

# Excursion géologique en bateau à vapeur sur le Lac des Quatre-Cantons

Walter Wildi & Jörg Uttinger  
2019

<https://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/geologische-schiffahrt-auf-dem-vierwaldstaettersee-d-e-f/>

# Excursion géologique en bateau à vapeur sur le Lac des Quatre-Cantons

Walter Wildi & Jörg Uttinger  
2019

<https://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/geologische-schiffahrt-auf-dem-vierwaldstaettersee-d-e-f/>

## Résumé

Ce guide d'excursion propose un tour en bateau à vapeur sur le Lac des Quatre-Cantons, le long d'une section géologique entre Lucerne et Flüelen, de la bordure des Alpes jusqu'à la base des Nappes helvétiques.

L'introduction présente l'histoire géologique du Paléozoïque supérieur (dès env. 315 mio d'années), à travers le Mésozoïque et l'ouverture de la mer alpine, au plissement des Alpes et l'érosion des chaînes de montagnes par les glaciers.

Au Mésozoïque (250 à 65 mio d'années), le niveau marin global monte, comme le montrent les dépôts de la plate-forme carbonatée du Domaine helvétique au sud jusqu'au Jura au nord. Le début du plissement alpin est daté du Crétacé supérieur (env. 100 mio d'années), mais la partie septentrionale de la mer alpine est seulement affectée au cours de l'Eocène, dès env.

40 mio d'années, avec le dépôt de flyschs et jusqu'au Miocène supérieur, suivi du plissement du Jura au Pliocène. Pendant l'Oligocène (dès env. 34 mio d'années) et le Miocène, la Molasse, composée de matériel d'érosion de la chaîne de montagnes s'accumule le long de la bordure alpine et dans l'avant-pays alpin. Les vallées profondes sont creusées par les glaciers alpins au cours des derniers 800'000 ans du Pléistocène, avant la période postglaciaire de l'Holocène.

Le voyage en bateau commence à Lucerne, à la limite géologique entre la Molasse du Plateau et la Molasse subalpine. Ensuite, elle suit le massif de la Rigi, formé par une écaille de Molasse subalpine inclinée vers le Sud. A Vitznau le bateau traverse la limite du bâti des Nappes helvétiques. Sur le Lac d'Urnen on suit d'abord la Nappe du Drusberg et ses plis spectaculaires, puis la Nappe de l'Axen. Le terminus se situe à Flüelen, dans des paysages plus doux, situés sur les sédiments de la couverture du Massif de l'Aar.

Walter Wildi, Département F.A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève, Uni Carl Vogt - 2ème étage, 66 boulevard Carl-Vogt, CH-1211 Genève 4. Adresse privée: Chemin des Marais 23, 1218 Le Grand Saconnex. [walter.wildi@unige.ch](mailto:walter.wildi@unige.ch)

Jörg Uttinger, Weidhuobli 3, 6430 Schwyz, [joerg.uttinger@bluewin.ch](mailto:joerg.uttinger@bluewin.ch)

## «Es lächelt der See, er ladet zum Bade»

«Le lac sourit, il invite au bain»\*

Toute personne romantique, tout peintre et poète sera enchanté par le Lac des Quatre-Cantons qui se situe au centre d'un paysage de montagnes pittoresques et majestueux. Pour d'autres, il s'agit d'un lieu de sport, d'un bassin destiné à la baignade pour les enfants. Le pêcheur professionnel y gagne son pain et un géographe reconnaît une voie de transport. Le lac représente également un écosystème pour la faune et la flore. Enfin, un géologue identifie immédiatement la signature des glaciations du passé, liés aux plus grands événements climatiques survenus au cours de l'histoire de la Terre.

Avec ce guide d'excursion nous proposons une expérience particulière, en profitant du lac comme fenêtre pour lancer un regard dans les profondeurs géologiques du bâti alpin. A cet effet nous effectuons un tour en bateau le long d'une coupe géologique de Lucerne jusqu'à à Flüelen, soit du front du massif alpin jusqu'à la base des Nappes helvétiques.

Ce voyage n'est cependant pas tout nouveau: déjà le «Guide géologique de la Suisse» datant de 1934 décrit ce périple. Nous proposons de le dépoussiérer ici et de le remettre à jour.

Nous suggérons de planifier ce voyage un jour de beau temps, au printemps, en été ou en automne. Toutefois, la Compagnie de navigation du Lac des Quatre-Cantons offre des trajets pendant toute l'année, y compris l'hiver, entre Lucerne et Flüelen.

\* *Friedrich Schiller 1804: «Wilhelm Tell», première scène*



**Figure 1:** Le «saut du Tell» (*Tellsprung*) pendant une tempête de föhn (*Tellskapelle*).

### Le Lac des Quatre-Cantons

Le Lac des Quatre-Cantons coupe avec sa forme de salamandre le front alpin. Son niveau se situe à 434 m au-dessus du niveau de la mer; sa surface est de 14 km<sup>2</sup>, son volume de 12 km<sup>3</sup> et sa profondeur maximale est de 214 m dans le bassin de Gersau.

La température de l'eau de surface varie en fonction de la saison, entre une température légèrement supérieure à 0 °C en hiver et une température près de 22 °C en été. En profondeur, on mesure autour de 5 à 6 °C. Le temps de séjour de l'eau est en moyenne de 3.4 année.

Les affluents les plus importants sont la Reuss, la Engelberger Aa, la Sarner Aa, la Muota. Les cantons de Suisse Centrale se partagent les rives du Lac: Lucerne, Schwyz, Uri et Nidwalden. La Reuss est constitue l'effluent du lac à Lucerne.

Les différents sous-bassins du lac portent des noms locaux: Luzernersee, Küssnachersee, Alpnachersee, Stanser Trichter, Chrüztrichter, Vitznauer Bucht, Gersauer See, Buochser Bucht, Urnersee.

## Une brève histoire de la Terre de l'ouverture de la mer alpine au plissement des Alpes, aux glaciations et jusqu'aux temps modernes

Le suivi de ce voyage géologique à la bordure nord des Alpes nécessite quelques connaissances concernant les étapes de l'histoire de la Terre. Nous nous limitons ici aux notions de base. Une histoire plus détaillée est présentée (hélas en allemand . . .) dans un excellent chapitre du livre par Beat Keller (2007):

[https://www.researchgate.net/profile/Beat\\_Keller4/publication/282979520\\_So\\_entstand\\_der\\_Vierwaldstattersee/links/5625357908aeabddac91c86a/So-entstand-der-Vierwaldstaettersee.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Beat_Keller4/publication/282979520_So_entstand_der_Vierwaldstattersee/links/5625357908aeabddac91c86a/So-entstand-der-Vierwaldstaettersee.pdf)

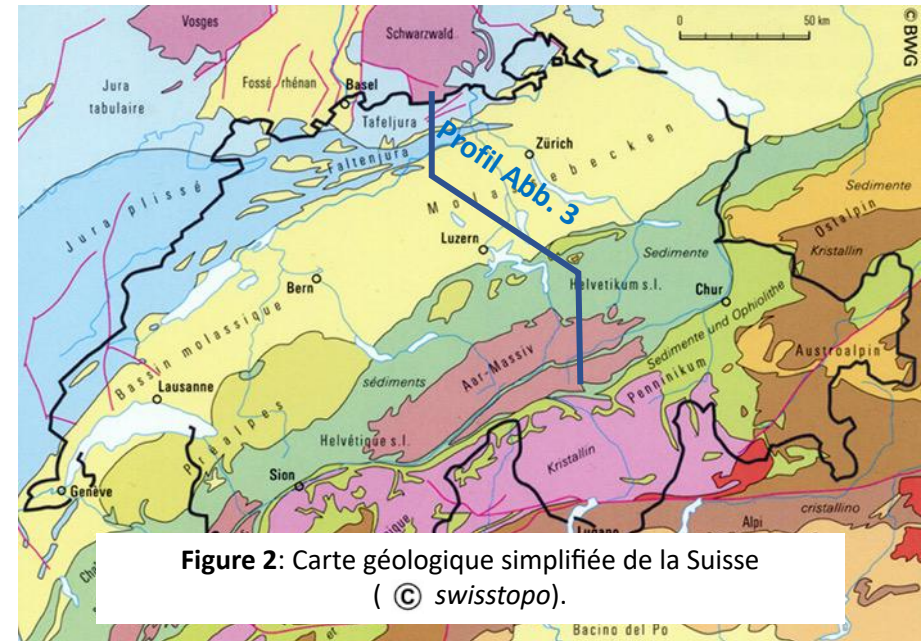


Figure 2: Carte géologique simplifiée de la Suisse (© swisstopo).

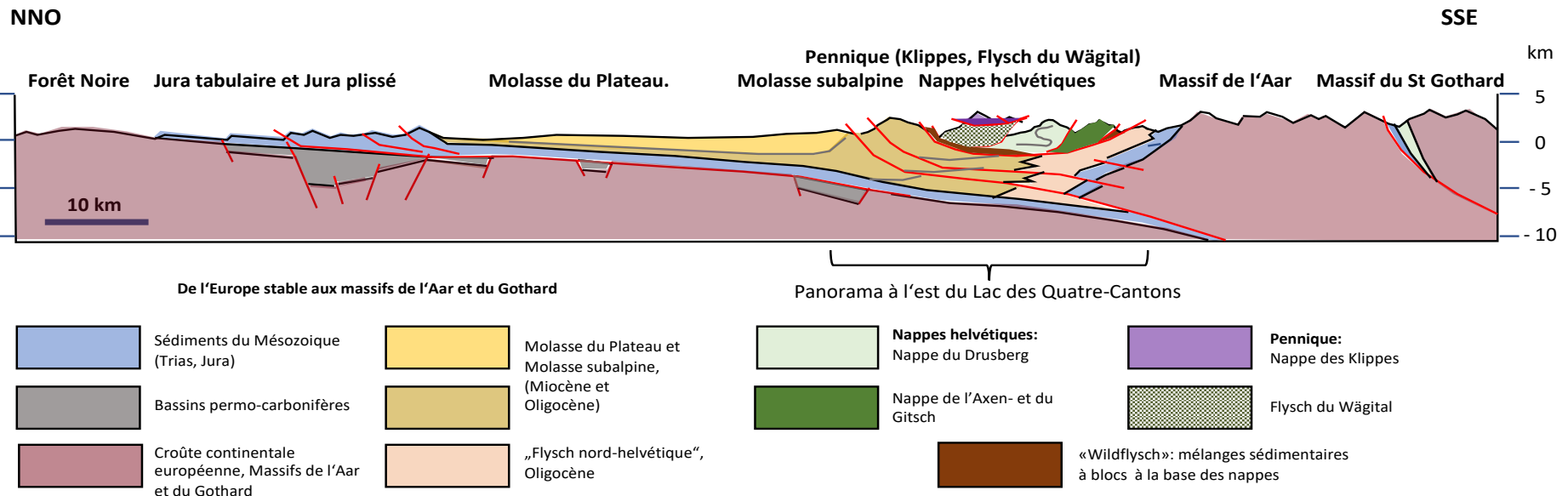


Figure 3: Profil géologique du massif de la Forêt Noire au Massif du St. Gothard ([www.nagra.ch](http://www.nagra.ch), complété).

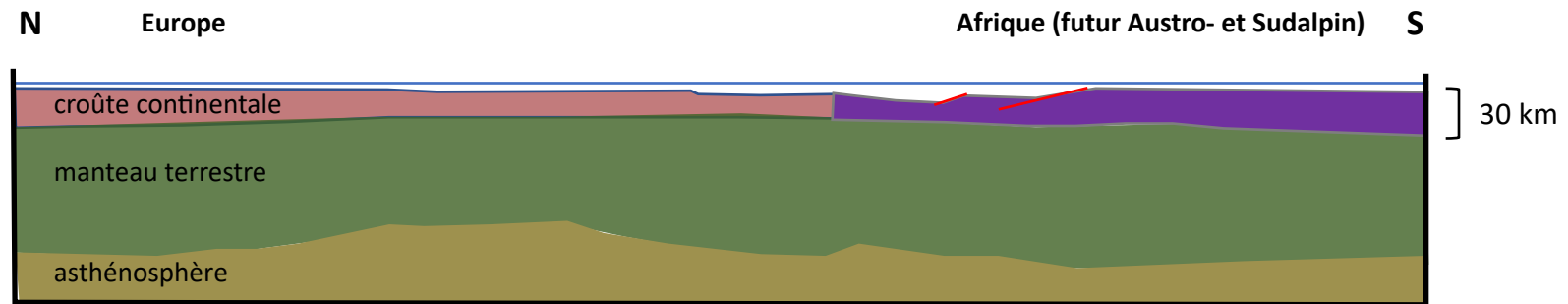
La planète Terre est née il y a 4,6 milliards d'années. Cependant, les roches les plus anciennes de la section géologique de la Forêt Noire aux Alpes du Gothard sont considérablement plus jeunes (fig. 2, 3, tableau 1). Ce sont essentiellement des roches granitiques provenant de magmas formés au cours de deux orogénèses (formations de montagnes) au cours du Paléozoïque, soit pendant la période dite "calédonienne" (environ 450 - 420 millions d'années) et "hercynienne" (360 à 270 millions d'années). Les granites sont entourés de roches de transformation (roches métamorphiques), principalement de gneiss, qui ont été créées au cours de l'orogénèse mentionnée ci-dessus, voire antérieurement.

Ces anciennes chaînes de montagnes ont été érodées au **Paléozoïque supérieur**, pendant les périodes du **Carbonifère supérieur** et du **Permien**. En tant que témoins de cette érosion, nous rencontrons des vallées profondes remplies de sédiments, les "bassins permo-carbonifères". En plus des conglomérats, des grès et des argilites, les sédiments peuvent contenir une matière organique abondante et même des veines de charbon. Ces roches se trouvent par exemple dans le massif du Tödi (canton de Glaris) et dans le sous-sol jurassien du nord de la Suisse (fig. 3).

Les roches de ces vieux socles constituent le socle géologique dans la Forêt Noire au nord, sous le Plateau suisse et le front alpin, jusqu'aux massifs de l'Aar et du Gothard au sud. Les deux massifs correspondent à des écaillés du socle européen, décollées pendant le plissement alpin et poussées sur leur avant-pays au nord (fig. 3, tab. 1).

Au début de la période du **Trias** (il y a 251 millions d'années), le relief est en grande partie aplani par l'érosion. L'Eurasie et l'Afrique appartiennent alors au même continent géant, la Pangée. La première invasion marine a lieu au cours du Trias, dans les Alpes orientales (fig. 4). Pendant cette période, des grès, du sel, du gypse et (au cours du Trias moyen) des calcaires et des dolomies se déposent sur le continent européen dans une mer épicontinentale "germanique" peu profonde.

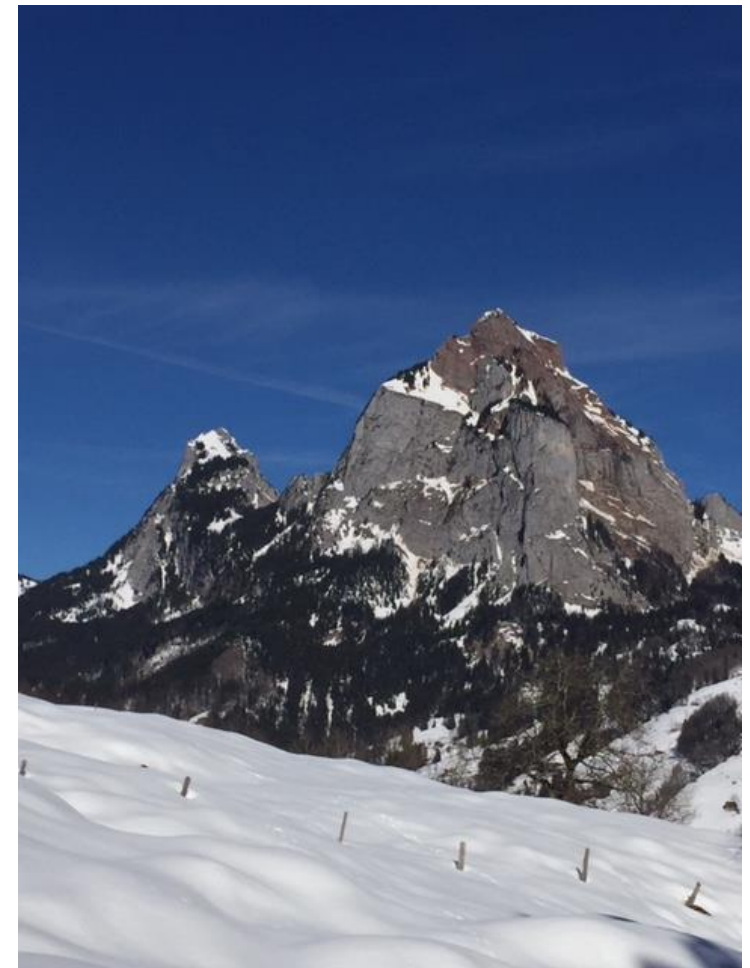
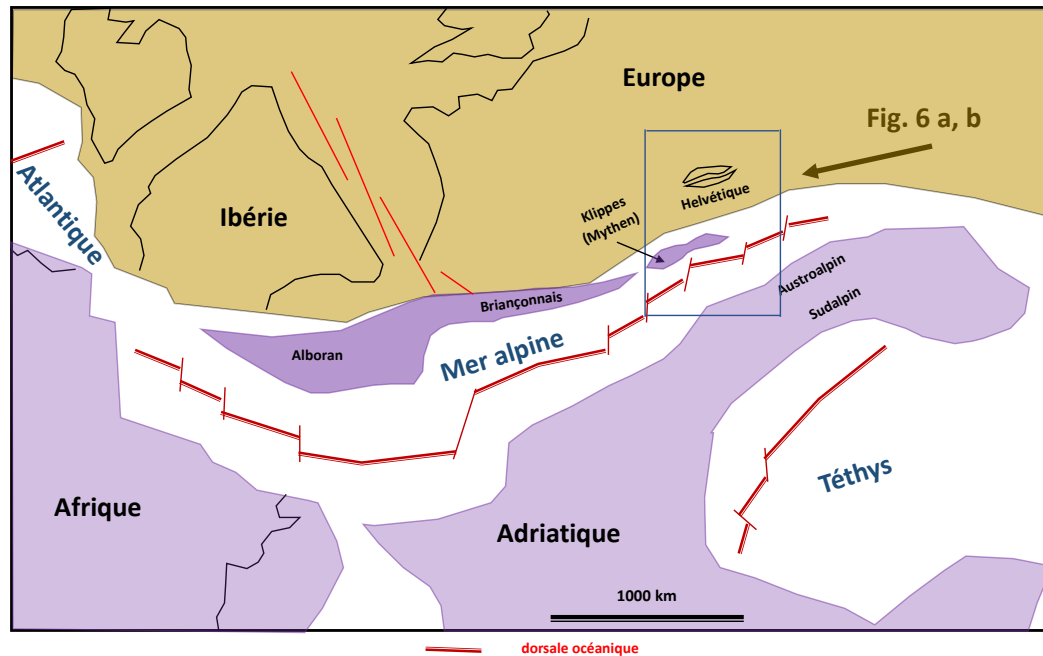
Au début de la période du **Jurassique**, à partir de 201 millions d'années, une lente et durable montée du niveau des océans se met en place. Le continent européen est alors en grande partie inondé et des sédiments de plate-forme marine peu profonde (principalement des calcaires et des marnes) se déposent. Au cours du **Lias** (201 à 174 millions d'années), la région autour du Massif de l'Aar reste émergée ("continent alémanique").



**Figure 4:** Trias moyen, section géologique schématisée de la croûte et du manteau terrestre entre l'Afrique et l'Europe.

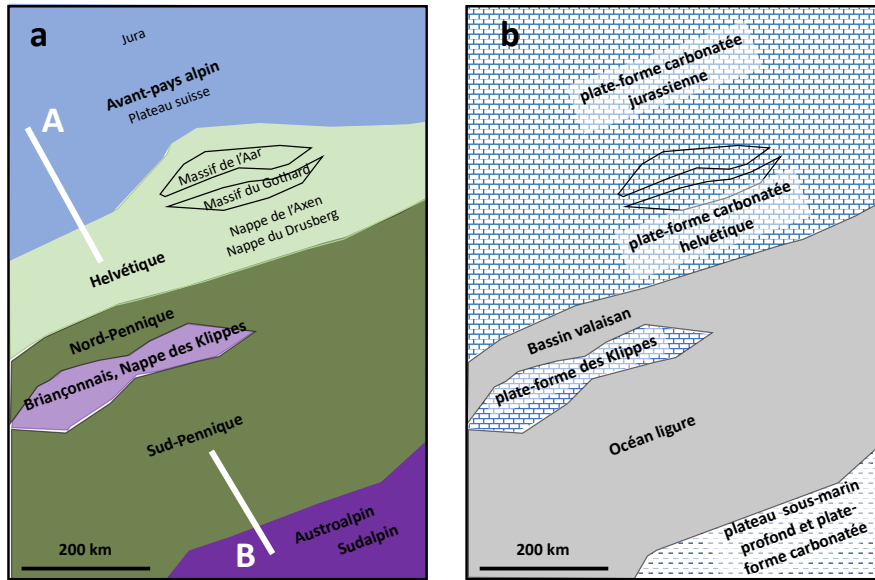
**Tableau 1: Histoire géologique sur la transversale de la Suisse centrale**

| Ère           | Période     | Epoque                    | Chronologie<br>(millions d'années)   | Événements   |
|---------------|-------------|---------------------------|--|--|
| Cénozoïque    | Quaternaire | Holocène (post-glaciaire) | - 0.01   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15'000 ans, colonisation humaine permanente.</li> <li>• Alternance de périodes froides (glaciaires) et chaudes (interglaciaires). Erosion glaciaire des vallées alpines.</li> </ul> |
|               |             | Würm                      | - 0.12   |  |
|               |             | Pleistozän (glaciations)  | - 0.3 – 0.13 ?   |  |
|               |             | Riss                      | - 0.46 – 0.40 ?  |  |
|               |             | Mindel                    | - 0.80 – 0.60 ?  |  |
|               | Günz        | - 2.6                     |  |  |
| Néogène       | Pliocène    | - 5                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plissement du Jura</li> <li>• Dépôt de Molasse marine et Molasse d'eau douce par le matériel d'érosion des Alpes (Molasse subalpine et Molasse du Plateau); Flysch nord-helvétique.</li> <li>• Début du plissement alpin dans la partie septentrionale de la mer alpine.</li> <li>• Crétacé supérieur: Sédiments marins profonds, témoins des premiers plissements alpins (Flyschs de Schlieren et du Wägital).</li> <li>• Crétacé inférieur, avant-pays alpin, nord du domaine helvétique: pas de sédimentation connue. Sud du domaine helvétique (Nappe du Drusberg): calcaires et marnes, témoins d'un niveau marin fluctuant.</li> <li>• Jurassique, avant-pays alpin, Helvétique et Briançonnais (Klippes): plate-forme marine et mer chaude, dépôt de calcaires et de marnes. Fossiles: bivalves, ammonites, crinoïdes, coraux. Ouverture de la mer alpine, sédiments d'eau profonde dans les domaines penniques et austroalpins.</li> <li>• Trias: climat aride, dépôt de gypse et de sel dans des sebkhas (déserts salins), plate-forme marine du Muschelkalk.</li> <li>• Permien et Carbonifère: Ouverture de bassins tectoniques profonds (Bassins permo-carbonifères), érosion des montagnes de l'orogénèse hercynienne, dépôts fluviatiles et de plaine d'épandage (Permien). Sédiments riches en matière organique et charbon (Carbonifère).</li> <li>• Orognèse hercynienne.</li> </ul> |  |
| Miocène       | - 23        |                           |  |  |
| Oligocène     | - 34        |                           |  |  |
| Eocène        | - 56        |                           |  |  |
| Paléogène     | Paléocène   | - 65                      |  |  |
| Mésozoïque    | Crétacé     | Crétacé supérieur         | - 100  |  |
|               |             | Crétacé inférieure        | - 145  |  |
|               | Jurassique  | Malm                      | - 164  |  |
|               |             | Dogger                    | - 174  |  |
|               |             | Lias                      | - 201  |  |
|               | Trias       | Keuper                    | - 235  |  |
|               |             | Muschelkalk               | - 243  |  |
| Buntsandstein | - 251       |                           |  |  |
| Paléozoïque   | Permien     | - 299                     |  |  |
|               | Carbonifère | - 359                     |  |  |



**Figure 5 a:** paléogéographie des continents et des mers au Malm, il y a 150 mio d'années.

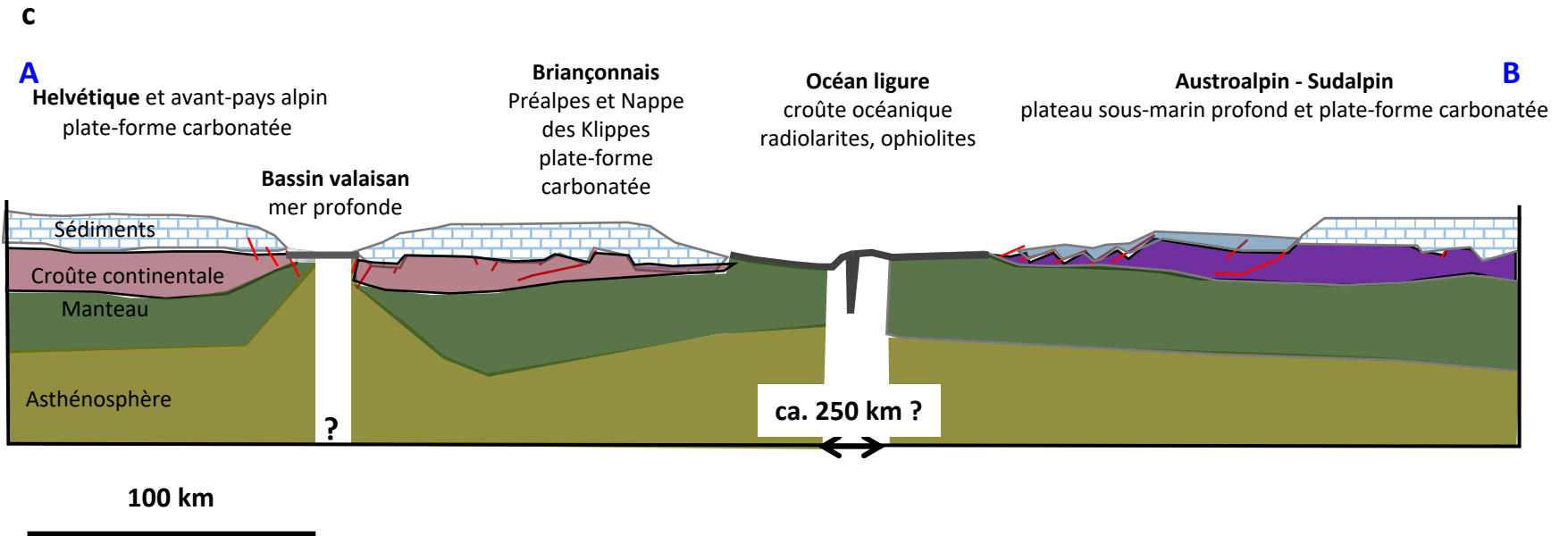
**b:** le *Grosser Mythen* fait partie de la Nappe des Klipes. Cette nappe provient d'un seuil au sein de la mer alpine appelé "Briançonnais". Les calcaires massifs, de patine grise, à la base de la pyramide calcaire ont été déposés au cours du Malm dans la mer peu profonde. Les «Couches rouges» de la partie sommitale datent du Crétacé supérieur et ont été déposées dans des eaux plus profondes (Foto J.U.).



**Figure 6 a:** reconstruction paléogéographique de la position des unités géologiques du Jura au nord au Sudalpin au cours du Malm (il y a 150 mio d'années, transversale de la Suisse Centrale).

**b:** sédiments de la mer alpine au cours du Malm.

**c:** A – B section schématique de la mer alpine sur la transversale des Alpes occidentales au cours du Malm.

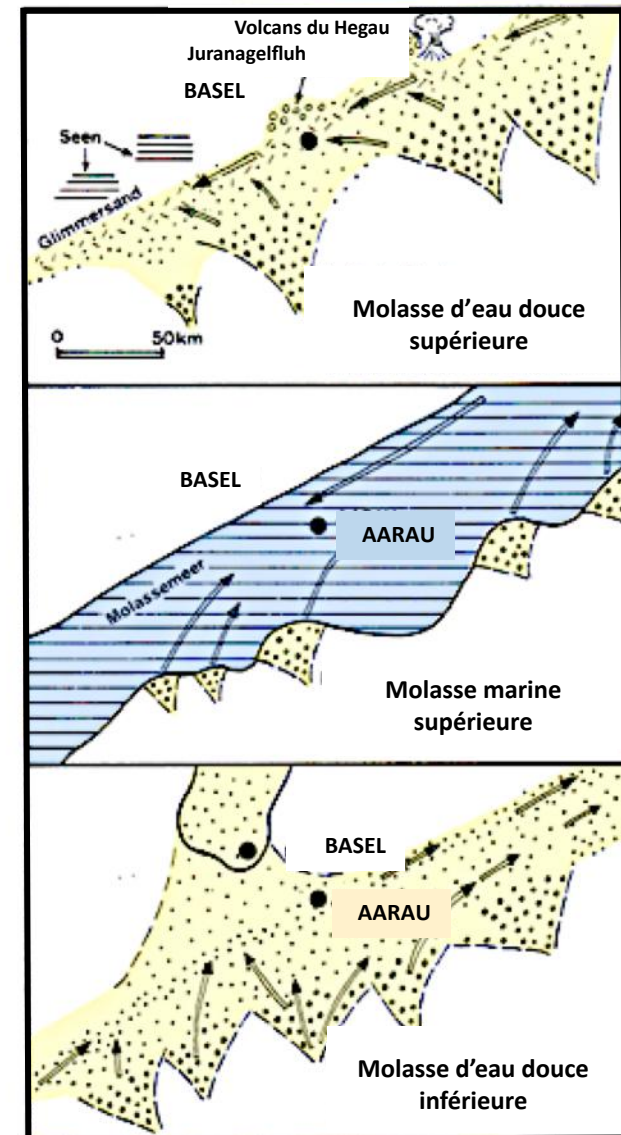




Pendant le Jurassique Moyen et Supérieur (**Dogger et Malm**, de 174 à 145 mio d'années) l'Europe et l'Afrique s'écartent, permettant l'ouverture de la mer alpine, avec les zones profondes du Bassin valaisan (Nord-pennique) et de l'Océan ligure (Sud-pennique, fig. 5 et 6). C'est pendant cette période que se singularisent tous les espaces paléogéographiques que l'on trouve aujourd'hui représentés par les différentes nappes alpines. Des sédiments de plate-forme marine peu profonde, essentiellement des calcaires et des marnes se déposent dans le futur avant-pays alpin, dans le Domaine helvétique, sur la plate-forme du Briançonnais et dans le Sudalpin. La nature des sédiments témoigne des fluctuations de la profondeur d'eau, dues à la subsidence, puis aux variations eustatiques globales, provoquées par des changements climatiques et le volcanisme des dorsales océaniques. Des sédiments océaniques profonds (p.ex. des radiolarites) et même des roches volcaniques océaniques (des ophiolites) se forment dans l'océan ligure.

Pendant le **Crétacé** (145 à 66 ou 65 mio d'années) le niveau marin atteint sa hauteur maximale. Dans l'avant-pays alpin, dans la zone du Massif de l'Aar et dans la partie septentrionale du Domaine helvétique (fig. 6 et 15, Nappe de l'Axen) on ne connaît cependant pas de sédiments de cet âge, soit par manque de sédimentation, soit à la suite de leur érosion après dépôt. En revanche, dans la partie méridionale du Domaine helvétique (Nappe du Drusberg), des sédiments calcaires alternant avec des marnes témoignent des variations de la profondeur d'eau mentionnées ci-dessus. Les premiers témoins d'un nouveau rapprochement entre Afrique et Europe se trouvent dès le Crétacé supérieur dans le Bassin valaisan et l'Océan ligure. Il s'agit de «flyschs» composés de sédiments comprenant des conglomérats et des sables, mais également des argiles. Dans la région du Lac des Quatre-Cantons on trouve ces sédiments dans les nappes de flysch du Wägital et de Schlieren (fig. 3 et 13).

La sédimentation de flysch continue dans les bassins profonds pendant le **Paléocène** et l'**Eocène** (65 à 34 mio d'année), de même que le dépôt de sédiments de plate-forme dans les zones peu profondes du Domaine helvétique.



**Figure 7:** Paléogéographie du bassin de la Molasse de l'Oligocène moyen (Molasse d'eau douce inférieure) au Miocène supérieur (Molasse d'eau douce supérieure, d'après Trümpy 1980).

Au nord, la région du Jura est émergée et l'altération sous une couverture végétale tropicale conduit à la formation de bolus, c'est-à-dire de nodules d'oxydes de fer.

Vers la **fin de l'Eocène et au tout-début de l'Oligocène** la construction du bâti alpin avance à grands pas. Les derniers Flyschs nord-helvétiques se déposent dans un bras de mer étroit.

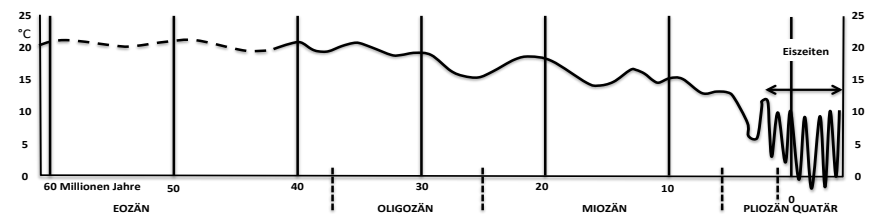
A partir de l'**Oligocène**, vers 34 mio d'années, la sédimentation migre vers l'avant-pays alpin, dans la zone allant du Massif de l'Aar à la partie méridionale du Plateau suisse, où un bras de mer orienté est-ouest accueille les sédiments de la Molasse marine inférieure. Cette mer se trouve rapidement comblée par les sédiments. Par ailleurs, le niveau marin global baisse et on passe à l'accumulation des grands cônes sédimentaires de la Molasse d'eau douce inférieure du Mt. Pélerin au Napf, de la Rigi et du Hörnli en Suisse orientale (Zurich et St Gall, fig. 7).

Au **Miocène**, à partir du Burdigalien (20 mio d'années), le front du plissement alpin progresse vers le nord. Les cônes sédimentaires de la Molasse d'eau douce inférieure chevauchent leur avant-pays. Le niveau marin global augmente de nouveau et se manifeste par la formation d'un bras de mer qui s'étend du bassin de Vienne vers l'est jusqu'à la Méditerranée. La Molasse marine supérieure se dépose alors dans la future zone du Plateau suisse et jusqu'à hauteur du Jura. Le comblement et le retrait de cette mer conduit encore une fois à la formation de cônes sédimentaires émergés le long du front alpin et au dépôt de la Molasse d'eau douce supérieure. Un système de rivière déverse des sables micacés depuis les Alpes orientales jusque dans le Jura tabulaire.

La sédimentation de Molasse se termine vers la fin du Miocène, il y a env. 7 mio d'années. Les Alpes et leur avant-pays sont alors caractérisés par un relief accentué dont le matériel d'érosion part directement dans la Méditerranée.

Le plissement alpin se termine par la formation de la chaîne du Jura au Pliocène.

Le relief accidenté des Alpes, avec ses sommets et les vallées profondes est le résultat d'une séquence de grandes crises climatiques, les glaciations du Pléistocène (fig. 8, 9).



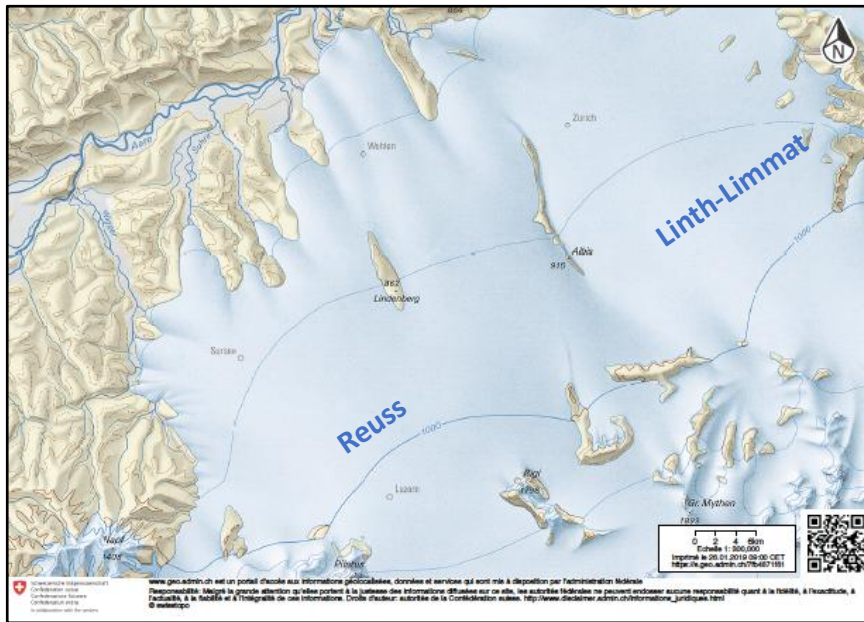
**Figure 8**, en haut: évolution des températures de l'atmosphère terrestre au cours des derniers 60 mio d'années de l'histoire de la Terre. Centre: Lucerne par un climat subtropical il y a 20 mio d'années. En bas: Lucerne pendant le dernier âge glaciaire (Gletschergarten Lucerne, tableau d'Ernst Hodel, d'après une esquisse du géologue Albert Heim). Les trois figures présentent les changements climatiques.

Même si les glaciations du Pléistocène commencent il y a un peu plus de deux millions d'années, on ne trouve leurs traces dans les Alpes et leur avant-pays que pour les dernières env. 800'000 années. Pendant cette période quatre glaciations majeures se produisent, avec de multiples fluctuations des langues de glace et des avancées jusque sur le Plateau suisse ou même dans le Jura. Depuis l'ouvrage pionnier publié par Penck et Brückner en 1909, on appelle ces glaciations d'après leur localité-type dans l'avant-pays bavarois **Günz, Mindel, Riss et Würm**.

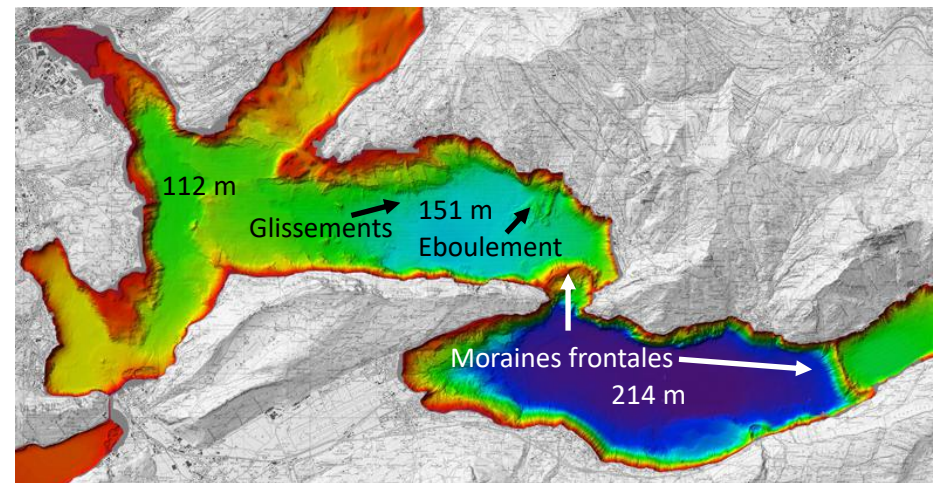
Le dernier creusement des vallées profondes de la Reuss, de ses affluents et du bassin du Lac des Quatre-Cantons se fait pendant la glaciation de la Würm. Le déroulement de cette glaciation peut être décrit comme suit:

- À partir de 122'000 ans: forte croissance des calottes glaciaires polaires et des glaciers alpins.
- Après une longue période de fluctuations, les glaciers alpins atteignent leur première extension maximale entre 70'000 et 60'000 ans.
- Les fluctuations continuent et un deuxième maximum se manifeste dès 35'000 à 30'000 ans. Le maximum est alors atteint vers 23'000 ou 22'000 ans. Une dernière avancée est datée de 20'000 ans. L'extension maximale pour les glaciers de la Reuss et de Linth-Limmat est représentée dans la fig. 9. Le niveau du glacier y est plus élevé que celui de la fig. 8, imaginé par Albert Heim.

Le carte bathymétrique (fig. 10) montre les moraines frontales laissées par le Glacier de la Reuss à l'occasion de son recul dans le lac, près de Vitznau et Gersau. Depuis la fin de l'ère glaciaire, des glissements et des éboulements se sont produits à plusieurs reprises, déclenchés par des



**Figure 9:** Extension maximale des glaciers de la Reuss et de Linth-Limmat pendant le dernier âge glaciaire (© swisstopo).



**Figure 10:** Carte bathymétrique (profondeurs d'eau) du Lac des Quatre-Cantons ([http://www.geo.unibe.ch/research/quaternary\\_geology\\_and\\_paleoclimatology/index\\_eng.html](http://www.geo.unibe.ch/research/quaternary_geology_and_paleoclimatology/index_eng.html)).

tremblements de Terre et provoquant à leur tour des tsunamis (raz de marées) lacustres (Hilbe et al. 2011).

Il y a env. 10'000 ans les glaciers alpins sont de retour à leur position que nous connaissons actuellement. Depuis, les seules modifications notables des rives du Lac des Quatre-Cantons correspondent à l'accroissement des deltas des affluents.

## Cadre géologique du Lac des Quatre-Cantons

### De la „théorie des nappes“ à la paléogéographie

La “théorie des nappes” date du tournant du 19<sup>ème</sup> au 20<sup>ème</sup> siècle. Les géologues avaient observé que dans les Alpes - et dans d'autres chaînes de montagnes - des couches de roche anciennes se trouvaient par endroits superposées à des couches plus jeunes. Or, cela ne pouvait s'expliquer que par le fait que les couches les plus anciennes avaient été poussées mécaniquement dans cette position lors de la formation des montagnes. La cartographie géologique indiquait même que ces chevauchements avaient affecté des blocs de plusieurs kilomètres d'extension latérale et de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, c'est-à-dire de véritables »nappes". L'image géologique des Alpes qui en résultait montrait que cette architecture caractérisait dans les faits l'ensemble de la chaîne alpine: à l'occasion de la collision entre l'Europe et l'Afrique, des couches de sédiments et de grands compartiments de la croûte terrestre supérieure ont été décollés par la contrainte tectonique de leur substrat et superposés, soit à leur avant-pays européen au nord, soit au promontoire adriatique du continent africain au sud.

Le profil géologique de la fig. 3 montre cette structure en nappes dans la transversale du Lac des Quatre-Cantons. Si on désire ramener les sédiments et les roches de la croûte cristalline de ce profil dans leur position géographique d'origine, il suffit de reculer les nappes dans leur position au sud. De cette façon, on obtient une "carte paléogéographique" comme le montre la fig. 6. Le fait que, sur cette

carte, la séquence des espaces paléogéographiques du nord au sud ne corresponde pas exactement à la séquence verticale des unités géologiques de la fig. 3 s'explique par les complications liées à la succession des événements tectoniques.

En reliant les unités géologiques dans le profil de la fig. 3 avec les espaces paléogéographiques de la fig. 6, on obtient la corrélation suivante:

| Unité géologique  | Domaine paléogéographique      |
|---|--------------------------------|
| • Forêt noire, Jura et Molasse du Plateau   | Avant-pays alpin               |
| • Molasse subalpine   |                                |
| • Massifs de l'Aar et du Gothard<br>Nappes helvétiques (Gitschen, Axen et Drusberg) | Helvétique                     |
| • manque? év. „wildflysch“? év. Flysch du Wägital?                                  | Nord-pennique, Bassin valaisan |
| • Nappe des klippes   | Pennique moyen, “Briançonnais” |
| • év. Flysch du Wägital?  | Sud-pennique, océan ligure     |
| • manque  | Austroalpin, Sudalpin          |

Dans cette section géologique, les origines paléogéographiques précises du Massif du Gothard et du Flysch du Wägital sont toujours discutées.

Pour la description précise du profil géologique: voir le chapitre consacré au tour en bateau.



Figure 11: Flotte de bateaux à vapeur du Lac des Quatre-Cantons.

### La flotte des bateaux à vapeur

En plus d'une quinzaine de bateaux à moteur, la Compagnie de navigation du Lac des Quatre-Cantons exploite pendant la belle saison cinq bateaux à vapeur historiques (<https://www.lakelucerne.ch/schiffsmiete/flotte/>):

*DS Stadt Luzern*: ce plus grand des bateaux accueille un maximum de 1100 passagers. La machine a été fournie par les Frères Sulzer (Winterthur); mise en service en 1928.

*DS Schiller*: ce bateau à roues à aubes avec son salon en style Art nouveau accueille jusqu'à 900 passagers. La machine a également été construite par Sulzer et le bateau a été mis en service en mai 1906.

*DS Uri*: c'est le bateau à roues à aubes le plus ancien qui accueille jusqu'à 800 passagers; mise en service en 1901.

*DS Unterwalden*: ce bateau, qui peut accueillir jusqu'à 700 passagers, est protégé au titre de la protection du patrimoine national. Il a été construit par Escher Wyss et a été mis en service en 1902.

*DS Gallia*: c'est un bateau à roues à aubes qui circule avec une vitesse de 31.5 km/h. Construit par Escher Wyss (Zürich), il est en service depuis 1913. DS Gallia peut accueillir 900 passagers.

### Musées d'histoire naturelle à Lucerne

Avant de se lancer dans l'excursion géologique sur le lac, nous recommandons de visiter le Gletschergarten (le «Jardin des Glaciers»):

 <https://gletschergarten.ch/>

Un autre musée dont la visite est recommandée est le **Natur-Museum Luzern** (Musée de la Nature). Il présente notamment une exposition permanente et une introduction à la géologie de la Suisse Centrale et à la paléontologie. <http://www.naturmuseum.ch/>

### Excursion géologique sur le Lac des Quatre-Cantons

La croisière conduit le passager de Lucerne à Flüelen. L'horaire des bateaux et des informations complémentaires sont disponibles sur le site web suivant:

<https://www.lakelucerne.ch/fahrplan-preise/fahrplan/>

Ci-dessous, les routes de navigation sont numérotées selon la fig. 12.

La fig. 12 présente le cadre géographique. La fig. 13b illustre la répartition géographique des différentes unités tectoniques à suivre pendant la navigation géologique, tandis que la fig. 13a présente un profil géologique composite à l'est du Lac des Quatre-Cantons. Les chiffres 1 à 11 correspondent aux étapes du parcours d'arrêt en arrêt du bateau. La fig. 14 montre les profils géologiques historiques sur les deux versants du Lac d'Urnen selon Buxtorf (1934), et la fig. 15 montre la séquence des couches des Nappes helvétiques.

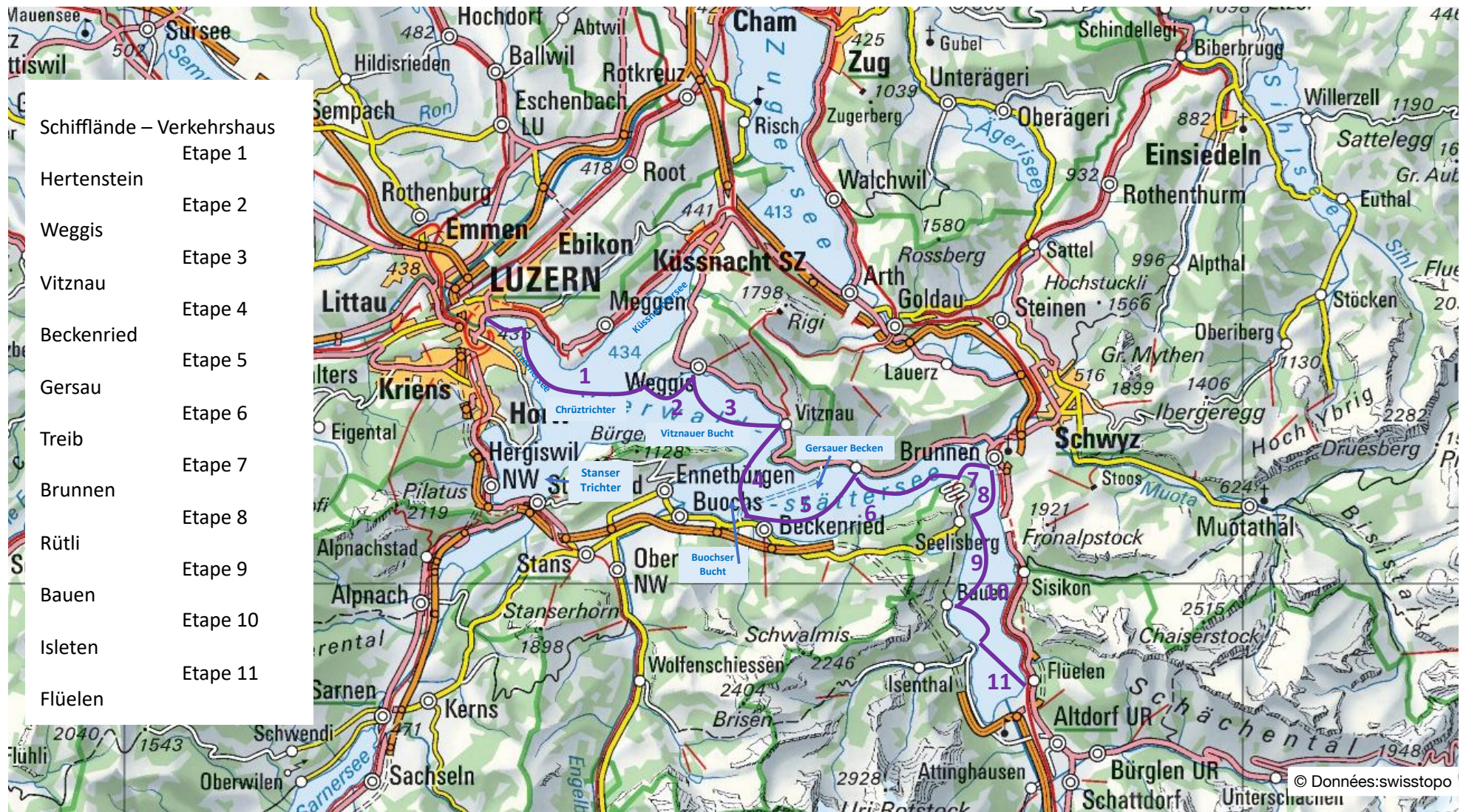


Figure 12: Lac des Quatre-Cantons, cadre géographique et étapes du parcours de Lucerne à Flüelen ( © swisstopo).

## (1) Schifflände Luzern – Verkehrshaus (Musée du transport) – Hertenstein

Le voyage sur la "Chrüztrichter" et le Lac de Küssnacht passe par l'avant-pays alpin, avec des crêtes de collines orientées nord-ouest / sud-ouest, sous lesquelles émerge la Molasse déformée (Fig. 13 a, b). Le chevauchement de la Molasse subalpine se fait au pied du versant nord-ouest de la Rigi.

Que le nom **Rigi** soit issu du latin "Regina" (la reine des montagnes) (Wikipédia: Albrecht von Bonstetten en 1479), ou des bandes herbeuses et rocheuses "Rigene", est une question ouverte. Les deux explications sont plausibles.

Vu de loin, la Rigi apparaît comme une énorme écaille, inclinée vers le sud-est (altitude du sommet: 1798 m) avec des bandes rocheuses saillantes. Celles-ci sont constituées de conglomérats grossiers (appelés "Nagelfluh") et de bancs en grès. Ces roches ont été créées en cimentant les graviers et les sables déposés au cours de l'Oligocène (il ya 30 millions d'années), par les ruisseaux de montagne sur les énormes cônes de alluviaux au pied des Alpes.

## (2 – 3) Hertenstein – Weggis – Vitznau

Au cours de cette étape, le bateau suit le pied de la Rigi. On aperçoit sur les flancs de la montagne les bandes rocheuses des conglomérats et les reliefs plus doux, boisés et herbeux.

Sur le **Bürgenstock**, il existe un parcours didactique intéressant, appelé *Felsenweg*. Il a été construit dans la zone rocheuse au nord de la crête et donne un magnifique aperçu de la nature et du paysage.

<http://lernpfad-felsenweg.ch/>

La rive sud opposée, visible depuis le navire, présente une image complètement différente. La géologie des deux côtés du lac n'est pas symétrique. Au sud se dresse le **Bürgenstock** (1128 m d'altitude) avec ses rochers escarpés qui se précipitent vers le lac. Cette montagne fait partie de la Chaîne frontale des Nappes helvétiques, c'est-à-dire du front si caractéristique de ces nappes alpines. Les formations calcaires d'apparence blanche semblent posées à l'horizontales. Cependant, vues dans l'espace, elles sont inclinées vers le sud-est, c'est-à-dire vers la plaine alluviale de l'Engelberger-Aa qui n'est pas visible depuis le lac. La suite de cette nappe est visible sur les flancs du **Mont Pilate (Pilatus)**, où l'on observe, près du sommet, des plis. Le relief du Pilate est impressionnant. Selon une légende médiévale, l'empereur romain Ponce Pilate serait enterré ici.

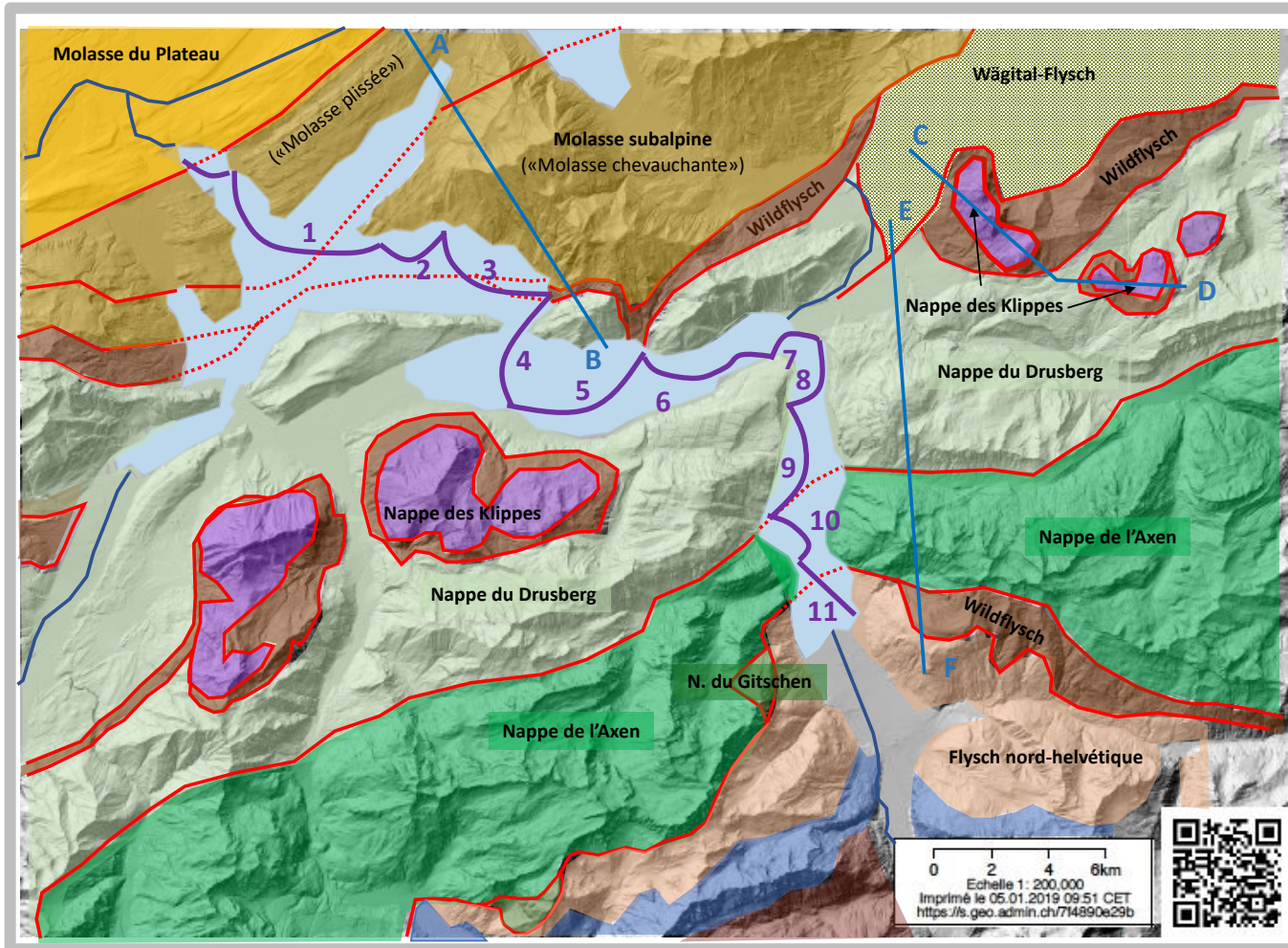
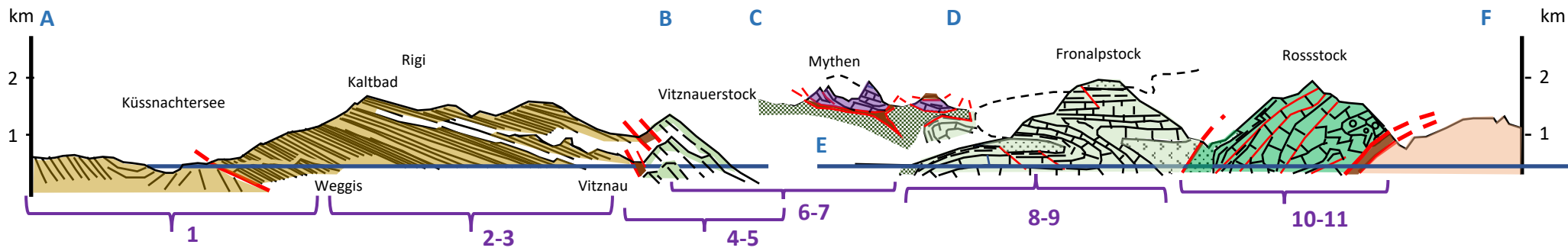
## (4 - 5) Vitznau – Beckenried - Gersau

Sur cette étape on traverse, sur la rive septentrionale, le chevauchement de base des Nappes helvétiques (fig. 14). La plus haute de ces nappes (et la première que l'on rencontre), celle du Drusberg, repose sur une formation de «wildflysch», un mélange chaotique de blocs dans une matrice marneuse. La succession des formations géologiques des Nappes helvétiques (leur «stratigraphie») est présentée dans la fig. 15. La stratigraphie du Vitznauerstock (fig. 13) correspond à celle de la Chaîne frontale de la fig. 15.

Au retour vers Gersau on retrouve le Wildflsch. Ce retour s'explique par la présence d'un accident décrochant à hauteur du lac.

## (6 – 7) Gersau – Treib – Brunnen

Ce trajet se situe entièrement au sein des Nappes helvétiques. Toutefois, juste après le départ de Gersau on découvre en direction du nord-est, au dessus du village de Brunnen, les deux pyramides du Petit (à gauche) et du Grand Mythen (à droite).

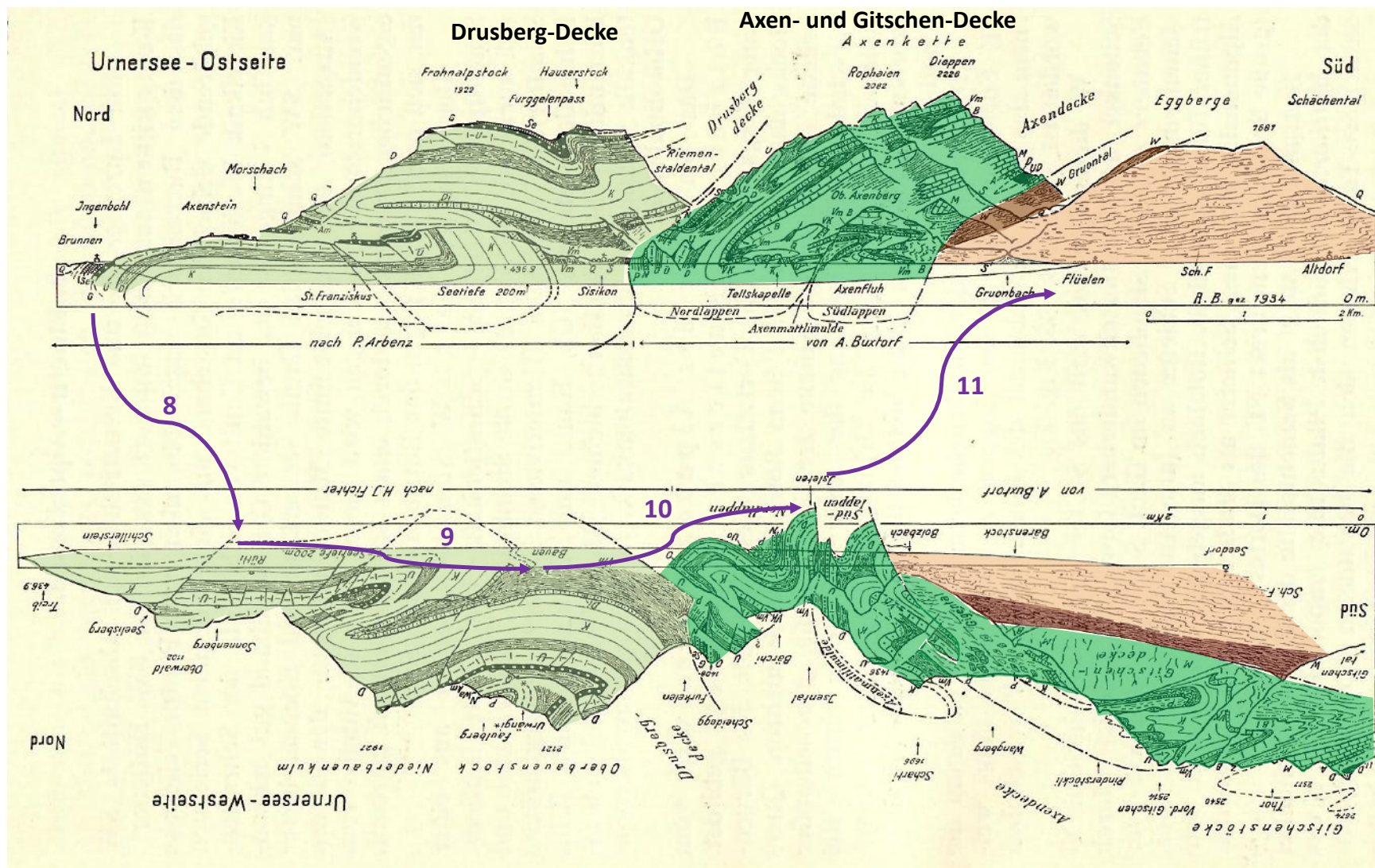


**Figure 13 a:** assemblage d'un profil géologique à l'est du bassin du Lac des Quatre-Cantons.

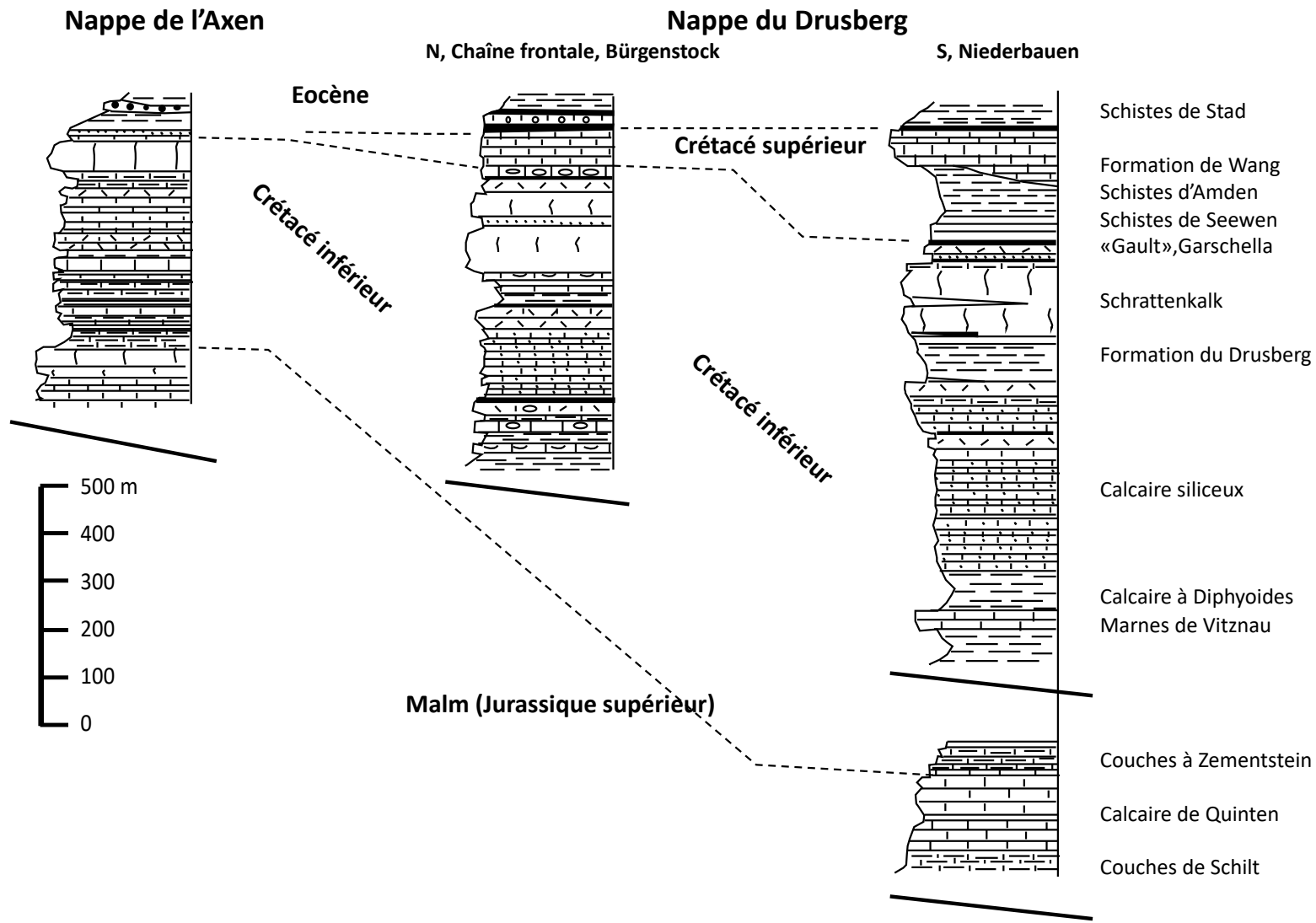
**b:** carte tectonique du Lac des Quatre-Cantons; 1-11 étapes du voyage en bateau.

Références: Carte tectonique de la Suisse 1:500'000 reportée sur swissALTI3D (swiss©po ); Hevétique: Pfiffner (2011, simplifié), Mythen: Felber (1984), Rigi: Buxtorf (1914).

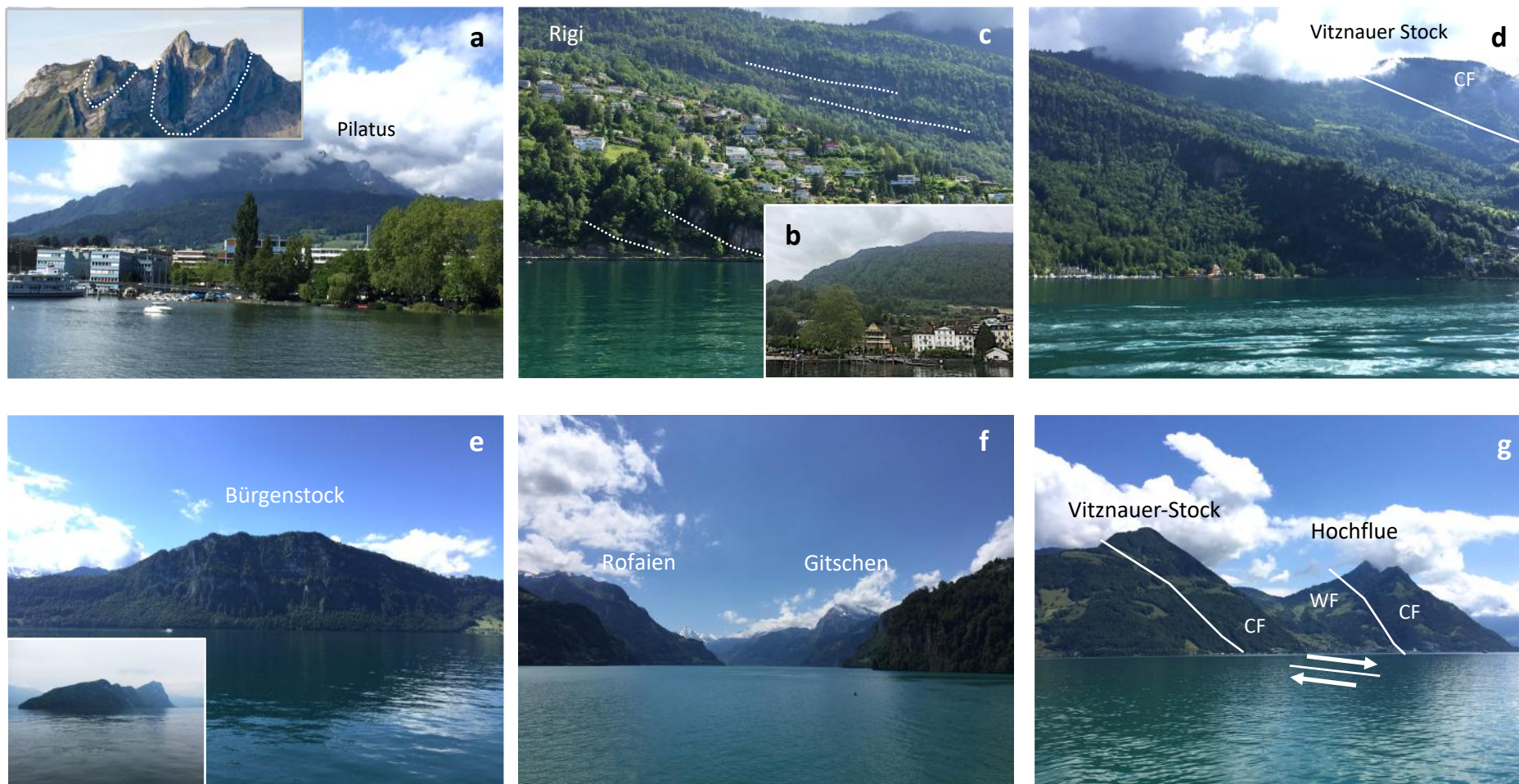




**Figure 14:** «Coupes géologiques des montagnes de part et d'autre du Lac d'Uri» (Buxtorf 1934, Fig. 4). Légende ± selon Buxtorf: S: dépôts de pente et de torrent, Q: moraine, P: Schistes de Stad- et Schistes à Pectinidés, C: conglomérats, N: Calcaires à nummulites, etc. (Lutétien), Wa: Formation de Wang (Maestrichtien), Am: Schistes d'Amden (Sénonien), Se: Schistes de Seewen (Turonien), G: «Gault» (Albien-Aptien sup.), U: Schrattenkalk (Urgonien et Couches à Orbitolina =O), D: Formation du Drusberg (Barrémien inf.), K: Calcaire siliceux (Hautérvien), Vk&Di: Calcaires du Valanginien et Calcaire à Diphyoïdes, Vm: marnes du Valanginien, B: calcaires du Berriasien, Z: Couches à Zementstein (Berriasien inf. – Portlandien sup.), M: Malm, A: Argovien, D: Dogger (Callovien-Bajocien), UD: Dogger inf. (Aalénien), W: Wildflysch, SchF: Flysch du Schächental, Grès d'Altorf, etc.).



**Figure 15:** Stratigraphie (succession des formations et âge géologique) des Nappes helvétiques de part et d'autre du Lac des Quatre-Cantons (d'après Trümpy 1980, Fig. 19).



**Figure 16:** voyage en photos de Lucerne à Gersau (photos J.U.): a: le Pilatus avec son célèbre chapeau de nuages et les plis dans sa partie sommitale (traits blancs), vus par beau temps. b: Weggis, village au pied de la Rigi; c: épais bancs de conglomérats («Nagelfluh», soulignés par des traits blancs) dans la Molasse subalpine à Vitznau. Les couches sont inclinées vers le sud-est. d: Chevauchement principal (ligne blanche) de la Chaîne frontale (CF) des Nappes helvétiques au Vitznauer Stock. e: Bürgenstock vu du nord, à gauche: vue de profil (de l'est). f: entrée du bassin de Gersau, entre Vitznau et Gersau (vue en direction du sud). g: baie de Gersau et Chaîne frontale (CF) décalée latéralement par un décrochement tectonique; la morphologie douce au centre entre Vitznauer Stock et Hochflue est due à la présence de Wildflys (WF).



**Figure 17:** voyage en photos de Gersau à Flüelen (photos J.U.): a: Petit (à gauche) et Grand Mythen (à droite) au-dessus du village de Brunnen, vue depuis le lac en direction du nord-est. b: Fronalpstock (Nappe du Drusberg), vue en direction de l'est. c: Axenflue et sommet du Rophaien (Nappe de l'Axen), vue en direction de l'est. d: «Schillerstein» (la Pierre de Schiller) à l'entrée (rive gauche) du Lac d'Urnen. Inscription: «*Dem Sanger Tells F. Schiller, die Urkantone 1859*» («Au chanteur du Tell, les Cantons de la Suisse Centrale 1859»). e: la Chapelle de Tell (*Tellskapelle*). f: montagnes sur la rive gauche du lac : Oberbauenstock et Niederbauen-Chulm (Nappe du Drusberg); vue en direction du nord-ouest. g: Flüelen, vue en direction du sud dans la vallée de la Reuss et vers le Bristenstock (Massif de l'Aar).

Ces deux montagnes font partie de la Nappe des Klippes, que l'on corrèle avec les Préalpes Médiannes en Suisse occidentale. Cette nappe est issue du domaine paléogéographique du «Briançonnais» qui constituait au cours du Mésozoïque un seuil recouvert d'une plate-forme marine dans la partie septentrionale de la Mer alpine (fig. 4 et 6). On reconnaît les Klippes par leurs formations de roches carbonatées épaisses, avec des dolomies du Trias et des calcaires massifs du Jurassique (fig. 5b). Alors que ces lithologies témoignent d'un milieu marin peu profond, les marnes rouges qui leur succèdent, appelées «Couches Rouges» proviennent d'une plate-forme marine plus profonde, au Crétacé supérieur.

Le terrain qui s'étend au pied des Mythen montre des morphologies plus douces. Dans les ravins et autres sites plus abruptes, on reconnaît le substrat géologique formé de grès alternant avec des argiles. Il s'agit de formations de Flysch du Wägital, provenant des bassins penniques profonds (fig. 4).

### **(8 - 9) Brunnen – Rütli - Bauen**

Ce trajet conduit à travers les paysages présentés sur les panoramas des Nappes helvétiques de la fig. 14. Juste au dessus de la ligne d'eau les couches sont proches de l'horizontale. Puis, on remarque les beaux plis de la Nappe du Drusberg sur les flancs de montagne du Fronalp- et Hauserstock à l'est, respectivement puis du Nieder- et du Oberbauenstock à l'ouest du lac. Ces panoramas permettent de reconnaître à distance la succession des différentes formations présentées dans la fig. 15.

### **(10 – 11) Bauen - Isleten – Flüelen**

Cette dernière étape traverse les structures géologiques complexes des deux digitations nord et sud de la Nappe de l'Axen. Depuis le bateau on reconnaît notamment sur la rive orientale du lac, la Chapelle du Tell, construite sur un plateau de calcaire siliceux.

A l'arrivée à Flüelen la morphologie des reliefs s'adoucit de nouveau. On termine le périple dans les Flyschs nord-helvétiques sur lesquelles se sont avancées les Nappes helvétiques.

## **Littérature**

- Buxtorf A. 1914: Profile zur geologischen Vierwaldstättersee-Karte, 1:50'000. Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Luzern
- Buxtorf, A. 1934: Vierwaldstätter See. Exkursion 53. Geologischer Führer der Schweiz, Fasc. 10, 701-715, Schweiz. Geol. Gesellschaft.
- Felber, P.J. 1984: Der Dogger der Zentralschweizer Klippen. PhD thesis ETH Zürich, Diss. ETH Nr. 7506.
- Hilbe, M., Anselmetti, F.S., Eilertsen, R. S., Hansen, L. & Wildi, W. 2011: Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): implications for mass movements and glacial history. Swiss J. Geosci. 104/ 3, 425-443.
- Keller, B. 2007: So entstand der Vierwaldstättersee. In: Vierwaldstättersee. Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen. Brunner Verlag, Kriens / Luzern, 31-53.
- Penck, A. & Brückner, E. 1901 -1909: Die Alpen im Eiszeitalter. C.H. Tauchnitz, Leipzig, 1199 S. in drei Bänden.
- Pfiffner, O.A. 2011: Explanatory Notes to the Structural Map of the Helvetic Zone of the Swiss Alps, including Vorarlberg (Austria) and Haute Savoie (France). Geological Special Map 128, Text and 10 plates. Swiss Geological Survey, swisstopo.
- Spillmann, P. 2011: Geologie des Kantons Uri. Natf. Ges. Kt. Uri, 2. Aufl.
- Trümpy, R. 1980: Geology of Switzerland, a guide-book; Wepf Verlag, Basel.
- Winkler, W., Wildi, W., Stuijvenberg, J. Van & Caron, Ch. 1985: Wägital-Flysch et autres flyschs penniques en Suisse Centrale : stratigraphie, sédimentologie et comparaisons. Eclogae Geologicae Helvetiae, 78/1, 1-22.

