

Le cadre physique

FRANCIS PERSOZ, JEAN-PAUL SCHAEER, OLIVIER BESSON,
CHARLES ROBERT-CHARRUE

Cadre géologique et géographique

Morphologie

Des trois grands lacs subjurassiens, Biemme, Morat et Neuchâtel, le dernier est le plus grand, le plus profond, le plus allongé. Comme ses compagnons, il présente l'orientation sud-ouest/nord-est de la chaîne du Jura, et comme eux, il est totalement creusé dans les formations tertiaires relativement tendres du Bassin molassique. Sur son flanc nord-ouest pourtant, mais de façon moins marquée que le lac de Biemme, il s'appuie sur les formations calcaires crétacées des premiers anticlinaux de la chaîne du Jura (fig. 1).

La morphologie immergée de la cuvette est marquée par la longue et étroite colline de la Motte dont le sommet, situé en face du delta de l'Areuse, ne se trouve qu'à une profondeur de 8 m (fig. 2). Ce relief molassique, que les études de Guyot de 1845 avaient déjà illustré, présente une certaine analogie morphologique avec les collines émergées du Vully, de Jolimont ou avec la presqu'île de Saint-Pierre. Occupant une position relativement médiane de l'auge lacustre, il s'élève insensiblement au large de Chevroux depuis la profondeur de 60 m, en formant, 8 km plus au nord-est, un petit plateau, large de près de 500 m. Au-delà, en moins d'un km, il se perd rapidement dans la zone profonde de l'auge lacustre. C'est sur le flanc nord-ouest de la Motte que se situe le principal sillon du lac marqué par une suite de cuvettes dont la plus profonde, située immédiatement au sud de la Pointe du Grain, présente une profondeur de 153 m de la surface du lac. Plus au nord-est, au sud d'Auvernier et de Neuchâtel s'étend, au-dessous de la cote 295 m (-135 m), une large étendue plane de plus de 2 km².

La zone immergée est caractérisée par des pentes peu marquées qui, très souvent, ne dépassent pas 15% (8°). Les plus raides se situent sur la rive nord-ouest, au large d'Onnens, de Concise, de la Pointe du Grain et de l'embouchure de l'Areuse, où elles peuvent atteindre presque 30% (16°)

sur près de 100 m. La pente nord de la Motte atteint également 25%. Les plus fortes pentes de la rive sud-est ne dépassent que rarement 6%. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles qui figurent sur les profils topographiques invariablement dessinés avec une forte exagération des hauteurs. En respectant l'échelle des hauteurs, la cuvette du lac s'apparente plus à une flaque d'eau, d'une minceur étonnante, qu'à une auge (fig. 2).

La beine (fig. 3), aussi appelée blanc-fond au lac de Neuchâtel, est la terrasse littorale submergée, celle qui est soumise à l'action des vagues et à l'érosion. Sur la rive sud du lac, avant la correction des eaux et en période de hautes eaux, elle s'étendait jusqu'au pied des falaises molassiques. Depuis lors, à la suite de l'abaissement des eaux, une grève plus ou moins étendue s'est formée entre le lac et les falaises. Les roselières, puis des zones boisées s'y sont développées. Les vagues n'atteignant plus les falaises, celles-ci perdent de leur hauteur par accumulation, à leur pied, de matériaux glissés ou éboulés (fig. 4). L'érosion s'est déplacée au niveau de la beine immergée en progressant en direction de la grève dont la superficie tend à se réduire. Des mesures sont prises pour protéger de l'érosion les rives construites et une partie des rives naturelles apparues après la correction des eaux du Jura.

Particulièrement bien développée, sur sa rive sud-est, la superficie de ce domaine, dont l'estimation est problématique aux deux extrémités du lac, représente environ 50 km². Avant la première correction, la surface du lac était d'environ 270 km², supérieure de 25% à celle d'aujourd'hui. Il arrivait même que, en période de hautes eaux, les trois lacs subjurassiens n'en forment qu'un seul.

Aux deux extrémités du lac, la beine se prolonge par des zones étendues, d'altitude proche de celle du lac. Il s'agit d'accumulation de sédiments récents qui prolongent les terres émergées des Grands Marais et de la plaine de l'Orbe. On retrouve cette situation, en plus modeste, dans la baie d'Yvonand et au large du delta de la Mentue. Les deltas émergés de l'Areuse, du Seyon sont également

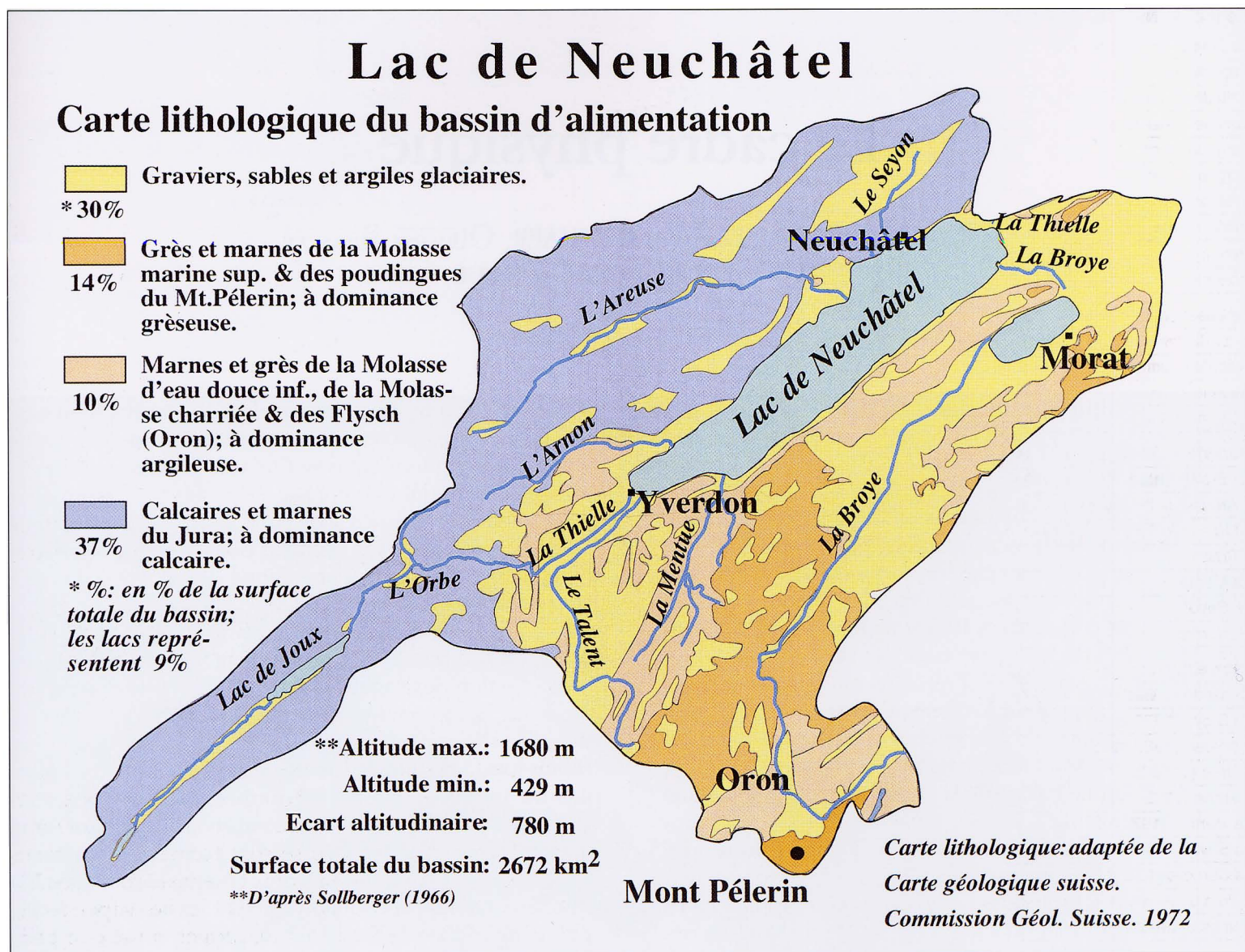


Fig. 1 Carte lithologique du bassin d'alimentation du lac de Neuchâtel.

Le régime ainsi que le volume et la nature des matériaux transportés des cours d'eau issus des paysages molassiques au sud-est diffèrent notablement de celui des rivières provenant des chaînons jurassiens.

formés par des apports sédimentaires récents, mais ils se distinguent des zones précédentes par les fortes pentes que l'on observe à leur front immergé.

Le niveau du lac a évidemment varié au cours des âges (fig. 14). Actuellement son niveau moyen est à l'altitude de 429,27 m (tab. 1). Avant la première correction des eaux, A. Peter¹ indique les extrêmes: 434,2 m en l'an 1634 et 430,8 en 1870. La mise en évidence de cordons littoraux et d'anciens rivages à l'extrémité ouest du lac², ceux de Colombier³ et surtout ceux de l'extrémité est du lac⁴ révèlent d'anciens rivages. Ils attestent de plus grandes extensions du lac et marquent des stades non datés mais nettement postérieurs à la dernière glaciation.

Les affluents, les bassins versants

Les cours d'eau qui alimentent le lac drainent des bassins versants aux caractéristiques géologiques variées (fig. 1 et tab. 1).

En fonction de leurs débits moyens, de 8-12 m³/sec, la Broye, l'Arreuse et l'Orbe sont les affluents majeurs du lac alors que l'Arnon, la Mentue, le Seyon, la Serrière avec des débits avoisinant 1 à 2 m³/sec doivent être considérés comme des rivières mineures. H. Sollberger⁵ a de plus recensé 73 petits ruisseaux qui alimentent également le lac.

La nature des roches des bassins versants conduit à distinguer deux groupes de cours d'eau: au nord-ouest, l'Orbe,

Le lac de Neuchâtel en chiffres

Les mesures du lac

Superficie ¹	214,60 km ²
Altitude moyenne ¹	429,31 m
Longueur maximale ¹	38,30 km
Largeur maximale ¹	8,12 km
Largeur moyenne ¹	5,69 km
Profondeur maximale ¹	153,00 m
Profondeur moyenne ¹	69,00 m
Périmètre ¹	96,60 km
Volume ¹	13,77 km ³

Le bassin d'alimentation du lac

Superficie de la totalité du bassin versant ³	2672 km ²
Altitude maximale (Mont Tendre) ¹	1680 m
Altitude moyenne ³	780 m
Ecart altitudinaire	1251 m

Superficie des différents bassins versants

La Broye ³ (alt. moyenne: 630 m)	697 km ²
L'Areuse ³ (alt. moyenne: 1060 m)	377 km ²
L'Orbe et la Thielle vaudoise ³ (alt. moyenne: 630 m)	333 km ²
L'Arnon ¹	90 km ²
La Mentue ¹	105 km ²
Le Seyon ¹	112 km ²
La Serrière	(non mesurable)

Les débits moyens annuels (période d'observation)

Canal de la Thielle (1984-2003) ³	55,70 m ³ /sec
La Broye (1920-2003) ³	7,84 m ³ /sec
L'Areuse (1983-2003) ³	11,80 m ³ /sec
L'Orbe (1973-2003) ³	11,90 m ³ /sec
L'Arnon (1985-1989) ²	2,31 m ³ /sec
La Mentue (1971-1990) ²	1,58 m ³ /sec
Le Seyon (1980-2003) ³	0,88 m ³ /sec
La Serrière (1982-1988) ²	2,31 m ³ /sec
Autres petits affluents (73 ruisseaux) ¹	?
Temps de résidence moyen de l'eau	8 ans

¹ D'après Sollberger (1966).

² Lambert (1999).

³ Annuaire hydrologique suisse, Ed. 2003.

Tab. 1 Données quantitatives sur le lac et ses affluents.

L'Arnon partiellement, l'Areuse, la Serrière, le Seyon drainent les paysages calcaires du Jura vaudois, neuchâtelois et localement français. Leur régime est de type karstique avec des apports solides essentiellement formés des résidus argileux produits de la dissolution des roches carbonatées. Cette charge est complétée par des apports du matériel glaciaire présent sur une large partie de ces bassins (fig. 1).

Les cours d'eau du bassin molassique argilo-gréseux vaudois et fribourgeois sont relativement plus chargés en fines particules solides: sables, limons, argiles auxquels s'ajoutent, comme pour le premier groupe, les apports issus des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires.

Histoire de la formation du lac

Les sédiments présents sur les rives du lac, associés à ceux qu'on rencontre dans le bassin, nous renseignent sur l'histoire géologique de la région au cours des derniers 100 millions d'années. Ils nous permettent de diviser cette histoire dans les stades successifs suivants:

- formation d'un soubassement rocheux de nature essentiellement calcaire auquel font suite les Molasses déposées dans un régime d'écoulement où s'esquissent pour la première fois des drainages parallèles à l'orientation de la future chaîne du Jura (35 à 10 Ma; Ma = million d'années);
- période d'érosion mal connue qui s'étend de 10 millions d'années à la dernière glaciation;
- succession d'invasions et de retraits de glaciers alpins de plus d'un Ma à nos jours;
- ultime modelage glaciaire qui débute il y a quelque 100 000 ans et donne à la cuvette lacustre la forme que nous lui connaissons;
- depuis 20 000 ans, apports sédimentaires d'abord glaciaires puis fluviaux conduisant à son comblement.

Le cadre géologique antérieur à la période du Quaternaire

Du Trias (230 Ma) à la fin du Crétacé (65 Ma), l'Europe occidentale a été presque constamment recouverte d'une mer peu profonde dans laquelle se sont formés des calcaires et des marnes. Dans la région neuchâteloise, cet ensemble épais de près de 1 km forme, par ses couches supérieures, la rive allant de Saint-Blaise à Auvernier, ainsi que celle située entre Bevaix et le Bois de la Lance. Ailleurs, ces sédiments se trouvent recouverts par les Molasses.

Entre 65 et 30 millions d'années, donc avant le plissement du Jura, la région du lac de Neuchâtel avec ses roches sédimentaires encore horizontales est d'abord soumise à une érosion continentale qui n'a laissé que peu de traces. Au-delà et jusque vers 15 millions d'années, avec un bref épisode marin vers 20 millions d'années, on assiste à des dépôts de sédiments détritiques, provenant essentiellement de l'érosion des Alpes, qui se déposent dans des plaines alluviales. Ce sont les Molasses.

Le plissement du Jura, qui s'est produit il y a quelque 12 millions d'années, a créé sur son bord interne une barrière aux rivières issues des Alpes. Dès sa formation, elle a servi d'axe de drainage fluvial entre les régions surélevées du Jura et la zone déprimée de la Molasse. Le sens du drainage, sud-ouest ou nord-est, a varié au cours du temps.

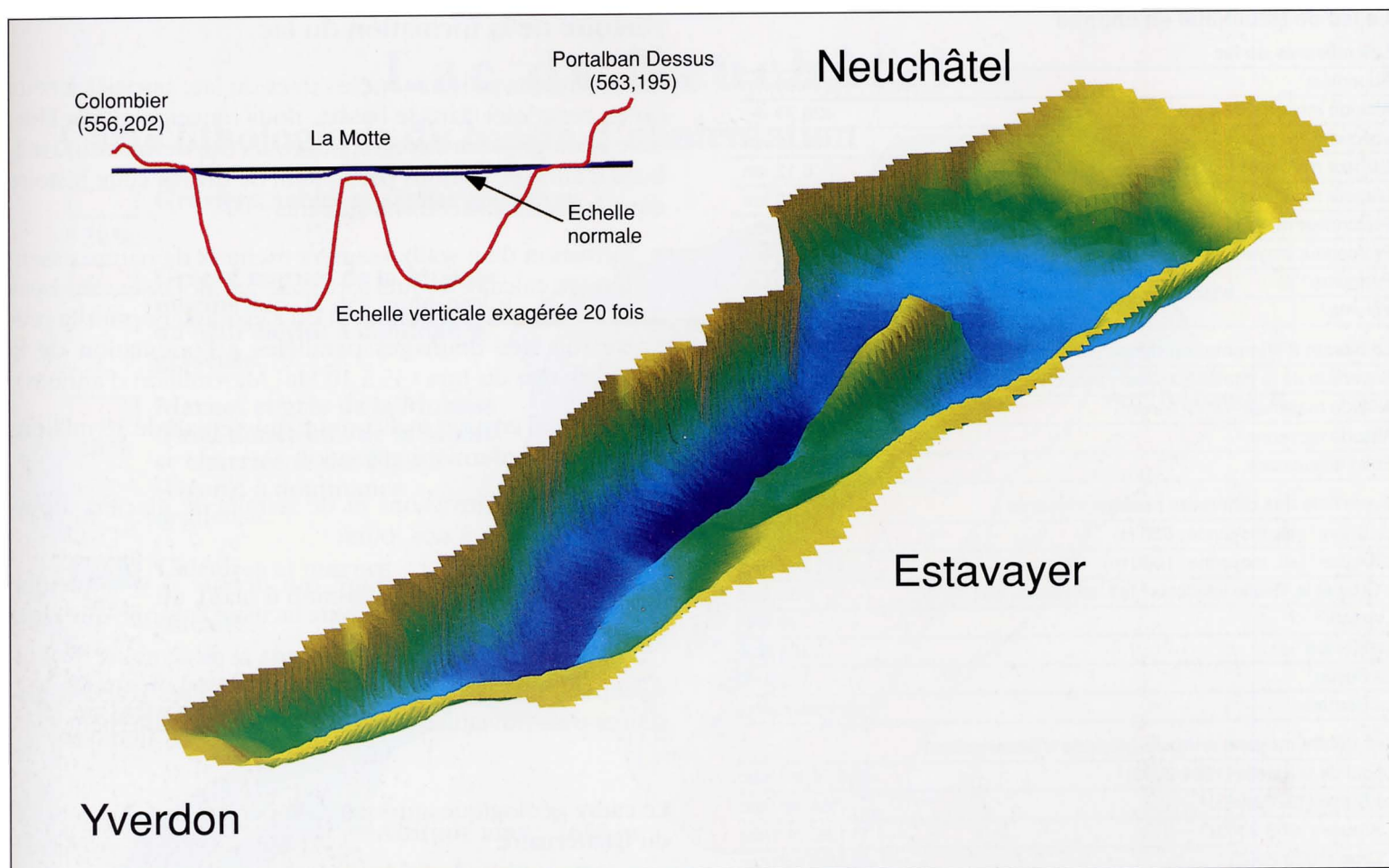


Fig. 2 Vue tridimensionnelle de la morphologie du lac de Neuchâtel.

L'échelle des hauteurs est vingt fois celle des dimensions horizontales. La colline de la Motte, qui joue un rôle essentiel notamment sur le régime des courants, y apparaît comme une forme à pente très raide.

En réalité, lorsque les hauteurs et les longueurs sont de même échelle, le lac ressemble à une flaque peu profonde.

Les glaciers alpins

Les premiers glaciers alpins remontent peut-être à 2,4 Ma. Au cours du temps, ils se sont avancés jusque dans les régions du Plateau (fig. 5), guidés par la configuration topographique fluviale de ces régions (fig. 6). Faite de progressions et de reculs, leur histoire a été dépendante de l'évolution climatique de l'hémisphère Nord. Au cours des derniers 800 000 ans, celle-ci est caractérisée par une alternance de périodes glaciaires d'une durée de l'ordre de 100 000 ans et de périodes interglaciaires plus chaudes de 10-15 000 ans.

Les causes du début de l'altération des climats de 20 Ma à 2 Ma sont encore mal connues. L'hypothèse en faveur recourt à la dérive des continents qui modifie les courants océaniques, vecteurs importants du transport de la chaleur entre la zone équatoriale et les pôles. Par contre, les causes de l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires sont clairement à relier à la position de la terre par rapport au

soleil, qui module cycliquement la quantité d'énergie solaire reçue. Cette théorie, dite de Milankowic, est actuellement acceptée par la majorité des scientifiques.

Les érosions glaciaires et dépôts quaternaires associés

Dans nos régions, les documents géologiques disponibles pour évoquer les temps du Quaternaire (de 1,7 Ma à nos jours) sont très limités⁶. On admet que cette période fut marquée par d'importantes phases d'érosion dont les traces furent ultérieurement comblées par des sédiments. Ceux qui sont antérieurs à la dernière glaciation sont rares et leurs datations incertaines: ancien delta de l'Areuse (collines de Cortailod), charbons de Grandson, craies lacustres de Concise, moraines et sédiments fluvio-glaciaires observés dans la plaine du Seeland et au-delà. Ils ne permettent pas de proposer facilement une vue synthétique et consistante de cette période.

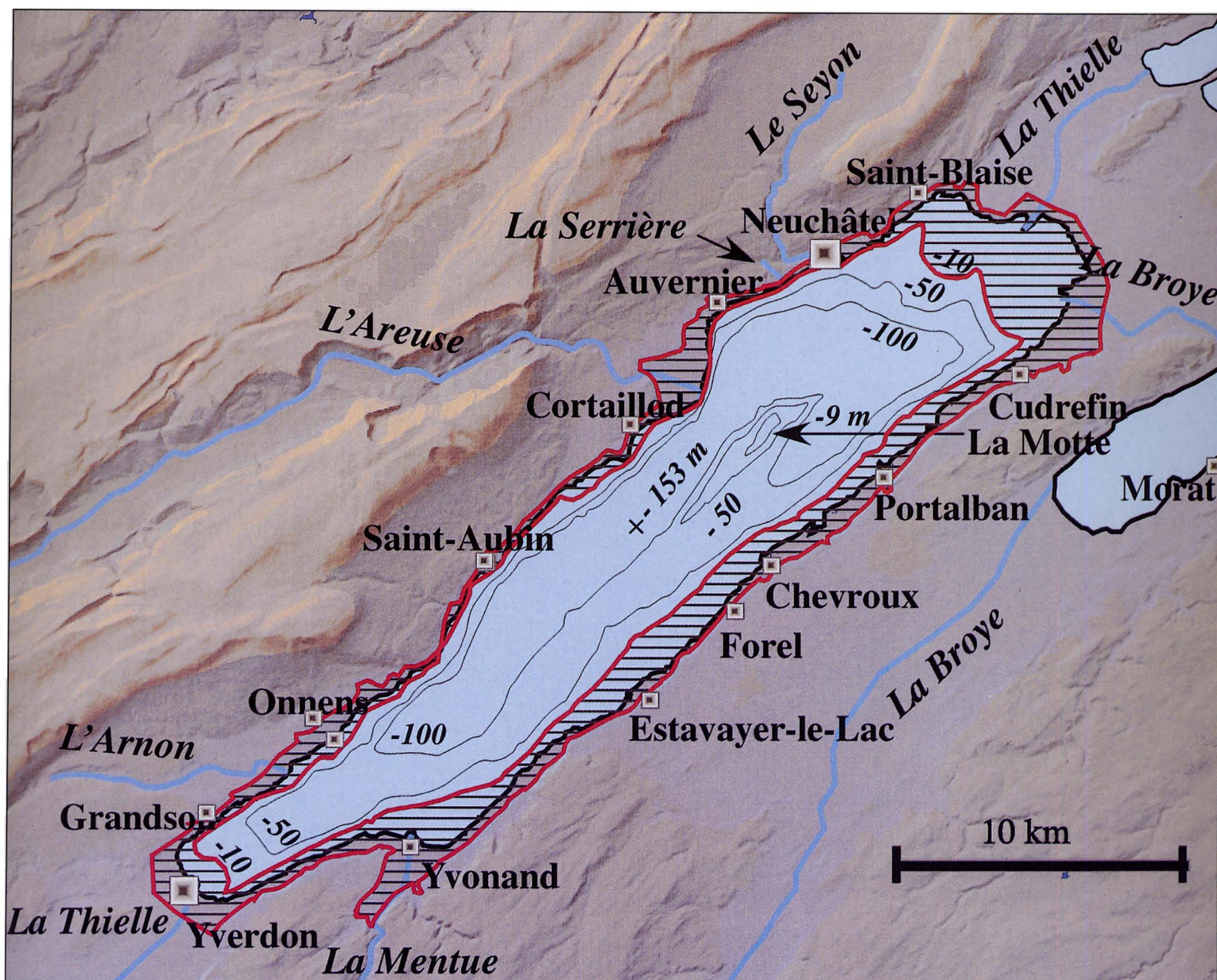


Fig. 3 Le lac, entre les escarpements jurassiens et le domaine à morphologie douce du bassin molassique, est constitué d'une auge dont les pentes sont relativement fortes et d'une zone de bordure à profondeur et pente faibles. Cette zone est constamment soumise à l'action des vagues (entre ligne rouge interne et rives actuelles figurées par un trait noir). Elle est appelée beine ou blanc-fond dans le parler local. Avant la première correction des eaux, la beine s'étendait au-delà du périmètre actuel, jusqu'au pied des premières ruptures de pentes ou des falaises (ligne rouge externe). L'abaissement des eaux, suite aux deux corrections, crée de nouvelles conditions où l'ancienne beine est elle-même soumise à l'érosion. Atlas de la Suisse interactif © 2004 swisstopo (BA046237).

Le modelage glaciaire

La figure 6 présente, sur la base des travaux d'A. Pugin⁷, la morphologie antérieure aux dépôts des matériaux glaciaires, soit celle du toit de la Molasse. Dans ce secteur, l'érosion a atteint des altitudes inférieures à celles des mers actuelles. Un tel façonnement, marqué par des auges de

surcreusement auxquelles succèdent des seuils surélevés, ne peut provenir que d'une érosion glaciaire. La position de cette gouttière et son cheminement, qui suit approximativement la bordure du Jura, montrent qu'elle s'est implantée sur une morphologie fluviale. Son dernier façonnement résulte certainement des effets de l'ultime glaciation (entre 100000 et 15000 ans) mais il est actuellement

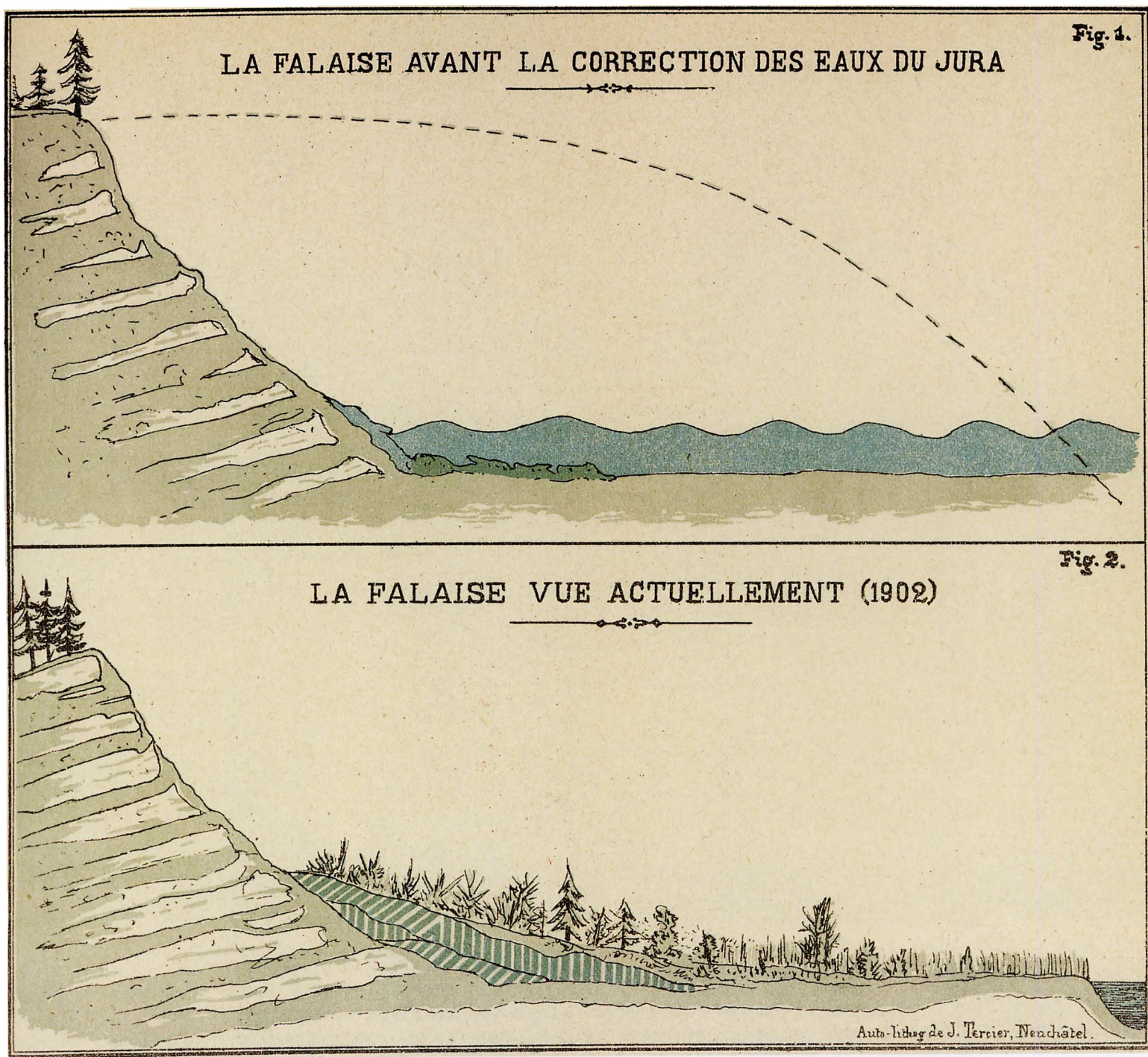


Fig. 4 Dessin schématique de Ritter (1902) montrant l'évolution des falaises de la rive sud du lac, avant et après la première correction des eaux du Jura.

difficile d'avancer des propositions sur l'importance des érosions et des remplissages qui pourraient être attribués aux glaciations antérieures.

Dans la région du Plateau et de la bordure est et sud-est du Jura, les glaciers successifs, issus du bassin du Rhône, présentaient parfois des épaisseurs supérieures aux 700 m de la dernière glaciation. Au cours de leur progression, leur

écoulement a été «chenalisé» par la morphologie fluviale antérieure et par les sédiments meubles (fluvio-glaciaires et matériaux morainiques) laissés par d'anciens complements quaternaires. Deux mécanismes essentiels contribuent à l'érosion de la roche en place ou des sédiments fluviaux ou glaciaires précédemment déposés.

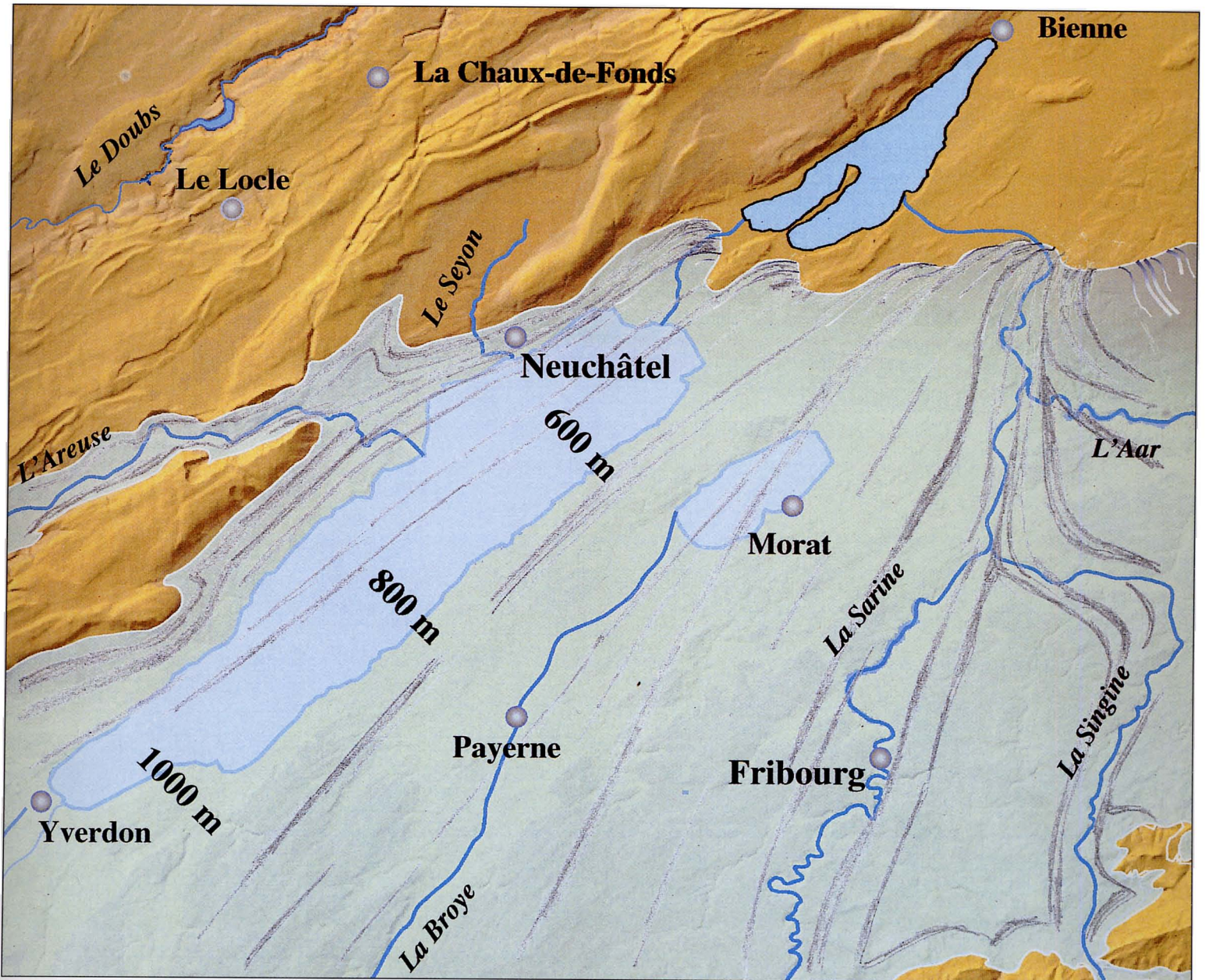


Fig. 5 Lors de la dernière glaciation, qui débute vers 120000 ans et se termine il y a environ 18000 ans, les glaciers du Rhône et de l'Aar, issus des reliefs alpins, s'étendaient jusqu'aux contreforts jurassiens, à la cote 1200 m au plus fort de la glaciation (environ 20000 ans). Un glacier occupait les premières vallées internes : Val-de-Ruz et Val-de-Travers. A l'est, le front glaciaire atteignait Aarwangen an der Aare, en aval de Soleure. Les glaciers transportaient des matériaux tels que sables, argiles, graviers et blocs, qui forment notamment les moraines. La figure représente un stade de retrait vers 18000 ans. Les moraines (en grisé) laissent, après le retrait définitif, un tapis plus ou moins mamelonné et discontinu de matériaux glaciaires, lesquels jouent un rôle fondamental pour les ressources en eau, l'agriculture et la viticulture actuelles. Atlas de la Suisse interactif © 2004 swisstopo (BA046237).

a) L'abrasion des roches :

La glace en mouvement, avec ses blocs et sables enchâssés, agit comme de l'émeri très grossier. Ce frottement use la roche. Il s'accompagne de déchaussements de rochers qui, en se fragmentant peu à peu, s'incorporent au glacier. Tous ces matériaux peuvent se déposer sous forme de moraines

ou être entraînés par les torrents glaciaires. Les «roches moutonnées» et les «stries glaciaires», témoins de ce mécanisme d'usure, qui s'observent fréquemment dans les calcaires des versants nord-ouest mais également sur les affleurements frais de Molasse, sont certainement présentes dans toute l'auge.

Relief numérique de la base des sédiments du Quaternaire

Travail réalisé sous ArcViewGIS 3.2
SITEL, Université de Neuchâtel
Extrait de PUGIN, A. (1988)
Rapp. Géol. SHGN 3 (1:250'000)
Contour actuel des lacs par projection
verticale, simplifié de la carte au
1:50'000.

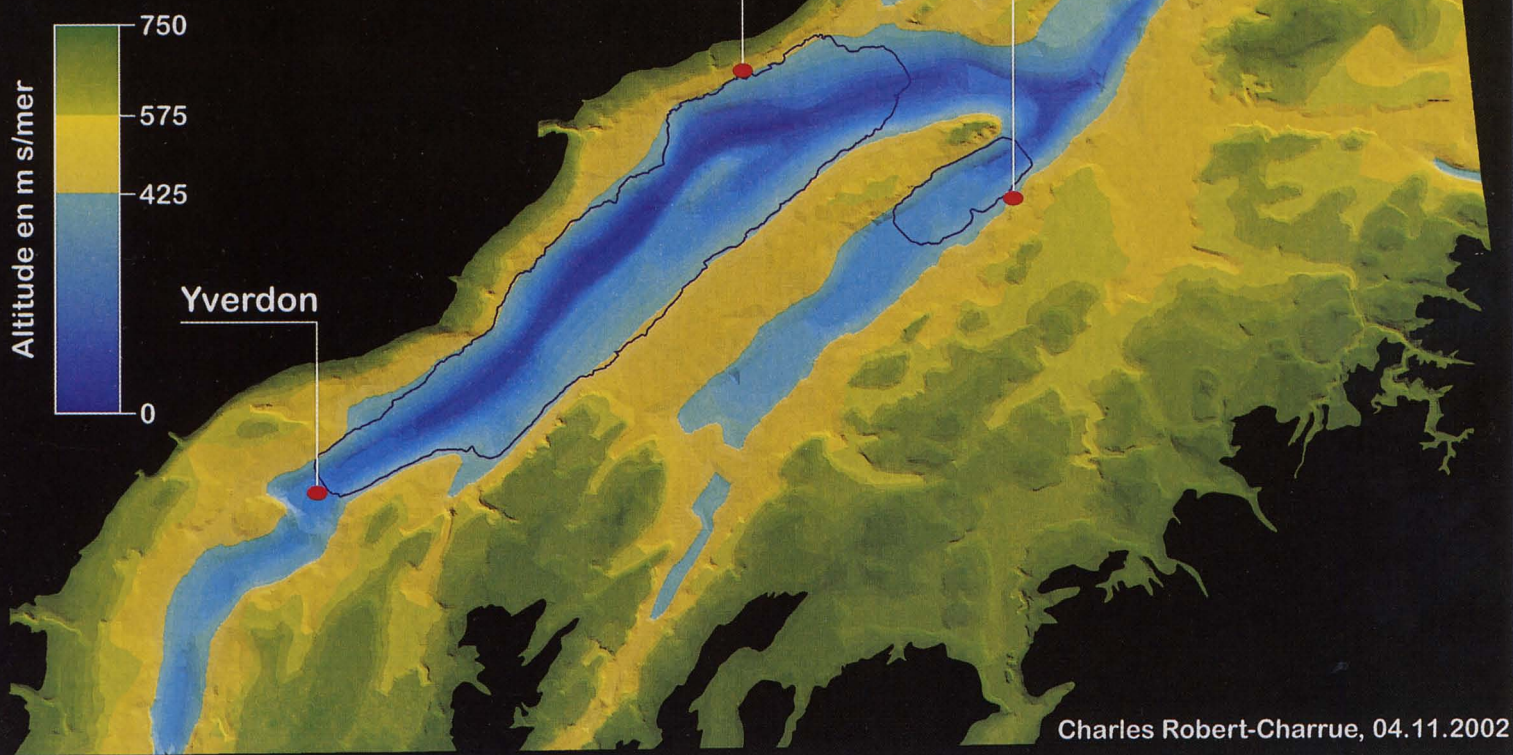


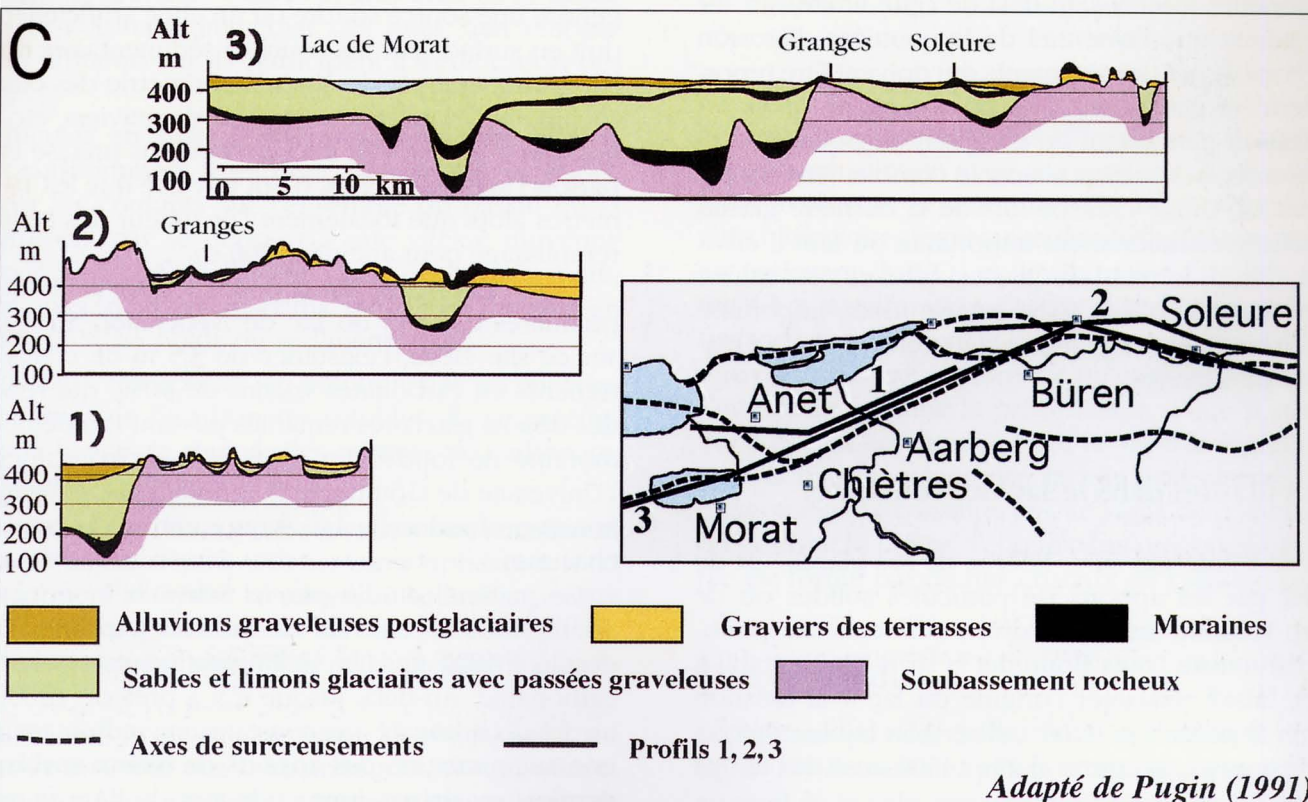
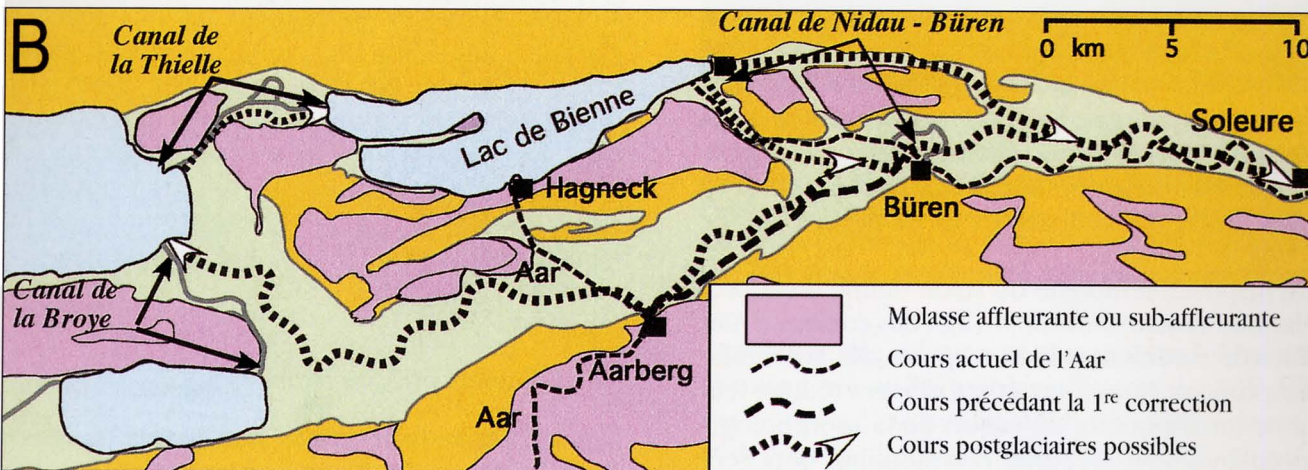
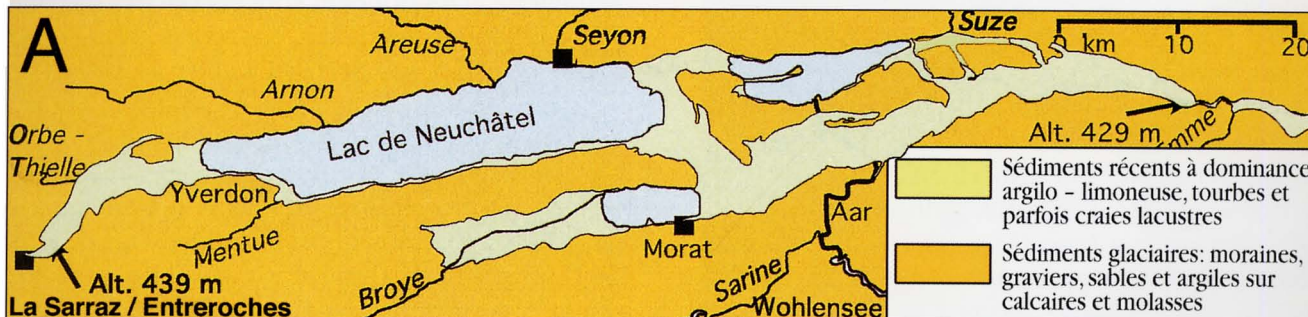
Fig. 6 Vue tridimensionnelle reconstruite de la surface d'érosion débarrassée des sédiments glaciaires. Pour l'essentiel, cette surface représente le toit érodé de la Molasse. Localement, l'altitude de cette surface est inférieure à celle du niveau de la mer. La morphologie en auges de surcreusement séparées par des seuils est typique d'une érosion glaciaire, laquelle s'est surimposée à une morphologie fluviale (adaptée de Pugin, 1988).

b) L'action des eaux infra-glaciaires:

Localement sous pression, ces eaux sont particulièrement abondantes et actives dans les zones des langues glaciaires au moment du retrait glaciaire. Elles érodent le substrat sur lequel le glacier s'avance. Elles sont particulièrement efficaces lorsqu'elles rencontrent des matériaux faiblement consolidés comme peuvent l'être les Molasses et surtout les sédiments meubles d'origine glaciaire fluvio-glaciaires et lacustres.

Fig. 7 La région des trois lacs est constituée d'auges glaciaires partiellement ou totalement remplies de matériaux amenés par les glaciers et surmontées de sédiments récents témoignant de l'existence temporaire de lacs et de marais (A). Sur cette vaste plaine, parsemée de mamelons molassiques, plus résistants à l'érosion, l'Aar a constamment divagué. Antérieurement à 4800 ans, elle se jette dans le lac de Neuchâtel, excepté à trois reprises: 9500, 7200, 6950 ans, où son cours la porte vers l'est, configuration qu'elle maintiendra dès 4800 ans (B). Les profils (C) montrent les importants surcreusements glaciaires et la superposition fréquente de moraines témoignant de reculs et d'avancées glaciaires au cours de la dernière glaciation ou de deux périodes glaciaires.

La plaine Entreroches – Soleure et les cours de l'Aar



Le comblement des dépressions entre Entreroches, Neuchâtel et Soleure

Sur la base de forages, d'études géophysiques et de terrain, A. Pugin⁸ interprète les matériaux de remplissage de la gouttière d'érosion qui borde le Jura comme étant d'origine glaciaire (moraines de fond, frontales et latérales), fluvio-glaciaire et lacustre (fig. 5 et 7). Les moraines de fond – matériaux argilo-sableux emballant des galets et des blocs générés à la base du glacier lors de sa progression – se présentent fréquemment en deux niveaux superposés (fig. 7 C). Ces deux niveaux sont intercalés par des matériaux fluvio-glaciaires: graviers sableux et limoneux déposés par les cours d'eau au front du glacier. Cette disposition en «sandwich» implique donc une phase de recul suivie d'une nouvelle avancée glaciaire. S'agit-il des témoins de deux glaciations séparées par l'interglaciaire dénommé Eémien voici 120000 ans ou d'une phase de régression temporaire lors de la dernière glaciation entre 110000 et 20000 ans? L'état des connaissances ne permet pas de trancher.

Un autre dispositif témoigne du stade ultime de la progression glaciaire vers le nord-est. Il s'agit des collines d'Aarwangen (en aval de Soleure) bien connues des automobilistes qui empruntent l'autoroute et qui doivent réduire leur vitesse sur ce tracé sinueux en raison de la morphologie locale. Ces collines sont les restes des moraines déposées au front des glaciers du Rhône et de l'Aar. On ne trouve plus de moraines frontales au-delà de cette limite.

Si l'on admet que l'essentiel de la gouttière d'érosion se trouve comblé par des sédiments qui doivent être reportés à la dernière glaciation, il est nécessaire de proposer une explication permettant de comprendre pourquoi, au niveau des trois lacs subjuraasiens, le comblement n'a été que partiel. Là, l'auge creusée lors de la dernière glaciation était-elle particulièrement importante ou faut-il envisager que, durant le recul du glacier, celui-ci s'est trouvé incapable, faute d'apport sédimentaire assez important, d'assurer un comblement comparable à celui qu'il avait réalisé en aval de Bienne?

La sédimentation dans le lac de Neuchâtel

Le destin de l'auge glaciaire, libérée de ses glaces, est de se combler par les apports de particules solides ou de matière en solution issus des divers affluents. Le philosophe et naturaliste Louis Bourguet⁹ (1678-1742), établi à Neuchâtel, faisait remonter l'origine du lac à la création de la Terre. Il pensait pouvoir utiliser son faible comblement pour prouver la courte durée (4500 ans) des temps géologiques.

La sédimentation glaciaire

Actuellement les données sont encore très disparates et une vue synthétique fait défaut. Les toutes premières études sismiques lancées par Bernard Kubler au milieu des années septante¹⁰ furent décevantes, en raison d'une technologie insuffisamment au point. Depuis lors, le lac a été examiné à plusieurs reprises, à l'aide de diverses méthodes géophysiques, par des équipes de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich et récemment par des chercheurs de l'Institut Forel de l'Université de Genève. Ceux-ci, dans un bref compte rendu¹¹, admettent, aux abords de Concise, l'existence de moraines de fond discontinues reposant directement sur la Molasse. Elles sont surmontées par des sédiments fluvio-glaciaires qui, à leur tour, sont couverts de sédiments bien stratifiés d'origine glacio-lacustre. Cette observation partielle ne donne aucun argument en faveur de l'existence de plusieurs cycles glaciaires. Mais l'épaisseur des sédiments quaternaires, dépassant souvent 100 m et pouvant atteindre 300 m localement, autorise à penser que des sédiments plus anciens que ceux de la dernière glaciation pourraient être présents.

Les sédiments postglaciaires

Notre connaissance de leur nature repose sur deux types de données: quelques rares forages et des études sismiques très partielles. Ces dernières (analyses des échos qu'engendre une source sonore ou un choc artificiellement produit en surface par les couches sédimentaires du fond du lac) permettent de dessiner la géométrie des couches des roches, des moraines, des strates de graviers, etc. Les forages, qui donnent une information plus précise et révèlent parfois l'âge des roches, n'ont traversé que les 10 premiers mètres alors que localement l'épaisseur des sédiments de remplissage peut atteindre 300 m.

C'est en 1957 que furent prélevées, sur la Motte, les deux premières carottes du lac de Neuchâtel. Elles montrent, sur ce site élevé, l'existence de 3,5 m de craies lacustres (teneurs en carbonates voisins de 90%) qui reposent sur des dépôts glaciaires remaniés passant rapidement à de la moraine de fond¹². En 1988, à l'aide d'équipements de l'Université de Göttingen, B. Kubler fait prélever, dans les zones profondes du lac, sept carottes de près de 10 m chacune.

Ce matériel étudié par A. Schwalb¹³ permet de diviser l'histoire récente du lac en trois périodes. Durant les derniers 4800 ans, la sédimentation est essentiellement carbonatée. Au-delà, jusque il y a près de 12000 ans, sur un fond carbonaté on constate, en remontant le temps, une augmentation des apports de quartz et d'argiles. Ces derniers matériaux proviendraient de l'Aar et se seraient

déversés dans le lac par les Grands Marais. Durant cette longue période, à trois reprises voici 9500, 7200 et 6950 ans, cet apport détritique s'est trouvé suspendu lorsque l'Aar transitait directement vers l'est (fig. 7 B). Les plus anciens sédiments analysés sont rapportés au Dryas ancien qu'on date actuellement entre 14000 et 13000 ans. Ils se caractérisent par des laminites évoquant des dépôts varvés (sédiments fins durant l'hiver et grossiers durant l'été) déposés dans un lac qui, chaque année, se trouve pris par les glaces.

Lors d'un passé plus récent, les analyses fines de la partie supérieure de la colonne sédimentaire ont permis à P. Lambert¹⁴ de mettre en évidence deux phases majeures de déforestation, l'une vers 600-700 ans, l'autre vers 1200-1500. Celles-ci se manifestent par une érosion accrue des sols, moins bien protégés, et par une augmentation des apports de sels nutritifs au lac.

La période récente, notamment depuis 1950, a été marquée par une accélération de l'eutrophisation du lac, avec augmentation des teneurs en carbone organique dans le sédiment. La mise en œuvre, ces derniers vingt ans, d'une politique antipollution retarde ce phénomène, destin inévitable de tout lac.

La sédimentation actuelle

Les matériaux qui parviennent aujourd'hui au lac peuvent être séparés en trois composantes majeures :

- les matériaux grossiers (sables et graviers). Ils se déposent dans le voisinage immédiat des rives, aux embouchures des affluents où ils participent à l'édification des deltas ;
- les particules en suspension, notamment des argiles. Elles sont suffisamment fines pour être emportées et dispersées par les courants sur l'ensemble du bassin où la plupart finissent par se déposer à une vitesse moyenne de 5 m par jour¹⁵. Actuellement, avec les autres minéraux détritiques (quartz, feldspaths, etc.), elles forment en moyenne le 25% en poids du sédiment ;
- les matériaux transportés en solution par les rivières. Arrivés en tant que bicarbonates solubles, ils se précipitent, sous la forme de minuscules cristaux de carbonate, dans l'ensemble du bassin.

Ainsi, de nos jours, les apports de carbonates constituent la majeure partie des dépôts sédimentaires tapissant le fond du lac. Ils forment les craies lacustres, un sédiment poreux et blanchâtre, dont les teneurs en carbonate de calcium se situent le plus souvent vers 75%, mais atteignent parfois 90%.

Ce régime sédimentaire caractérise l'histoire du lac au cours des derniers 4800 ans¹⁶. Actuellement, chaque année, un demi-million de tonnes de carbonates est prélevé par

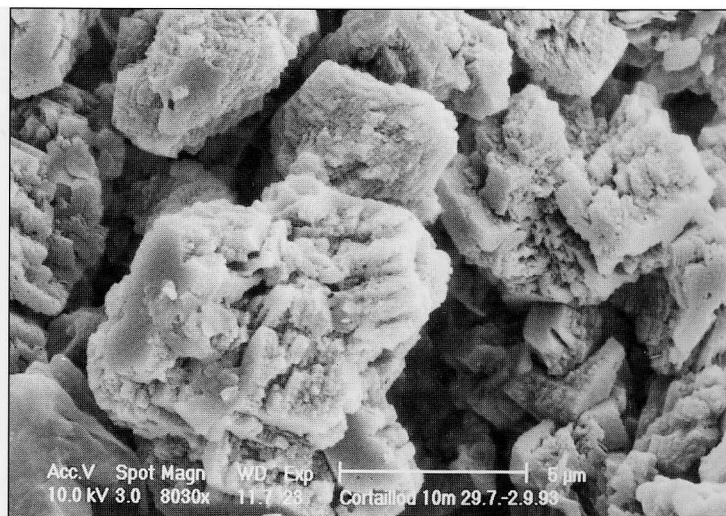


Fig. 8 Vue, au microscope électronique à balayage, de particules récoltées au large de Cortaillod, en été 1993 et à 10 m de profondeur, à l'aide de pièges à sédiments. Les particules, qui constitueront l'essentiel du matériel des craies lacustres, sont formées de cristaux de calcite (carbonate de calcium) dont certaines faces cristallines sont bien visibles, notamment à droite de la figure (photo P. Lambert).

dissolution des calcaires et marnes dans les bassins versants et transporté au lac par les affluents. Le 18% (90000 tonnes) est piégé par précipitation sous forme de craie lacustre et déposé sur les fonds. Le solde est exporté par la Thielle vers le lac de Biemme, l'Aar, pour finalement gagner la mer du Nord¹⁷.

Formation des craies lacustres

Les eaux de l'ensemble des affluents sont chargées de carbonates en solution avec des concentrations presque toujours avoisinant la saturation. Au niveau du lac, les activités biologiques, croissance du phytoplancton notamment, en prélevant du CO₂ et l'évaporation conduisent rapidement à la sursaturation. Durant la belle saison, les eaux de surface se réchauffent et relâchent ainsi dans l'atmosphère une partie du gaz carbonique qu'elles avaient en solution. Cette perte entraîne la précipitation d'une partie des carbonates. Par cet apport, l'eau se trouble légèrement. Elle perd la belle transparence qu'elle avait durant l'hiver. Ce phénomène ne constitue pas un signe de pollution comme on pourrait le croire. Tel que dans une bouilloire, ce trouble est formé par de fins cristaux de calcite (fig. 8).

Thermique du lac

Lors de son passage à Neuchâtel, en été, H. B. de Saussure (1740-1799) constate qu'à une demi-lieue du bord du lac, au midi de la ville, par une profondeur de 325 pieds, alors

Evolution de la température dans le lac du 20 mai au 18 octobre 1990 au large d'Onnens

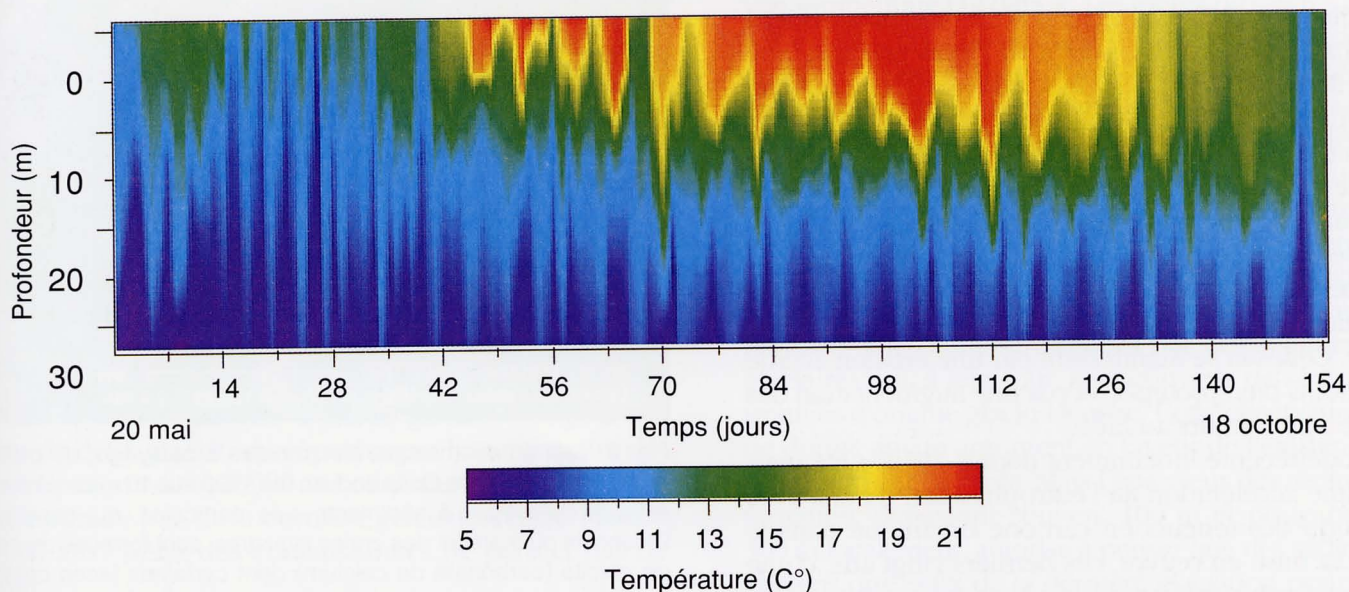


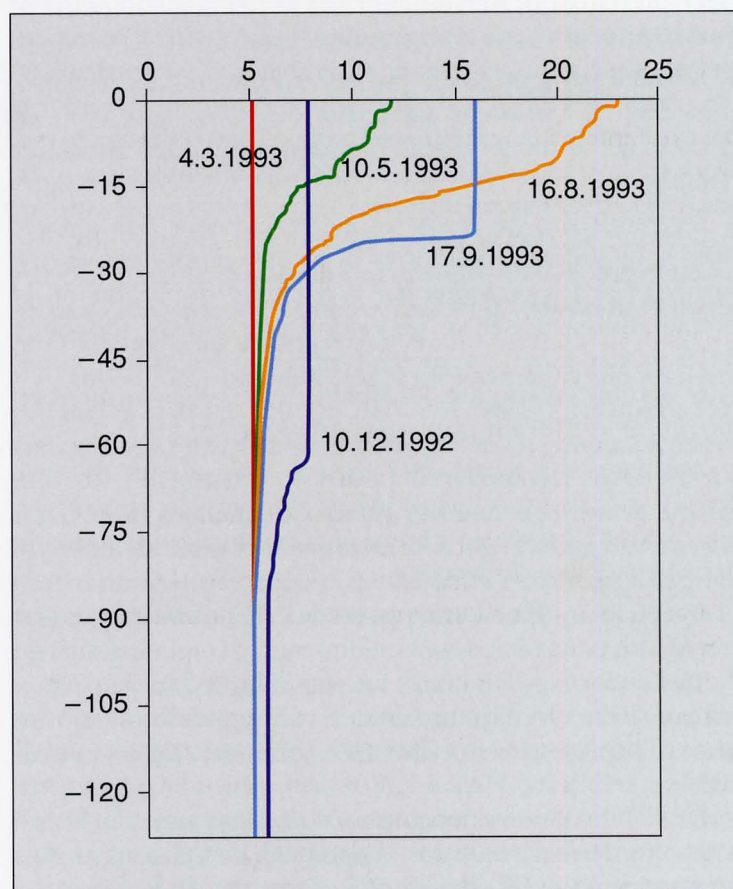
Fig. 9 Evolution de la température au cours de l'année 1990.

On remarque l'instauration d'une couche d'eau chaude en surface durant l'été: l'épilimnion (en rouge) ainsi que le mélange des eaux selon la verticale apparaissant en automne (voir fig. 10).

que la température de l'air est de $19,5^{\circ}\text{C}$, celle de l'eau de surface de $18,5^{\circ}\text{C}$, celle du fond n'est que de 4°C ou $4,1^{\circ}\text{C}$ (suivant le thermomètre utilisé). C'est la même température que celle qu'il a enregistré en février dans le lac Léman¹⁸. Ce résultat, qui parut d'abord étrange, a été confirmé par toutes les études ultérieures (4°C est la température correspondant au maximum de densité de l'eau!).

C'est dans le dessein de poursuivre l'étude de la thermique des lacs jurassiens qu'A. Guyot (1807-1884) avait dressé la carte précise du fond des lacs de Neuchâtel et de Morat. Mais on a dû attendre 1947 pour qu'Archibald Quartier¹⁹ entreprenne des mesures d'une certaine envergure sur les trois lacs subjurassiens. Pour le lac de Neuchâtel, c'est à C. Portner²⁰ que revient le mérite d'avoir montré les relations existant entre la thermique de l'eau et les précipitations des craies lacustres.

Fig. 10 Distribution de la température en fonction de la profondeur à différentes périodes de l'année. A la saison chaude, le lac est bien stratifié avec une couche d'eau chaude, de faible densité, de plus en plus nettement individualisée quand on approche du début de l'automne (épilimnion). Les échanges entre la surface et la profondeur sont quasi nuls. Au cours de la saison froide, la température s'homogénéise sur toute la tranche d'eau, permettant des échanges entre surface et profondeur et donc une bonne oxygénation du fond du lac.



Au printemps et en été, les eaux se réchauffent en surface, leur volume se dilate et la densité s'abaisse (fig. 9 et 10). Il se forme ainsi une stratification thermique de la masse d'eau, avec une couche superficielle chaude, appelée épilimnion, dont l'épaisseur croît jusqu'à la fin de l'été, atteignant 20 à 25 m. Au-dessous, on observe une couche d'épaisseur réduite, le métalimnion, où la température baisse très rapidement. Cette couche à fort gradient thermique est appelée thermocline. C'est dans cette zone que l'activité biologique est la plus marquée. Au-delà se situe la grande masse des eaux froides ou hypolimnion.

Cette stratification thermique estivale isole les eaux de surface et limite donc fortement les échanges avec la grande masse des eaux du lac. En particulier, ce phénomène empêche l'apport d'oxygène vers le fond. Dès l'automne et durant l'hiver, les basses températures de l'air refroidissent les eaux de l'épilimnion par un processus de mélange vertical (fig. 9 et 10). Durant cette période, les eaux de surface oxygénées gagnent la profondeur et participent de façon active à l'oxydation de la matière organique déposée sur le fond. C'est seulement vers la fin du mois de février que la température est homogène et la plus basse. L'ensemble des eaux est alors à la même température, environ 5° C, dans toute sa masse. Les courants provoqués par les vents permettent une oxygénation complète du lac.

Courants dans le lac

Les courants dans le lac de Neuchâtel sont essentiellement provoqués par les vents. En effet, le frottement du vent induit un mouvement de l'eau à sa surface et dans la direction du vent. Ces courants de surface provoquent alors un mouvement global dans tout le volume du lac, avec un courant de retour opposé à la direction du vent en profondeur (fig. 11). Ce n'est que récemment que ces courants ont été mesurés sur de longues périodes. Si les courants en surface peuvent être importants, jusqu'à 50 cm/s, au fond du lac, ils sont en général très faibles: moins de 1 cm/s. Remarquons que les courants provoqués par les cours d'eau n'ont qu'une portée très limitée, quelques centaines de mètres. L'observation du panache détritique aux embouchures de ceux-ci, lors de fortes crues, est une confirmation de ce fait. Ces panaches sont en effet essentiellement transportés par le courant lacustre ambiant.

L'orientation générale du lac de Neuchâtel dans la direction des vents dominants favorise un brassage important des eaux en période hivernale. En hiver, lors de fortes tempêtes, des courants benthiques très importants peuvent être observés. Ainsi le 16 décembre 2001, lors d'une forte bise, nous avons observé des courants de 35 cm/s au fond du lac (par 60 m de profondeur) à 300 m au large de Chez-

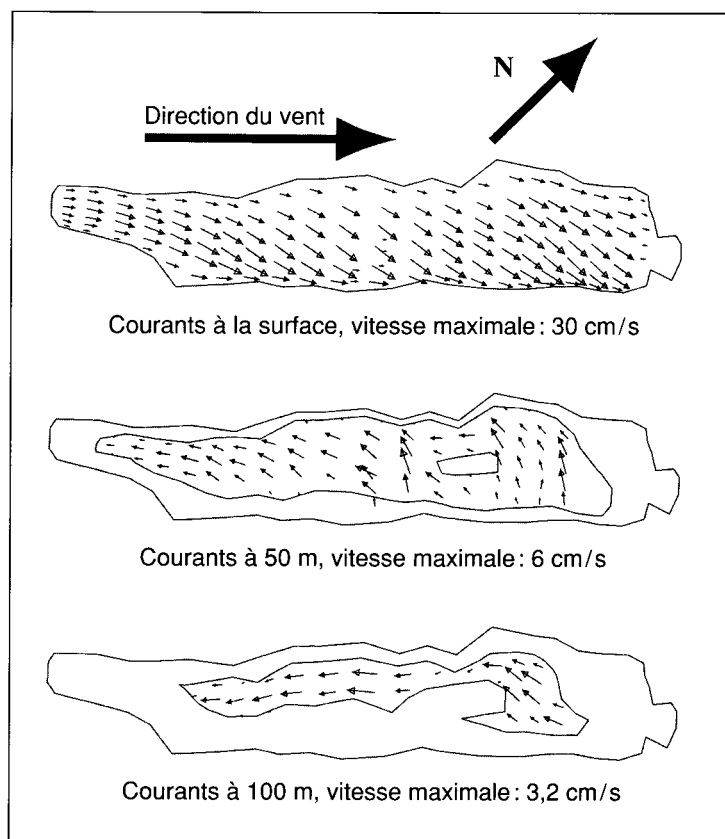


Fig. 11 Modélisation numérique des courants du lac. Un vent du sud-ouest de 27 km/h entraîne des courants de surface déviés vers la droite (force de Coriolis). Dans l'hypolimnion, en profondeur, il provoque un courant de retour en sens inverse, qu'on met en évidence jusque dans les grandes profondeurs, mais dont la vitesse décroît.

le-Bart. L'ouragan Lothar du 26 décembre 1999 a provoqué également des courants benthiques très importants. Ceux-ci ont remis en suspension une grande quantité d'éléments nutritifs pour le phytoplancton. En conséquence, nous avons enregistré, durant l'année 2000, une production de phytoplancton et de zooplancton deux fois plus importante que pour les années normales.

Durant la période estivale, la stratification thermique empêche les courants de plonger jusqu'au fond du lac. Il se forme alors deux cellules convectives de courants, l'une dans l'épilimnion et l'autre, en sens inverse, dans l'hypolimnion.

La circulation générale des eaux (fig. 11 et 12) dans le lac est influencée par la rotation de la Terre par l'intermédiaire de la force de Coriolis. Ainsi, comme on le voit sur les figures 11 et 12 un vent du sud-ouest, dans l'axe du lac, induit à sa surface des courants d'est. Les courants sont déviés vers la droite. En profondeur, les courants de retour sont également déviés vers la droite, induisant ainsi une circulation interne complexe, en particulier au voisinage de la Motte.

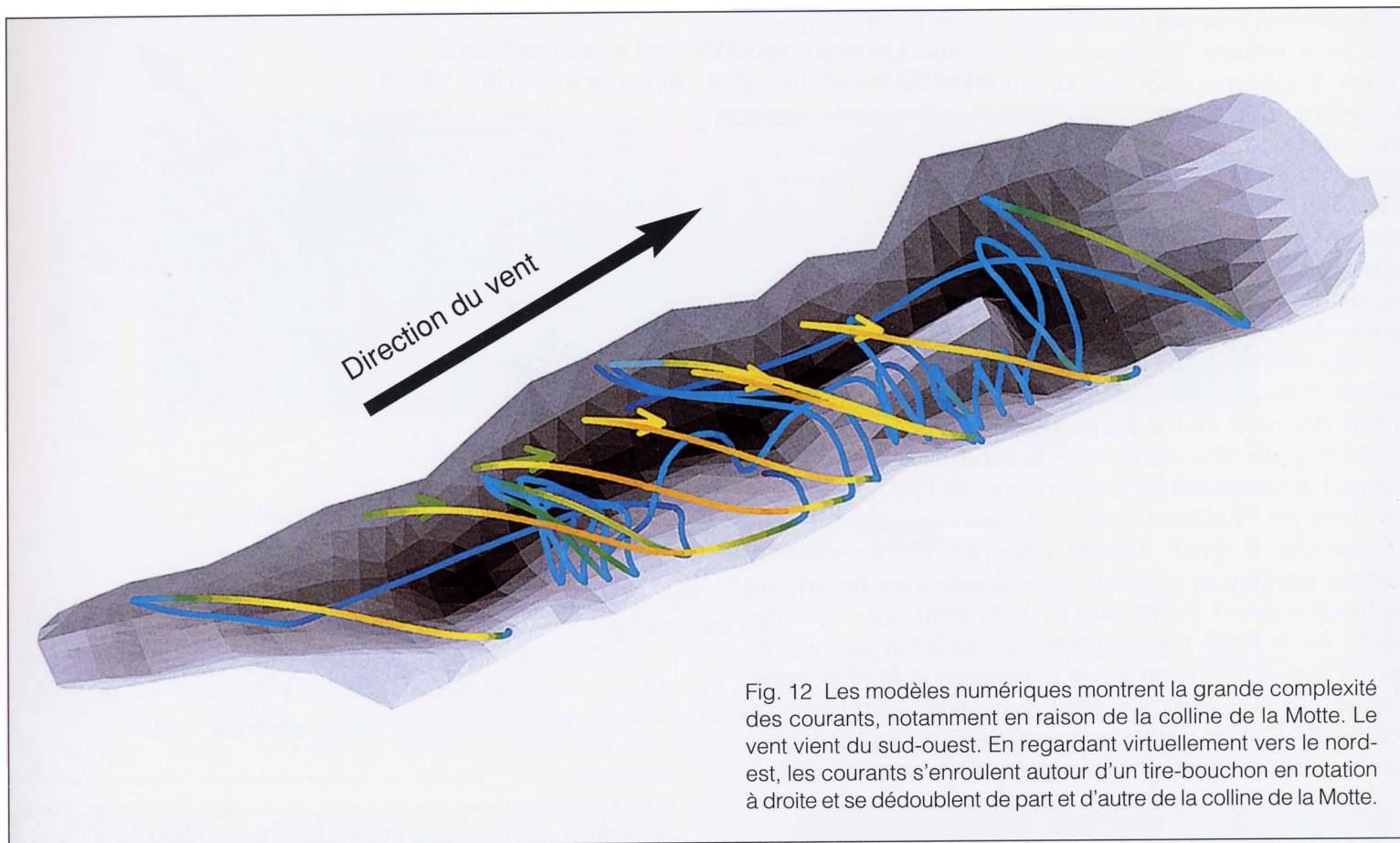


Fig. 12 Les modèles numériques montrent la grande complexité des courants, notamment en raison de la colline de la Motte. Le vent vient du sud-ouest. En regardant virtuellement vers le nord-est, les courants s'enroulent autour d'un tire-bouchon en rotation à droite et se dédoublent de part et d'autre de la colline de la Motte.

Couleur et limpidité des eaux

Le charme incontestable des paysages lacustres, dont celui de Neuchâtel, est directement lié à la grande diversité de son apparence toujours changeante, au fil des jours comme au fil des heures. Six facteurs complexes jouent un rôle pour assurer ces incessantes variations.

a) La couleur de l'eau :

L'eau distillée possède une nette couleur bleue. Elle résulte de l'absorption des grandes longueurs d'onde (rouge et jaune) alors que le bleu et le violet sont faiblement absorbés.

b) L'état du ciel et de la lumière :

La couleur propre de l'eau est modifiée en couleur apparente par les rayons réfléchis provenant du ciel. Les bleus d'une belle journée, comme les rouges d'un soir ou les gris d'un ciel chargé s'imposent.

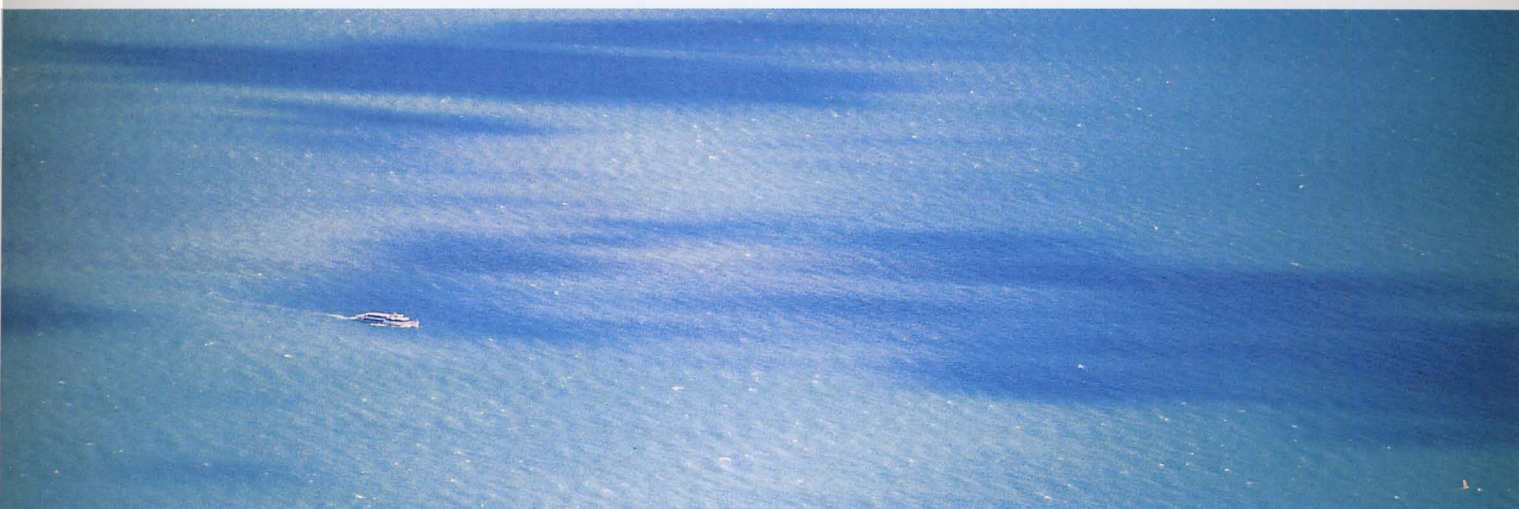
c) L'état du plan d'eau :

Par temps idéalement calme, le plan d'eau agit comme un miroir parfait, mais il est modifié de façon complexe par l'agitation des vagues (fig. ci-contre).

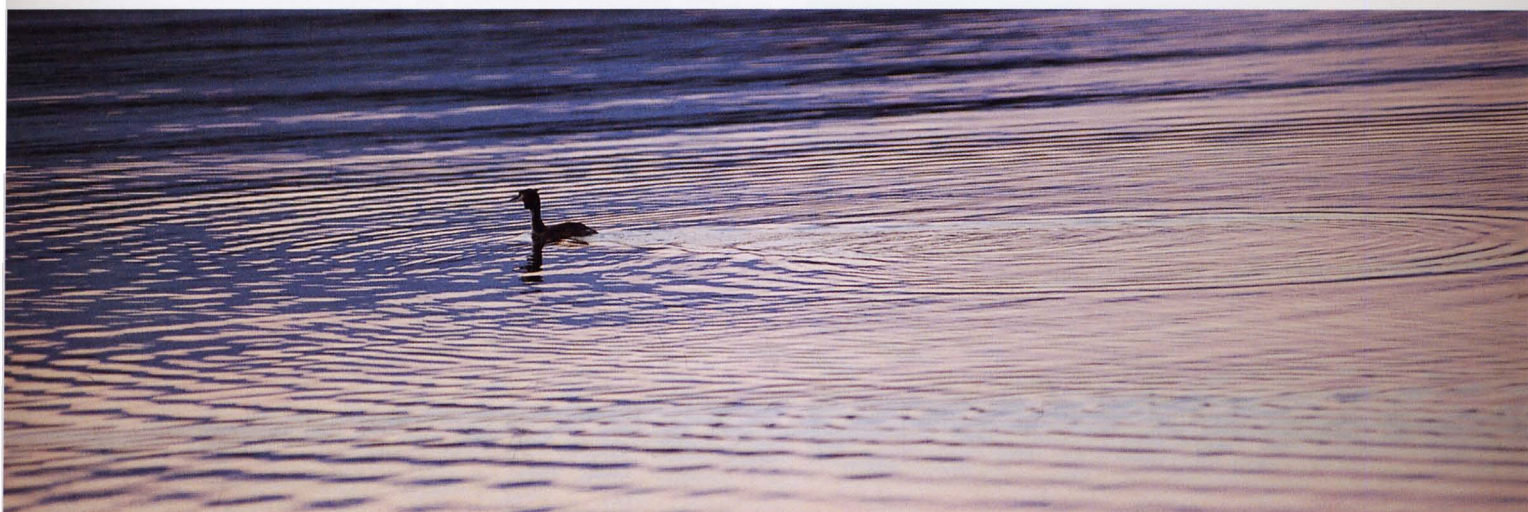




Phénomènes d'irisation du lac sous l'effet des rayons du soleil, par un soir d'orage.



Reflet des nuages et de quelques trouées de ciel bleu par fort vent.



Les ondes de surface modifient la couleur propre du moment.

d) La position de l'observateur par rapport au plan d'eau : Un regard perpendiculaire donne la couleur propre de l'eau. Avec l'obliquité, on en augmente la couleur apparente.

e) La présence de particules :

La couleur est fortement modifiée par les particules qu'elle contient (plancton, matière minérale en suspension) ainsi que par des colorants (matière organique soluble). Ces produits tendent à donner à l'eau une teinte verte qui, par augmentation des charges, vire vers le jaune et le brun. L'eau du lac de Neuchâtel est tout particulièrement verte au printemps et en été. Elle est légèrement plus bleue en hiver. En faibles concentrations, les particules contribuent par effet de diffusion à donner des teintes opalines. En fortes concentrations, elles imposent leur propre coloration.

Une forte agitation du lac entraîne la mise en suspension des fines particules des zones peu profondes, particulièrement les calcites blanches (fig. 8). Le long des rives, les eaux deviennent blanchâtres, un peu grises. Ainsi, la



Vue en transparence d'un fond délavé des particules fines de sédiments fluvioglaciers.

couleur de la zone des hauts-fonds littoraux de la rive sud se distingue toujours de celle des eaux plus profondes, sauf par temps parfaitement calme. Sa teinte varie en fonction de la force des vagues et de l'intensité du trouble provoquée par la mise en suspension des sédiments (du bleu pâle au beige et même au jaune, voire à l'ocre par bise ou vent forts). Par très gros temps, même la région de la Motte subit ce phénomène conduisant, par ciel bleu, à la formation d'une tache blanche assez étendue dans un environnement bleuté.

Le degré de transparence de l'eau, fonction des longueurs d'onde, est conditionné par les particules solides, organiques et minérales, en suspension. Leur concentration, notamment celle du plancton, varie en fonction de la profondeur et de la saison. Près de la surface, la transparence est globalement faible en été et forte en hiver. Le degré de transparence n'est donc nullement un critère de pollution. Il est le plus faible entre mai et juillet (formation de craie lacustre et développement du plancton). Mais on peut rencontrer des eaux très transparentes, même en plein été.

f) L'abondance et la nature du plancton :

La coloration rouge-brun (sang des Bourguignons) par les algues, notamment *Oscillatoria rubescens*, une cyanophycée filamenteuse importée en 1960 du lac de Morat par la Broye, est l'une des manifestations de l'eutrophisation du lac. Fréquente dans les années de grande pollution, cette teinte, qui fait réminiscence à la première plaie d'Egypte, n'est plus beaucoup observée actuellement. Une autre cyanophycée (*Aphanizomenon flos-aquae*) provoque des fleurs d'eau vertes ou bleu-verdâtre. En 1962, elle a couvert le lac de 3 à 4 cm d'épaisseur²¹. Enfin, en automne 2001, la prolifération d'une diatomée planctonique (Bacillariophycée) a coloré les eaux en jaune-brun²².

Chimie du lac

La chimie de l'eau du lac est dominée par les carbonates et les bicarbonates de calcium (dureté carbonatée proche de 2,65 et 2,75 mmol/l). Elle est très légèrement alcaline avec un pH de l'ordre de 8, augmentant de quelques dixièmes en surface et en été, en raison de l'activité photosynthétique liée à la formation du phytoplancton qui absorbe le CO₂ dissous²³.

Les teneurs en sels dissous sont en moyenne les suivantes (en milligrammes par litre) : calcium, 50 ; magnésium, 6 ; silice, 1-2 ; sodium, 5 ; potassium, 1,6-1,8 ; chlorures, 8-10 ; sulfates, 12-12,5 ; nitrates, 5 ; oxygène dissous, 9-12²⁴.

En l'absence de toute stratification thermique, ces valeurs sont homogènes en hiver. Leur variabilité s'accroît



Les chaudes teintes du lac au soleil levant.

quelque peu en été, notamment dans les zones superficielles chaudes. On peut donc parler d'un chimisme relativement stable et homogène pour ces éléments.

A contrario, certains éléments, tel l'oxygène dissous, présentent des teneurs fortement dépendantes de la saison. A la fin de l'hiver, le brassage des eaux se fait sentir jusqu'au fond du lac. L'oxygène, capté en surface, envahit l'ensemble du lac jusque dans les grandes profondeurs. Dès les beaux jours venus, le lac commence à se stratifier; les eaux chaudes légères de la surface (épilimnion), toujours bien oxygénées, ne se mélangent plus avec les eaux froides inférieures. En profondeur, l'oxygène dissous est consommé par les algues et par l'oxydation de la matière organique et il diminue jusqu'à 8 mg/l; mais heureusement il n'atteint pas la valeur critique de 4 mg/l à 1 m du fond.

Cette situation démontre la bonne santé du lac et son réel pouvoir de récupération après les années de pollutions multiples auxquelles il fut soumis. La création des stations d'épuration (97 sur le périmètre du lac) et la politique très ferme menée, au niveau des lessives comme des engrais,

a permis cette amélioration de la qualité des eaux. Le phosphore, notamment à l'origine de la prolifération des algues, est en constante diminution depuis 1986, date de son interdiction dans les lessives. Les teneurs en chlorure croissent de 1970 à 1993 puis se stabilisent²⁵. Le sodium et le potassium sont de bons indicateurs des activités (agriculture, routes en hiver, industrie..., etc.). Sous l'angle de l'eutrophisation, destin de tous les lacs, celui de Neuchâtel se trouve, notamment par sa teneur en oxygène, nettement mieux placé que ceux de Bienne et de Morat, moins profonds donc plus sensibles.

Futur du lac

Dans la perspective des temps géologiques, comme tous les lacs, celui de Neuchâtel est appelé à disparaître comblé par des apports sédimentaires. Actuellement, une estimation grossière conduit à proposer un apport annuel en carbonates en solution de 500000 tonnes²⁶, dont le 18%

(90 000 tonnes) est piégé dans le lac. A cela s'ajoutent les matériaux solides transportés par les affluents, soit 200 000 tonnes d'argiles, de quartz et de fines particules en suspension. En estimant que les sédiments formés auraient une densité de 2 g/cm^3 ils constitueraient un volume annuel voisin de $145\,000 \text{ m}^3$.

De ce qui précède, on déduit que le lac de Neuchâtel, dont le volume est de $14,17 \text{ km}^3$, se verrait transformé en une zone marécageuse parsemée de tourbières en quelque 97 000 ans, ce qui, géologiquement parlant, est une proche échéance.

Les deux corrections des eaux des lacs subjurassiens

La première correction des eaux (1863-1891)

Au pied du Jura, l'érosion fluviale et glaciaire a façonné la dépression qui s'étend d'Entreroches, près de La Sarraz, à Aarwangen, un peu en aval de Soleure (fig. 7). Dès le retrait des glaciers, cette plaine fut tapissée d'alluvions récentes de granulométrie généralement fine, avec des tourbes, parfois des troncs et des craies²⁷. Elles témoignent de la présence épisodique d'anciennes forêts et les niveaux de craies lacustres illustrent l'existence d'étendues d'eaux temporaires.

Dans ce paysage, l'Aar joue un rôle déterminant. Elle s'écoule parfois dans le lac de Neuchâtel, parfois vers Büren, parfois directement vers Soleure (fig. 7 B).

Comme toute rivière présentant une faible pente, elle érode parfois, mais tend à tapisser son lit et son proche environnement de ses propres sédiments. Cette situation conduit à élever le cours d'eau qui finit par prendre un nouveau cheminement au-delà de ses berges surélevées. Ce mécanisme d'érosion, de comblement et de déplacement se répète inlassablement dans l'espace et le temps. L'Orbe, la Thielle, la Broye ont œuvré de façon similaire dans un paysage où les 10 m de différence d'altitude sur près de 100 km entre Entreroches et Soleure sont particulièrement favorables à ce type d'évolution.

Dès le début du XIV^e siècle, de nombreuses chroniques mentionnent de graves inondations, détruisant récoltes et immeubles, comme celles de 1318, 1472, 1480, 1550, 1555 et 1556; parfois même, les crues emportent les ponts à Soleure, Aarberg et Büren. Les Grands Marais, à la jonction des trois lacs, sont souvent inondés, même lors de pluies un peu soutenues. Les tentatives d'assainissement, comme celle du Gouvernement bernois, qui décide de curer la Thielle en 1674, de même que de nombreux projets proposés au XVIII^e et au milieu du XIX^e siècle n'aboutissent pas ou n'emportent pas l'adhésion, à l'exception du projet de 1842 de La Nicca, ingénieur en chef du canton des Grisons.

C'est à Johann Rudolph Schneider, enfant de Meienried, au bord de l'Aar, installé comme médecin à Nidau, que revient le mérite d'avoir su mobiliser les hommes politiques et la population pour enfin aboutir à une décision des Chambres fédérales. Celles-ci, le 22 décembre 1863, votent un crédit de 4,67 millions de francs sur un projet remanié – la toute jeune Confédération refusant de soutenir les travaux d'assèchement par drainage des Grands Marais proposés dans le projet déposé – dénommé projet La Nicca – Bridel.

Malgré cette décision, les cinq cantons partenaires ont de la peine à s'entendre. Et ce n'est qu'en 1867, après les inondations catastrophiques de 1865, qui firent de Nidau et du Landeron des îles au milieu d'un lac – les eaux des lacs de Neuchâtel et de Morat étaient alors réunies –, que les cinq cantons décident l'exécution des travaux, soit (fig. 13):

a) l'excavation d'un canal Nidau-Büren qui débute fin 1868 ainsi que la construction d'un système de régulation des eaux à Nidau-Port qui sera reconstruit en 1936-1939;

b) le détournement de l'Aar dans le lac de Biemme, par l'ouverture, début 1874, du canal entre Aarberg et Hagneck. Le 16 août 1878, l'Aar empruntait ce nouveau trajet, ce qui créa quasi immédiatement l'abaissement escompté des eaux;

c) correction du cours inférieur de la Broye entre les lacs de Neuchâtel et de Morat, comprenant trois sections à excaver et des dragages. Le début des travaux date également de 1874;

d) dès 1875, correction du cours supérieur de la Thielle entre les lacs de Neuchâtel et de Biemme avec excavations près des villages de Thielle et de Cressier.

L'ensemble des travaux se termine en 1891. Les résultats prévus furent atteints. On pouvait déjà, au cours des travaux, faire état d'un abaissement global des eaux de l'ordre de 2,4 m (prévisions: 2,1 à 2,4 m) et d'une réponse aux crues beaucoup moins subite. Cependant, les variations entre les niveaux de crue et d'étiage restèrent toujours aussi importantes.

Ainsi, pour le lac de Neuchâtel (fig. 14), les niveaux extrêmes avant la correction se situaient entre l'altitude 433,20, voire 434,19 en 1634 et 430,80 m, soit une différence de 2,4 à 3,39 m; après la correction, ils étaient respectivement à 431,01 et 428,22 soit un battement équivalent de 2,79. Signalons enfin les gains substantiels en terres cultivables (400 km^2) dont la vente aux particuliers représenta une source de revenu pour les entrepreneurs de ce vaste projet.

Ainsi, pour le lac de Neuchâtel (fig. 14), les niveaux extrêmes avant la correction se situaient entre l'altitude 433,20, voire 434,19 en 1634 et 430,80 m, soit une différence de 2,4 à 3,39 m; après la correction, ils étaient respectivement à 431,01 et 428,22 soit un battement équivalent de 2,79. Signalons enfin les gains substantiels en terres cultivables (400 km^2) dont la vente aux particuliers représenta une source de revenu pour les entrepreneurs de ce vaste projet.

Niveaux extrêmes du lac de Neuchâtel avant et après la première correction des eaux (adapté de A. Peter, 1922)

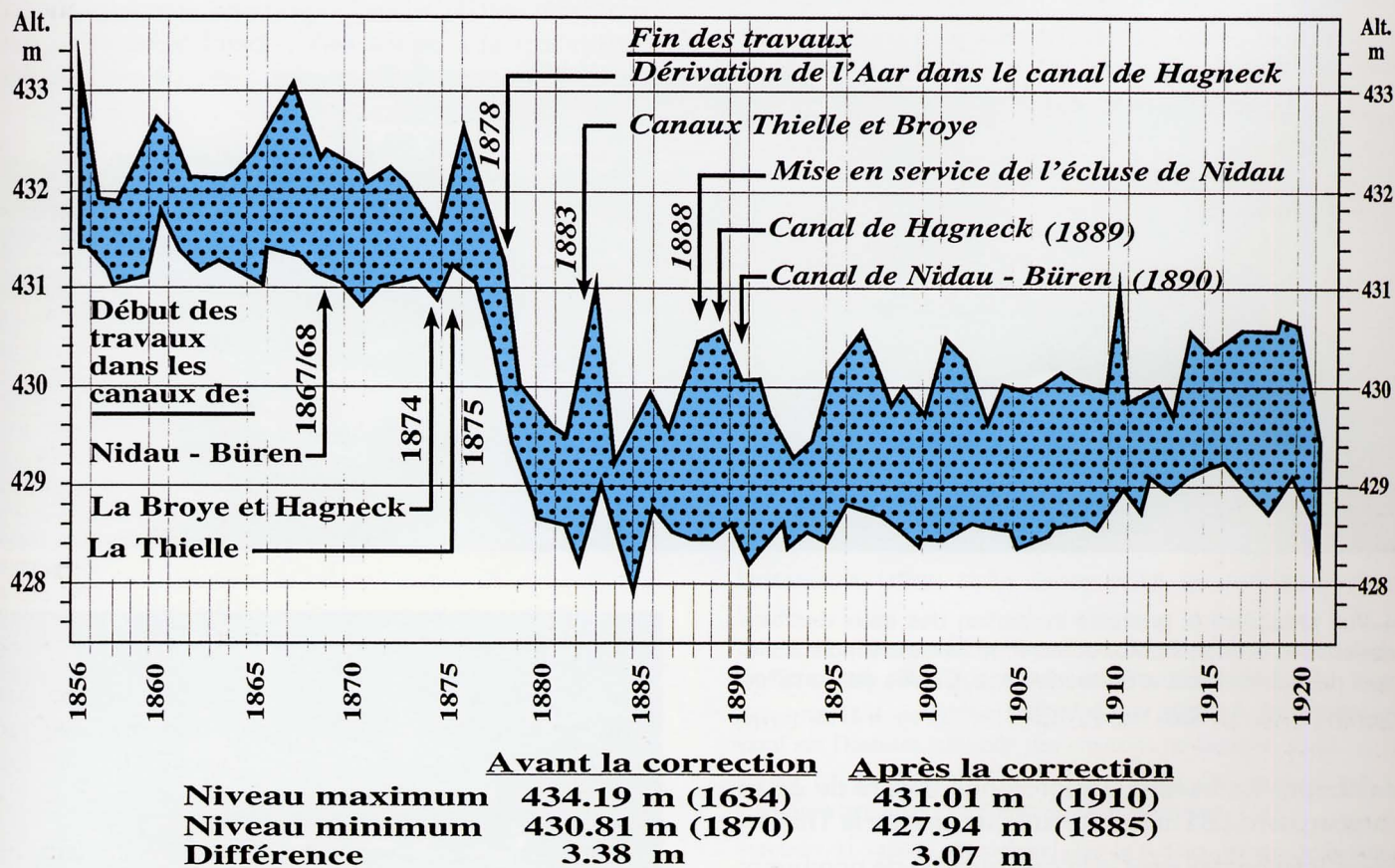


Fig. 13 Niveaux des eaux du lac avant et après la première correction des eaux des trois lacs et principaux travaux réalisés. Modifié de Peter (1922).

La seconde correction (1960-1974)

Les besoins pour de nouveaux travaux se font sentir très tôt²⁸. L'abaissement des nappes phréatiques a pour conséquence de provoquer d'importants tassements. En 1940, on note des tassements allant jusqu'à 1,5 m, notamment par l'oxydation des tourbes et autres matières organiques. Plusieurs inondations ont lieu dès la fin du XIX^e siècle. Des études pour y remédier débutent en 1910 déjà. En 1921, celle très approfondie de l'ingénieur A. Peter²⁹ n'arrive pas à provoquer des décisions dans le marasme économique de l'époque. Les inondations catastrophiques de 1944, ainsi que celles de moindre gravité de 1950, 1952 et 1955, comme pour la première correction, remettent le problème à l'ordre du jour.

En 1954, l'Association intercantonale pour la deuxième correction des eaux du Jura est fondée. Par concordat (7 septembre 1956), les cantons s'entendent sur la prépa-

ration et l'exécution d'un nouveau projet, dont la direction est remise au professeur Robert Müller de l'École polytechnique fédérale. Son projet est approuvé le 5 octobre 1960 par l'Assemblée fédérale, laquelle octroie une subvention de 50%. La votation populaire de 1961 permettra de faire démarrer les travaux dans l'ordre suivant :

- 1961 : abaissement de l'écluse de Nidau-Port ;
- 1962 : abaissement de 2,3 m du canal de la Broye sur une longueur de 9 km et élargissement de son gabarit à 60 m, ce qui doit permettre de quadrupler son débit ;
- 1963 : approfondissement de 5 m du canal de Nidau-Büren ;
- 1965 : travaux de consolidation des rives entre Büren et Soleure. L'espoir de voir le lit s'éroder de 1 à 2 m, rendant un surcreusement superflu, fut déçu ; seuls 20 à 30 cm d'approfondissement ont été constatés. Cette même année



Fig. 14 Vue précédant la première correction des eaux des lacs subjurassiens des rives du Petit Cortailod et de l'ancienne Indienne, site actuel des usines Nexans Suisse SA, anc. Câbles de Cortailod (coll. A. Jeanneret). A droite, vue actuelle.

furent entrepris les travaux d'approfondissement de 2,3 m et d'élargissement à 84 m des 8,5 km du canal de la Thielle;

- la consolidation des rives et la construction de nombreux nouveaux ponts sont évidemment des compléments nécessaires. Enfin, la construction de l'usine électrique de Flumenthal, en léger aval de Soleure, fut réalisée. En plus d'être une source d'énergie, à l'instar de celle de Hagneck, datant de 1899, elle joue également comme système de régulation à la cote 426 m du niveau des eaux en amont;

- 23 août 1973: adoption d'un nouveau concordat par les cinq cantons pour l'entretien des ouvrages et inauguration. En 1970, les nouveaux records d'abondance des eaux dans les différents cours d'eau furent un test satisfaisant de l'ensemble du système mis en place.

Les objectifs de la seconde correction étaient réalisés. Parmi les principaux, citons: a) l'abaissement de près de 1 m du niveau maximum du plan d'eau; b) la réduction de l'amplitude des variations à 1,3-1,6 m; c) l'augmentation de la capacité d'écoulement. A Nidau, celle-ci est doublée passant de 300 m³/sec à 630 m³/sec pour un niveau du lac de 429 m et de 550 m³/sec à 900 m³/sec lorsque celui-ci a la cote 430,5 m.

L'ensemble du système de régulation repose sur le volume d'eau qu'on entend laisser couler à l'écluse de



Nidau en fonction de la cote atteinte dans le lac de Bienne. A cet égard, les souhaits issus des milieux de la pêche, de la préservation de la faune et de la flore, de l'agriculture, et enfin des transports sur les lacs et les canaux ont été et restent souvent contradictoires, si bien que le règlement de régulation ne peut être qu'un compromis.

Selon l'annuaire hydrologique suisse, les statistiques de 1973 à l'an 2003 pour le lac de Neuchâtel indiquent un niveau moyen de 429,30 m. Les cotes maximales, respectivement minimales, furent de 430,24 (22.6.1987) et 428,74 (4.12.1978), soit un écart de 1,5 m. Sur la période 1983-2000, on ne compte en moyenne que 5 jours par an où la cote 429,8 est atteinte.

Finalement, il est intéressant de comparer les coûts de la première correction: 15 millions de francs de l'époque (1890), soit un équivalent probable de l'ordre de 500 à 700 millions de francs actuels, aux 152 millions qu'aura coûté la seconde correction. On mesure l'audace d'une telle entreprise au XIX^e siècle lorsque l'on songe à la très relative richesse du pays à cette époque.

NOTES

- ¹ PETER, 1922.
- ² JAECKLI, 1950.
- ³ MEIA et al., 1971.
- ⁴ SCHÄR et al., 1971.
- ⁵ SOLLBERGER, 1974.
- ⁶ WEIDMANN et al. (2002), publication récente.
- ⁷ PUGIN, 1988.
- ⁸ PUGIN, 1991.
- ⁹ BOURGUET, 1742.
- ¹⁰ KUBLER, 1988.
- ¹¹ GORIN, 2001.
- ¹² KUBLER, 1988.
- ¹³ SCHWALB, 1999.
- ¹⁴ LAMBERT, 1999.
- ¹⁵ LAMBERT, 1999.
- ¹⁶ SCHWALB, 1992.
- ¹⁷ PORTNER, 1951.
- ¹⁸ SAUSSURE, 1789.
- ¹⁹ QUARTIER, 1948.
- ²⁰ PORTNER, 1951.
- ²¹ MATTHEY, W., com. orale.
- ²² STRAUB, 2002.
- ²³ LAMBERT, 1999.
- ²⁴ LAMBERT, 1999; POKORNI-AEBI, 2002.
- ²⁵ KUBLER, 1972; POKORNI-AEBI, 2002.
- ²⁶ PORTNER, 1951.
- ²⁷ SCHARDT, 1905.
- ²⁸ EHRSAM, 1974.
- ²⁹ PETER, 1922.

Bibliographie

- BECKER, F. et RAMSEYER, R. (1972), Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Murten, 1165.
- BOURGUET, L. (1742), Traité des pétrifications, Paris, XVI, 271 p., 60 pl.
- EHRSAM, E. (1974), Exposé général des deux corrections des eaux du Jura (exécutées de 1868 à 1891 et de 1962 à 1973). Trad. H. Hof, Commission intercantonale des eaux, Berne.
- GORIN, G. E.; DUPONT, G.; MOREND, D.; PUGIN, A. (2001): Paleofaults, Glacial Erosions and Quaternary Sediments in Lake Neuchâtel, as derived from high-resolution seismic reflection. Résumé, 181^e congrès ann. de l'ASSN, Yverdon-les-Bains.
- GUYOT, A. (1845), «Notice sur la carte du fond des lacs de Neuchâtel et de Morat», Mém. Soc. sc. nat., Neuchâtel, t. III, 10 p.
- JAECKLI, H. (1950), «Untersuchungen in den nacheiszeitlichen Ablagerungen in der Öbbe-Ebene zwischen dem Mormont und Yverdon», Ecl. geol. Helv., 43, pp. 1-12.
- KUBLER, B. (1972), «Note de géochimie de l'environnement. Le sel agresseur méconnu de notre environnement», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 95, pp. 165-172.
- KUBLER, B. (1988), «Les sédiments de la Motte, haut-fond au milieu du lac de Neuchâtel», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 111, pp. 95-98.
- LAMBERT, P. (1999), La sédimentation dans le lac de Neuchâtel (Suisse): processus actuels et reconstitution paléoenvironnementale de 1500 BP à nos jours, thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, 237 p.
- MEIA, J.; PERSOZ F.; SCHAER, J.-P. (1971), «Dépôts quaternaires et évolution récente de la région de Colombier (rive NW du lac de Neuchâtel)», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 94, pp. 78-82.
- PETER, A. (1922), Die Juragewässerkorrektion. Bericht über die Vorgesichte, Durchführung, Wirkung und Neuordnung 1921 der Korrektion des seeländischen Gewässer von Enteroches bis Luterbach, Buchdruckerei Emil Horat, Bern.
- PORTNER, C. (1950-1951), «La sédimentation calcaire du lac de Neuchâtel. Etude physico-chimique», Rev. suisse hydrol., 13, pp. 201-290.
- PUGIN, A. (1988), «Carte des isohypses de la base des sédiments du Quaternaire en Suisse occidentale avec quelques commentaires», Serv. hydrol. nat., Rapp. géol. N° 3, Berne.
- PUGIN, A. (1991), «Séquences sédimentaires glaciaires dans le Seeland et le Mittelland bernois et soleurois», Eclogae geol. Helv. 84/1, pp. 177-205, 14 fig.
- POKORNI-AEBI, B. (2002), «Suivi de la qualité des eaux du lac de Neuchâtel (Suisse)», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 125/1, pp. 135-143.
- QUARTIER, A. (1948), Le lac de Neuchâtel, Ed. de la Baconnière, Neuchâtel.
- RITTER, G. (1902), «Sur la disparition des falaises de la rive sud du lac de Neuchâtel», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 30, pp. 362-367.
- SAUSSURE, H. B. de (1779-1796), Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève, 4 vol.
- SCHÄR, U.; RYNIKER, K.; SCHMID, K.; HÄFELI, Ch.; RUTSCH, R. F. (1971), Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Bielersee, 1145.
- SCHARDT, H. (1905), «Neuchâtel (lac de)», Dict. géogr. de la Suisse, Ed. Attinger Frères, Neuchâtel.
- SCHWALB, A. (1992), Die Sedimente des Lac de Neuchâtel (Schweiz): Rekonstruktion spät- und postglazialer Klima- und Umweltveränderungen, thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, 138 p., 47 fig., 50 tab.
- SOLLBERGER, H. (1974), Le lac de Neuchâtel (Suisse). Ses eaux, ses sédiments, ses courants sous-lacustres, thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, 434 p.
- STRAUB, F. (2002), «Note algologique II. Apparition envahissante de la diatomée *Achnanthes catenata* Bily & Marvan (Heterokontophyta Bacillariophyceae) dans le lac de Neuchâtel (Suisse)», Bull. Soc. neuch. sc. nat., 125/1, pp. 59-65.
- WEIDMANN, M.; CLAVIEN, D.; LAPAIRE, F. (2002), «Les dépôts quaternaires du bassin de la Basse-Broye», Bull. Soc. vaud. sc. nat., 88.2, pp. 143-173.

Remerciements

MM. Jean-Pierre Jelmini, Willy Matthey et Roland Stettler nous ont fait part de diverses informations respectivement sur des questions d'histoire, de biologie et de chimie du lac de Neuchâtel, qu'ils en soient vivement remerciés. Les figures 8 et 14 nous ont été données par MM. Pierre Lambert et Alain Jeanneret auxquels va également notre gratitude.