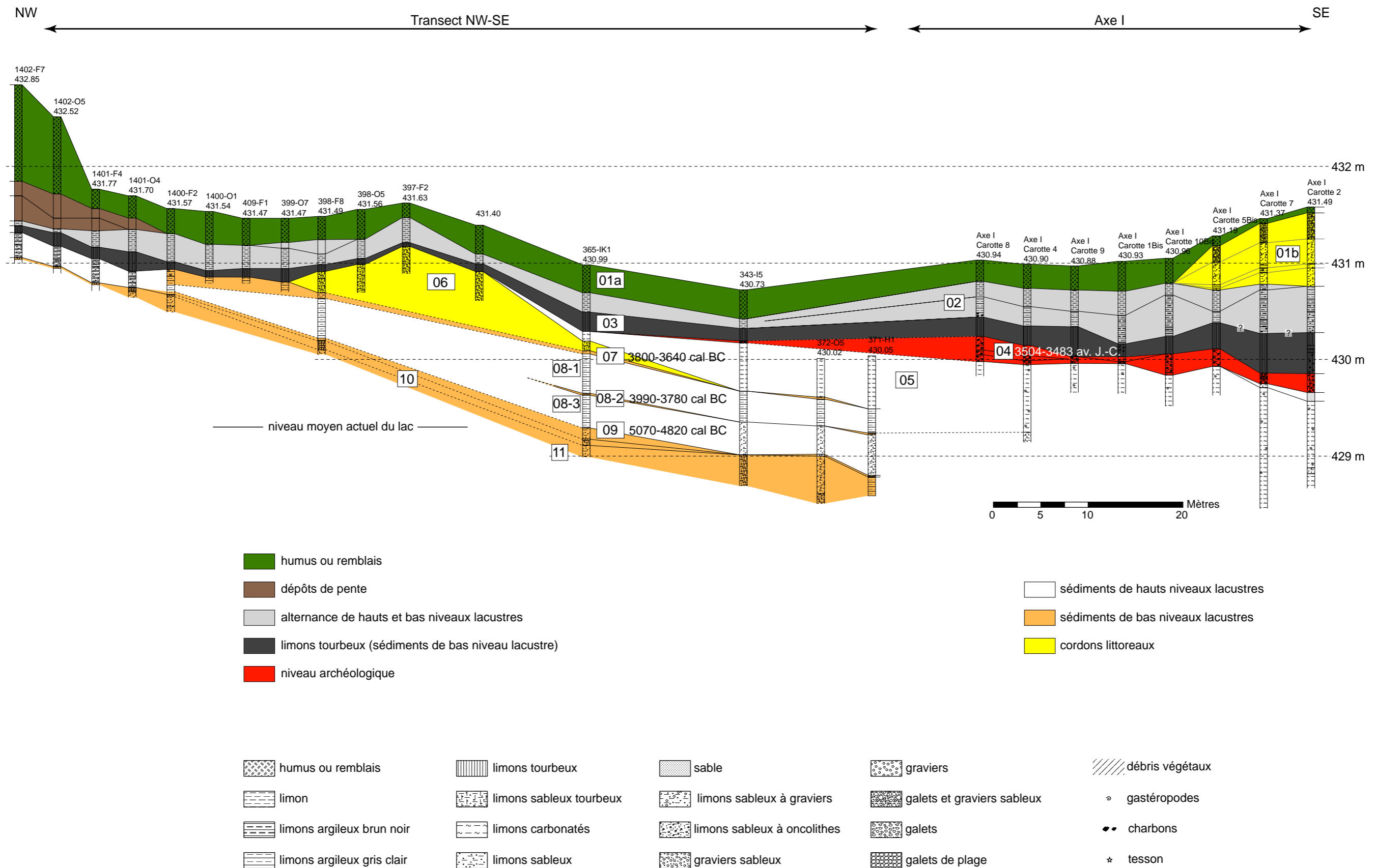


Fig. 3.2 : Stratigraphie générale du site de Marin-Les Piécettes basée sur le transect NW-SE et l'Axe I. Les numéros marquent les unités sédimentaires.



- US-05 se compose de limons carbonatés dont l'épaisseur peut dépasser 0,50 m dans la partie aval du site. Ces dépôts viennent en discordance sur l'unité inférieure US-06 dans la partie médiane du site ;

- US-04 est constituée d'éléments organiques résultant des restes d'un village néolithique attribué à la civilisation de Cortaillod, type Port-Conty (Honegger, 2001; 2002). Cette couche n'apparaît que dans la partie aval de la coupe. Encore approximative, car elle ne s'appuie que sur un faible nombre de pieux, la datation dendrochronologique donne des valeurs de 3504 à 3483 cal BC comme période d'abattage des arbres, ce qui est en accord avec les dates <sup>14</sup>C réalisées sur des charbons de bois prélevés à différents endroits du site (Tab. 3.1) ;

- US-03 est une épaisse formation de tourbe qui recouvre l'ensemble du site ;

- US-02 se compose de limons carbonatés beiges à passées riches en matière organique ;

- US-01b est une accumulation de sables, graviers et galets, constituant un cordon littoral d'une épaisseur maximale de 0,80 m dans la partie aval du site. Cette formation est repérée entre les cotes 430,70 et 431,49 m ;

- US-01a correspond à l'humus de surface qui recouvre des colluvions en amont.

Ces deux séries de relevés, transect NW-SE et Axe I, permettent d'avoir un aperçu général de la stratigraphie. Le niveau archéologique repéré dans la partie aval de la coupe est daté par dendrochronologie de 3504 à 3483 av. J.-C., ce qui en fait un site du Néolithique moyen.

D'autres coupes et sondages ont été réalisés, soit par l'OMAN, soit dans le cadre de ce travail, afin de compléter cette stratigraphie générale. La plupart de ces coupes ont été étudiées et numérotées indépendamment de la stratigraphie générale des transects NW-SE et Axe I. Ainsi, lors de leur description, la mise en relation entre les US de la stratigraphie générale et les couches des coupes est argumentée dans le texte.

## **1.2. Coupe 3201NE**

Relevée et décrite par les archéologues de l'OMAN durant les fouilles de 1999, cette stratigraphie de 25 m de long se situe en amont du site et du cordon littoral observé en US-06 du transect NW-SE (Fig. 3.1). Cette coupe s'avère être en dehors des limites de la zone archéologique mais elle apporte des compléments sédimentaires importants pour la compréhension de la répartition des couches. Cette stratigraphie, qui a déjà fait l'objet d'une étude, peut être divisée en deux domaines (amont et aval) en fonction de l'apparition de différents

niveaux (Chalumeau, 2003). Elle repose sur la moraine, numérotée 13, et est recouverte d'une couche de terre végétale, numérotée 01.

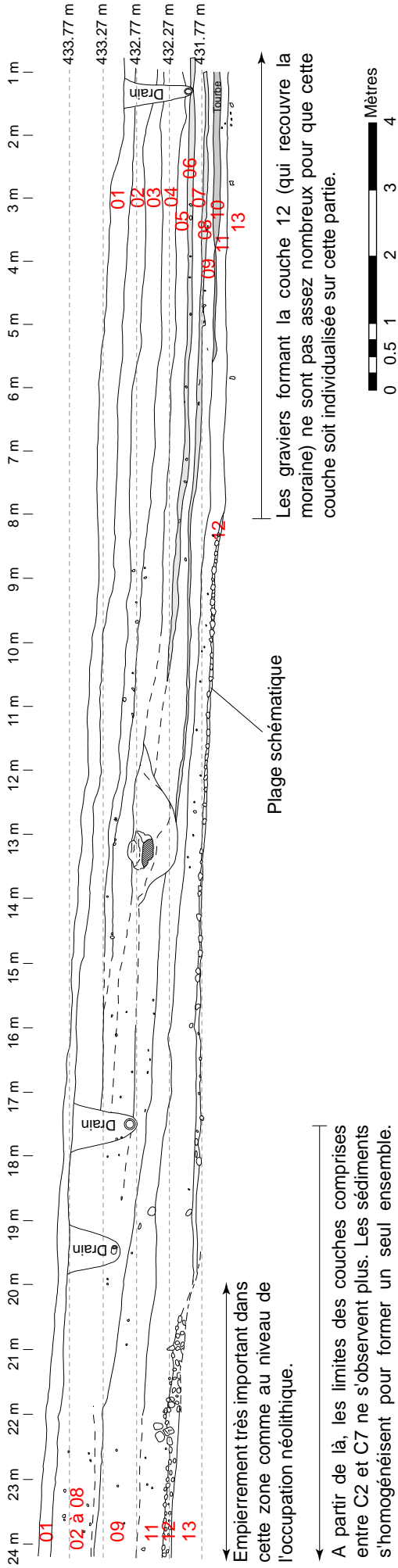
Le domaine amont présente une stratigraphie relativement simple avec quatre couches (Fig. 3.3). La moraine (13) est recouverte d'une formation de galets (12), interprétée comme une ancienne plage. A la base, ces galets sont enveloppés d'une matrice sableuse, comme celle contenue dans la moraine, alors qu'au sommet ils sont pris dans un sédiment correspondant au niveau supérieur (11). Cette couche 11, composée de limons sableux gris noir à galets et pierres éclatées, présentant des artefacts, correspond à la couche néolithique (Honegger, 2001). Le mobilier y est assez abondant mais aucune structure archéologique n'est identifiée, ce qui laisse supposer qu'elle correspond à une zone d'activité située en périphérie du village. De ce fait, elle est à relier à l'US-04 de la stratigraphie générale, seule unité archéologique identifiée sur le transect NW-SE et l'Axe I. Des limons argileux gris (09), pouvant contenir de rares graviers, la recouvrent. Ces quatre premiers niveaux ont tendance à s'affiner vers l'aval de la coupe, au contraire des niveaux suivants (02 à 08) qui s'épaississent. Ce dernier ensemble (02 à 08), constitué de limons brun clair plus ou moins sableux, peut contenir quelques cailloux, et un pourcentage de sable plus élevé à sa base.

Le domaine aval de la coupe est plus complexe puisque 11 ou 12 couches sont discernables au-dessus de la moraine. La séquence commence par des limons sableux gris noir (11) qui contiennent localement à leur base quelques galets attribués au niveau de plage (12). Cette plage, qui tend à disparaître vers l'aval, doit correspondre à l'US-10 de la stratigraphie générale. Un dépôt tourbeux (10), d'une puissance de 20 cm, s'intercale, dans la partie la plus en aval, entre les niveaux 09 et 11. Ce dépôt 10, où la matière organique n'a pas d'orientation particulière, correspond à l'US-03 de la stratigraphie générale. La couche 09, dont l'épaisseur peut dépasser 50 cm dans le domaine amont, est réduite à une vingtaine de centimètres dans le domaine aval. Elle est constituée de limons crayeux qui présentent de très légères lamines à la base, pouvant contenir un niveau organique charbonneux. Les limons brun clair supérieurs (02 à 08) se subdivisent en sept couches vers l'aval de la coupe. En effet, alors que certaines vont apparaître, avec des limites bisautées, d'autres vont se différencier plus nettement à partir du milieu de la coupe. Cet ensemble commence à la base par un dépôt de limons argileux plastiques principalement de couleur gris foncé (08). Il contient de façon sporadique une couche de limons argileux de couleur blanche à ivoire foncé interprété comme des restes de craies lacustres. Il est recouvert de limons argileux plastiques brun olive clair (07) contenant une couche de charbons. Puis apparaît une deuxième formation de limons argileux plastiques de couleur gris à noir

Marin-Piéçette  
 Sondage 3201  
 Stratigraphie Nord-Est

NW

SE



Empierrement très important dans cette zone comme au niveau de l'occupation néolithique.

A partir de là, les limites des couches comprises entre C2 et C7 ne s'observent plus. Les sédiments s'homogénéisent pour former un seul ensemble. Dans les 3 m précédents, ces limites sont déjà très difficiles à discerner (elles sont donc subjectives).

Plage schématique

Les graviers formant la couche 12 (qui recouvre la moraine) ne sont pas assez nombreux pour que cette couche soit individualisée sur cette partie.

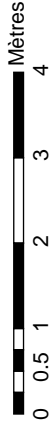


Fig. 3.3 : Photographie et relevé stratigraphique de la coupe 3201NE.

(06) qui englobent de rares cailloux. Il est à noter que la dislocation des charbons de bois dans l'argile rend les limites relativement floues. Il apparaît alors que les couches 09, 08, 07 et 06 sont constituées d'une alternance de limons plus ou moins crayeux et de limons plus ou moins riches en matière organique, dont les limites sont rarement nettes et dont l'enregistrement est discontinu. Cette description rappelle l'US-02 de la stratigraphie générale. Cette alternance est recouverte de limons brun clair sablo-argileux dans lesquels trois lamines se différencient par leur couleur et leur faciès. La première (04) présente un granoclassement normal puisqu'elle est enrichie en sable à sa base. La couche 03, quant à lui, est plus foncée, plus argileuse et contient quelques cailloux, alors que le dépôt 02 est plus clair et moins argileux.

L'analyse de cette coupe montre que dans la partie amont du site, la plage de galets corrélée à l'US-10 repose directement sur la moraine de fond würmienne. De plus, les US-09 à 05 de la stratigraphie générale disparaissent en amont, puisque la formation rattachée à l'occupation néolithique (11) est en contact direct avec les galets de plage (12). La présence de US-03, ainsi que les alternances enregistrées dans ce qui correspond à l'US-02, mettent en évidence un grand nombre de variations du niveau du lac de Neuchâtel depuis la phase d'occupation néolithique. La discontinuité de ces enregistrements tout au long de la coupe ne permet pas de définir leur nombre. Afin de préciser ces variations, et du fait que les couches se différencient plus nettement au SE de la coupe, une autre stratigraphie a été relevée en aval.

### **1.3. Coupe 2802W**

Cette coupe, très restreinte en largeur, puisqu'elle mesure moins d'un mètre, présente 13 couches sur une épaisseur de 2,10 m (Fig. 3.4). Elle a été relevée et décrite durant les fouilles menées par l'OMAN en 1998 puis analysée en 2003 par Chalumeau (2003).

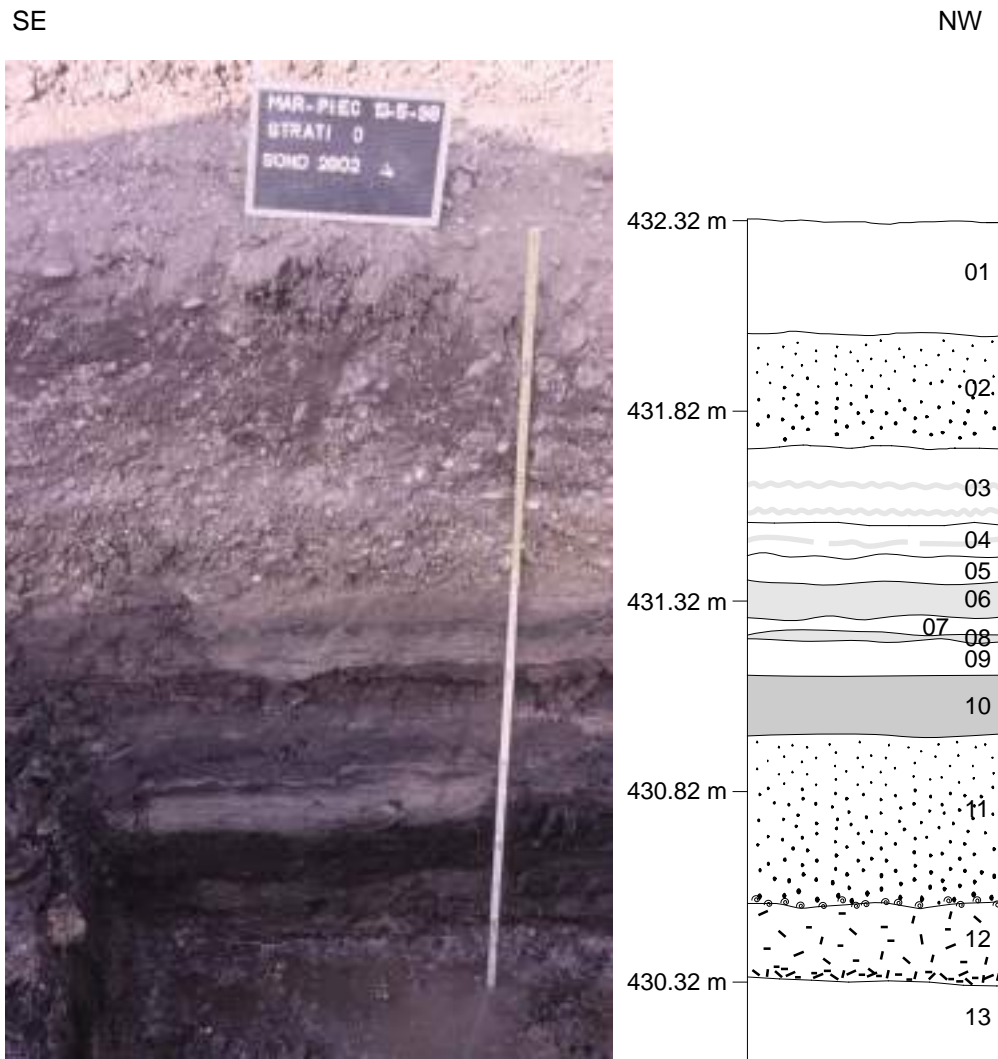


Fig. 3.4 : Photographie et relevé stratigraphique de la coupe 2802W.

La moraine de fond (13) constitue la base de cette coupe comme pour le relevé 3201NE. Elle est surmontée d'argiles grises compactes contenant de nombreux éléments organiques (12). Au-dessus, un niveau sableux brun gris (11) présente un granoclassement normal. Sa base est formée de petits graviers incluant des coquilles de gastéropodes alors que sa partie supérieure est constituée de sables fins, incorporant une lentille de limons organiques à débris de végétaux et de bois. Ensuite, se trouvent des limons brun foncé, compacts, relativement homogènes et riches en matière organique, dont l'orientation principale des débris de végétaux et fragments de bois est parallèle à la stratigraphie (10). Cette formation épaisse, supérieur à 15 cm, peut correspondre à l'US-03 de la stratigraphie générale. De l'argile gris beige à crème clair (09), plastique, compacte et très homogène sépare le premier niveau organique (10) d'un deuxième (08), décrit par les archéologues comme une couche carbonisée riche en végétaux. La

formation lui succédant est constituée d'argiles plastiques, allant du gris foncé à la base, au gris beige au sommet (07). Dans sa partie supérieure, des traces de rouille sont observables. Puis, de l'argile gris foncé, plastique et compacte constitue la couche 06. Elle est surmontée d'une argile grise, plastique, compacte et légèrement panachée d'argile de couleur crème à la base (05). La formation suivante (04) peut être subdivisée en deux, voire trois ensembles. En effet, un limon argileux gris marron clair légèrement organique forme sa partie supérieure. La partie inférieure lui ressemble, mais est plus riche en matière organique. Ces deux sous-niveaux sont séparés par une passée tourbeuse. De plus, des reliques de limons crayeux beiges apparaissent de façon disparate. Dans le paquet d'argile gris beige, plastique et compacte qui suit (03), des traces de rouille et un panaché de gris crème sont observables. De plus, deux passées de matière organique s'intercalent dans cet ensemble. Le passage entre ces différents sous-niveaux se fait de façon progressive, cet effet est augmenté par la présence de nombreuses marques de bioturbation. Enfin, la couche 02 est composée de sables argileux enrobant des graviers et des morceaux de tuiles à la base. La lithologie, ainsi que la position stratigraphique de cette formation, la font correspondre aux couches de limons brun clair sablo-argileux décrits dans la coupe 3201E, numéros 02, 03 et 04. Le tout est recouvert de terre végétale (01).

Cette coupe, comme la précédente, s'appuie sur la moraine de fond würmienne. La relation entre la base de cette séquence et la stratigraphie générale n'est pas évidente à établir, mais l'hypothèse suivante peut être proposée : la formation de sable (11) pourrait correspondre à une partie du cordon littoral, US-06, et la petite couche de petits graviers et gastéropodes de sa base à l'US-07, unité contenant elle aussi des gastéropodes. Cela est d'autant plus plausible que l'altitude de la formation 11 est proche de celle de la base du cordon littoral, décrite comme une accumulation de sables, graviers et galets. Néanmoins, ni la coupe ni des prélèvements sont disponibles pour vérifier comment ces constituants sont répartis au sein de cette entité et si des zones principalement ou uniquement sableuses s'y trouvent. Par ailleurs, la présence de lentilles de tourbe dans cette formation (11) s'expliquerait par la redistribution, sous forte énergie, d'éléments mis en place avant cet événement. Si cette hypothèse est confirmée, l'argile grise 12 pourrait correspondre à l'évolution latérale de l'US-08.3, ou de l'US-09. L'alternance supérieure de limons plus ou moins organiques (09 à 03) correspond, comme pour la coupe 3201NE, à l'US-02 de la stratigraphie générale.

Afin de vérifier l'hypothèse de corrélation avec le cordon littoral, le sondage 3206SE, situé au sommet de ce cordon, a été réalisé.

## 1.4. Sondage 3206SE

Cette coupe a été relevée sur une largeur de 1 m durant les fouilles menées par l'OMAN en 2002. Elle se situe au sommet d'un cordon littoral, US-06 du transect NW-SE, et présente une stratigraphie sur une hauteur de 0,80 m (Fig. 3.5). D'orientation NE-SW (Fig. 3.1), elle est parallèle à l'axe du cordon littoral.

Marin-Les Piécettes  
Sondage 3206  
Stratigraphie SE

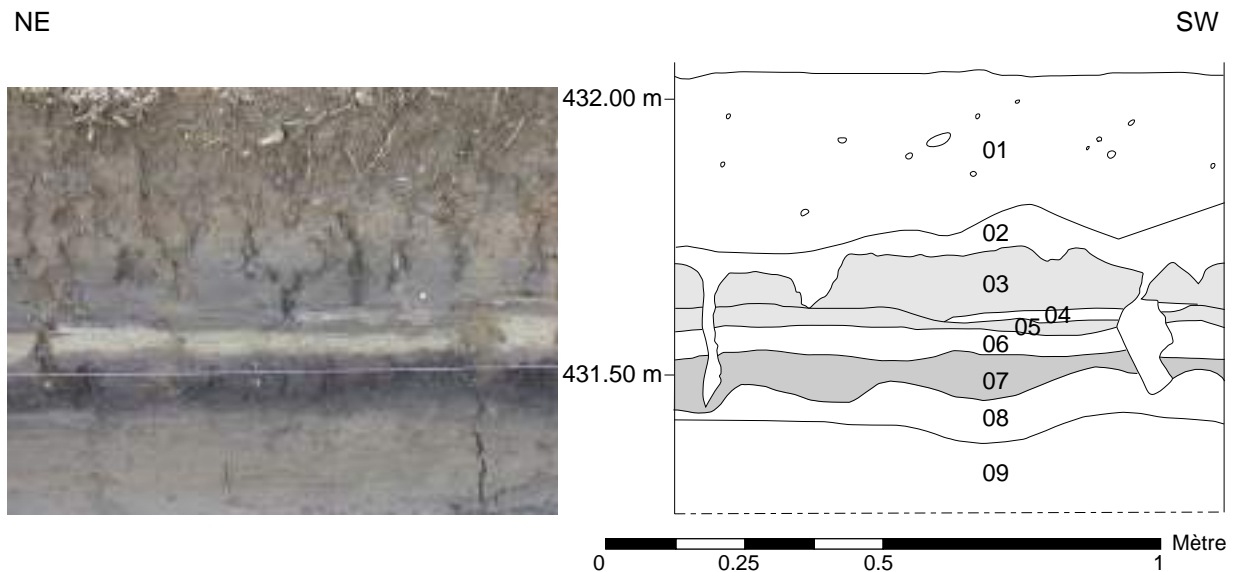


Fig. 3.5 : Photographie et relevé stratigraphique de la coupe 3206SE.

La base de la séquence est constituée de sables gris homogènes (09) qui deviennent bruns au sommet (08). Ces deux couches sont corrélées au cordon littoral de l'US-06 de la stratigraphie générale, le changement de couleur de la partie sommitale étant lié aux limons tourbeux (07) qui les recouvrent. Cette couche 07 correspond à l'US-03 de la stratigraphie générale. Suit une alternance de limons argileux gris clair et de limons argileux gris brun corrélé à l'US-02 de la stratigraphie générale. Dans ces unités, quelques minces niveaux de charbons sont observables. Cet ensemble est recouvert d'argile sableuse brun jaune (02), comme observée dans les deux coupes précédentes. Cette même lithologie comble les fentes de dessiccation qui recoupent les couches 03 à 07. Son sommet est repris lors des labours avec la terre végétale brune qui contient quelques graviers (01).

Ainsi, on retrouve la partie supérieure de la stratigraphie générale du site avec les US-06, 03, 02 et 01. Les 25 cm d'épaisseur du toit du cordon littoral observés sont constitués uniquement de sables brun gris homogènes, ce qui tend à valider l'hypothèse émise lors de

l'étude de la coupe 2802W. Ainsi, la base de la couche 11 de la coupe 2802W correspond à l'US-07 de la stratigraphie générale, unité riche en gastéropodes, et son sommet à l'US-06, le cordon littoral.

## **1.5. Coupes 272-273W et 282W**

Ces coupes, réalisées et décrites par l'OMAN en 2001, se situent en aval du cordon littoral formé avant l'occupation néolithique, l'US-06 de la stratigraphie générale. La coupe 272-273W mesure 6 m de long et 1,50 m de haut (Fig. 3.6). La coupe 282W a été réalisée 2 m en avant de la coupe 272-273W, face aux repères E-D (Fig. 3.1). Elle mesure 0,80 m de large et 1,25 m de profondeur (Fig. 3.7). La coupe 272-273W témoigne des variations environnementales de l'occupation néolithique à nos jours, alors que la coupe 282W recoupe des dépôts plus anciens.

### **1.5.1. Coupe 282W**

La base, constituée de graviers (21), correspond à l'US-09 de la stratigraphie générale. Elle est surmontée de limons gris beige, à granoclassement normal. En effet, la fraction sableuse qui est la plus importante à la base (20), diminue progressivement au bénéfice des argiles limoneuses (19), qui sont majoritaires au sommet (18). Alors que de la matière organique est éparpillée dans toute la couche, une traînée noire organique s'intercale entre les unités sédimentaires 18 et 19. Le tout est recouvert d'un niveau de sable limoneux, beige à la base et gris au sommet, contenant de nombreuses coquilles de gastéropodes (17). La partie supérieure de cette coupe (16) est constituée d'un dépôt lacustre finement lité où alternent des matériaux sombres et clairs, corrélé à l'US-05 de la stratigraphie générale. Vers la base, ces varves ont tendance à s'enrichir en sable, en traces de racines et en débris de coquilles de gastéropodes.

### **1.5.2. Coupe 272-273W**

Seize unités sédimentaires ont été distinguées dans la coupe 272-273W, en dehors des fentes de dessiccation qui se sont formées suite aux 1<sup>ère</sup> C.E.J. La base (16), composée de limons carbonatés varvés, correspond à l'US-05 de la stratigraphie générale. Le niveau archéologique néolithique (15) qui lui succède, constitué de sables argileux riches en matière organique et charbons, est recouvert d'une couche de sable renfermant de nombreux tests de mollusques aquatiques (14). Ce dépôt est discontinu sur la longueur de la coupe (Fig. 3.6). La formation 13, qui marque la plus forte accumulation de limons tourbeux, est corrélée à l'US-03 de la stratigraphie générale. Sa base est datée de 3140-2910 cal BC et son sommet de 2200-

Marin-Piécette  
Sondage 272-273  
Stratigraphie ouest

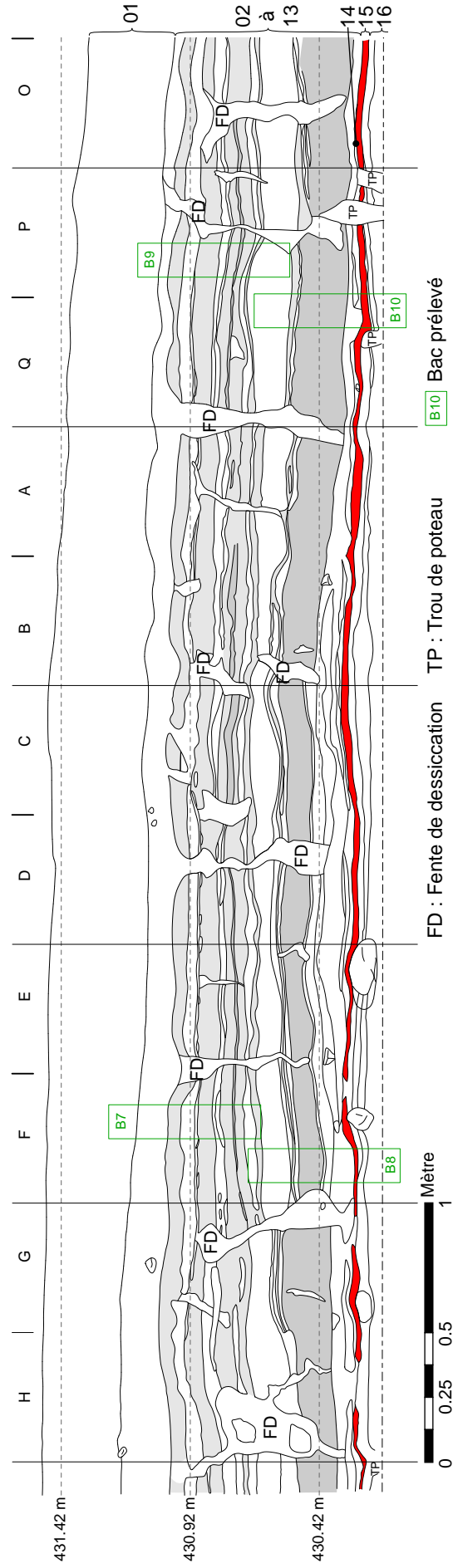
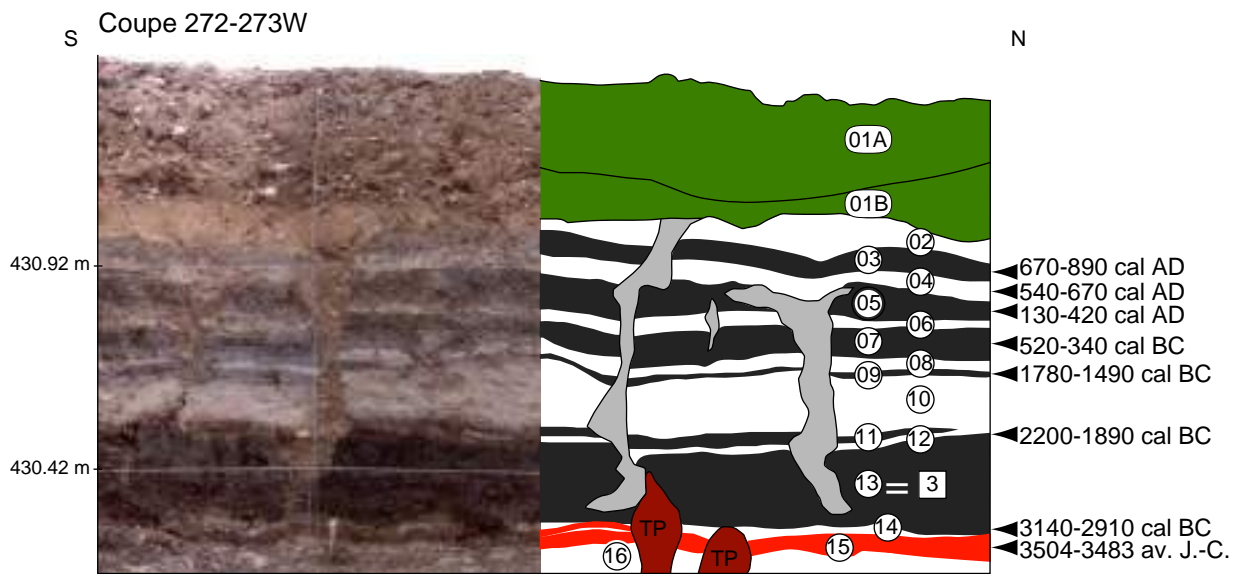
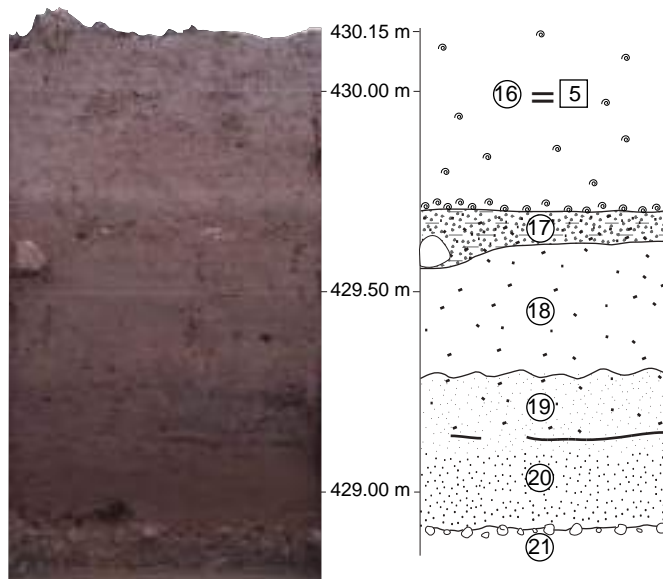


Fig. 3.6 : Photographie et relevé stratigraphique de la coupe 272-273W.



Coupe 282W



0 0.25 0.5 1 Mètre

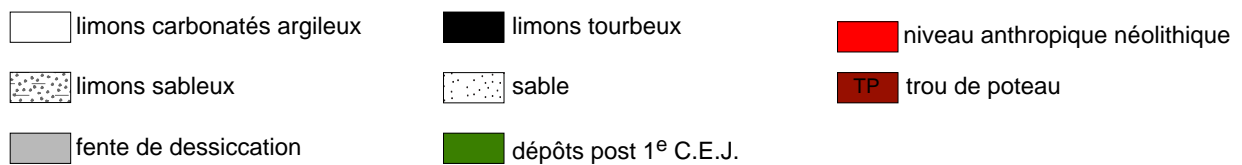


Fig. 3.7 : Séquence sédimentaire des coupes 272-273W et 282W. La coupe 282W se situe 2 m en avant de la coupe 272-273W. Les numéros dans les carrés marquent les unités sédimentaires de la stratigraphie générale du site.

1890 cal BC (Tab. 3.1). Suit une alternance de limons plus ou moins argileux de couleur claire (12, 10, 08, 06, 04 et 02) et de couleur plus foncée plus riches en matière organique (11, 09, 07, 05 et 03). Plusieurs niveaux de cette alternance, qui correspond à l'US-02 de la stratigraphie générale, ont fait l'objet de datation au radiocarbone (Tab. 3.1 et Fig. 3.7). Au sommet de la coupe, le niveau 01 se subdivise en deux ensembles. La partie basale, 01B, est formée d'argiles sableuses brun-jaune avec des graviers et galets, comme la couche 02 de la coupe 3206SE. Cette couche est corrélée au cordon littoral se situant en aval du site, soit l'US-01b de la stratigraphie générale. La partie sommitale, 1A, composée aussi de sédiments grossiers contient moins de graviers et de galets. Dans ces graviers, des morceaux de verre et de brique ont été retrouvés (Chalumeau, 2003). A noter la présence de trous de poteaux (TP) qui recoupent les niveaux inférieurs. Enfin, les fentes de dessiccation (FD) qui traversent verticalement toute la coupe sont remplies uniquement d'éléments appartenant à la formation 01B.

Il apparaît donc que ces deux coupes reprennent les US-01 à 09 de la stratigraphie générale. La description de toutes les coupes présentées ci-dessus permet le découpage des grands ensembles sédimentaires observés et leur répartition spatiale amont-aval, au sein du site archéologique. Afin de préciser les enregistrements sédimentaires et les environnements qui y sont liés, les prélèvements des coupes 272-273W et 282W complétés par deux autres (B4 et L5) font l'objet d'une analyse sédimentologique complète.

## 2. Analyses sédimentologiques

Cette étude est réalisée à l'aide des prélèvements effectués sur les quatre coupes. Les deux premières, 272-273W et 282W, reconstituent la séquence sédimentaire de la partie aval du site sur une profondeur de 2,65 m. Les prélèvements analysés sont les bacs à géraniums B7 et B8 pour la coupe 272-273W et B11 et B12 pour la coupe 282W (Fig. 3.6). Les séquences sédimentaires prélevées dans les bacs B4 et L5 complètent cette description au niveau de la couche archéologique néolithique. Après description des prélèvements, des analyses granulométrique, minéralogique et de la matière organique ont été réalisées.

### 2.1. Description précise des coupes

Dans un souci de lisibilité et de synthèse, les principaux résultats des descriptions sont présentés sous forme de tableaux. Ils contiennent de gauche à droite :

- une photographie de la colonne sédimentaire dont les altitudes sont précisées à gauche ;
- la numérotation des niveaux rencontrés, suivie de la position des échantillons prélevés puis de la correspondance avec les US de la stratigraphie générale du site ;
- la lithologie ;
- les couleurs déterminées à l'aide de la charte de Munsell sur les échantillons secs ;
- une estimation de la granulométrie moyenne ;
- l'ensemble des restes d'organismes et de charbons ayant fait l'objet d'observation. Il est alors mentionné s'ils sont rares, présents ou fréquents, avec des informations complémentaires sur leur état de conservation ;
- une brève description des lithoclastes ;
- la présence, faible (petit rond) ou abondante (grand rond), de traces de racines, de terriers, de bioturbations ou des taches d'oxydation ;
- une estimation de la position des dépôts par rapport au niveau moyen du lac.

### **2.1.1. Les coupes 272-273W et 282W**

Dans les prélèvements, nous distinguons de bas en haut (Fig. 3.8 et 3.9) :

La base (21) correspondant à l'US-09 de la stratigraphie générale, est formée de graviers sablo-limoneux à oncolithes centimétriques (Fig. 3.9). Le niveau 20 qui le recouvre présente un granoclassement normal, allant des sables limoneux à la base, aux limons en partie sommitale, zone dans laquelle des restes de matière organique disposés parallèlement à la sédimentation sont présents. Cet ensemble est corrélé à l'US-08.3 de la stratigraphie générale. Il est recouvert par la couche 19b-a, plus organique et plus grossière, correspondant à l'US-08.2. Dans cette couche, la matière organique est disposée parallèlement à la stratigraphie. La couche 19a fait la transition avec les limons crayeux 18, relié à l'US-08.1, et contenant des tiges et des oogones de Characées et des mollusques (Fig. 3.10). En lame mince, il est possible d'observer quelques petits quartz et des terriers. Suivent des sables limoneux à oncoïdes, identifiant 17, qui correspondent à l'US-07 de la stratigraphie générale. En lame mince, il apparaît qu'il y a très peu de matrice entre les grains de sable et que les nuclei des oncolithes sont constitués de quartz ou de gastéropodes (Fig. 3.10). Ce niveau 17 est surmonté par des limons crayeux lacustres varvés (16), corrélé à l'US-05 de la stratigraphie générale, contenant des tiges et oogones de characées, des coquilles de gastéropodes et de lamellibranches, très peu de quartz et quelques restes organiques. Il est à noter la présence d'une fente de dessiccation à gauche de la séquence qui recoupe la partie inférieure de la couche 16, la 17 dans son ensemble et la

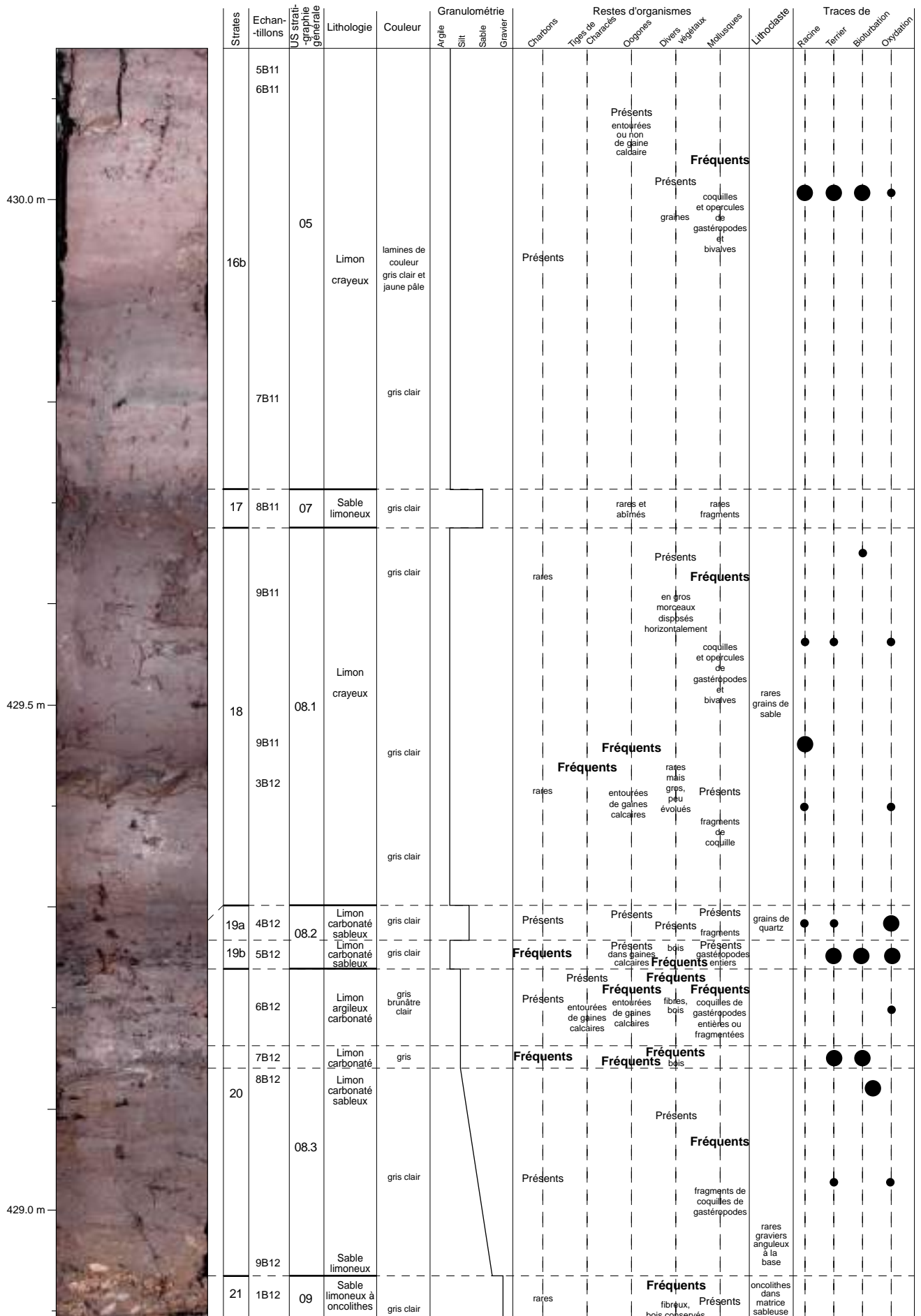


Fig. 3.8 : Description précise de la stratigraphie 282W.

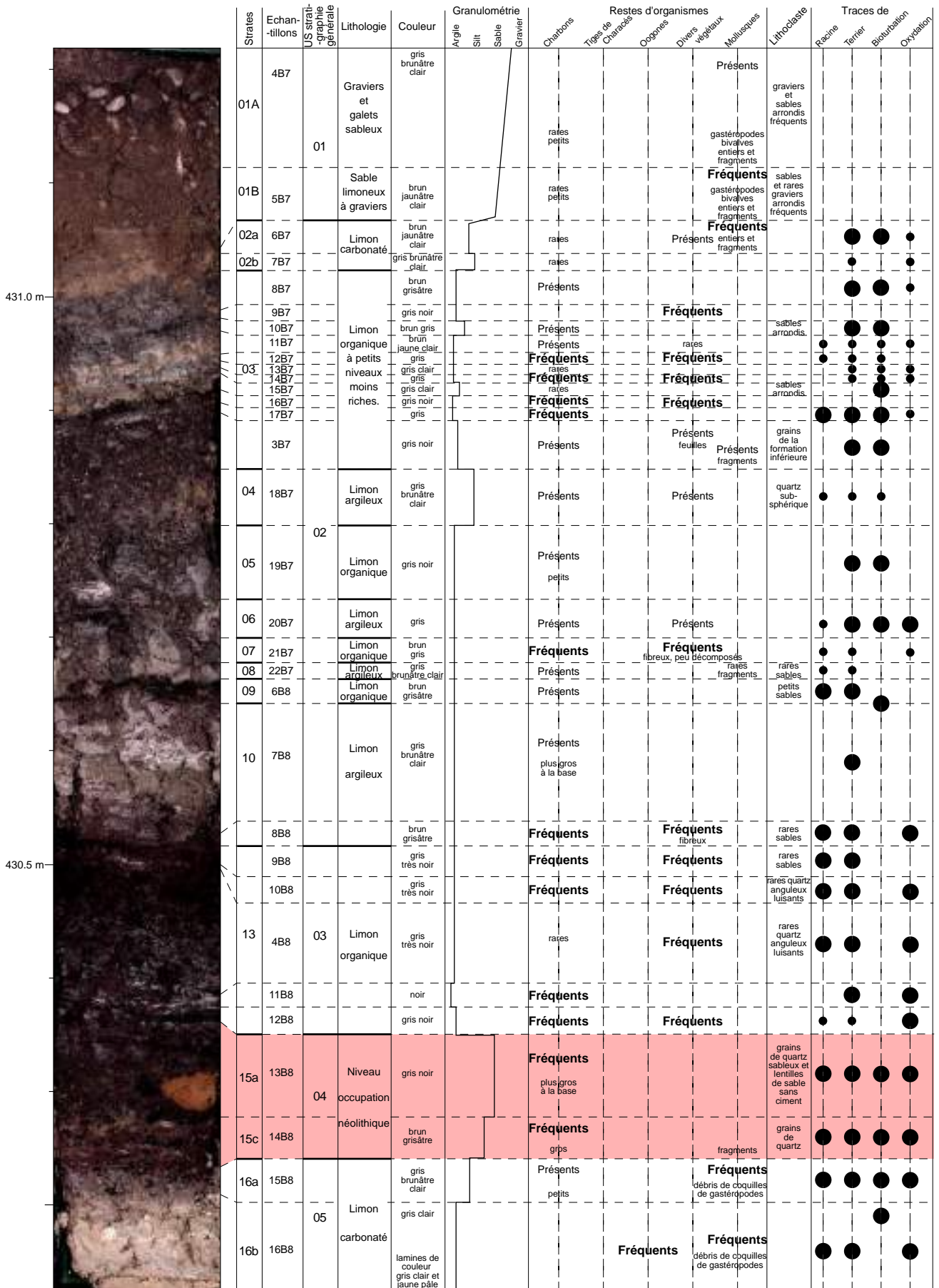
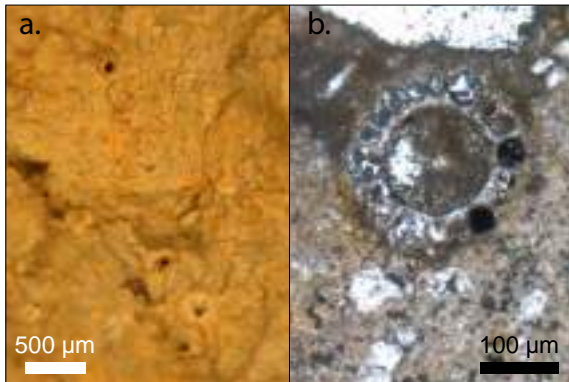
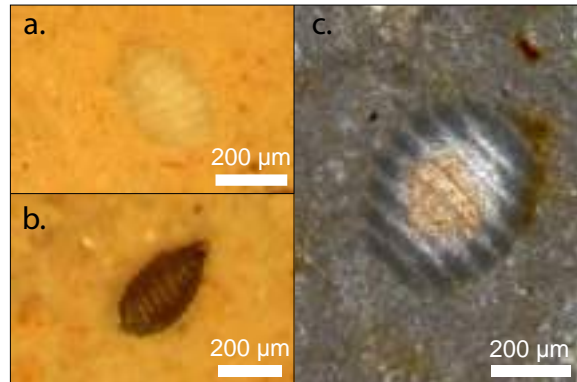


Fig. 3.9 : Description précise de la stratigraphie 272-273W à partir des bacs B7 et B8 prélevés.



Tiges de Charophytes observées dans le niveau 18 de la coupe 282W.

a. Vue à la loupe binoculaire, b. Vue en lame mince

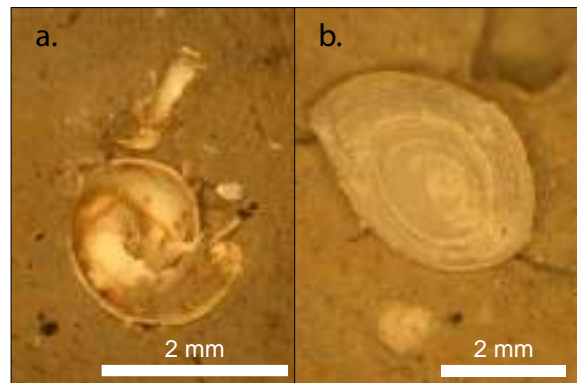


Oogones de Charophytes observées dans le niveau 18 de la coupe 282W.

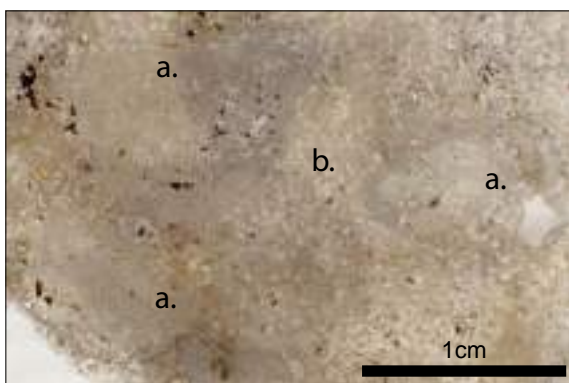
a. Avec gaine calcaire, b. Sans gaine calcaire  
c. Vue en lame mince



Bivalve prélevé dans le niveau 18 de la coupe 282W.



Gastéropode (a) et opercule de gastéropode (b) observés dans le niveau 18 de la coupe 282W.



Observation du niveau 17 de la coupe 282W en lame mince.

a. Oncôïdes  
b. Sable avec très peu de matrice entre les grains



"Boule de sable" contenue dans le niveau archéologique 15a.

Fig. 3.10 : Détails d'observations réalisées lors de la description des prélèvements des coupes 272-273W et 282W.

partie supérieure de la 18. Elle est remplie d'éléments de couleur gris clair, qui correspondent aux lits de même couleur des rythmites. Elle a eu pour effet, lors de sa formation, de déformer ces dernières. La distinction entre les ensembles 16b à 16a se fait grâce à l'augmentation de la taille granulométrique des éléments et de la concentration en charbons (Fig. 3.8), originaires des niveaux archéologiques. Suivent les couches sableuses d'occupation néolithique, 15c et 15a, riches en gros charbons, surlignées sur la figure 3.8. Ces deux couches sont ici contigües ce qui n'est pas le cas sur l'ensemble du site (*cf. infra*, relevés B4 et L5). La couche 15a contient des graviers et des lentilles de sable jaune ou vert, aux limites abruptes. Ces "boules de sable" sont composées d'éléments de molasse, apportés intentionnellement au niveau des foyers. Comme elles sont rubéfiées et oxydées, elles apparaissent jaunes, et aucun ciment ne peut être distingué entre les grains de sable (Fig. 3.10). Le tout est recouvert de l'épaisse couche de limons tourbeux 13, corrélable à US-03 de la stratigraphie générale, dans lequel s'intercalent de rares petites lamines plus limoneuses et moins organiques. Se trouve ensuite le dépôt de limon gris brun clair 10. Les couches 12 et 11 sont donc absentes dans les bacs sélectionnés, marquant la tendance à leur érosion dans certaines zones de la coupe 272-273W (Fig. 3.6 et 3.7). Cette couche limoneuse est suivie de limons organiques brun grisâtre (09) datés de 1780-1490 cal BC et dont l'altitude moyenne est de 430,70 m (Fig. 3.7 et 3.8 et Tab. 3.1). Les différences de proportion de la matière organique permettent de distinguer plusieurs couches de limons : argileux gris brunâtre clair (08), organiques brun gris (07), datés de 520-340 cal BC, argileux gris (06) puis à nouveau organiques gris noir (05) datés de 130-420 cal AD, et enfin peu carbonatés (04) datés de 540-670 cal AD (Tab. 3.1). La dernière formation (03) est principalement composée de limons organiques foncés mais elle contient aussi de petites lamines moins riches en matière organique. La formation de cet ensemble est datée de 670-890 cal AD (Tab. 3.1). Dans toutes ces couches, regroupées au sein de l'US-02 de la stratigraphie générale, la matière organique apparaît toujours laminée parallèlement à la stratigraphie. De plus, au toit des couches de limons carbonatés, des traces de bioturbation et des terriers sont observables en lames minces. Le limon carbonaté 02, qui contient de nombreuses coquilles de mollusques, recouvre cet ensemble. Deux horizons 1A et 1B terminent la séquence. Leur granulométrie grossière, avec des éléments graveleux, sableux et en partie limoneux à la base, permet de les corréler à l'US-01 de la stratigraphie générale.

### 2.1.2. La coupe du bac B4

Le prélèvement B4 effectué par l'OMAN dans un bac à géranium de 45 cm permet de compléter les observations précédentes relatives aux enregistrements sédimentaires de

l'occupation néolithique et des couches antérieures et postérieures (Fig. 3.11). La corrélation entre cette coupe et la 272-273W étant aisée, la même numérotation est affectée aux niveaux correspondants.

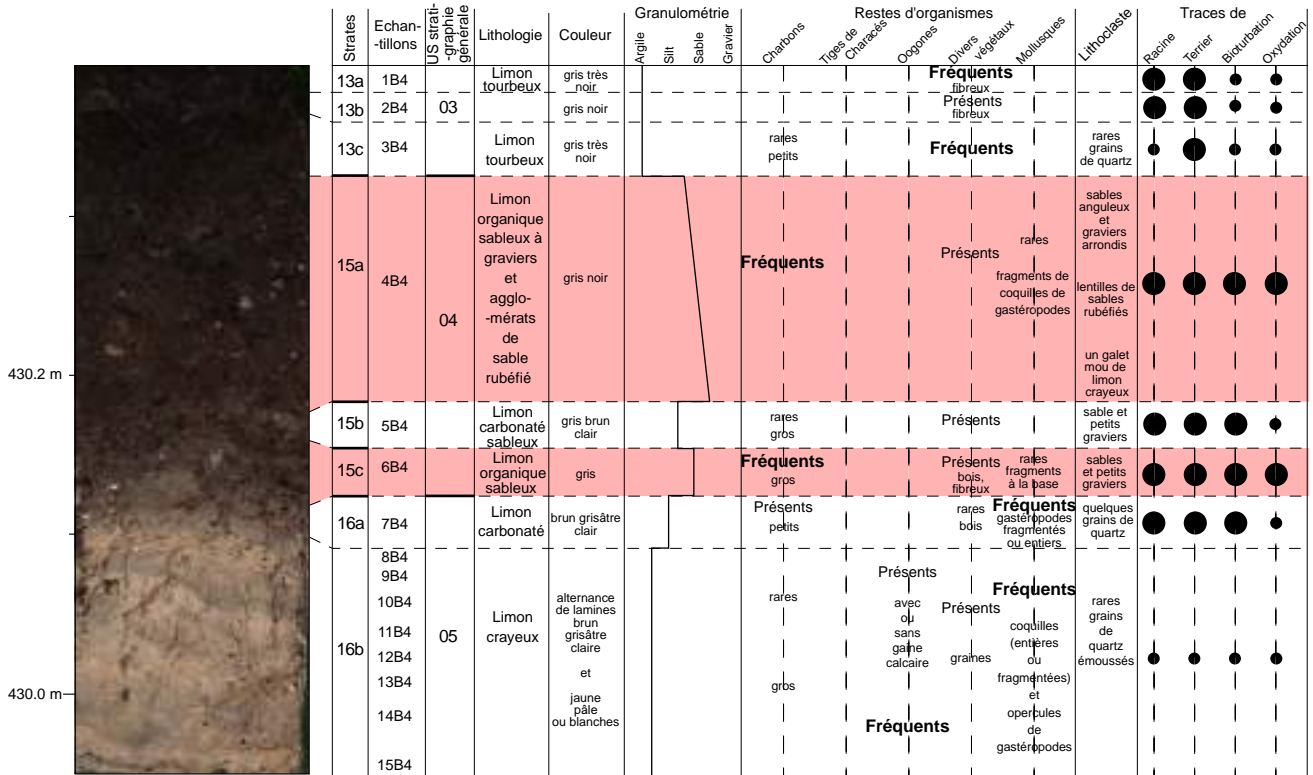


Fig. 3.11 : Description précise du prélèvement B4.

La base du prélèvement (16b) est constituée de limons crayeux rythmés contenant quelques gros charbons et de nombreux gastéropodes. Certains sont "complets" dans la mesure où leur coquille ainsi que leur opercule sont trouvés entiers au même endroit. Cette couche calme lacustre correspond à la partie supérieure de l'US-05 de la stratigraphie générale. La couche suivante (16a), bien que légèrement plus grossière, est dans la continuité de la précédente. De composition similaire, la présence de nombreux petits charbons et de bois plus ou moins décomposés la fait apparaître plus foncée. Ces éléments, originaires du niveau anthropique qui la recouvre (15c), ont dû être intégrés au limon crayeux durant l'occupation néolithique. Cette phase archéologique est enregistrée sous la forme d'un dépôt argilo-sableux à graviers, très riche en charbons et restes organiques, avec de nombreux débris de coquilles à sa base. Suit une couche argilo-limoneuse plus claire à sable et rares graviers (15b). Elle est moins sableuse que celles qui l'encadrent mais contient quelques gros charbons et de la matière organique oxydée et évoluée. Une deuxième phase d'occupation (15a) recouvre cette petite couche de transgression. De composition similaire à la première, la taille des éléments semble décroître dans la partie

sommitale. Parmi les "boules de sable", une "boule" de limons crayeux bien blanche peut aussi être observée. Les charbons de bois de taille centimétrique sont bien conservés alors que la bioturbation de cette couche est importante. Les trois couches qui suivent (13a, 13b et 13c) correspondent à la base de l'US-03 de la stratigraphie générale. La première (13c) et la dernière (13a) sont constituées de limons argileux, tourbeux, gris très noir alors que la deuxième (13b) correspond à une petite couche d'argile plus claire. Dans cet ensemble ne contenant pas de sable, il y a de nombreuses traces de bioturbation, de racines et de terriers. Seule la couche en contact avec le deuxième niveau archéologique (13c) contient des petits charbons à sa base.

Ainsi, sur cette coupe deux couches de transgression sont présentes. La première (15b), plutôt mince, sépare en deux la phase d'occupation humaine néolithique qui correspond à l'US-04 de la stratigraphie générale. La deuxième (13b) s'intercale au sein de l'ensemble limono-tourbeux constituant l'US-03 de la stratigraphie générale.

### 2.1.3. La coupe du prélèvement L5

Cette coupe, située au travers du tertre, a été décrite en 1999 par l'OMAN. Son relevé, ainsi que le prélèvement L5, ont été mis à disposition afin d'être analysés (Fig. 3.12 et 3.13).

Marin-Les Piécettes  
Sondage 342  
Stratigraphie Nord

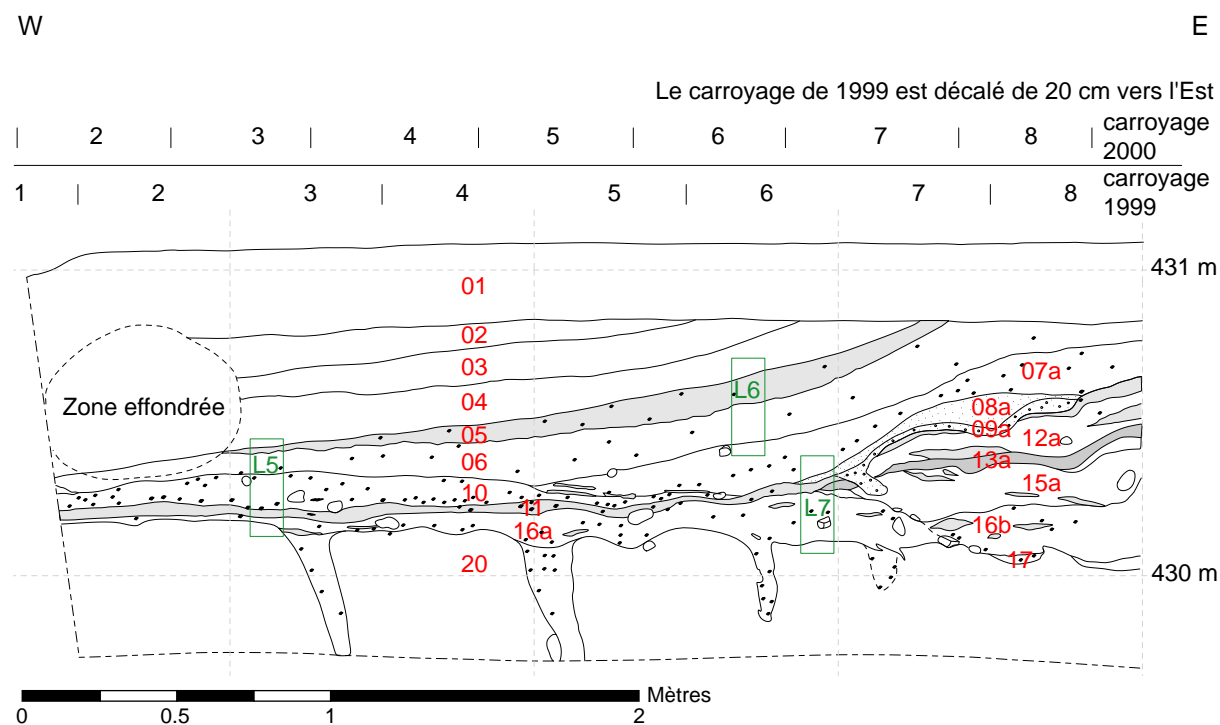



Fig. 3.12 : Sondage 342 avec la position du bac à géranium L5.



Strates	Echantillons	US stratigraphique générale	Lithologie	Couleur	Granulométrie				Restes d'organismes					Lithoblaste	Traces de			
					Argile	Silt	Sable	Graviers	Charbons	Tiges de Characées	Ooformes	Divers végétaux	Mollusques		Racine	Terrier	Bioturbation	Oxydation
04	1L5	03	Limon tourbeux	noir gris									rare quartz anguleux					
05a	2L5	04	Sable limoneux à graviers, nodules rubéfiés	brun grisâtre				petits										
06	3L5		Sable limoneux à graviers	gris olive claire				grs					quartz anguleux					
10	4L5		Limon argilo-sableux	gris				grs					quartz anguleux					
11	5L5		Limon crayeux	gris				grs										
16a	6L5		Limon argilo-sableux à graviers	brun grisâtre				grs										
20	7L5	05	Limon crayeux	blanc					Présents		Présents							

Fig. 3.13 : Description précise du prélèvement L5.

La séquence repose sur le limon crayeux (20) qui correspond à l'US-05 de la grande stratigraphie (Fig. 3.12). Au-dessus, le limon argilo-sableux gris brun clair très charbonneux (16a) correspond à la première phase d'occupation néolithique. Dans la partie est de la coupe, les couches 15a, 13a et 12a, sablo-limoneuses, pouvant être argileuses (15a), et contenant des graviers et des charbons, se succèdent. Généralement de couleur brun clair à brun gris, les couches 15a et 12a présentent une stratification enchevêtrée gris clair jaune. Cet ensemble est surmonté par un dépôt d'argile limoneuse carbonatée, gris blanc jaune clair, (11) qui s'étend sur l'ensemble de la coupe et recouvre le tertre à l'est. D'après les indications de l'OMAN, cette couche correspond au dépôt argileux qui sépare les deux phases d'occupation dans d'autres secteurs du site. Ainsi, cette formation est comparable à la couche 15b du prélèvement B4. Ensuite, les limons argilo-sableux gris très charbonneux (10), correspondant à la couche archéologique principale, sont présents à l'ouest de la coupe et se terminent en biseau contre le tertre (Fig. 3.12). Se succèdent, sur le flanc ouest du tertre, trois couches, une de graviers sableux (09a) puis deux de sables gris contenant des gravillons et des charbons (07a et 07b). La supérieure (07a) se distingue de 07b par la présence d'un peu d'argile. Des sables limoneux à graviers et charbons (06) recouvrent le tout. Leur épaisseur maximale semblant être présente

au sommet du tertre, ils pourraient correspondre à des apports anthropiques permettant un rehaussement de cette butte. La couche 05a témoigne d'une nouvelle phase d'occupation. En effet, dans les sable limoneux à graviers qui la composent, des charbons et des nodules rubéfiés ont été découverts. Cette couche semble disparaître à l'ouest de la coupe. Le tout est recouvert de limons tourbeux gris noir (04), correspondant à l'US-03 de la grande stratigraphie. Le sommet de la séquence est composé de dépôts d'argiles limoneuses gris blanc non carbonatées (03) puis de limon argileux gris foncé à teinte brunâtre (02) avant d'atteindre la terre végétale (01).

Ainsi, dans la partie ouest de cette coupe, une seule couche de transgression est présente entre la première occupation humaine néolithique (16a) et le limon tourbeux correspondant à l'US-03 de la stratigraphie générale. En effet, la seule couche d'inondation observée est la couche 11. Les couches suivantes correspondant à des phases d'occupation (10 et 5a) ou à des phases d'apport anthropique (6).

## **2.2. Analyse granulométrique**

L'analyse des différents bacs prélevés est réalisée en laboratoire afin de mesurer la distribution granulométrique des niveaux rencontrés et d'observer l'évolution de ces derniers. Ce travail, effectué principalement sur la stratigraphie 272-273W et 282W, est complété par l'analyse des séquences B4 et L5.

### **2.2.1. Les coupes 272-273W et 282W**

#### **- qualification des échantillons**

Les échantillons des ces deux coupes sont principalement des limons argileux selon la classification de Folk (1954 ; Fig. 3.14). Toutefois quelques couches se distinguent, comme la 21 de la coupe 282W qui est limono-graveleuses. La couche suivante, la 20, présente un granoclassement normal, avec à sa base des sables limoneux (20 bas) qui passent à des limons sableux (20 milieu) puis à des limons argileux au sommet. La couche 17 est, quant à elle, formée d'un sable limoneux. Puis, les deux couches archéologiques 15a et 15c sont respectivement des limons graveleux et des limons sableux. La couche d'occupation supérieure est donc plus grossière. Les couches grossières qui suivent (02b, 02a, 01B et 01A) présentent un granoclassement inverse allant des limons sableux aux graviers sablo-limoneux. Cette évolution marque une hausse de l'hydrodynamisme.

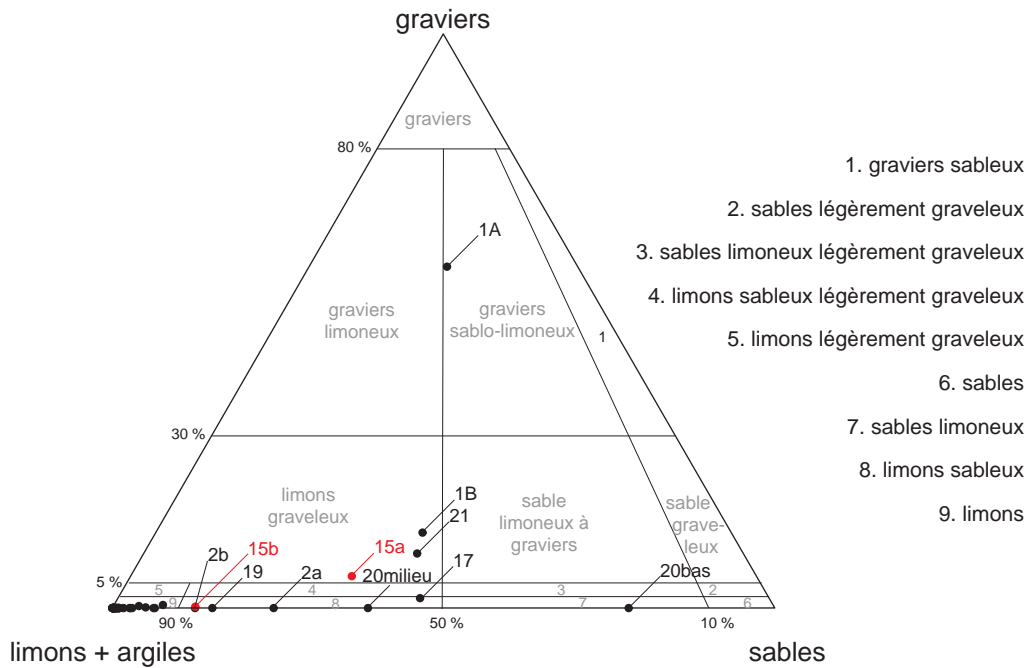


Fig. 3.14 : Diagramme triangulaire des textures pour la granulométrie totale selon Folk (1954). Les unités sédimentaires des coupes 272-273W et 282W sont indiquées lorsque ce ne sont pas des limons argileux.

Selon la classification de l'U.S.D.A. (1975 ; Fig. 3.15), les fractions fines sont principalement des limons très fins ou des limons fins argileux. Les couches archéologiques sont alors classées dans les limons fins, avec la couche supérieure plus grossière que la couche inférieure.

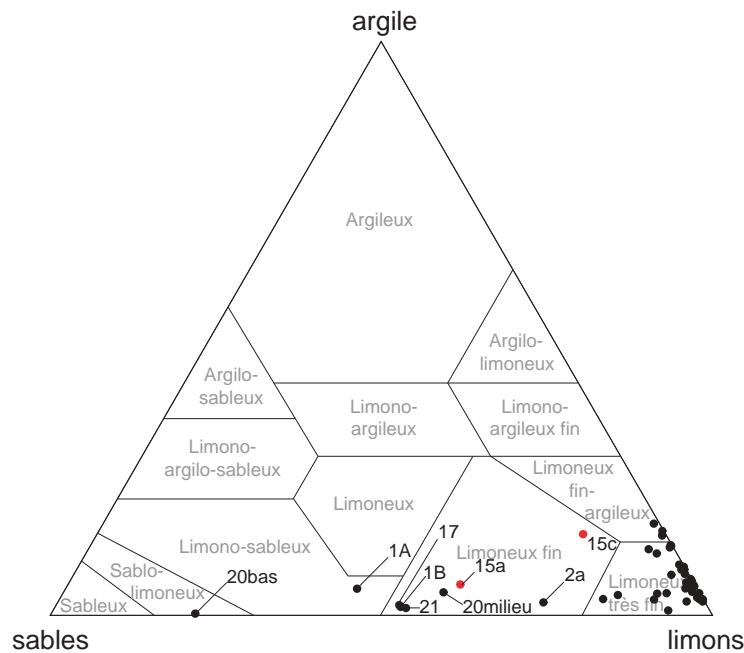


Fig. 3.15 : Diagramme triangulaire des textures pour les fractions fines selon l'U.S.D.A. (1975). Les unités sédimentaires des coupes 272-273W et 282W sont indiquées lorsque ce ne sont pas des limons très fins ou fins argileux.

### - évolution granulométrique

La base de la séquence présente une granulométrie grossière (21) qui passe progressivement à un ensemble bimodal fin de dépôts de beine lacustre (Fig. 3.16). Dans cette sédimentation relativement constante, s'intercalent des couches plus sableuses (3 et 4  $\Phi$ ), 19 et surtout 17, qui marquent des périodes d'agitation hydrologique plus importante pouvant être liée à une baisse du niveau lacustre. Le dépôt bimodal (16a), dont la fraction principale est le limon grossier (6  $\Phi$ ), est constitué majoritairement des deux modes liés à la sédimentation lacustre de type beine à 6 et 8  $\Phi$  (limons moyens). Il contient aussi des éléments plus grossiers (4  $\Phi$ , sables fins, et -2  $\Phi$ , graviers) pouvant être dus à l'incorporation de particules originaires des dépôts postérieurs anthropiques. Les phases d'occupation archéologique présentent trois ou quatre modes plus ou moins marqués et un étalement des particules vers les fractions grossières (Fig. 3.16). Le coefficient d'acuité est supérieur à 1 ce qui indique que l'échantillon est mal trié. Les modes de la couche inférieure (15c) se situent à 8  $\Phi$ , 6  $\Phi$  et 4  $\Phi$  alors que ceux de la couche supérieure (15a) sont à 8  $\Phi$ , 6  $\Phi$ , 2  $\Phi$  (sables moyens) et -2  $\Phi$ . Ces multiples modes traduisent l'impact de l'action anthropique. La formation de tourbe 13 est unimodale à 8  $\Phi$ , sauf pour les échantillons 12B8 et du 9B8, qui présentent un deuxième pic à 6  $\Phi$  (Fig. 3.16). Pour l'échantillon 12B8, ce deuxième mode peut être dû à un apport secondaire lié à une phase de haut niveau lacustre, possiblement celle de l'US-14 observé sur la coupe 272-273W (Fig. 3.7). L'échantillon 9B8 fait, quant à lui, la transition avec la couche supérieure 10, similaire à la séquence lacustre pré-occupation. Suit une alternance de couches ayant les caractéristiques, soit des limons tourbeux 13 (niveaux 09 et 07), soit des limons de beine lacustre (niveaux 08 et 06), avec un décalage du mode des particules les plus grossières vers une taille granulométrique plus importante. Puis, la couche 05 a une répartition granulométrique bimodale avec un mode à 8  $\Phi$  et un, plus important, à 5  $\Phi$  (limon grossier). La couche 04 présente à peu près la même répartition, bien que le mode à 8  $\Phi$  tende à disparaître. La 03 est elle aussi bimodal, avec la fraction prépondérante à 6  $\Phi$  alors que l'importance de la fraction à 8  $\Phi$  varie selon les échantillons. Le passage à la couche 2b se fait par une augmentation progressive du mode à 8  $\Phi$  et une diminution de celui à 6  $\Phi$  entre les échantillons 9B7 et 7B7. Les couches 02a, 01B et 01A sont plurimodales et montrent une augmentation progressive des tailles granulométriques, qui passent des limons aux graviers sablo-limoneux (-3  $\Phi$ ). Ces derniers correspondent à un cordon littoral.

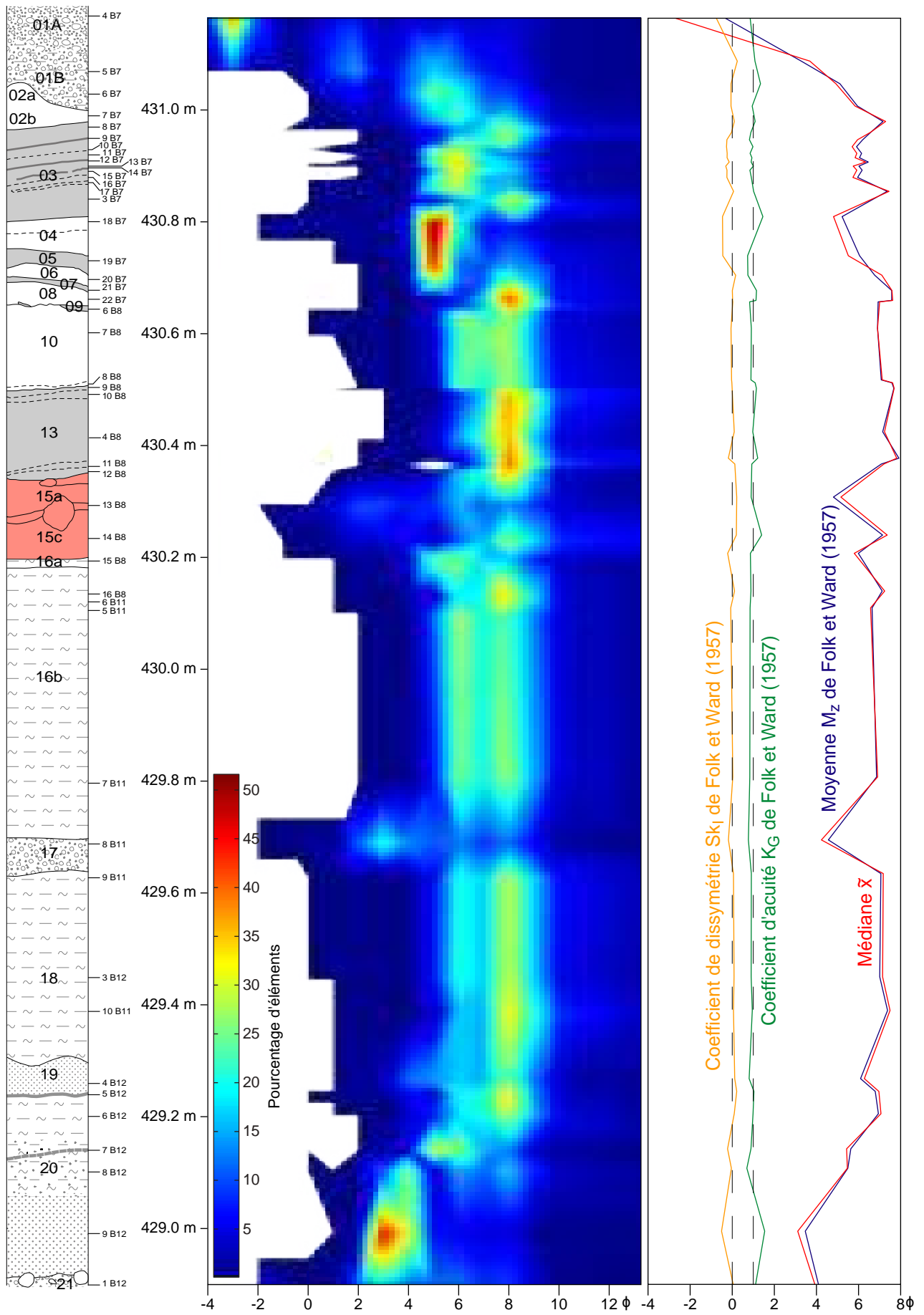


Fig. 3.16 : Evolution granulométrique des coupes 272-273W et 282W.

## 2.2.2. La coupe du bac B4

### - qualification des échantillons

Selon la classification de Folk (1954), les sédiments du bac B4 sont semblables à ceux de la coupe 272-273W. Les deux échantillons dont la granulométrie est la plus grossière correspondent aux phases d'occupation anthropique et, comme pour la coupe 272-273W, la deuxième reste la plus grossière (Fig. 3.17a). La couche 15b qui sépare les deux couches archéologiques est très proche de la dernière couche de limons crayeux 16a.

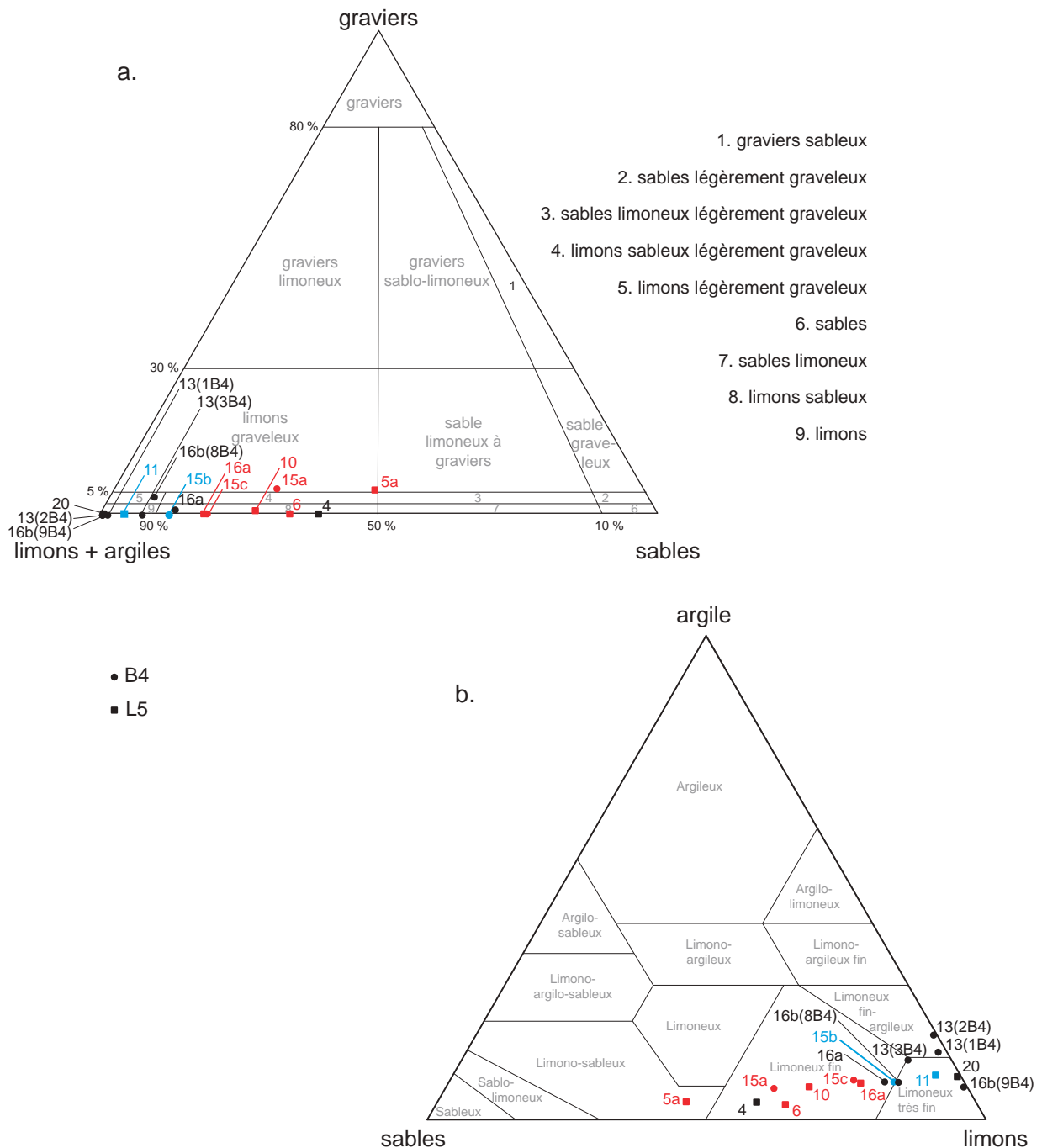


Fig. 3.17 : Diagramme triangulaire des textures granulométriques pour les prélèvements B4 et L5 selon a.) Folk (1954) et b.) U.S.D.A. (1975).

La classification de l'U.S.D.A. (1975) montre que les formations sont principalement des limons très fins et des limons fins argileux (Fig. 3.17b). Les couches archéologiques, classées ici dans les limons fins, se différencient de la couche supérieure 15a toujours plus grossière que la couche inférieure 15c. La couche 15b est granulométriquement comprise entre les deux couches supérieures de limons crayeux 16a et 16b.

En conclusion, selon les deux classifications, les formations rencontrées sont semblables à celles de la coupe 272-273W. La couche 15b, qui s'intercale entre les deux phases d'occupation, est similaire aux limons crayeux 16 de la coupe 272-273W et plus particulièrement aux strates supérieures de ce dernier, du fait de l'intégration d'éléments originaires des couches anthropiques.

#### **- évolution granulométrique**

La couche 16b, et plus particulièrement l'échantillon 9B4, présente les mêmes caractéristiques granulométriques que l'échantillon 16B8. La 16a, qui est constituée principalement des deux modes liés à la sédimentation lacustre de type beine, 6  $\Phi$  (limons grossiers) et 8  $\Phi$  (limons moyens), incorpore des particules plus grossières originaires de la couche archéologique qui suit (Fig. 3.18). Le dépôt 15c possède deux ou trois modes à dissymétrie négative, étalement des particules vers les fractions grossières, dont les principaux se situent à 8  $\Phi$  et 4  $\Phi$ . La couche 15b présente des caractéristiques se rapprochant de l'échantillon 9B4 - un seul mode à 8  $\Phi$  - avec toutefois une dissymétrie négative pouvant être reliée à un apport d'éléments grossiers originaires des niveaux archéologiques qui l'encadrent. La phase d'occupation supérieure 15a présente trois à quatre modes plus ou moins marqués et un étalement des particules vers les fractions grossières. Les principaux modes sont à 8  $\Phi$ , 4  $\Phi$  et -3  $\Phi$  (graviers). Cela traduit de multiples apports sédimentaires et des mélanges. Dans la couche 13, si les échantillons 1B4 et 2B4 sont unimodaux à 8  $\Phi$ , la base est plurimodale, avec deux pics supplémentaires en 6 et 4  $\Phi$ . Ces modes étant présents dans les couches de limons crayeux et anthropiques, ils peuvent être liés à un apport secondaire correspondant au haut niveau lacustre 14 de la coupe 272-273W ou à une reprise de la couche archéologique sous-jacente.

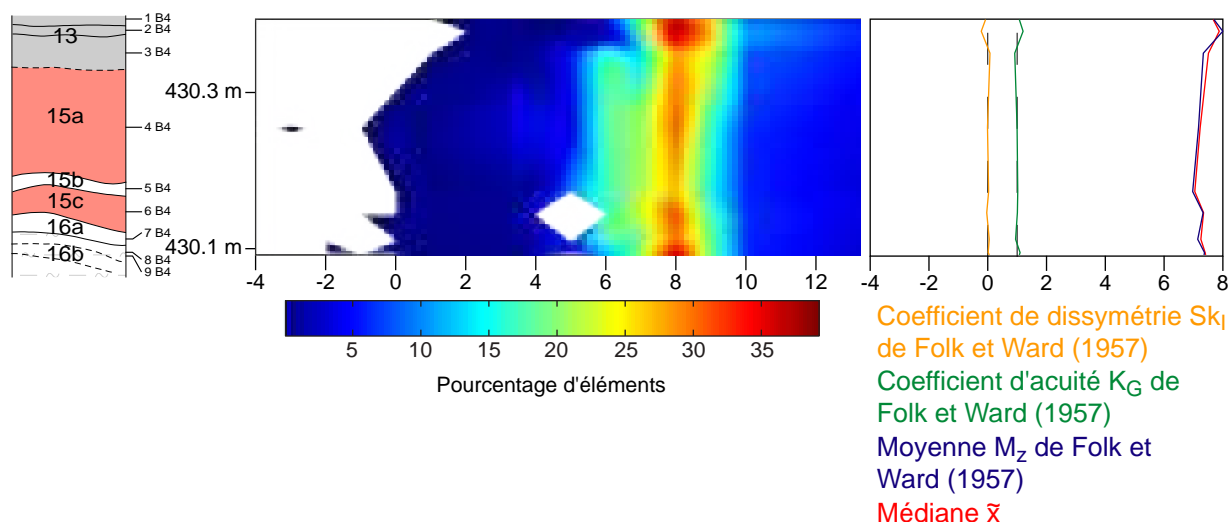


Fig. 3.18 : Evolution granulométrique du prélèvement B4.

### 2.2.3. La coupe du prélèvement L5

#### - qualification des échantillons

Les échantillons du prélèvement L5 sont globalement plus grossiers que ceux des coupes du secteur de Marin-Les Piécettes.

Comme pour les relevés précédents, la classification de Folk montre que les couches archéologiques sont les plus grossières (Fig. 3.17a). Les trois échantillons de la deuxième phase d'occupation (10, 06 et 05a) présentent un granoclassement inverse. Le limon crayeux 20 est un peu plus fin que le dépôt 11, intercalé entre les deux phases d'occupation.

La classification des éléments fins selon l'U.S.D.A. présente les mêmes tendances que ce qui est observé avec la classification de Folk. Ainsi, les couches dont la granulométrie est la plus grossière, sont les couches archéologiques qui présentent un granoclassement inverse. Le limon très fin 11 est un peu plus grossier que le limon crayeux 20 (Fig. 3.17b).

#### - évolution granulométrique

Les limons des niveaux 20 et 11 ont un mode à  $8 \Phi$  et quelques rares particules plus grossières qui peuvent être originaires des couches archéologiques (Fig. 3.19). Ces dernières sont plurimodales traduisant une nouvelle fois l'origine diverse des éléments. Les limons tourbeux 4 présentent des modes à  $8 \Phi$  et proches de  $4 \Phi$ , qui sont très étalés marquant ainsi un mauvais tri.

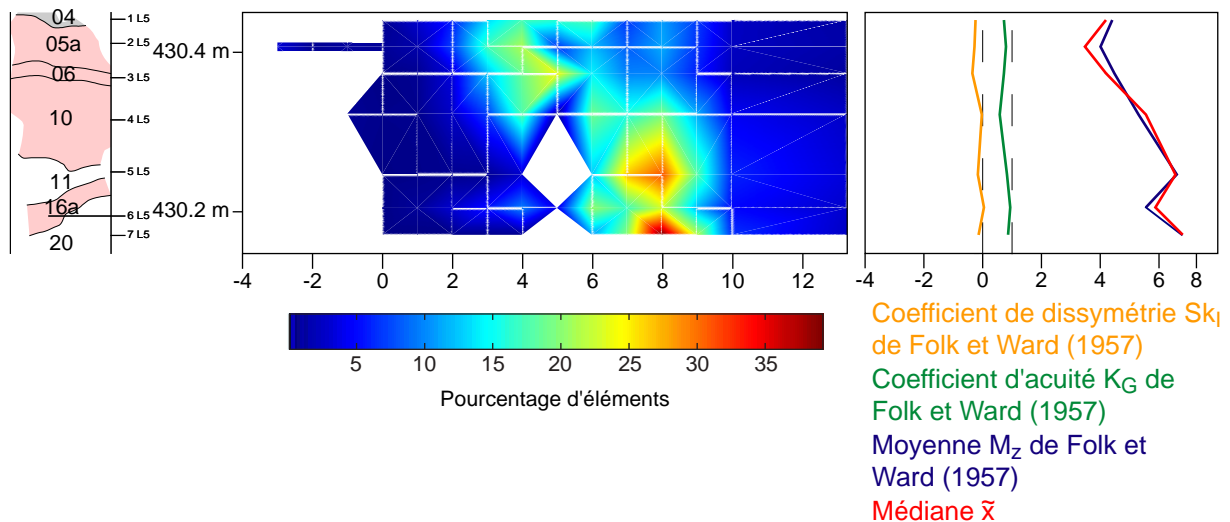


Fig. 3.19 : Evolution granulométrique du prélèvement L5.

## 2.3. Analyse minéralogique

Cette analyse est réalisée sur les prélèvements des trois coupes qui ont fait l'objet de l'étude granulométrique, à savoir B7 et B8 de la coupe 272-273W, B11 et B12 de la coupe 282W, B4 et L5 issus des coupes du même nom (Fig. 3.1).

### 2.3.1. Les coupes 272-273W et 282W

L'analyse de la roche totale permet de subdiviser la stratigraphie en trois ensembles (Fig. 3.20). Le premier regroupe les couches 21 à 16b qui sont constituées majoritairement de calcite (38 à 59 %) et de quartz, dont le pourcentage est compris entre 10 et 15 % voire davantage dans les couches plus sableuses (43 % pour la couche 21, 28 % pour la 20 Bas et 17 % pour la 17). Toutes possèdent un peu de dolomite (entre 1 et 4 %) et seule la 19 contient 1 % d'ankérite. Le taux d'indosés est compris entre 1 % (6B12) et 35 % (5B12), ce qui diffère des formations supérieures où il est globalement compris entre 37 et 65 %. Le deuxième ensemble est constitué de la couche 16a et des deux phases d'occupation anthropique, 15a et 15c. Il est caractérisé par une forte concentration en quartz (26 à 39%) et en phyllosilicates (16 à 24 %). La calcite n'est présente que dans la couche 16a et en très faible quantité (1 %). La partie supérieure de la séquence constitue le troisième ensemble qui possède une minéralogie assez régulière, avec toutefois la disparition de la dolomite et de l'ankérite dans les couches 13 et 10 (Fig. 3.20). La calcite est très peu présente (< 1 %) voire absente dans la majorité des cas. Elle se retrouve surtout dans les couches supérieures 2 (~ 8 %) et 1 (~ 11 %) ainsi que dans l'échantillon 11B7 (7 %).

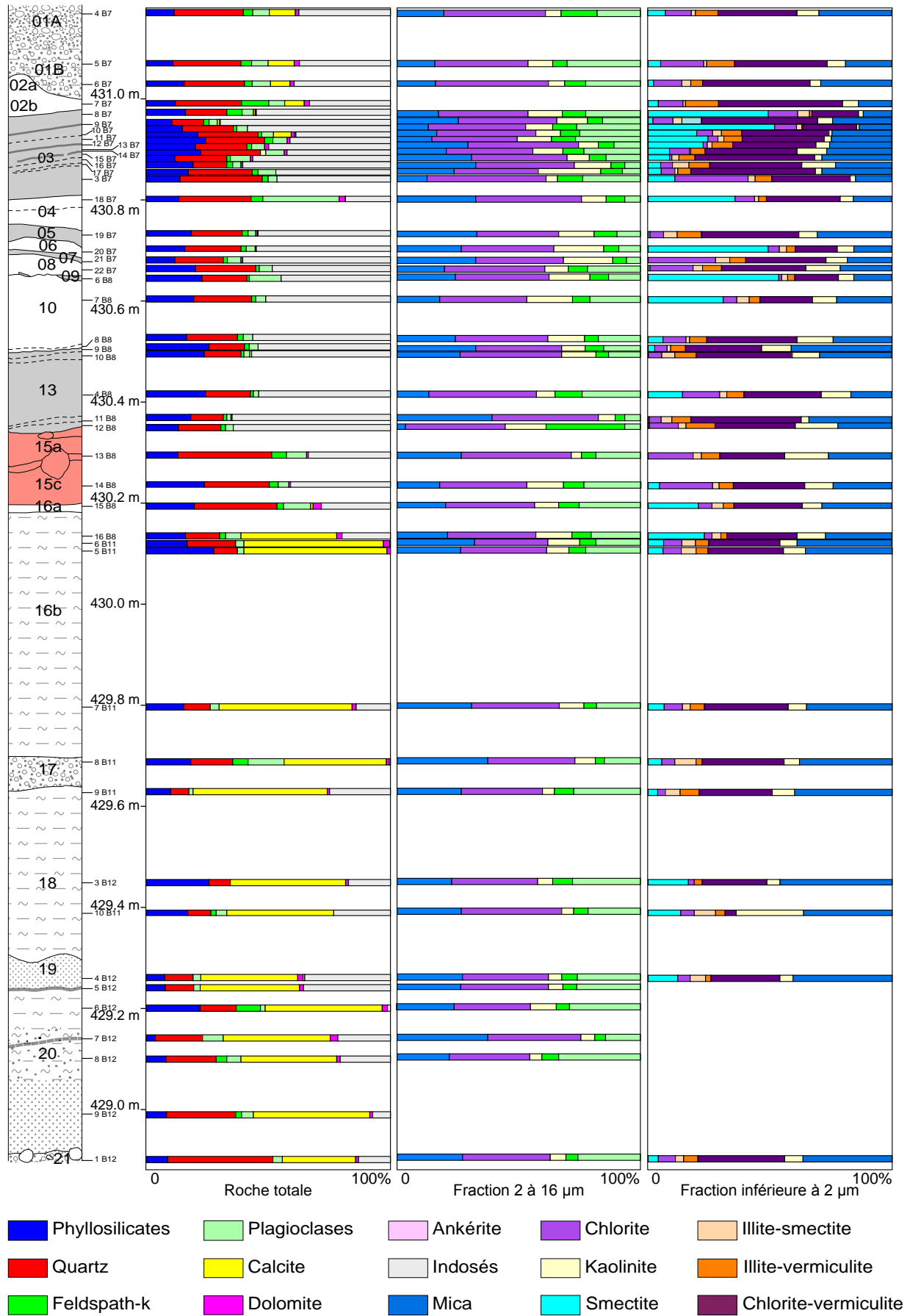


Fig. 3.20 : Minéralogie des coupes 272-273W et 282W.

Dans les fractions comprises entre 2 et 16  $\mu\text{m}$ , aucun ensemble ne ressort et seules deux tendances sont observées. Dans les couches supérieures 15c à 1A, le taux de kaolinite est majoritairement compris entre 7 et 15 %, avec des valeurs extrêmes de 4 et 25 %. Dans la partie inférieure de la séquence, il est plus faible, fluctuant entre 5 et 8 % (Fig. 3.20). Le phénomène inverse se produit pour les plagioclases qui varient entre 6 et 27 % dans la partie supérieure de la séquence, à l'exception de la couche 1B qui atteint 33 %, alors qu'ils sont compris entre 14 et 33 % dans la partie inférieure. La détermination de la nature des micas a été réalisée par l'analyse des pics [001], [002] et [005] du mica selon la méthode de Rey et Kübler (1983). Il en ressort que ce sont principalement des micas blancs de type phengite et muscovite. Les phengites se trouvent généralement dans les schistes et quartzites métamorphisés à haute pression et basse température alors que les muscovites sont davantage rattachées à des roches plutoniques acides comme le granite ou dans les roches métamorphiques.

L'étude de la minéralogie des éléments inférieurs à 2 $\mu\text{m}$  permet de séparer la stratigraphie en deux, de manière plus prononcée que pour l'analyse précédente. Dans la partie inférieure aux couches archéologiques 15, tous les minéraux identifiés dans cette fraction granulométrique sont présents. Seul leur pourcentage varie d'un échantillon à l'autre et dans de faibles proportions. Au contraire, dans la partie supérieure, de fortes variations dans la composition minéralogique sont observables. Les couches 10, 08, 06, 04, 03milieu (échantillon 10B7) et 03supérieur (échantillon 8B7) sont très riches en smectite (30 à 52 %). En revanche, dans les couches 15a, 13bas (échantillons 12 et 11B8), 13supérieur (échantillons 10 et 9B8), 09, 07, 05, 03supérieur (échantillon 9B7), 02a, les smectites sont inférieures ou égales à 2 %, voire absentes. Les interstratifiés, les micas et la kaolinite sont présents dans tous les échantillons selon des taux compris respectivement entre 6 et 30 % pour les interstratifiés (vermiculite-chlorite, illite-smectite et illite-vermiculite), entre 11 et 41 % pour les micas et entre 1 et 17 % pour la kaolinite.

### **2.3.2. La coupe du bac B4**

La minéralogie de la roche totale montre que la calcite diminue dans les échantillons 9B4 à 7B4, passant de 73 % à 13 %, pour devenir absente dans les couches supérieures (Fig. 3.21). La couche 15b, qui ressemble aux couches anthropiques, est caractérisée par une forte concentration en quartz (42 %) et en phyllosilicates (12 %) et une absence de dolomite. Les couches d'occupation et le haut de la séquence contiennent un fort taux d'indosés compris entre 34 et 64 %. Dans la couche à la base de la séquence (16b), ce taux varie entre 2 % (échantillon 9B4) et 23 % (8B4) alors qu'il est de 16 % dans la couche 15b.

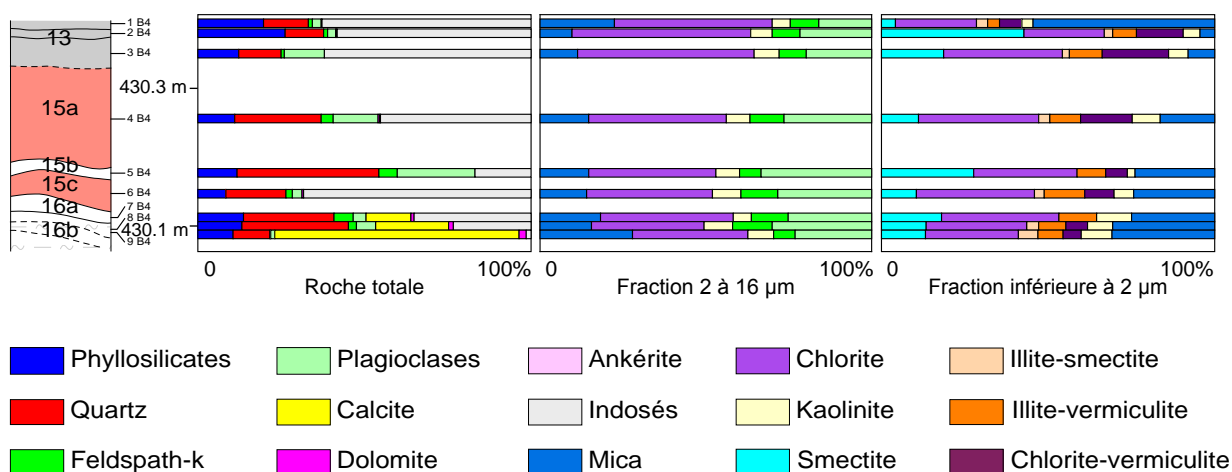


Fig. 3.21 : Minéralogie du prélèvement B4.

Aucun changement significatif ne ressort de la minéralogie des fractions comprises entre 2 et 16 µm. Alors que pour les fractions inférieures à 2 µm, la couche 15b est caractérisée par un fort pourcentage de smectite (27 %), un faible pourcentage de kaolinite (2 %) et l'absence d'illite-smectite.

Ainsi, la minéralogie de ce relevé est semblable à celle de la coupe 272-273W.

### 2.3.3. La coupe du prélèvement L5

La minéralogie de ce prélèvement présente les mêmes caractéristiques que celles observées pour B4. Les seules différences résident dans la présence de calcite (29 %) au sein de la couche archéologique inférieure 16a lors de l'analyse de la roche totale et l'absence de smectite dans la couche 06 lors de l'analyse des fractions inférieures à 2 µm (Fig. 3.22).

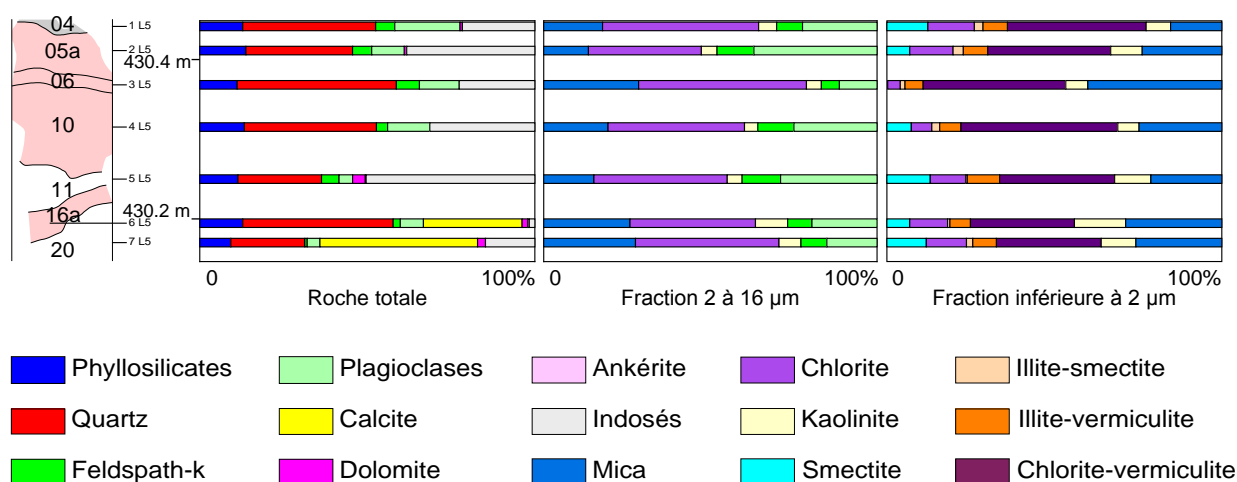


Fig. 3.22 : Minéralogie du prélèvement L5.

## 2.4. Analyse de la matière organique

Le Taux de Carbone Organique (TOC) a été mesuré pour les échantillons des prélèvements B7 et B8 de la coupe 272-273W, ainsi que B11 et B12 de la coupe 282W. Pour l'ensemble des échantillons, les limons clairs ont un TOC voisin de 1 % (Fig. 3.23). Les dépôts organiques foncés qualifiés de tourbe ne contiennent jamais plus de 18 % de carbone organique. De ce fait, ils ne peuvent être assimilés à des tourbes au sens strict du terme, mais à des limons tourbeux. Une diminution du TOC au sein de la couche 13 de la coupe 272-273W, corrélée à l'US-03 de la stratigraphie générale, peut marquer un changement, certainement faible, du milieu de dépôt. L'analyse des indices d'oxygène (OI) et d'hydrogène (HI) montre que la matière organique est d'origine terrestre et qu'elle est peu évoluée (Chalumeau, 2003).

## 3. Apport des analyses sédimentaires

La description et les analyses des différentes couches rencontrées apportent des éléments qui permettent de les replacer dans leur environnement de dépôt en se fondant sur les modèles de Murphy et Wilkinson (1980) et Magny (1991 ; Fig. 3.24). La morphologie littorale des lacs adoptée ici est celle de Pieczynska (1972).

### 3.1. Apport de la description précise des échantillons

En regroupant les couches similaires des stratigraphies 272-273W et 282W, les environnements de dépôts s'organisent de la façon suivante. Les graviers sablo-limoneux à oncolithes (21 et 19) caractérisent la zone eulittorale voire littorale supérieure, donc à proximité de la rive du lac. Les couches 20, 18 et 16 correspondent à la zone de beine, où se développe un limon crayeux algaire à fragments de Charophytes et d'oogones. En conséquence ce dépôt est encore compris dans la zone photique. Les couches archéologiques 15, plus ou moins grossières et tourbeuses, indiquent une zone émergée. La présence de la couche 15b de la stratigraphie B4 indique que, lors de crues importantes, le lac peut venir recouvrir le site. Ainsi, ce dépôt s'est développé sur la zone supralittorale. La couche 14 de la coupe 272-273W, sables clairs renfermant de nombreux tests de mollusques aquatiques (Fig. 3.7), est un dépôt de beine distale qui marque un épisode de haut niveau lacustre. L'alternance des limons tourbeux foncés et des limons carbonatés clairs indique de nombreuses variations du niveau du lac. En effet, les limons tourbeux 13, 11, 09, 07, 05 et 03 se sont mis en place dans la zone eulittorale alors que les limons carbonatés 12, 10, 08, 06, 04 et 02 se sont formés dans la zone littorale. Les couches

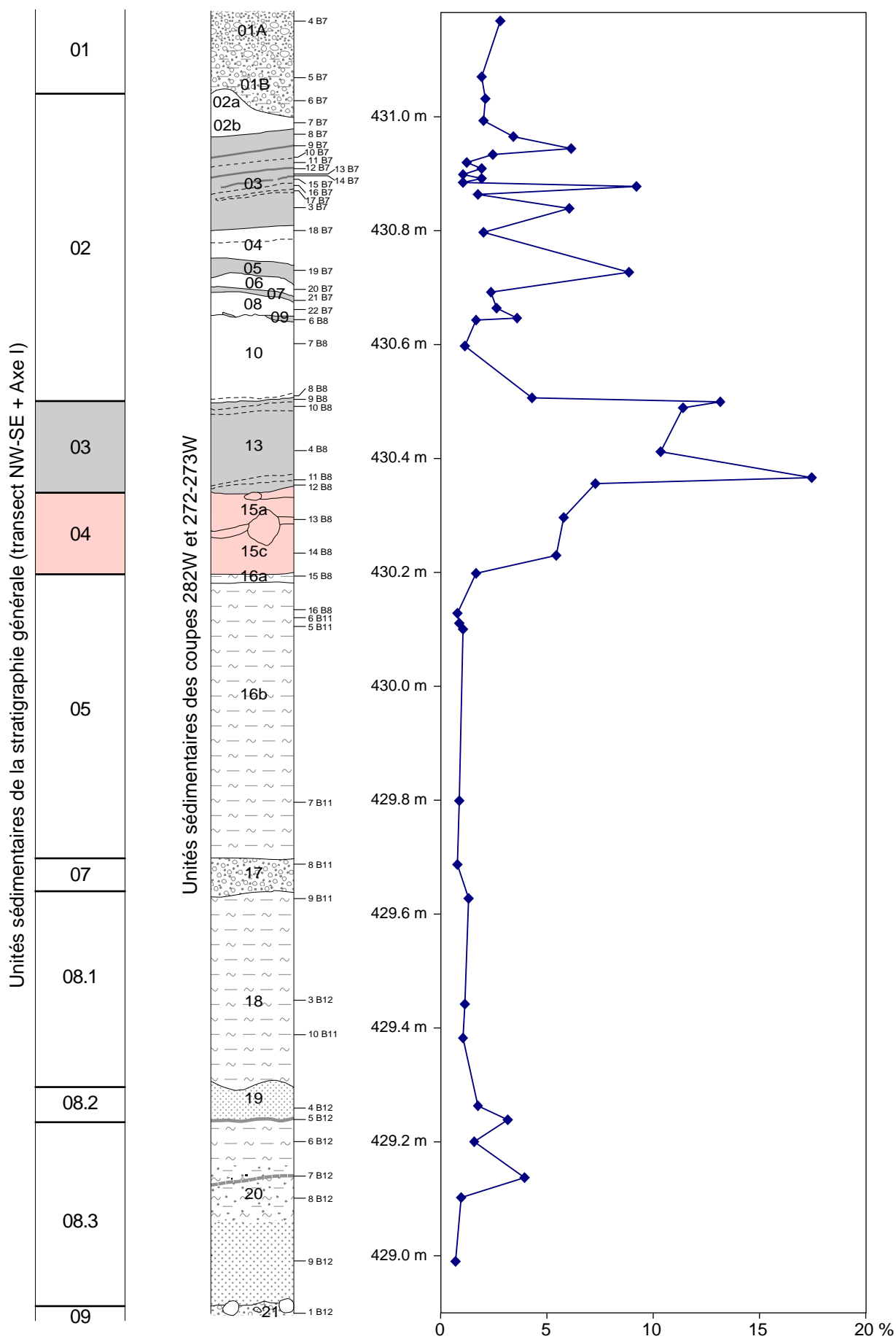
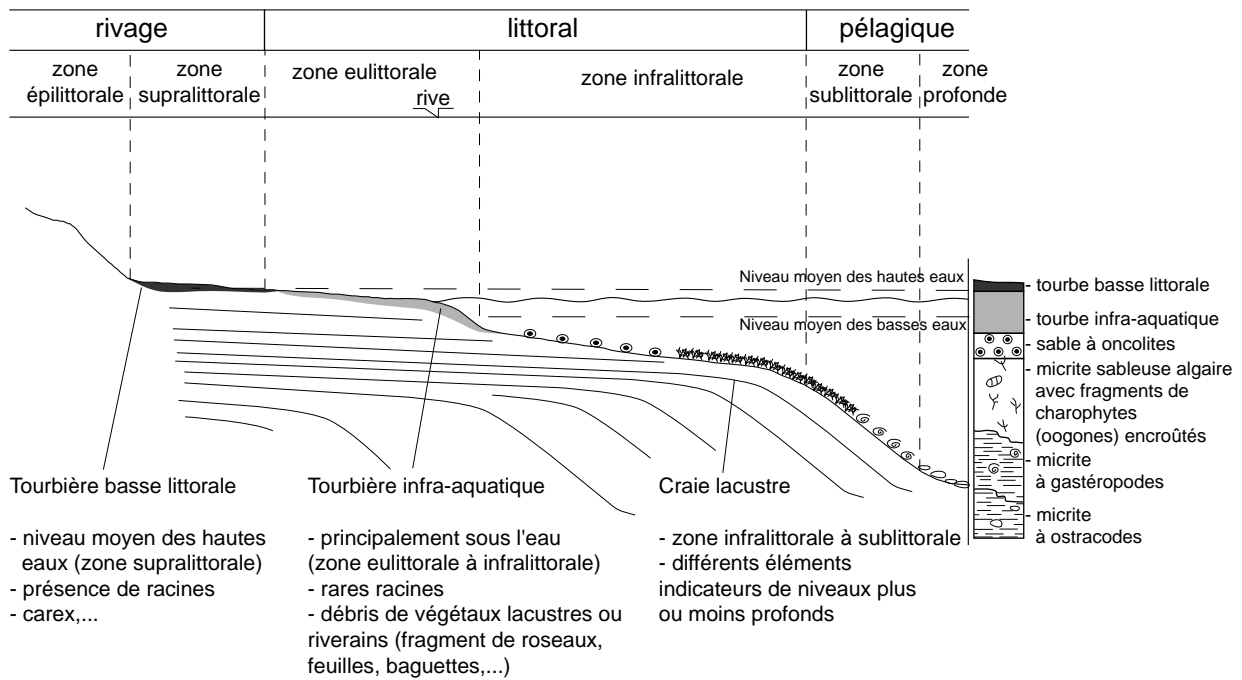


Fig. 3.23 : Evolution du taux de carbone organique total des coupes 272-273W et 282W.



L'enchaînement latéral de ces dépôts peut être différent si les conditions de sédimentation (niveau d'énergie, nature du couvert végétal, luminosité, température,...) changent. Ainsi, de la rive au pied du tombant, il est aussi possible de trouver :

graviers - sables graveleux - sables - limons sableux - limons

sable limono-crayeux - craie sableuse - craie lacustre

A ceci, deux formations peuvent être ajoutées :

- cordon littoral : l'origine et le mode de formation de ce dernier n'étant pas encore connus précisément, il semblerait que cette unité graveleuse se soit mise en place lorsque le niveau des eaux était important et le lac agité. Ainsi, il doit se former dans la partie supérieure de la zone supralittorale ;

- limon crayeux, sableux et graveleux : cette formation peut être interprétée comme une partie d'une ancienne beine qui émerge suite à une régression du lac et qui reçoit un apport en éléments détritiques (sables et graviers). Ceci semble donc être une plage de craie dépourvue de végétation. Elle peut alors être positionnée en zone eulittorale.

Fig. 3.24 : Environnements de dépôt des formations pouvant être rencontrées (d'après Lachavanne *et al.* (1985), Magny (1991) et Murphy et Wilkinson (1980)).

supérieures grossières (01) correspondent à un cordon littoral qui a été repéré au sud-est de la séquence de Marin-Les Piécettes, entre les cotes 430,70 et 431,40 m (Chalumeau, 2005a). Bien que sa cote moyenne de 431,05 m soit proche du niveau des hautes eaux du lac après les 1<sup>ère</sup> C.E.J. (soit 429,94 - 431,18 m ; Magny *et al.*, 2005), ce cordon servait de rive au lac de Neuchâtel avant les 1<sup>ère</sup> C.E.J. (Fig. 2.10 et 2.11).

### 3.2. Apport de l'étude granulométrique

La taille des sédiments dépend de l'agitation du milieu de dépôt. De ce fait, les niveaux grossiers se trouvent en bordure de lac, milieu agité, alors que les éléments fins comme les argiles et les limons fins, résultent d'une décantation en milieu calme dans des tranches d'eau plus profondes, ou des zones d'eau stagnante coupées du système lacustre. Les éléments grossiers, comme les graviers et les sables, correspondent à la zone de déferlement des vagues, la zone eulittorale. Il faut noter que les tourbes, qui se développent aussi dans cette zone, caractérisent des milieux relativement plus calmes, une agitation trop importante ne permettant pas l'implantation des plantes qui sont à l'origine de cette formation. Il apparaît alors que les bas niveaux lacustres enregistrés à la base de la séquence (21, 19 et 17) et au sommet (01) se sont développés lors de périodes d'hydrodynamisme plus important que ceux qui ont suivi l'occupation néolithique (13, 11, 09, 07, 05 et 03). La granulométrie des dépôts de beine décarbonatés est bimodale, ce qui indique deux origines différentes des éléments. Un premier mode peut être relié à la décantation des éléments présents dans la tranche d'eau, alors que le deuxième peut être dû à un apport d'éléments flottés par un courant de surface ou un courant intermédiaire. L'origine de ces éléments peut être une remise en suspension par les vagues d'éléments littoraux ou un apport d'affluents qui peuvent être relativement éloignés (Lambert, 1999). Les sédiments de phases de transgression du haut de la séquence lacustre (10, 08, 06, 04 et 02b) présentent les mêmes caractéristiques granulométriques que les niveaux de beine inférieurs. Ainsi, les mêmes modes et environnements de dépôts sont envisageables pour toutes ces couches. La couche 02a devient plurimodal par incorporation d'éléments issus des couches supérieures liées à la mise en place d'un cordon littoral (01), rendue possible par la forte augmentation de l'hydrodynamisme. La plurimodalité des couches archéologiques marque bien les multiples apports et les mélanges liés à l'activité anthropique.

### 3.3. Apport de l'étude minéralogique

Afin d'interpréter au mieux les résultats qu'apporte cette analyse, il est nécessaire de connaître l'origine des différents minéraux rencontrés. Les sédiments étudiés sont composés d'une phase détritique et d'une phase authigène formée biochimiquement en milieu lacustre. La phase détritique est essentiellement composée de minéraux silicatés, tels quartz, feldspaths-K, plagioclases et micas, qui proviennent des formations morainiques ou molassiques environnantes (Bapst, 1987). A ceux-là s'ajoute la dolomite, issue elle aussi des sédiments molassiques et morainiques. De plus, la présence marquée de chlorite (30 à 40 %) indique une origine alpine

du matériel détritique, tandis que la kaolinite témoigne d'une composante locale jurassienne dans les sédiments (Rolly, 2001). La calcite appartient plutôt à la phase authigène puisqu'elle se trouve en milieu franchement lacustre (Bapst, 1987; Kübler *et al.*, 1979). Les interstratifiés chlorite-vermiculite et illite-vermiculite témoignent d'une évolution pédogénétique. Ils peuvent donc être originaires d'un remaniement de sols ou d'une pédogenèse active. Les smectites peuvent avoir deux origines, une première due à sa forte concentration dans la molasse, et une seconde correspondant à une apparition de smectite de dégradation, suite à l'évolution des interstratifiés illite-vermiculite et chlorite-vermiculite (Monnier, 1979).

Après ces précisions, il est possible de faire quelques remarques sur les différentes formations :

- la "craie lacustre" est liée à l'activité des organismes qui provoquent la précipitation de carbonate de calcium (Verrecchia, 2007). Cela se répercute sur la concentration en calcite des dépôts. Ce phénomène s'effectue surtout sur les bordures lacustres, dans la zone photique (Magny, 1991) ;

- les phases d'occupation archéologique (04a et 04b) se distinguent l'une de l'autre grâce à la roche totale. La couche supérieure (04a) est plus quartzreuse (38 %) que l'inférieure (04b ; 26 %). De plus, comme pour la couche qui leur succède, l'absence de smectite dans 04a et la diminution de la concentration en chlorite attestent d'une pédogenèse *in situ* ;

- les niveaux organiques foncés sont riches en matières minérales (argiles) mais dépourvus de précipitations carbonatées. Ils forment donc une tourbière plate dite de "bas marais". Seuls les niveaux supérieurs du bac B7 contenant un peu de calcite, indiquent une hausse du niveau lacustre ;

- les limons gris clair de la partie supérieure de la séquence ne contiennent pas de calcite alors que la proportion des autres minéraux est semblable aux limons crayeux précédant l'occupation. Seule la quantité de minéraux indosés augmente fortement. Comme ces couches présentent les mêmes caractéristiques de couleur et surtout de granulométrie que les limons crayeux de beine lacustre inférieure, l'hypothèse de l'influence des limons tourbeux sur le pH de l'eau interstitielle peut être émise. A leur contact, l'eau peut s'acidifier puis, en percolant elle dissoudrait les éléments calcaires et les éliminerait. Ainsi, ces limons gris clair seraient des limons crayeux dont les carbonates auraient été lixiviés. Ce phénomène ne peut avoir lieu au sommet de la séquence (niveaux 01 et 02 de la stratigraphie 272-273W) du fait de l'absence de tourbe au-dessus, permettant à nouveau la présence de calcite. Afin de vérifier ces données, une mesure du taux de calcaire total est réalisée dans 9 de ces échantillons (Tab. 3.2). Il apparaît

alors que le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> est proche de 0 % dans la majorité des échantillons et qu'il est totalement nul dans certains cas. Les valeurs négatives dues au mode de titration montrent que les niveaux analysés sont acides<sup>7</sup>.

Echantillons	Poids de l'échantillon (mg)	Volume NaOH au point d'équilibre (ml)		%CaCO <sub>3</sub>
blanc1	0.0000	29.00	moyenne = 29.35	
blanc2	0.0000	29.70		
7B7	0.6033	26.40		1.22
18b7	1.0008	28.20		0.29
19b7	1.0006	29.00		0.09
20b7	1.0013	28.70		0.16
21b7	1.0000	28.75		0.15
22b7	1.0014	30.10		-0.19
4b8	0.9998	29.00		0.09
6b8	0.9432	30.20		-8.00
7b8	1.0018	31.40		-0.51

Tab. 3.2 : Teneur en calcaire total de certains échantillons de la coupe 272-273W.

### 3.4. Apport de l'étude de la matière organique

Le taux de matière organique constituant les limons tourbeux ainsi que leur origine correspond à la description d'une tourbe plate de bas marais selon Campy et Macaire (2003). Ces résultats sont en accord avec ceux de l'analyse minéralogique. La diminution du TOC au sein de l'US-03 de la stratigraphie générale pourrait marquer une hausse mineure du niveau moyen du lac.

## 4. Synthèse des enregistrements sédimentaires

Après le travail de description et d'analyse, il devient possible de réaliser une synthèse chronologique des événements par phase pour le site de Marin-Les Piécettes. L'ensemble des corrélations stratigraphiques entre chaque coupe est résumé dans le tableau de synthèse 3.3, dans lequel une séquence type est proposée dans la colonne "lithologie". Au sein de chaque transect et coupe, le numéro ainsi que l'altitude maximale observée de chaque US ou couche rencontrée sont précisés. Les environnements de dépôts sont indiqués ainsi que les dates <sup>14</sup>C ou dendrochronologiques obtenues.

<sup>7</sup> Le dosage du calcaire total se fait par dissolution des carbonates dans une quantité d'acide connue puis par titration en retour de l'excédent d'acide (Annexe 8). Si la quantité de base nécessaire lors du titrage en retour est supérieure à la quantité d'acide mise au départ cela signifie que l'échantillon était acide à la base.

Phases	Lithologie	Transect NO-SE-Axel	3201E	2802W	3206SE	272-273W et 282W	B4	L5	Environnement	Datation
M-Piec-12	Humus de surface et colluvions en haut du site	US-01a 432,85 m	01 434,23 m	01 432,32 m	01 432,05 m	01a 431,50 m lié à 01a		01 431,10 m	Emergé	
M-Piec-11	Graviers et galets sableux (cordon littoral)	US-01b 431,40 m							Eulittoral à supralittoral	
M-Piec-10b	Limons sableux brun jaune		02, 03 et 04 ? 434,05 m	02 432,02 m	02 431,80 m	01b 431,11 m			Infra-littoral	
M-Piec-10a	Alternance de : - limons carbonatés - limons tourbeux	US-02 431,5 m	09, 07, 05 06, 06 > 432,40 m	09, 07, 05, 03 08, 06, 04 431,72 m	06, 04 05, 03 431,73 m	12, 10, 08, 06, 04, 02 11, 09, 07, 05, 03 431,08 m		3 2 > 430,85 m	Infra-littoral Rive	niveau 3 : 670-890 cal AD niveau 4 : 540-670 cal AD niveau 5 : 130-420 cal AD niveau 7 : 520-340 cal BC niveau 9 : 1780-1790 cal BC
M-Piec-09	Limons tourbeux	US-03 431,40 m	10 431,53 m	10 431,12 m	07 431,54 m	13 430,53 m	13	4 > 430,85 m (monte sur bord du tertre)	Rive	Sommet 2200-1890 cal BC
M-Piec-08	Limons carbonatés					13			Eulittoral inf. ou infra-littoral sup.	
M-Piec-07	Limons tourbeux								Rive	Base 3140-2810 cal BC
M-Piec-06	Sables à mollusques aquatiques					14 430,40 m			Rive	
M-Piec-05	Niveau archéologique néolithique	US-04 430,15 m	11 (hors site) 432,77 m			15a 430,37 m	15a 430,35 m	10, 9a, 7a, 7b, 6, 5a > 430,85 m (tertre)	Emergé	
M-Piec-04c	Limons crayeux	US-05 430,30 m				15b 430,20 m	15b 430,20 m	11 > 430,47 m (tertre)	Infra-littoral	3504 à 3483 av. J.-C.
M-Piec-04b	Limons crayeux	US-06 431,20 m				15c 430,28 m	15c 430,17 m	15a, 15a, 13a et 12a > 430,60 m (tertre)	Emergé	
M-Piec-04a	Sables, graviers et galets (cordon littoral)	US-07 430,80 m				16 430,23 m	16 430,12 m	20 430,17 m	Infra-littoral	
M-Piec-03b	Limons crayeux sableux à tests de mollusques aquatiques et débris de végétaux	US-08.1 430,70 m*				17 429,71 m			Eulittoral à supralittoral	
M-Piec-03a	Sables et débris de végétaux	US-08.2 429,65 m				18 429,67 m			Rive	3800-3640 cal BC
M-Piec-02	Limons crayeux sableux	US-09 430,67 m				19 429,30 m			Infra-littoral	3990-3780 cal BC
M-Piec-01	Limons carbonatés graveleux riches en restes de végétaux	US-10 431,06 m				20 429,22 m			Infra-littoral sup. à rive	
	Galets vermiculés	US-11 430,56 m	12 432,37 m	12 430,52 m		21 428,95 m			Rive	5070-4820 cal BC
	Sables limoneux gris à limons gris		12 Base 432,26 m						Rive	
	Moraine würmienne		13 432,26 m	13 430,32 m					Pre-lac	

\* altitude maximale de l'ensemble 8.3 à 8.1.

\*\* altitude du haut du cordon littoral mais ce sondage est sur un bord de ce dernier, ce qui explique la différence d'altitude avec le sommet observé dans le Transect NW-SE et 3206SE.

Tab. 3.3 : Synthèse des niveaux sédimentaires observés dans les sondages du site de Marin-Les Piécettes. Les nombres sans précision d'altitude correspondent aux numéros des niveaux dans les coupes.

Ces données, qui peuvent être récapitulées ci-dessous, permettent de suivre les modifications des conditions de milieu enregistrées sur le site de Marin-Les Piécettes.

### **Phase M-Piec-01**

Mise en place de la moraine de fond rhodanienne constituée de limons sableux à sablo-argileux compacts à galets striés.

***Transect/coupe (Numéro de couche) :***

- 3201E (couche 13)

- 2802W (couche 13)

***Datation :*** par corrélation régionale, ces dépôts sont similaires à ceux de la dernière moraine würmienne connue sur le plateau (Becker, 1972b; Portmann, 1954).

***Dynamique sédimentaire :*** les dépôts se sont mis en place au moment où le glacier était à son maximum d'extension sur le Plateau suisse.

### **Phase M-Piec-02**

Mise en place de sables limoneux gris à limons gris qui passent à des limons argileux dans la partie basse du site.

***Transect/coupe (Numéro de couche) :***

- transect NO-SE-AxeI (US-11)

- coupe 3201E (couche 12Base)

***Datation :*** d'après les données stratigraphiques, dépôt postérieur à la moraine de fond et antérieur au niveau de plage suivant.

***Dynamique sédimentaire :*** dépôt lacustre mis en place en milieu moyennement agité non loin de la rive. La granulométrie plus fine de la partie basse du site, par rapport à la partie haute, marque une baisse de l'hydrodynamisme pouvant être reliée à sa situation par rapport au rivage : plus éloignée de la rive et sous une tranche d'eau plus importante que la partie amont.

### **Phase Mar-Piec-03a et 03b**

#### **- M-Piec-03a**

Mise en place d'un niveau de galets vermiculés.

***Transect/coupe (Numéro de couche) :***

- transect NO-SE-AxeI (US-10)

- coupe 3201E (couche 12Haut)

***Datation :*** d'après les données stratigraphiques, dépôt postérieur à la moraine de fond et aux sables limoneux gris à limons gris précédents et antérieurement à 5070-4820 cal BC.

**Dynamique sédimentaire** : dépôt de plage de réduction mis en place en quelques années sur les rives du lac dans la zone de déferlement des vagues d'après Moulin (1991). Cette couche indique une période de bas niveau relatif du plan d'eau.

#### **- M-Piec-3b**

Mise en place d'un niveau de limons carbonatés graveleux riches en restes de végétaux dans la partie médiane du site.

**Transect/coupe (Numéro de couche)** :

- transect NO-SE-AxeI (US-09)
- coupe 2802W (couche 12)
- coupe 282W (couche 21)

**Datation** : les végétaux de cette couche ont livré la date  $^{14}\text{C}$  5070-4820 cal BC (Tab. 3.1).

**Dynamique sédimentaire** : dépôt permettant l'accumulation de débris de végétaux sans doute hérités du rivage dans un milieu relativement agité.

#### **Phase M-Piec-04**

Mise en place d'une couche de limons carbonatés sablo-argileux de couleur gris beige (US-08.1, 18 et 08.3, 20) contenant des tiges et oogones de Charophytes. Dans cette couche de 80 cm maximum qui recouvre la quasi-totalité du site, s'intercale une couche fine de sables et de débris de végétaux (US-08.2, 19)

**Transect/coupe (Numéro de couche)** :

- transect NO-SE-AxeI (US-08.1, 08.2 et 08.3)
- coupe 282W (couches 18, 19 et 20)

**Datation** : les végétaux de l'US-08.2 ont livré la date  $^{14}\text{C}$  5070-4820 cal BC (Tab. 3.1).

**Dynamique sédimentaire** : les dépôts de craie lacustre (US-08.1 et 08.3) se sont mis en place sur la berge lacustre soit en zone infralittorale ce qui prouve une période de haut niveau lacustre relatif. Cette phase est interrompue par un bref épisode régressif enregistré par l'US-08.2.

#### **Phase M-Piec-05**

Mise en place de limons carbonatés très sableux de couleur beige mêlés de débris de végétaux et de nombreux tests de mollusques aquatiques. Cette couche est plus épaisse dans la zone haute du site.

**Transect/coupe (Numéro de couche)** :

- transect NO-SE-AxeI (US-07)

- coupe 2802W (couche 11Base)

- coupe 282W (couche 17)

**Datation** : les végétaux ont livré la date  $^{14}\text{C}$  3800-3640 cal BC (Tab. 3.1).

**Dynamique sédimentaire** : ces dépôts se sont accumulés sous une faible tranche d'eau en milieu agité, ce qui marque le retour à une période de bas niveau lacustre relatif.

#### **Phase M-Piec-06**

Mise en place d'une accumulation de sables, graviers et galets sous forme d'un monticule d'environ 30 m de large et 0,5 m de haut dans la zone médiane du site.

**Transect/coupe (Numéro de couche)** :

- transect NO-SE-AxeI (US-06)

- coupe 2802W (couche 11)

- coupe 3206SE (couches 9 et 8)

**Datation** : d'après les données stratigraphiques, ce dépôt est postérieur à 3800-3640 cal BC. Du fait qu'il est composé de matériel remobilisé, une datation par analyse des éléments de matière organique qu'il contient, ne serait pas fiable.

**Dynamique sédimentaire** : la géométrie et la composition lithologique de ce dépôt caractérisent la formation d'un cordon littoral, nécessitant un hydrodynamisme relativement important pour sa mise en place en amont de la rive (Moulin, 1991).

#### **Phase M-Piec-07**

Mise en place de limons carbonatés de couleur gris beige contenant des tiges et oogones de Charophytes. Cette couche, dont l'épaisseur peut dépasser 0,50 m dans la partie aval du site, s'appuie contre le cordon amont.

**Transect/coupe (Numéro de couche)** :

- transect NO-SE-AxeI (US-05)

- coupes 272-273 W et 282W (couche 16)

- coupe B4 (couche 16)

- coupe L5 (couche 20)

**Datation** : par extrapolation fondée sur la stratigraphie, cette couche s'est mise en place entre 3800-3640 cal BC et 3504 av. J.-C.

**Dynamique sédimentaire** : ces dépôts de craie lacustre se sont mis en place dans la zone photique, sur la beine lacustre, soit en zone infralittorale, ce qui prouve une période de haut niveau relatif lacustre.

### **Phase M-Piec-08**

Les couches correspondant à l'occupation néolithique sont constituées de limons sableux et de limons graveleux riches en matière organique et charbons. Elles sont séparées par une couche de limon crayeux peu sableux.

Transect/coupe (Numéro de couche) :

- transect NO-SE-AxeI (US-04)
- coupe 3201E (couche 11 hors site)
- coupes 272-273 W et 282W (couches 15a et 15c)
- coupe B4 (couches 15a, 15b et 15c)
- coupe L5 (couches 16a à 5a)

Datation : les dates obtenues par dendrochronologie se situent entre 3504 et 3483 av. J.-C. alors que les dates <sup>14</sup>C sont comprises entre 3640-3490 et 3525-3263 cal BC (Tab. 3.1).

Dynamique sédimentaire : ces couches anthropiques se traduisent par de multiples apports dans une zone émergée riveraine pouvant être inondée lors de fortes crues. Durant ces périodes d'occupation, le plan d'eau est relativement bas.

### **Phase M-Piec-09**

Mise en place d'une couche actuellement discontinue de sables clairs renfermant de nombreux tests de mollusques aquatiques.

Transect/coupe (Numéro de couche) : coupes 272-273 W et 282W (couche 14)

Datation : par extrapolation fondée sur la stratigraphie, cette couche s'est mise en place entre 3483 av. J.-C. et 3140-2910 cal BC.

Dynamique sédimentaire : ce dépôt de beine distale marque un épisode de haut niveau lacustre relatif.

### **Phase M-Piec-08 et 10**

Alternance de couches riches en matière organique (limons tourbeux) et de limons gris clair.

#### **- M-Piec-10a**

Épaisse couche de limons tourbeux brun gris très noir qui présente une concentration en matière organique moindre en son milieu.

Transect/coupe (Numéro de couche) :

- transect NO-SE-AxeI (US-03)
- coupe 3201E (couche 10)
- coupe 2802W (couche 10)

- coupe 3206SE (couche 7)
- coupes 272-273 W et 282W (couche 13)
- coupe B4 (couche 13)
- coupe L5 (couche 4)

Datation : la base de cette formation est datée de 3140-2910 cal BC et son sommet de 2200-1890 cal BC (Tab. 3.1)

Dynamique sédimentaire : ces dépôts se sont développés dans la zone eulittorale marquant ainsi un bas niveau relatif du plan d'eau. L'affaiblissement des valeurs de carbone organique total (Fig. 3.23) pourrait être le reflet d'une hausse mineure du niveau du lac, insuffisante en amplitude ou en durée pour entraîner l'arrêt de la tourbification.

#### **- M-Piec-10b**

Alternance de limons foncés riches en matière organique et de limons gris clair dont les carbonates ont été lixivés.

Transect/coupe (Numéro de couche) :

- transect NO-SE-AxeI (US-02)
- coupe 3201E (couches 9 à 5)
- coupe 2802W (couches 9 à 4)
- coupe 3206SE (couches 6 à 3)
- coupes 272-273 W et 282W (couches 12 à 02)
- coupe L5 (couches 3 et 2)

Datation : les cinq datations réalisées sur des prélèvements issus de la coupe 272-273W sont 1781-1490 cal BC (couche 09), 522-344 cal BC (couche 07), 134-416 cal AD (couche 05), 537-674 cal AD (couche 04) et 670-890 cal AD (couche 03 ; Tab. 3.1).

Dynamique sédimentaire : les couches foncées riches en matière organique indiquent des bas niveaux du plan d'eau (zone eulittorale) alors que les limons clairs se sont mis en place lors de hauts niveaux relatifs du plan d'eau (zone littorale).

#### **Phase M-Piec-11**

Mise en place des limons sableux jaunes.

Transect/coupe (Numéro de couche) :

- coupe 3201E (couches 2, 3 et 4 ?)
- coupe 2802W (couche 2)
- coupe 3206SE (couche 2)

- coupes 272-273 W (couche 1b)

Datation : par extrapolation fondée sur la stratigraphie, cette couche s'est mise en place après 670-890 cal AD.

Dynamique sédimentaire : ces limons sableux indiquent une période d'inondation du site de Marin-Les Piécettes.

### **Phase M-Piec-12**

Mise en place d'un cordon littoral composé de graviers, galets et d'un peu de sable. Cet ensemble est mélangé en surface à des éléments constituant la terre végétale.

Transect/coupe (Numéro de couche) :

- transect NO-SE-AxeI (US-01b)

- coupes 272-273 W (lié à l'humus de surface)

Datation : cet ensemble est postérieur à 670-890 cal AD et comme pour la formation de la Phase M-Piec-06, une datation par analyse des éléments de matière organique qu'il contient, ne serait pas fiable.

Dynamique sédimentaire : une telle formation nécessite un hydrodynamisme important pour sa mise en place en amont de la rive (Moulin, 1991). Bien que la cote moyenne de ce cordon, 431,05 m, soit proche du niveau des hautes eaux du lac après les 1<sup>ère</sup> C.E.J., il servait de rive au lac avant ces travaux. (Fig. 2.10 et 2.11).

## 5. Conclusion

L'étude des coupes et sondages effectués au niveau du site de Marin-Les Piécettes permet de proposer une première séquence sédimentaire liée à l'enregistrement des variations du niveau du lac de Neuchâtel dans la zone exutoire depuis environ 5000 av. J.-C. (Tab.3.3). Les descriptions et analyses des niveaux de cette séquence permettent de les replacer dans leur environnement de dépôt.

Il apparaît alors que les phases M-Piec-02, 03a, 03b, 04b, 05,06,08 et 10a (US-11, 10, 09, 08.2, 07, 06, 04 et 03 de la stratigraphie générale) traduisent des périodes de bas niveaux moyens relatifs du plan d'eau alors que les phases M-Piec-04a, 04c et 07 (US-08.3, 08.1 et 05) sont liées à de hauts niveaux moyens lacustres. Les alternances observées durant la phase M-Piec-10b (US-02 de la stratigraphie générale) sont plus contrastées et plus nettes sur la coupe 272-273W. Les couches 14, 12, 10, 08, 06, 04, et 02 de la coupe 272-273W documentent des périodes de niveaux moyens relativement hauts du lac tandis que les 13, 11, 09, 07, 05 et 03 reflètent des périodes de bas niveau lacustre. L'analyse de la coupe B4 met en évidence deux périodes d'inondation supplémentaires, la première durant la phase d'occupation néolithique (phase M-Piec-08) et la seconde durant la mise en place de la phase M-Piec-10a (US-03 de la stratigraphie générale).

Les nombreuses datations réalisées sur les différentes coupes (Tab. 3.1 et 3.3) replacent ces enregistrements dans un cadre chronologique. Il est nécessaire de voir comment évoluent ces enregistrements sédimentaires dans l'espace et si de nouveaux événements s'intercalent au sein de cette séquence. C'est pourquoi, des sondages en périphérie du site archéologique de Marin-Les Piécettes puis autour des sites de Marin-La Tène et Marin-Pré de la Mottaz ont été effectués. Par la suite, des sondages sont réalisés plus en aval et sur le canton de Berne afin d'avoir une vision plus globale des enregistrements sédimentaires de la zone exutoire du lac de Neuchâtel. Par ailleurs, d'un point de vue archéologique, ils permettront de délimiter spatialement le site de Marin-Les Piécettes et d'augmenter les connaissances quant aux différentes occupations anthropiques de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

## **4. ZONE EXUTOIRE DU LAC DE NEUCHÂTEL**



## 4. ZONE EXUTOIRE DU LAC DE NEUCHÂTEL

---

Ce chapitre présente les stratigraphies observées lors de la réalisation des coupes et transects dans la zone exutoire, depuis l'actuel exutoire jusqu'au resserrement entre les buttes de Wavre et de Gals.

L'ordre de présentation des transects et des coupes est conditionné par leur situation géographique, permettant un regroupement en cinq secteurs. Les premiers transects étudiés sont ceux situés en périphérie du site de Marin-Les Piécettes. Ils permettent de compléter l'étude de cas décrits dans le chapitre 3. Ensuite sont présentés les sondages réalisés dans le Seeland en rive gauche du canal de la Thielle, avec ceux en périphérie du site de Marin-La Tène, entre Marin-La Tène et le site de Marin-Pré de la Mottaz, et enfin ceux effectués en aval de ce dernier site (Fig. 4.1). Les sondages de la rive droite du canal sont ensuite resitués par rapport aux transects de Lüdi (1935) avant d'être décrits. Pour chaque secteur, les numéros sont identiques entre les sondages, ce qui permet des corrélations intra-secteurs, présentées dans les tableaux de synthèse figurant à la fin de chaque sous-partie. Elles seront complétées par des corrélations inter-secteurs dans le chapitre 5. Elles permettront de cartographier d'une part les changements à petite échelle de la sédimentation de la zone exutoire, liés aux variations du niveau du lac, et d'autre part des événements ponctuels, liés aux divagations des chenaux de la Thielle moyenne. Il faut toutefois noter que la compaction des niveaux n'est pas homogène sur l'ensemble de la zone exutoire, ce qui entraîne des perturbations dans la compréhension des corrélations.

Pour compléter cette étude sédimentaire de la zone exutoire, l'apport des profils géophysiques dans la compréhension de l'évolution des séquences sédimentaires est explicité. Ensuite le cas particulier des cordons littoraux et des dunes est traité afin d'apporter tous les éléments de réponse possibles pour la compréhension des variations du niveau du lac de Neuchâtel.

Enfin, treize éléments parvenant de plusieurs sondages ont fait l'objet de datations radiochronologiques  $^{14}\text{C}$  (Tab. 4.1). La préparation et l'analyse des prélèvements ont été réalisées par le laboratoire Radiocarbone de l'Institut de physique de l'Université de Berne.

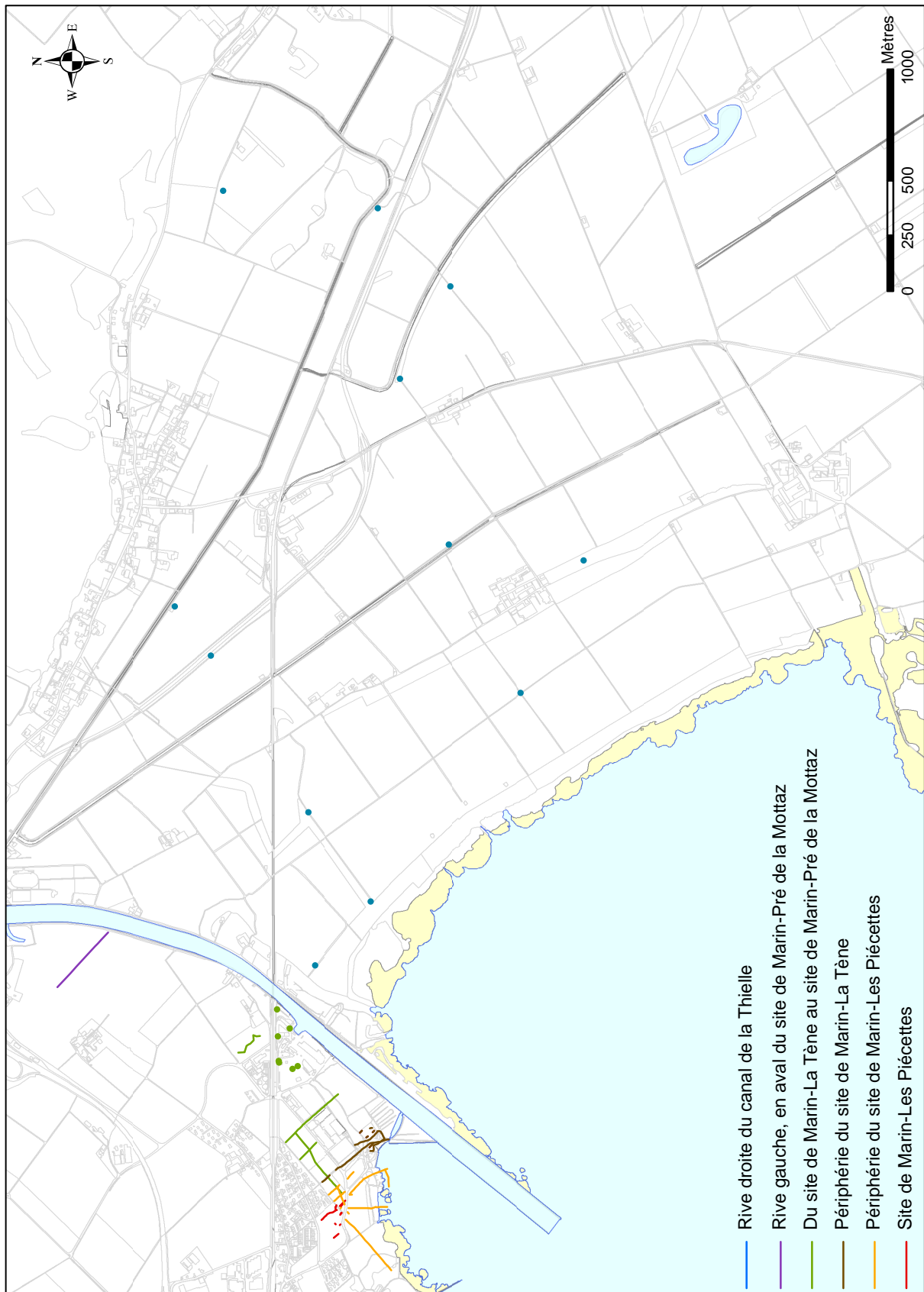


Fig. 4.1 : Carte des transects et sondages réalisés et analysés de la zone exutoire du lac de Neuchâtel.

Site	Séquence sédimentaire	Unité sédimentaire	Matériel	Age C14 BP	Age (1 sigma)	Age (2 sigmas)	N° de laboratoire (Berne)
La Tène		pieu 159	bois (chêne)	2674 ± 23	833-805 cal BC	849-798 cal BC	B-9247
La Tène		pieu 176	bois (chêne)	2494 ± 25	647-547 cal BC	769-535 cal BC	B-9248
La Tène		pieu 178	bois (chêne)	2473 ± 31	752-686 cal BC	673-484 cal BC	B-9249
Marin-Pré de la Mottaz		B4	tourbe	3542 ± 36	1938-1874 cal BC	1971-1754 cal BC	B-9250
Marin-Pré de la Mottaz		B6	tourbe	4441 ± 34	3110-3018 cal BC	3131-3003 cal BC	B-9251
Marin-Pré de la Mottaz		H411	pieu	1259 ± 28	690-752 cal AD	670-783 cal AD	B-9252
Marin-Pré de la Mottaz		No833	pieu	1107 ± 22	942-975 cal AD	892-986 cal AD	B-9253
Marin-Prèbit		3880T	tourbe	4382 ± 26	2993-2927 cal BC	3030-2914 cal BC	B-9254
Gampelen		Berne-9C	tourbe	6298 ± 30	5268-5225 cal BC	5323-5215 cal BC	B-9255
Gampelen		Berne-10B	tourbe	7724 ± 32	6551-6505 cal BC	6611-6471 cal BC	B-9256
Gampelen		Witzwil-Düne-100	tourbe	1288 ± 30	674-717 cal AD	663-776 cal AD	B-9257
Gampelen		Ründi-Düne-1	bois	10165 ± 50	10024-9809 cal BC	10099-9735 cal BC	B-9258
Thielle-Wavre		A911centre.C1.A	tourbe	4165 ± 22	2811-2745 cal BC	2815-2665 cal BC	B-9259

Site	Séquence sédimentaire	Unité sédimentaire	Matériel	Age C14 BP	Age (1 sigma)	Age (2 sigmas)	N° de laboratoire (ETH)
Marin-Prèbit	3880	pieu-5	bois	1330 ± 45	650-710 cal AD	630-780 cal AD	ETH-32835
Marin-Pré de la Mottaz	chenal2	base chenal		3080 ± 65	1421-1268 cal BC	1466-1190 cal BC	ETH-36386-MAR-PM1
Marin-Pré de la Mottaz	chenal2	base chenal		3130 ± 50	1455-1374 cal BC	1501-1290 cal BC	ETH-36386-MAR-PM2
Marin-Pré de la Mottaz	chenal2	base chenal		3250 ± 50	1539-1489 cal BC	1635-1421 cal BC	ETH-36386-MAR-PM3
Marin-Pré de la Mottaz	chenal2	base chenal		3710 ± 50	2146-2032 cal BC	2210-1954 cal BC	ETH-36386-MAR-PM4
Marin-Pré de la Mottaz	chenal2	base chenal		3690 ± 50	2141-2021 cal BC	2205-1938 cal BC	ETH-36386-MAR-PM5

Les dates sont calibrées à l'aide de Calib Rev 5.0.1 (Reimer et al., 2004; Stuiver and Reimer, 1993).

Les dates réalisées au laboratoire de l'ETH ont été financées par l'OMAN.

Tab. 4.1 : Dates radiocarbone obtenues sur les prélèvements effectués en dehors du site de Marin-Les Piécettes.

# 1. Analyse des séquences sédimentaires

## 1.1 Périphérie du site de Marin-Les Piécettes

Les stratigraphies des sondages recoupant le site de Marin-Les Piécettes, ou situées entre ce site et le lac actuel, sont présentées ici (Fig. 4.2). Ces données permettront d'obtenir une corrélation des niveaux sédimentaires depuis le site jusqu'aux dépôts lacustres actuels. Pour ce secteur, les numéros des couches ont pour préfixe "PLP" et ceux des carottes sont toujours précédées d'un C.

### 1.1.1. Axe VII

L'Axe VII a été réalisé dans le but de limiter la zone aval d'une habitation repérée au nord du Chemin de la Cornée lors d'une campagne de fouille. C'est pourquoi, les quatre carottages réalisés sont disposés parallèlement à l'Axe I du chapitre 3 et espacés de 2 m.

La séquence sédimentaire traversée est constituée à la base, de limons crayeux (PLP-05), suivis d'une couche archéologique épaisse de 7-8 cm (PLP-06) dans C1 et C2 (Pl. 1)<sup>8</sup>. Cette couche tend à disparaître dès C3, limitant l'extension sud-ouest d'un secteur d'habitation du site de Marin-Les Piécettes. Une couche épaisse de limons tourbeux (PLP-08) recouvre la couche archéologique, elle-même enfouie sous une alternance de limons argileux gris clair et brun foncé (PLP-10). La terre végétale recouvre cette séquence.

### 1.1.2. Axe II

Le long des 65 m de ce transect, seize carottages ont été réalisés (Pl. 2). Cet axe présente, dans l'ensemble, la même stratigraphie que l'Axe I.

La couche sableuse, comprise entre les limons crayeux lacustres (PLP-05) et la couche archéologique (PLP-06) des carottes AI.C2 et C7, est absente. La séquence observée commence par une couche de limons crayeux à oncolithes (PLP-04). Puis, une déclivité du toit du limon crayeux suivant (PLP-05) apparaît entre 430 et 429,60 m dans C3 à C16. L'épaisseur de la couche archéologique (PLP-06) varie de 2 cm (C14Bis) à 52 cm (C11). Sa base est relativement homogène, en-dehors de la déclivité du toit de PLP-05. Entre les carottes 4 et 8, un dépôt crayeux (PLP-06b) s'intercale au sein même de cette couche séparant deux phases d'occupation (PLP-06a et c). Sous ces limons crayeux PLP-06b, la couche archéologique (PLP-06a) s'amincit.

Au-dessus de la deuxième phase d'occupation (PLP-06c), une fine couche de limons

<sup>8</sup> Les transects décrits ici, constituant le volume planche, sont sur le CD placé à la fin de ce volume.

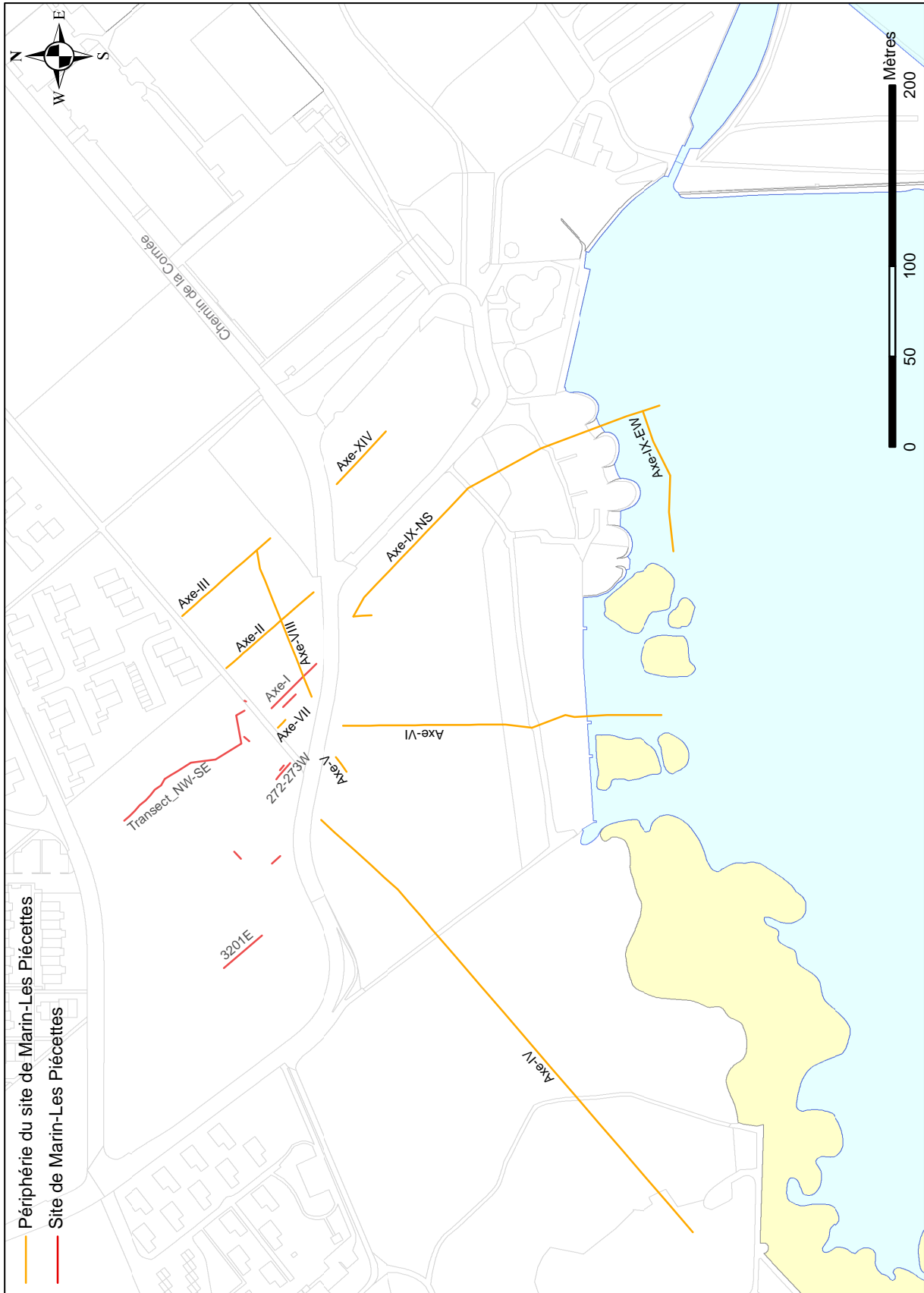


Fig. 4.2 : Carte des transects réalisés en périphérie du site de Marin-Les Piécettes.

crayeux (PLP-07) est présente au niveau de la C4. Ce dépôt prouve que le lac a recouvert tout le site puis s'est retiré (érosion du niveau) avant de permettre la mise en place de limons tourbeux (PLP-08) et des formations supérieures, à savoir l'alternance de limons crayeux et tourbeux (PLP-10) et les limons sableux jaunes (PLP-16).

Un cordon littoral (PLP-17) est observé dans les C13 et C14Bis, soit au sud-est de l'Axe.

### **1.1.3. Axe III**

L'Axe III mesure 66 m de long et comprend quatorze carottes. Il présente la même séquence sédimentaire que les deux transects précédents.

La base de la séquence est comparable à celle de l'Axe II. Elle est constituée d'un dépôt limono-sableux plus ou moins riche en débris végétaux (PLP-04), dans lequel des passées contenant des oncolithes sont observables (Pl.3), et dont l'altitude maximale avoisine 429,20 m, puis d'une couche de limons crayeux (PLP-05).

La couche archéologique (PLP-06) est moins importante (1 à 6 cm) et moins riche que dans l'Axe II, faisant penser à une couche lessivée. Elle s'appauvrit dans les C12 et C13, puisque seuls de petits charbons ont été trouvés. Cette phase d'occupation est recouverte, au sud de C4, d'une couche de limons crayeux (PLP-07) qui culmine vers 429,90 m et qui est à rapprocher de la couche de transgression post-occupation déjà observée dans les axes précédents. Viennent ensuite les limons argileux gris clair et brun foncé (PLP-10) qui sont entaillés, tout comme le toit des limons tourbeux, par une couche de terre végétale et de remblais, rapportés lors de l'aménagement du terrain de football.

Ainsi, par la présence d'une simple couche archéologique lessivée jusqu'à la carotte 13, cet Axe se situe sur la bordure nord-est de la station littorale néolithique de Marin-Les Piécettes.

#### ***Remarque :***

La C14 présente une épaisseur importante de limon tourbeux (PLP-08) qui recoupe une partie des limons crayeux (PLP-05-07). Afin de comprendre et d'interpréter cette brusque variation, des carottes supplémentaires seraient nécessaires en amont et surtout en aval de la C14. Malheureusement, la présence d'un parking goudronné au Sud de ce sondage ne permet pas de réaliser de telles observations.

#### 1.1.4. Axe VIII

Cet axe, d'orientation NE-SW et long de 84 m, recoupe les Axes I, II et III (Fig. 4.2). Comprenant huit carottes, il reprend les sondages AI.C5Bis, AII.C9 et AIII.C13. La séquence observée est celle décrite dans la partie aval de la stratigraphie générale du site de Marin-Les Piécettes. L'absence de couche archéologique (PLP-06) dans les carottes AVIII.C3 et AIII.C13 (Pl. 4) permet ainsi de limiter l'extension NE du site de Marin-Les Piécettes. Le cordon littoral (PLP-17) observé en aval de l'Axe I (Fig. 3.2) est uniquement recoupé par les carottes des axes déjà effectués, à savoir les AVIII.C3 et AI.C5Bis.

#### 1.1.5. Axe IV

Les six premières carottes ont été réalisées durant l'été 2004. Suite aux descriptions de ces premières séquences, le transect a été complété dans sa partie SW par dix-sept carottes en 2005 afin de localiser d'éventuels sites archéologiques, dans la partie W des bois de Marin-Epagnier ainsi que sur un secteur de la propriété de la Maison de santé de Préfargier, située entre le site de Marin-Les Piécettes et le lac de Neuchâtel. Les sondages réalisés se répartissent sur pratiquement 150 m. C1 étant près de la route des Marais et ayant, de ce fait, subi des remaniements dans sa partie supérieure, elle n'est pas prise en compte dans l'interprétation des événements post-installation du limon tourbeux. Enfin, C23 ayant traversé sur plus d'un mètre un niveau très riche en briques (donnant l'impression de traverser une paroi de brique) et son sommet ne semblant pas être en place, elle n'est pas prise en compte dans l'interprétation.

La base de tous les sondages est constituée d'une alternance de couches sableuses (PLP-02-04) et de limons crayeux (PLP-01-03-05/07) pouvant tous contenir quelques graviers (Pl.5). Les premiers limons sableux, PLP-02, correspondent à des dépôts proches du littoral et ont des altitudes maximales comprises entre 429,40 m et 430,10 m. Les deuxièmes, PLP-04, ont tendance à s'épaissir vers l'ouest. Les limons crayeux supérieurs (PLP-05/07) ont une altitude maximale de 430,60 m. L'absence d'indices de couche archéologique néolithique associée au site de Marin-Les Piécettes (PLP-06), ne permet pas de séparer PLP-05 de PLP-07.

Sur ces limons crayeux, reposent des limons tourbeux (PLP-08) dont les cotes sont comprises entre 430,37 et 430,58 m dans les deux premières carottes (C1 et C2) alors qu'elles varient entre 430,42 et 430,68 m dans C13, C14, C15 et C17. Cette couche PLP-08 est absente des autres carottes. Au sommet de ces limons tourbeux (PLP-08) se retrouve l'alternance des limons argileux gris clair et brun foncé (PLP-10). La base de cet ensemble présente une couche de limons crayeux dans C13, C15 et C17, alors que le toit de ces limons argileux subit une troncature dans C2 à C5.

Le cordon littoral (PLP-17) découvert lors de la réalisation des carottes AI.C5Bis à C2 apparaît dans C1 à C3. Enfin, des graviers ont été observés dans la terre végétale de C8 à C11, pouvant être associés soit à PLP-20 soit à PLP-21.

#### **1.1.6. Axe V**

Trois carottages ont été réalisés le long de ce transect de 19 m. La stratification des unités sédimentaires est identique à celle du site de Marin-Les Piécettes.

La base est constituée du dépôt de sable PLP-04, pouvant correspondre à une plage dont l'altitude maximale avoisine 429,10 m (Pl. 6). Les limons crayeux qui suivent (PLP-05) contiennent quelques charbons au sommet (PLP-06), sous forme d'une petite couche dans C2, ou de façon diffuse dans C1. Une mince couche crayeuse (PLP-07) les recouvre. Les limons tourbeux (PLP-08) présents ensuite disparaissent entre C2 et C3. Enfin, les couches de limons argileux gris clair et brun foncé (PLP-10) deviennent plus crayeuses au niveau de C3.

Les graviers et galets trouvés dans la terre végétale et les remblais peuvent soit rappeler le cordon littoral PLP-17, soit être issus de la pollution des remblais lors de l'aménagement de la route des Marais.

#### **1.1.7. Axe VI**

Vingt six carottes, dont quatre dans le lac, se répartissent sur 176,20 m. L'écartement entre des carottes aval fluctue en fonction de la position des chalets de villégiature.

Dans le lac, la séquence observée est composée d'un niveau graveleux à la base, recouvert de limons crayeux puis d'un niveau sableux, dans lequel s'intercale un lit de graviers et galets entre 15 et 20 cm de profondeur (Pl. 7). Ces dépôts doivent être récents.

Sur la rive, un dépôt sableux plus ou moins graveleux et limoneux (PLP-02) est recouvert dans C17, C18 et C20 de limons crayeux (PLP-03) qui culminent à 428,32 m. Des limons riches en matière organique (PLP-04) se développent ensuite (C9, C10 et C17 à C19), et deviennent même tourbeux dans les C11 à C16 et dans C20. Cette couche organique, marqueur d'une baisse du niveau lacustre, repose soit sur le dépôt sableux, soit sur les limons crayeux. Dans les limons à passées tourbeuses, d'altitude maximale 428,93 m, s'intercalent deux couches de limons crayeux (C13), contenant quelques charbons dans les C17 à C19.

Viennent ensuite des limons crayeux (PLP-05), homogènes dans la zone aval sur une épaisseur maximale de 115 cm. Dans la zone amont, 3 à 4 couches riches en matière organique et charbons les recourent. La première (PLP-05b) qui apparaît dans les C4 à C6, a une épaisseur variant de 2 à 4 cm, et est comprise entre les cotes 429,52 et 429,16 m. Cette

phase archéologique, datée au  $^{14}\text{C}$  de 3770-3620 cal BC, a fourni des tessons de céramique en C5 et C6 (Tab. 3.1). La deuxième (PLP-05d), recoupée de C4 à C9 entre 429,81 et 429,42 m d'altitude, a une épaisseur de 2 cm (C8) à 9 cm (C4). Dans C7, une couche de limons crayeux s'intercale, séparant peut-être deux phases d'occupation. La date  $^{14}\text{C}$  obtenue est aussi de 3770-3620 cal BC (Tab. 3.1). La troisième phase d'occupation (PLP-06) est présente de C1 à C7. Au vu de sa position stratigraphique et de la date  $^{14}\text{C}$  que livre un charbon de bois (3540-3370 cal BC, Tab. 3.1), elle peut être rattachée au site néolithique de Marin-Les Piécettes. C4 et C5 ont livré chacune un tesson de céramique, puis la couche devient très diffuse de C6 à C7, permettant de situer la limite aval du site entre C5 et C6. Comme pour les autres axes qui la recourent, des limons crayeux sont présents dans son toit (PLP-07).

Le limon tourbeux (PLP-08) observé sur l'ensemble des autres axes disparaît dans les trois dernières carottes réalisées sur la berge, C20, C21 et C22Bis.

La séquence supérieure passe progressivement de l'alternance de limons argileux gris clair et brun foncé (PLP-10, C1 à C3) à des limons crayeux (C9 à C16). C1 à C3 et C9 à C14 recourent deux couches de graviers et galets dans leur partie sommitale appartenant à deux cordons littoraux différents, respectivement PLP-17 et PLP-21. C17 et C18 présentent entre les limons crayeux supérieurs (PLP-10) et la terre végétale actuelle, un dépôt de pavement de plage (PLP-20, Fig. 4.3). Il s'agit d'un niveau unique de galets jointifs, bien calibrés et de grosse taille (10 à 15 cm minimum), dont certains présentent une corrosion superficielle que l'on peut rapprocher du type biokarst (Schneider *et al.*, 1983) : ces galets vermiculés sont caractérisés par un réseau méandrique de dépressions étroites affectant leur surface supérieure (Fig. 4.4). La mise en place de ce pavement résulte des processus de réduction progressive de dépôts riverains, hétérométriques à l'origine (Forel, 1892). La mise en place d'un tel dépôt peut se faire en quelques années (Moulin, 1991). Ce faciès correspond à la zone où l'énergie des vagues est maximale c'est-à-dire dans la zone de déferlement. Ce dépôt de plage peut être contemporain des graviers et galets observés de C9 à C14 (PLP-21).

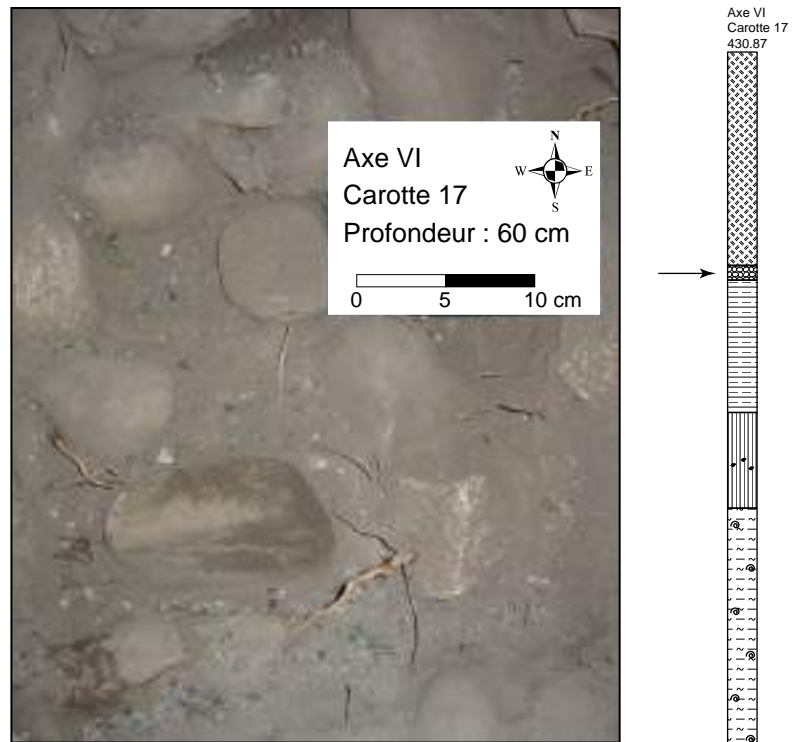


Fig. 4.3 : Pavement de galets de plage dont certains sont vermiculés. Vue du dessus.



Fig. 4.4 : Galet vermiculé prélevé dans le sondage AVI.C17.

### 1.1.8. Axe IX N-S

Seize carottes, dont trois dans le lac, constituent ce transect long de 205,50 m. Les carottes C11, C12 et C13 sont très espacées en raison de la présence des chalets (Pl. 8).

De C1 à C13, à savoir l'ensemble des carottes effectuées hors du lac, la base de la séquence est similaire à celle observée dans les axes précédents. Sont d'abord présents des limons crayeux (PLP-03), dont l'épaisseur dépasse à 1,49 m dans C7. Suit une couche de sables (PLP-04) plus ou moins propres pouvant contenir des graviers ou des oncolithes à la base. Dans cette couche qui culmine à 429,10 m, des charbons sont trouvés en grande quantité, notamment en C7 et C8. Associé à une plage, PLP-04 est recoupé par une mince couche d'inondation de 2 cm, constituée de limons crayeux, vers 428,80 m (C6).

Des limons crayeux peu épais (PLP-05a) recouvrent les sables en C5, marquant une nouvelle phase d'inondation. De C2 à C5, une couche sablo-argileuse tourbeuse, pouvant contenir des graviers et charbons (PLP-05b ou d), recouvre le tout sur une épaisseur maximale de 23 cm (C5). Plus en aval (C9 à C11), une autre couche sablo-argileuse, riche en matière organique mais non tourbeuse (PLP-05b ou d), contenant aussi des graviers et des charbons, est observable vers 429 m, sur une épaisseur de 7 cm. L'absence de couche charbonneuse à ces altitudes dans les carottes intermédiaires C6 à C8, soit sur 40 m, ne permet pas de dire s'il s'agit d'un même niveau qui a été érodé ou si ce sont deux occupations bien différentes.

Suivent deux couches crayeuses (PLP-05e et 07) dont la plus élevée atteint l'altitude de 429,90 m. Dans C1, elles englobent deux passées charbonneuses (PLP-05b ou d et PLP-06). Un pieu ou morceau de bois, dont le sommet s'arrête dans cette couche à charbons (PLP-06) est enfoncé dans les limons crayeux. La première couche charbonneuse est comprise entre 429,04 et 429,07 m alors que la seconde se situe entre 429,35 et 429,40 m. La position sédimentaire de cette dernière est exactement celle du site néolithique de Marin-Les Piécettes. La mise en place de cet ensemble crayeux et tourbeux est liée à de nombreuses variations du niveau du lac de Neuchâtel.

Le tout est recouvert d'une couche de tourbe (PLP-08) comprise entre 429,43 m (C1) et 430,20 m (C11). Absente en C13, elle est remplacée par un dépôt de sable (PLP-09), pouvant correspondre à un dépôt de plage ou de remplissage de chenal. Vient ensuite une alternance (PLP-10) de limons argileux gris clair et brun foncé au Nord, C1 à C6, qui passe progressivement à un limon crayeux au sud, C7 à C13. Ce phénomène a déjà été observé dans les axes situés au sud de la route des Marais (*cf.* Axes IV et VI).

Les niveaux sableux et graveleux (PLP-17) du sommet des trois premières carottes, C1 à C3, sont à rattacher au cordon littoral présent sous la route des Marais.

Quant aux trois sondages réalisés dans le lac, C14 à C16, ils présentent à la base une couche de limons crayeux qui recouvre une couche de graviers non traversée pendant les carottages. Suit une alternance de sables plus ou moins fins et de limons crayeux. A noter que plus les carottes ont été réalisées près du rivage plus les éléments qui les constituent sont grossiers ce qui traduit bien une augmentation de l'hydrodynamisme du milieu de dépôt. Ces variations se font de façon si rapide que peu de corrélations peuvent être proposées.

#### **1.1.9. Axe IX W-E**

Ce transect, réalisé entièrement dans le lac et reliant les Axes VI et IX, est composé de six carottes réparties sur 168,4 m. Du fait de l'espacement entre chaque carotte et des profondeurs de prospection limitées, liées aux difficultés d'investigation et ce quelle que soit la méthode employée, aucune corrélation n'est possible avec les autres axes du secteur.

Les couches les plus profondes sont composées de graviers pouvant être incorporés dans une matrice limono-crayeuse (AVI.C26 et AIX N-S.C15 et C17 ; Pl. 9). Elles sont recouvertes par des limons crayeux épais de 30 à 80 cm. Des niveaux sableux à graveleux alternent avec des limons crayeux qui peuvent atteindre 50 cm d'épaisseur mais aussi ne pas exister dans certaines carottes (Axe IX N-S.C18 et C20). Le sommet de la séquence est constitué d'un dépôt sableux dans lequel s'intercale un lit de graviers et galets entre 15 et 20 cm de profondeur. Cette dernière observation rappelle la description de AVI.C26.

#### **1.1.10. Axe XIV**

Cet axe, constitué de trois sondages répartis tous les 20 m dans le prolongement de l'Axe III, permet d'avoir des observations intermédiaires entre l'Axe IX (*cf.* ci-dessus) et les relevés "Camping1998" réalisés par l'OMAN, et détaillés en 1.2.1. de ce chapitre.

Ces carottes présentent une séquence identique à celle observée dans les axes précédents (Pl. 10), avec à la base les sables (PLP-04) surmontés des limons crayeux (PLP-05/07) puis de la couche tourbeuse (PLP-08). Suit l'alternance de limons plus ou moins foncés (PLP-10) dont la base est constituée de limons crayeux. Dans C2, des couches plus sableuses s'intercalent. Tout comme pour les Axes IV, VI et IX N-S, l'alternance de limons argileux gris clair et brun foncé au nord passe à des limons crayeux au sud. C2 présente, au toit de l'alternance de limons et à la base de la terre végétale, une couche riche en graviers et galets associée au PLP-17.

Ainsi, pour le secteur périphérique du site de Marin-Les Piécettes, les séquences sédimentaires des axes sont relativement homogènes, confirmant l'unique influence du lac dans

les environnements de dépôts (Tab. 4.2). Un seul niveau de sable (AIX N-S.C13) pourrait être rapproché d'une influence fluviale.

## 1.2. Périphérie du site de Marin-La Tène

Ce paragraphe regroupe l'ensemble des sondages effectués autour et sur le site de Marin-La Tène. Ils sont plus proches du canal de la Thielle que les précédents (Fig. 4.1 et 4.5). La numérotation des niveaux est précédée de PLT pour ce secteur.

### 1.2.1. Axes XII et Camping1998

L'Axe XII est parallèle aux axes VII, II et III du site de Marin-Les Piécettes (Fig. 4.5). Il permet de prolonger jusqu'au Chemin de la Cordée les observations effectuées par l'OMAN, Axe Camping1998, lors du suivi des travaux d'aménagement réalisés en 1998 entre le terrain de football et le lac, traversant ainsi le site de Marin-La Tène. Avec les quatre carottages réalisés pour l'Axe XII et le report de l'AXI.C12, le transect est constitué de quarante et une carottes réparties sur 281 m. Pour l'Axe Camping1998, la numérotation des carottes est reprise de l'OMAN, allant de la stratigraphie 1 au SE à la stratigraphie 36 au NW, simplifiées par S suivi du numéro. Les deux axes, XII et Camping1998, sont considérés comme un seul et même axe dans la description ci-après (Pl. 11).

Les limons crayeux (PLT-03) constituent la base de la séquence. Ils sont recouverts par une couche sableuse et/ou graveleuse pouvant contenir des oncolithes (PLT-04). Des limons crayeux sont à nouveau présents (PLT-05/07), avec des alternances latérales plus ou moins sableuses, conséquentes à des zones à hydrodynamisme variable selon la morphologie du rivage. Entre S8 et S7 ainsi que dans S7, deux pilotis en chêne (V11 et V12) ont été découverts. Leur sommet se situe à 429,55 m (V11) et 429,43 m (V12) dans les limons crayeux (PLT-05/07) alors que leur base n'est visible que pour l'un d'entre eux dans les limons crayeux-sableux (base PLT-05/07). Le pilotis V12, daté par dendrochronologie par P. Gassmann, a livré la date 3258 av. J.-C. Bien que situé près d'une pile du pont Vouga, cette datation empêche de l'inclure à cette structure datée, elle, de l'Age du Fer (Fig. 4.5). Ce dépôt, recoupé par les remblais modernes au SE de la coupe, culmine à 430,20 m au NW. Dans cette partie NW, donc dans l'Axe XII, quelques charbons roulés présents dans la partie sommitale des limons graveleux (PLT-05/07), marquent ainsi la proximité du site archéologique de Marin-Les Piécettes. Vient ensuite un dépôt de limons tourbeux (PLT-08), d'une épaisseur variant entre 15 et 30 cm, et dont l'altitude sommitale est comprise entre 429,90 et 430,60 m.

Lithologie	Niveau	Axe VII	Axe II	Axe III	Axe VIII	Axe IV	Axe V	Axe VI	Axe IX N-S	Axe XIV	Environnement	Datation
Humus de surface et colluvions en haut du site		431,09 m	431,34 m	430,80 m	431,28 m	431,49 m	431,10 m	431,48 m	431,19 m	430,94 m	Émergé	
cordons littoral lié ?	PLP-21					431,26 m		431,16 m			Éulittoral à supralittoral	
pavement de plage	PLP-20					430,60 m		430,20 m				
Graviers et galets sableux (cordons littoral)	PLP-17		431,18 m		431,17 m	431,42 m		431,36 m	430,99 m	X	Éulittoral à supralittoral	
Limons sableux brun jaune	PLP-16	430,84 m	430,74 m		431,01 m					X	Infralittoral	
sable et graviers	PLP-11								430,15 m		fluviale	
Chenal									429,95 m			
Altérence de : - limons carbonatés - limons tourbeux	PLP-10	430,72 m	430,46 m	430,44 m	430,95 m	430,82 m	430,58 m	430,44 m	430,62 m		Infralittoral Rive	
Sable	PLP-09								430,30 m		Rive ou chenal ?	
Limons tourbeux	PLP-08	430,44 m	430,26 m	430,22 m	430,40 m	430,68 m	430,26 m	430,28 m	430,20 m	430,18 m	Rive	
Limons crayeux	PLP-07		430,00 m	429,94 m			430,08	430,10 m	429,90 m	429,99 m	Infralittoral	
Niveau archéologique 3 néolithique	PLP-06c	430,25 m	430,08 m	430,05 m	430 m			430,06 m	429,40 m		Émergé	
Limons carbonatés	PLP-06b		429,83 m								Infralittoral	3540 à 3370 av. J.C.
Niveau archéologique 3 néolithique	PLP-06a		429,77 m								Émergé	
Limons crayeux	PLP-05e	430,20 m	430,00 m	430,00 m	429,98 m	430,60 m		429,92 m	429,35 m		Infralittoral	
Niveau archéologique 2	PLP-05d							429,81 m	429,07 m		Émergé	3770 à 3620 av. J.C.
Limons crayeux	PLP-05c							429,66 m			Infralittoral	
Niveau archéologique 1	PLP-05b							429,52 m			Émergé	3770 à 3620 av. J.C.
Limons crayeux	PLP-05a							429,50 m	428,92 m		Infralittoral	
Limons crayeux à tests de mollusques aquatiques et débris végétaux et oncolites	PLP-04		429,10 m	429,22 m	429,00 m	430,10 m	429,10 m	429,40 m	429,10 m	429,16 m	Rive	
Limons crayeux	PLP-03					429,70 m		428,32 m	428,84 m	428,78 m	Infralittoral	
Sables et débris de végétaux	PLP-02					429,40 m		427,57 m			Infralittoral sup. à rive	
Limons crayeux sableux	PLP-01					X					Infralittoral	

Tab. 4.2 : Synthèse des formations du secteur périphérique au site de Marin-Les Piécettes. 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.

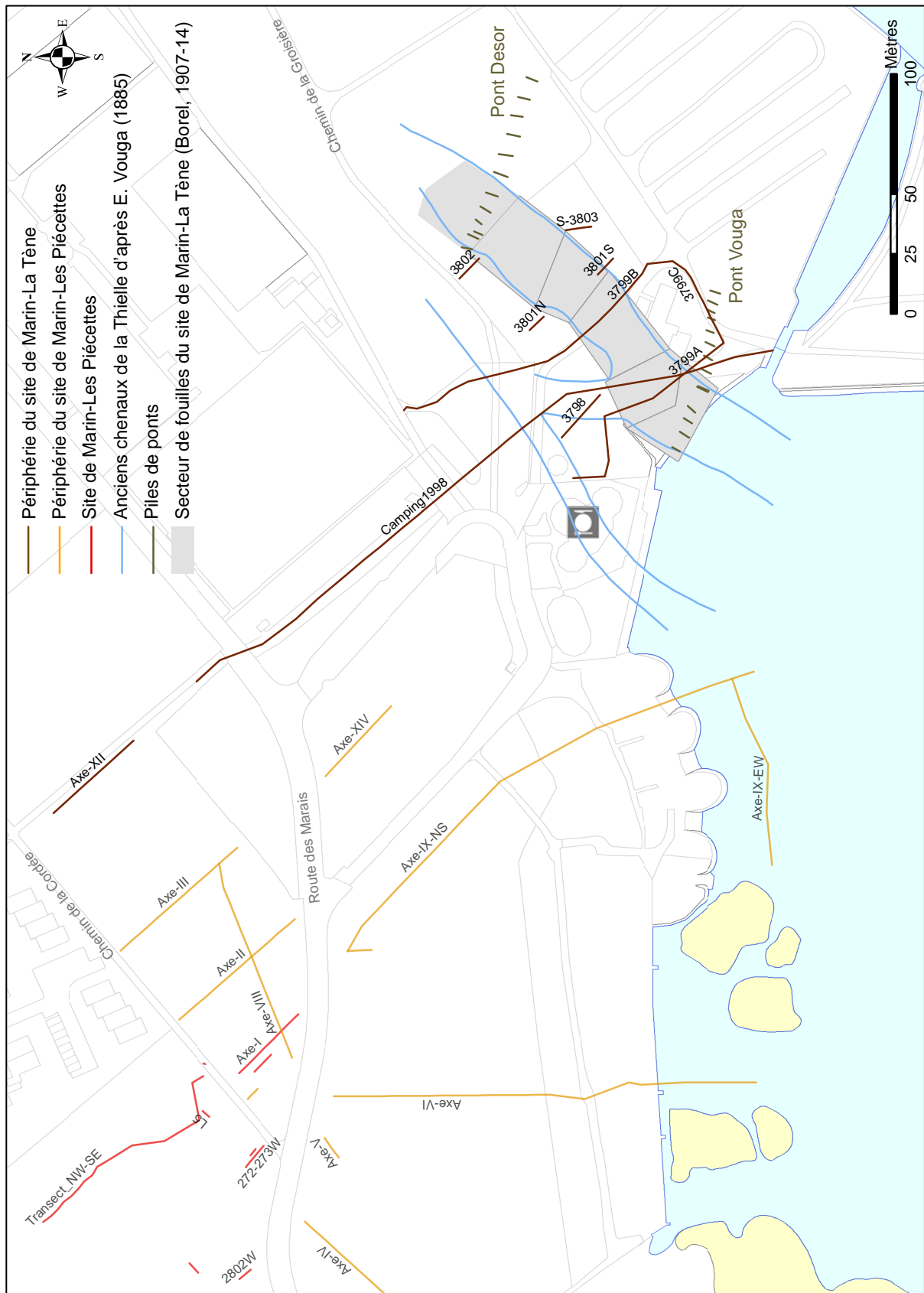


Fig. 4.5 : Carte des transects réalisés en périphérie du site de Marin-La Tène.

De S26 à S20, la base, constituée de limons sableux lacustres et de limons tourbeux, est recoupée par un ensemble sableux pouvant contenir des graviers. Cet ensemble caractérise un premier chenal (PLT-09) dont l'altitude de base est inférieure à 429,30 m voire 429 m.

La suite de la séquence sédimentaire est constituée d'une alternance de limons argileux gris clair et de limons argileux brun foncé (PLT-10a), pouvant se rapprocher de limons tourbeux (S32 et 31).

De S32 à S21, un nouveau chenal (PLT-11) recoupe la séquence. L'altitude minimale de la base de cette formation est difficile à déterminer car elle se situe au niveau du chenal précédent (PLT-09), mais il est possible qu'elle soit inférieure à 429,30 m. Les remplissages sableux les plus hauts se situent vers 431,40 m.

Ensuite, pour la séquence générale, au gré des variations du niveau du lac, une alternance de niveaux limono-argileux gris clair et limono-argileux brun foncé (PLT-10b) s'est déposée.

De S21 à S15, une baisse du niveau du lac va entraîner une érosion des dépôts fins jusqu'au toit des limons crayeux inférieurs (PLT-05/07). Cette surface érodée va servir d'appui à un cordon littoral (PLT-13) constitué de galets et graviers à matrice plus ou moins sableuse. L'altitude minimale de ce cordon est à 429,50 m dans S15 et il culmine à 431,60 m en S19. Un chenal, qui a fait l'objet de fouilles par P. Vouga (PLT-14), s'appuie sur le flanc SE de ce cordon littoral. Malgré les fouilles, un reliquat des sédiments d'origine permet d'affirmer qu'il est composé de sable.

La hausse du niveau du lac va permettre la mise en place de la suite de l'alternance des limons plus ou moins foncés (PLT-10c), scellant les chenaux. Dans le secteur SE la séquence devient plus complexe, avec tout d'abord une formation de graviers et galets, correspondant à un nouveau cordon littoral (PLT-17), qui recouvre le chenal (PLT-14) ainsi que le cordon littoral précédent (PLT-13). D'altitude comprise entre 430,90 et 431,50 m, ce cordon est recouvert dans S17 d'un dépôt de sable limoneux jaune. Enfin, de S21 (voire de S24) à S18, la séquence se termine par un nouveau cordon littoral (PLT-18) qui culmine à 432,10 m.

### **1.2.2. Sondage 3799**

Il s'agit de la surveillance d'une tranchée dans laquelle des conduites d'eau ont été remplacées en 2003. Les 38 logs relevés par l'OMAN forment un U, dont les trois branches sont séparées pour les descriptions. La numérotation de l'OMAN, avec l'appellation de "log", est gardée et simplifiée dans la description par L suivi du numéro. Le premier groupe, 3799A (Pl. 12), commence entre le restaurant et l'entrée du camping de la Tène et traverse ensuite ce dernier selon l'orientation NNW-SSE (Fig. 4.5). Le deuxième groupe, 3799B (Pl. 13), qui a