



Rapport de recherche

2014

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Visite géologique et archéologique de Genève = Geological and
archaeological visit of Geneva

Wildi, Walter; Corboud, Pierre; Girardclos, Stéphanie; Gorin, Georges Edouard

How to cite

WILDI, Walter et al. Visite géologique et archéologique de Genève = Geological and archaeological visit of Geneva. 2014

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:37233>

Visite géologique et archéologique de Genève

Mise à jour du 3 juin 2014

Walter Wildi, Pierre Corboud, Stéphanie Girardclos,
Georges Gorin



Visite géologique et archéologique de Genève

Mots clés: Géologie, archéologie, excursion, Genève

Walter Wildi, Pierre Corboud, Stéphanie Girardclos, Georges Gorin

Prenom.Nom@unige.ch

Section des sciences de la Terre et de l'environnement

Rue des Maraîchers 13, CH-1205 Genève

Copyright 2014

Document disponible sur internet

<http://www.unige.ch/forel/Services/Visitegeologique.html>

Table des matières

Préambule	3
1. Introduction	3
1.1. Le site naturel	3
1.2. Histoire géologique du Bassin genevois	5
1.3. L'occupation humaine du pays de Genève	15
2. Visite des sites	24
Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève	26
Ge 1.1: L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale	28
Ge 1.2: Bois-de-la-Bâtie: l'«Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône	31
Ge 1.3: De la Jonction, où le Rhône et l'Arve rejoignent le lac de barrage de Verbois, au Pont Sous-Terre et au Prieuré de Saint-Jean, où la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône passe sous le Rhône et le lac	35
Ge 1.4: Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité	36
Ge 1.5: Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman	38
Ge 1.6: La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire	41
Ge 1.7: Le Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine	43
Ge 1.8: Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève	44
Ge 2: Les carrières sous-lacustres du Vieux-Genève à Chambésy	46
Ge 3: Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine	47
Ge 4: Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable	52
Ge 5: Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse	55
Bibliographie	61

Préambule

Après la fin de la dernière glaciation du Würm, l'homme s'est installé au cours du Paléolithique supérieur (culture magdalénienne), il y a environ 13'000 ans, dans l'espace libéré au nord des Alpes par le retrait des glaciers. Il a choisi des régions à l'environnement favorable, parcourues par les troupeaux d'animaux sauvages dont il faisait son gibier (rennes, chevaux, etc.). Le Bassin genevois a très tôt constitué un cadre favorable à l'occupation humaine, autant par sa topographie que par son climat. Au Néolithique, la présence du lac et de sa Rade (la Baie de Genève) ont favorisé le peuplement des premiers agriculteurs et, dès l'époque gauloise, la colline de Genève fournit un lieu d'établissement à la fois protégé et stratégique qui verra se développer une ville qui n'a cessé de croître jusqu'à nos jours.

Mais quels sont ces éléments naturels qui se trouvent à l'origine et dans les fondements, au sens strict et au sens figuré, de cette ville et quel a été l'impact de l'homme sur le site naturel depuis son occupation? Ce guide essaie de répondre à cette question, ainsi qu'à d'autres liant le site naturel, la ville et les environs de Genève. Dans ce but, il présente d'abord une brève introduction au site naturel, à sa géologie et à son histoire ancienne. Le lecteur est ensuite invité à visiter différents lieux à l'intérieur et à proximité de la ville et à se familiariser de manière plus approfondie avec l'histoire du site de la ville et du canton de Genève¹.

Pour plusieurs des sujets mentionnés, ce guide fournit des informations sur des documents complémentaires et mentionne la littérature qui permettra au lecteur intéressé d'approfondir ses connaissances.

¹ Cette introduction suit dans une large mesure la publication suivante (modifiée et complétée): Walter Wildi 1997: *Géographie historique du plan d'eau et des rives du site naturel au site élaboré: 1. Le site naturel de Genève*. Dans: Philippe Broillet (ed.): *Les monuments historiques d'art et d'histoire du Canton de Genève*, p. 3 - 13. Soc. Hist. De l'Art en Suisse, éd. Wiese SA Bâle.

1. Introduction

1.1.- Le site naturel

L'histoire d'une urbanisation commence au moment de l'installation des premiers habitants, chasseurs, pêcheurs ou cultivateurs, mais également marchands et artisans. L'émissaire d'un lac, c'est-à-dire sa sortie, est un site particulièrement intéressant pour une telle urbanisation, où l'on peut traverser les eaux à gué, en bac, ou construire un pont, et où la migration des populations favorise les rencontres et les échanges. Par ailleurs, la pêche et le transport lacustre offrent des opportunités économiques intéressantes. L'évolution du petit village à l'agglomération fortifiée, protégeant le passage, est alors la règle. En Suisse, les villes de Constance, Zurich, Lucerne, Thonon, Bienne et Genève illustrent parfaitement cette situation.

L'installation d'habitations et de voies de communication à l'émissaire d'un lac pose cependant également des problèmes. En effet, les vagues de tempête et les fluctuations du lac, les raz-de-marée catastrophiques et imprévisibles, les marécages, un substrat géologique souvent instable et peu propice à l'édification de bâtiments constituaient autant d'obstacles à l'urbanisation. De ce fait, les sites naturels des villes ont subi de grandes transformations et adaptations aux besoins humains, qui peuvent parfois cacher leur caractère originel.

Genève, installée à l'émissaire du Léman, se situe dans une vaste cuvette limitée par la chaîne du Jura au nord, atteignant plus de 1700 m d'altitude, et par le Salève au sud, d'une altitude maximale de 1379 m. Ce bassin fait partie du Plateau suisse, dont il constitue la terminaison occidentale. Le relief de la chaîne du Vuache, dressée à 1105 m par un accident géologique important, reliant le Jura à la chaîne du Salève et aux chaînes subalpines à hauteur d'Annecy, ferme cette dépression à l'ouest (fig. 1).

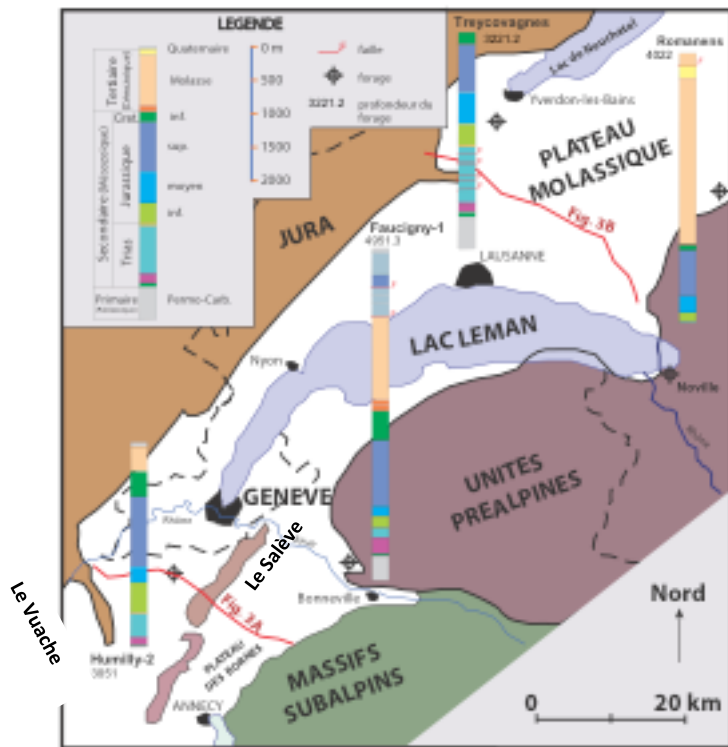


Figure 1: carte simplifiée du cadre géologique et tectonique du Bassin lémanique, avec les sondages géologiques importants et les tracés des coupes géologiques de la fig. 4 (Gorin et Moscarillo 2013, inspiré de Paolacci 2013)

Le Bassin genevois, et le Bassin lémanique en général, font partie du bassin versant du Rhône, rivière qui prend sa source en Valais et qui contribue pour 85% à l'apport en eau du lac. Le niveau du Léman est actuellement à 372 m au-dessus du niveau de la mer, alors que les bordures du Bassin genevois, au pied du Jura et du Salève, se situent autour de 500 m d'altitude.

A Genève, le Rhône est caractérisé par un débit moyen de 251 m³/sec, et par des pointes de crue de plus de 700 m³/sec, émoussées par l'effet de réservoir du Léman. Tel n'est pas le cas de l'Arve, drainant une partie des massifs du Mont-Blanc, de Platé, des Aravis et des Bornes. Cette rivière se jette dans le Rhône à hauteur du quartier genevois de la Jonction, sans avoir subi aucune retenue notable depuis sa source. Son débit moyen est de 79 m³/sec, la pointe de crue la plus forte jamais mesurée a été de 840 m³/sec en 1968.



Figure 2: carte de Genève et de ses environs, 1851 (Collection du Centre d'Iconographie genevoise N° 39P90). La carte montre la situation avant la démolition des fortifications entourant la vieille ville.

L'Arve (fig. 2) apporte une forte charge de sédiments, graviers, sables et limons, capables de modifier le paysage de la zone de confluence avec le Rhône en cas de crue.

Le Léman, d'une superficie de 582 km², d'une longueur totale de 72.3 km dans son axe, d'une largeur maximale de 13.8 km, d'une profondeur de 309m dans sa plaine centrale et d'un volume de 89 km³, est le bassin d'eau douce le plus important d'Europe occidentale. Il traverse obliquement le Plateau suisse, du front alpin au pied du Jura. Le bassin profond de 308.7 m en amont de Nyon est communément appelé le Grand-Lac (fig. 3), alors que la zone comprise entre Nyon et Genève, avec des profondeurs inférieures à 70 m (le plus souvent à 50 m) correspond au Petit-Lac.

1.2.- Histoire géologique du Bassin genevois

De la mer alpine aux plissements du Jura

Les reliefs qui limitent le Bassin genevois au nord, à l'ouest et au sud, à savoir le Jura, le Vuache et la chaîne du Salève, correspondent à des structures tectoniques, élevées par plissement et par les chevauchements liés aux phases terminales de l'orogénèse alpine il y a 5 à 10 millions d'années. Ces mouvements s'expriment encore actuellement à travers une certaine activité sismique¹ (fig. 1 et 4).

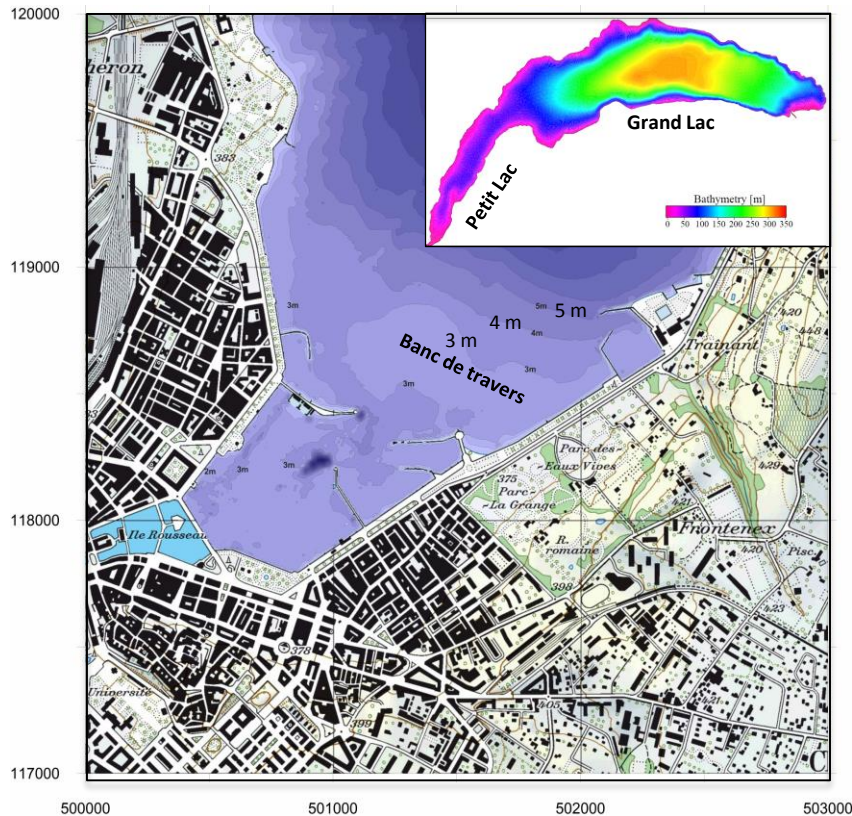


Figure 3: carte des profondeurs du Petit-Lac et de la Rade de Genève (Institut F.-A. Forel)

On désigne par le nom de «Rade de Genève» la zone émissaire comprise entre l'île Rousseau en aval et la transversale allant de la Perle du Lac au Port-Noir en amont. Cette limite supérieure correspond à une remontée du fond du lac à 369 m d'altitude moyenne, appelée «Banc de Travers» (fig. 3). Cette zone accueille les premiers villages littoraux au cours du Néolithique et jusqu'à la fin de l'âge du Bronze (voir chapitre 1.3).

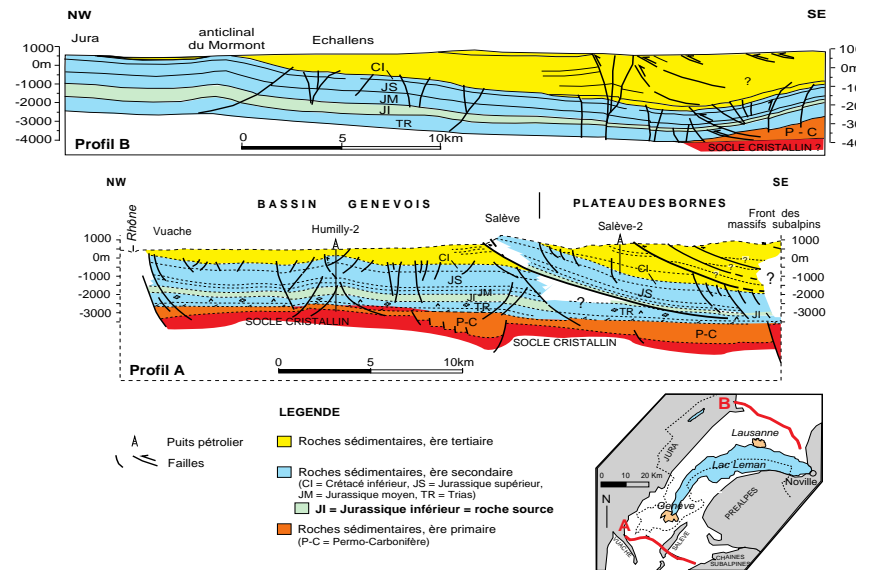


Figure 4: coupes géologiques du Bassin lémanique et du Bassin genevois. Pour les tracés des coupes voir fig. 1 (Gorin et Moscariello 2013, inspiré de Gorin et al. 1993).

¹ La Section des sciences de la Terre et de l'environnement de l'UNIGE héberge un sismographe pour l'enregistrement des tremblements de Terre. Les enregistrements courants peuvent être consultés à la Rue des Maraîchers 13 (rez-de-chaussée) pendant les heures d'ouverture de l'Université.

Ces structures font apparaître des couches de roches carbonatées déposées à l'origine sur une plate-forme marine, sous une profondeur d'eau allant de 0 à 100 m, au cours du Jurassique et du Crétacé (environ 145 à 100 millions d'années pour les roches visibles en surface). Cette sédimentation carbonatée s'est arrêtée, il y a environ 70 millions d'années et, par la suite, une partie des couches a été érodée. La plate-forme carbonatée se situait sur la bordure européenne de la mer alpine, qui séparait l'Europe de l'Afrique pendant le Mésozoïque (fig. 5).

Les formations géologiques du Jurassique et du Crétacé n'affleurent pas sur le terrain genevois, mais les roches carbonatées correspondantes jouent un rôle important en tant que matériel de construction (voir la visite **Ge 1.8**).

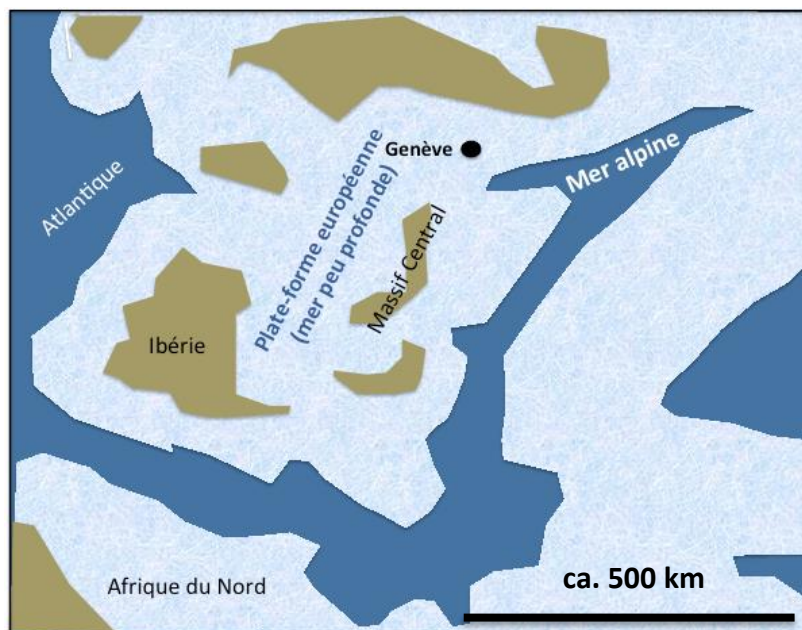


Figure 5: paléogéographie de la mer alpine au Jurassique supérieur (env. 152 millions d'années). Bleu clair: plate-forme marine et talus; bleu foncé: mers profondes et zones océaniques; kaki: zones continentales. A cette époque, la région genevoise se situait sur la plate-forme européenne avec une mer tropicale peu profonde (fortement simplifié d'après <http://cpgeosystems.com/mollglobe.html>)

La **Molasse du Tertiaire** est superposée aux couches carbonatées du Crétacé. Elle est essentiellement composée de grès, de marnes, d'intercalations de gypse et, à proximité de la bordure alpine, de conglomérats, dont le matériel provient de l'érosion des Alpes en cours de formation (fig. 6). Sous la ville de Genève, l'épaisseur de la Molasse atteint environ 1 km. Elle représente une partie du temps géologique de l'Oligocène (env. 30 à 27 millions d'années). Ces dépôts, qui étaient initialement présents dans toute la zone au nord-ouest du front alpin, ont été érodés par la suite sur les plis du Jura et du Salève. Dans le Bassin genevois, la Molasse est représentée par deux formations, la «Molasse Rouge» et la «Molasse Grise».

Les couches de la Molasse ne sont pas visibles en surface à l'intérieur de la ville de Genève, mais apparaissent dans les vallons creusés par les rivières dans les dépôts glaciaires de la campagne alentour. Les pierres de la Molasse ont été exploitées en tant que roche de construction dans les zones côtières du Léman, sur les deux rives du lac, en période d'eaux basses (pendant l'hiver) jusqu'au XVIII^e siècle.

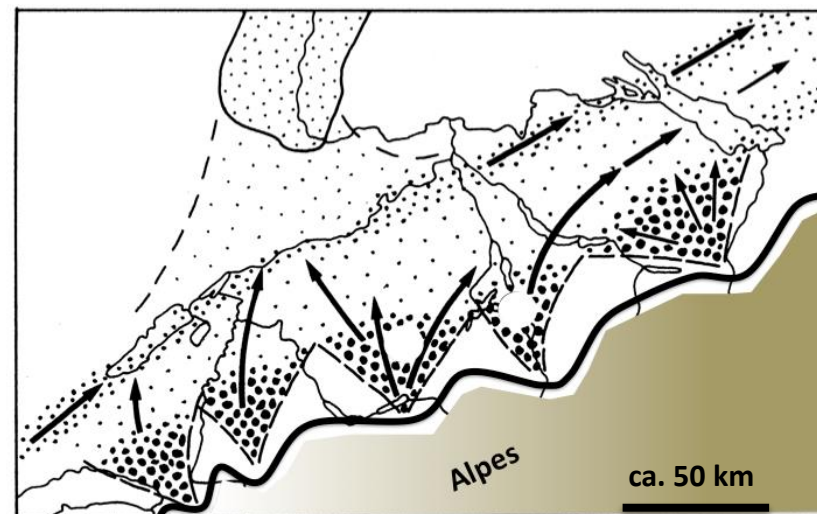


Figure 6: paléogéographie de l'avant-pays alpin à l'Oligocène supérieur (env. 30 – 27 millions d'années). Sédimentation de la Molasse Rouge et de la Molasse Grise. Le Bassin lémanique se situe dans la zone d'influence du cône du Mont Pèlerin où s'accumulent les conglomérats, grès et marnes issus de l'érosion de la chaîne alpine. Cette dernière atteignait des sommets de plus de 6'000 m d'altitude (adapté de Trümpy 1980).

Ages de glace

La topographie de la surface rocheuse de la Molasse sous le Bassin genevois, le plus souvent recouverte de dépôts plus récents, est caractérisée par des buttes et des sillons, orientés nord-est - sud-ouest (fig. 7). A l'ouest de Genève, les sillons les plus profonds se situent autour de 300 à 350 m au-dessus du niveau de la mer et les buttes (par exemple celle du village de Bernex) dépassent 450 m. Dans le Léman, la surface du rocher s'abaisse en direction de Lausanne, puis vers le front alpin, où elle peut descendre jusqu'à environ 200 m en dessous du niveau de la mer. Cette topographie de la surface du rocher est essentiellement l'œuvre des glaciers qui ont érodé la

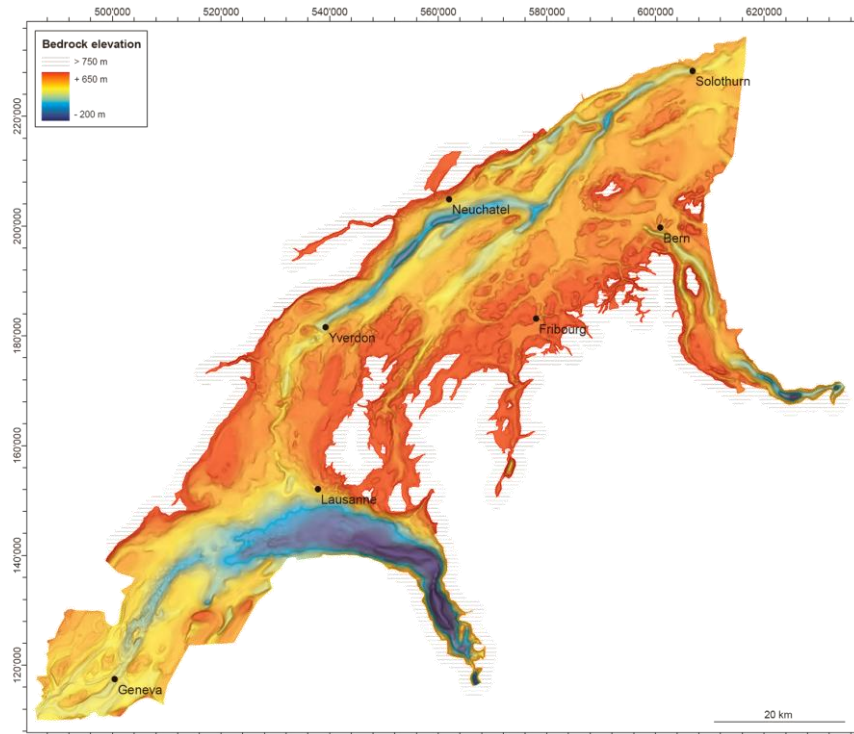


Figure 7: topographie de la surface du rocher sous les sédiments glaciaires, lacustres et fluviaux du Pléistocène en Suisse occidentale (J. Fiore 2007).

Molasse au cours du Quaternaire, en particulier au Pléistocène, pendant 2 millions d'années.

Les glaciers qui ont envahi le Plateau suisse ont pris leur origine dans les Alpes; une petite calotte recouvrait également les crêtes du Jura. Par des températures très inférieures aux températures actuelles, la zone d'accumulation des glaciers s'étendait à basse altitude et les langues de glace s'avançaient par moments dans la vallée du Rhône et, éventuellement, jusque dans la région de Lyon. Les traces que les glaciers ont laissées dans le paysage témoignent de processus sous la glace, sur le dos du glacier, au front et en bordure de celui-ci. L'extension maximale des glaciers alpins pendant le dernier âge glaciaire est présentée dans la fig. 8.



Figure 8: extension maximale des glaciers alpins pendant le dernier âge glaciaire (carte de Bini et al. 2009), © 2014 swisstopo (BA14046).

Dans le Bassin lémanique, les premières traces des glaciations se trouvent au sud de Palézieux (Canton de Vaud), à 800 m d'altitude, entre les villages d'Écoteaux et de Maraçon, où l'on observe les dépôts d'un ancien delta lacustre. Ce delta peut être relié à des moraines glaciaires et des sédiments lacustres, dont une partie est antérieure à la dernière inversion du champ magnétique terrestre il y a 860'000 ans¹. La moraine glaciaire correspondante est celle de la glaciation dite du Günz. Jusqu'à cinq passages de glaciers de la période du Pléistocène moyen à supérieur sont ensuite documentés dans la vallée de l'Aubonne près de Morges et dans les dépôts équivalents sur la rive sud du Léman, en relation avec la vallée de la Dranse. A l'approche de Genève, ces traces d'anciennes glaciations se retrouvent dans le Léman, dans des sillons profonds creusés dans la Molasse par le glacier du Rhône. Ces sillons sont également connus en forage dans le Bassin genevois (bibliographie: Amberger 1978, Wegmüller et al. 1995, Arn 1984, Brun 2000, Fiore 2007, Fiore et al. 2010, Moscariello et al. 1998, Pugin et al. 1993).

La fig. 9 résume la succession des sédiments glaciaires dans la Rade de Genève et à l'extérieur du lac. Une coupe géologique générale et synthétique des dépôts glaciaires de la partie occidentale du Bassin genevois est présentée en fig. 10, et les fig. 11 et 12 résument l'histoire glaciaire du Bassin genevois pendant la dernière glaciation.

¹ La Terre dispose, comme un aimant, d'un champ magnétique. Les pôles Sud et Nord de ce champ basculent tous les quelques centaines de milliers à quelques millions d'années. Le dernier changement est intervenu il y a 860'000 ans. Il a laissé son empreinte dans des sédiments lacustres d'un ancien lac que l'on trouve près du village d'Écoteaux.

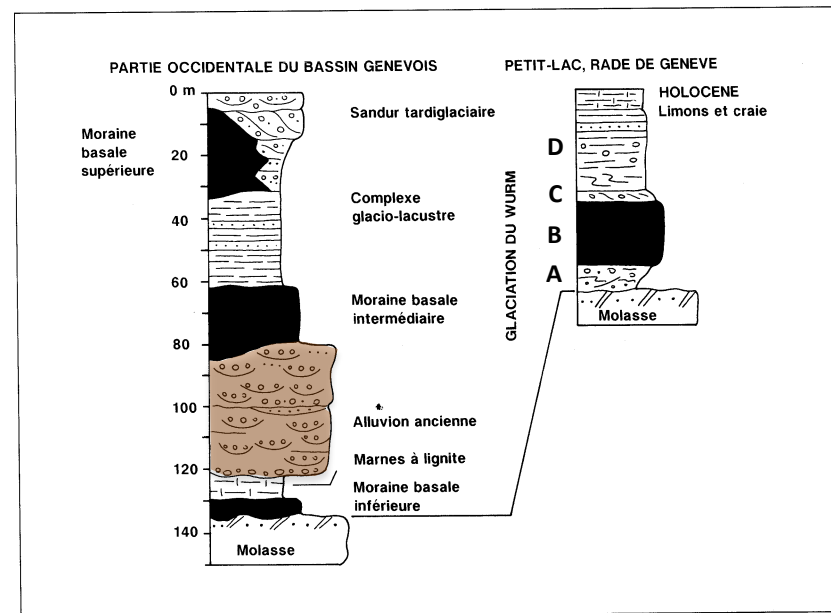


Figure 9: succession des sédiments de la dernière glaciation (Würm) à nos jours dans le Petit-Lac et la Rade de Genève et dans la partie occidentale du Bassin genevois (Wildi 1997, adapté). Unité A: graviers et sables cisailés par le passage du glacier; Unité B: moraine basale déposée sous le glacier; Unité C: graviers et sables expulsés par le torrent sous-glaciaire au front du Glacier du Rhône; Unité D: dépôt de sédiments glacio-lacustres devant le glacier en recul.

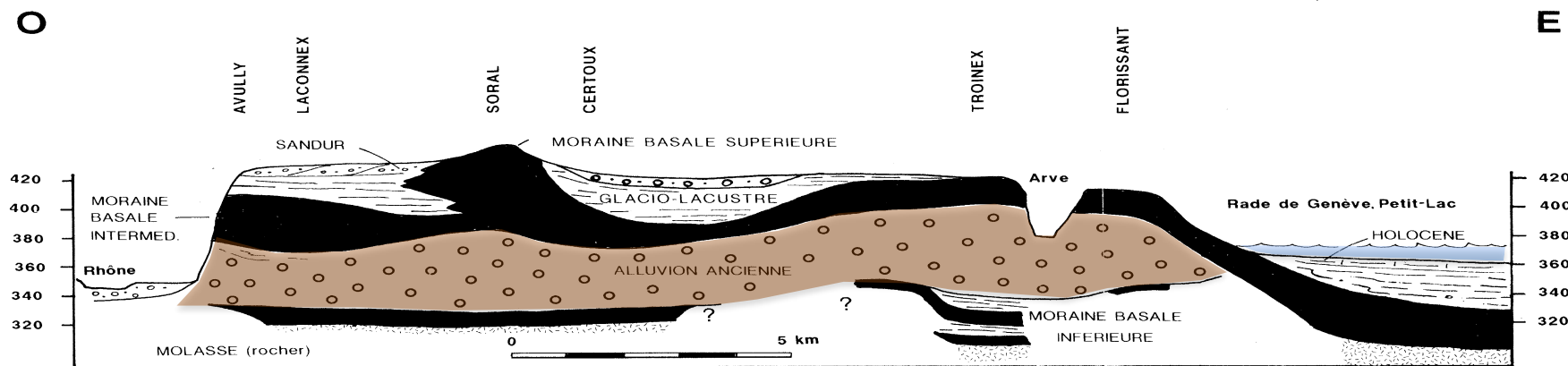
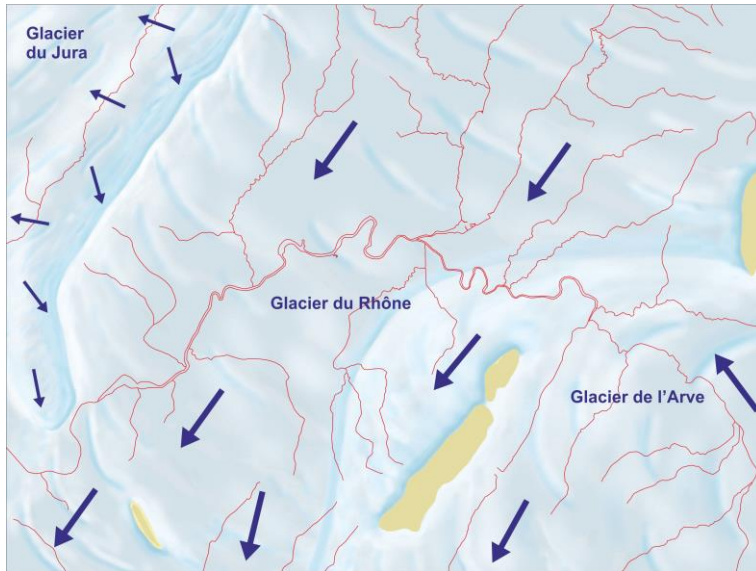
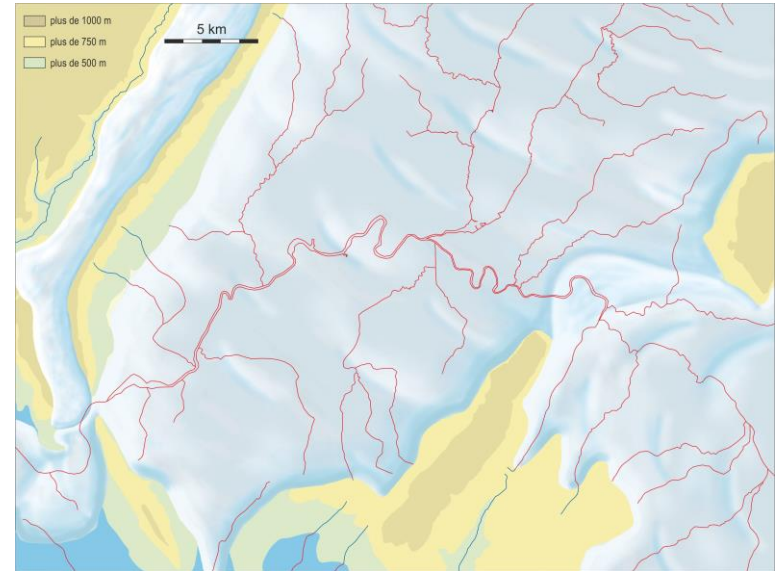


Figure 10: coupe géologique synthétique des dépôts glaciaires, fluviaux et lacustres de la partie occidentale du Bassin genevois (Wildi 1997, adapté).

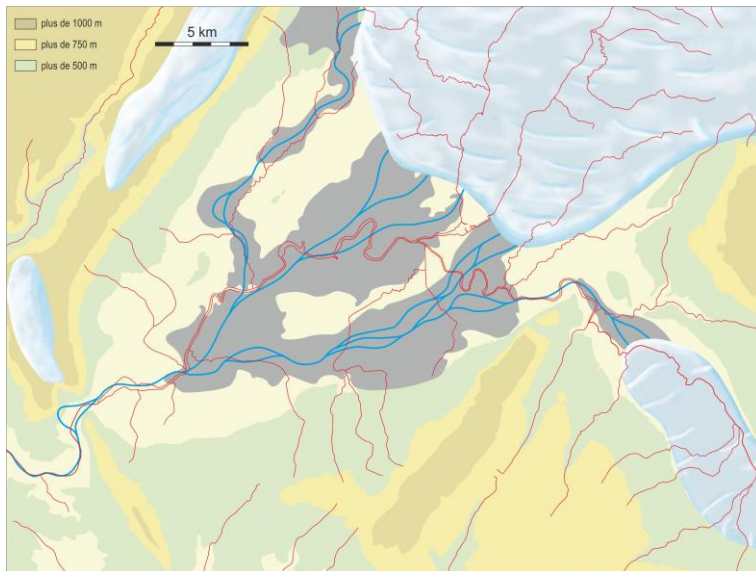
Figure 11: paysages du Bassin genevois au cours du dernier âge glaciaire. Les âges indiqués sont approximatifs.



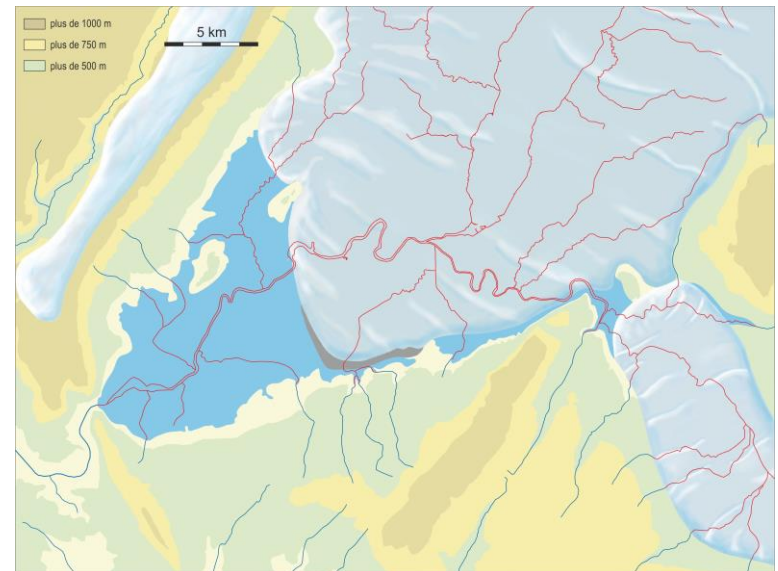
a) 70'000 – 60'000 ans BC? Extension maximale des glaciers au dernier âge glaciaire (Moraine basale inférieure).



c) situation vers 30'000 ans BC? Récurrence glaciaire dans le Bassin genevois (dépôt de la Moraine basale intermédiaire).

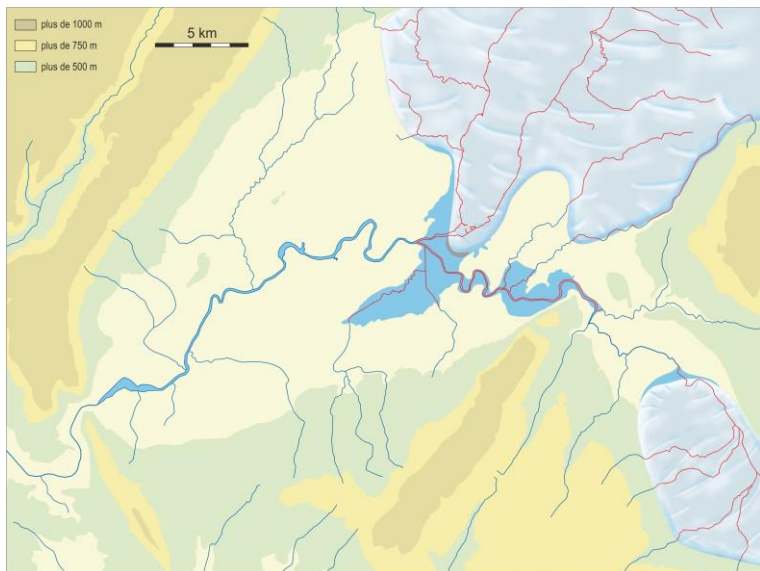


b) situation vers 38'000 – 35'000 ans BC? Dépôt de graviers de l'Alluvion ancienne (plaine alluviale en gris).

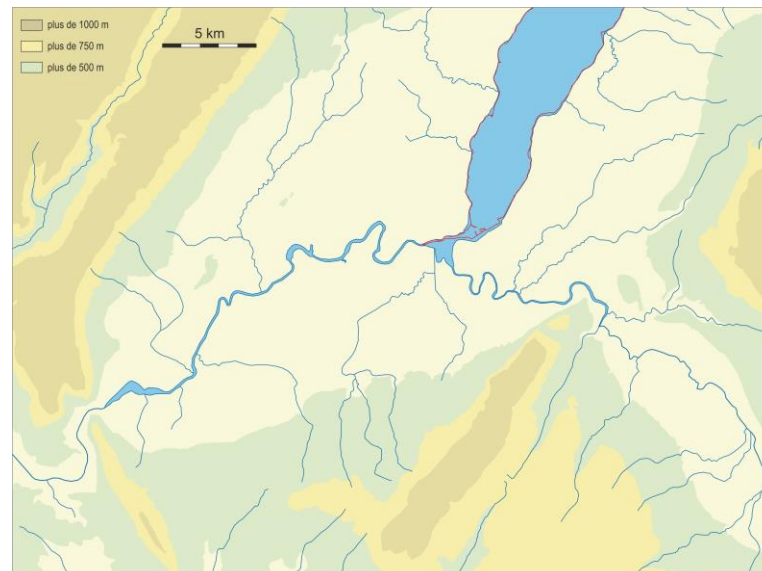


d) situation autour de 23'000 ans BC: stade de Laconnex, lac de 470 m (dépôt de la Moraine basale supérieure).

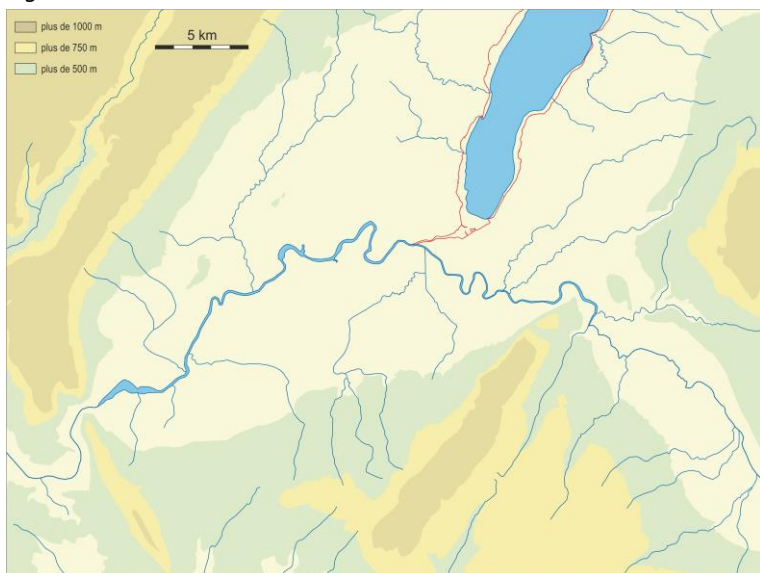
Figure 12: paysages du Bassin genevois depuis le retrait des glaciers.



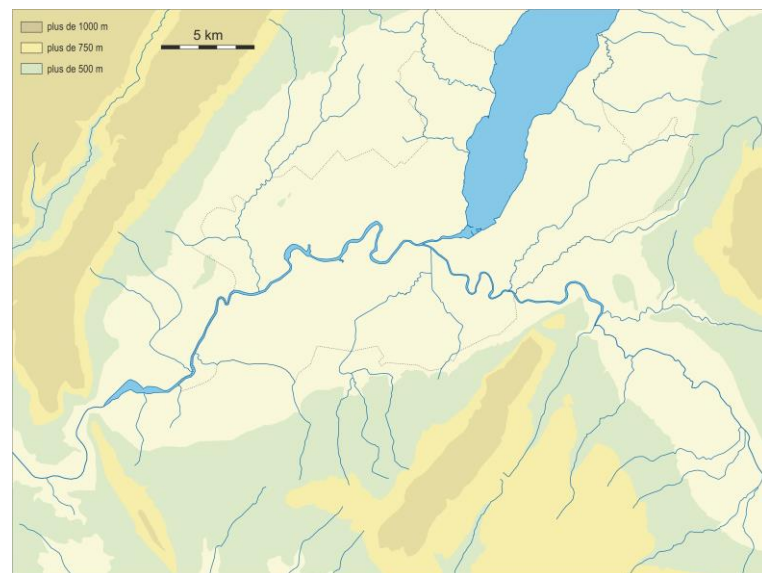
a) 20'500 ans BC: stade de Genève, lac de 405 m. Dépôt du Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine et des Pierres du Niton.



c) époque romaine, pendant un haut niveau du lac à 375 m.



b) vers 1'000 ans BC: bas niveau du lac (niveau < 369 m), époque des villages palafittiques.



d) lac actuel à 372 m d'altitude.

Dans la partie terrestre du Bassin genevois, la **Moraine basale inférieure** repose sur le relief érodé au cours des anciennes glaciations et tapisse le rocher molassique. Cette première moraine de la glaciation du Würm correspond probablement à l'extension maximale du Glacier du Rhône jusqu'à la rencontre du Glacier de l'Isère, et éventuellement jusque dans la région lyonnaise (fig. 11 a). Des dépôts lacustres ou palustres (**Marnes à lignites**) sont superposés localement à cette moraine et témoignent du retrait du Glacier du Rhône jusque dans le Bassin du Léman et de la présence de lacs et d'étangs peu profonds dans la partie occidentale du Bassin lémanique.

Les graviers et sables de l'**Alluvion ancienne**¹ qui surmontent les Marnes à lignites représentent les dépôts d'une plaine fluviatile importante (d'un *Sandur*, dans la terminologie des géomorphologues) en avant du Glacier du



¹ En géologie, les terrains de même composition que l'on peut observer et cartographier sur le terrain sont des «formations géologiques». Leur nom rappelle le plus souvent soit leur lithologie (graviers, marnes, calcaires), soit un lieu. «**Alluvion ancienne**» est un terme utilisé depuis le XIXe siècle et introduit formellement en 1879 par Alphonse Favre. Il désigne la formation de graviers et sables fortement cimentés (des conglomérats) qui forment les falaises le long de l'Arve (falaises de Champel) et du Rhône (falaises de St Jean). Ces graviers ont été déposés au dernier âge glaciaire par des rivières au front des glaciers du Rhône et de l'Arve.

Figure 13: affleurement de conglomérats et grès de l'*Alluvion ancienne* le long du chemin d'accès au Bois-de-la-Bâtie (chapitre 2, site Ge 1.2; hauteur de l'affleurement: ca. 2m).

Rhône, dont le front se situait probablement à hauteur du Petit-Lac et du Glacier de l'Arve. Les rivières qui alimentaient ce *Sandur* étaient organisées en plusieurs bras (rivières en tresses), entre lesquels se formaient des barres de graviers (fig. 11 b). Ces graviers et sables apparaissent actuellement sous la forme de conglomérats et de grès à ciment calcaire, dans des falaises le long du Rhône et de l'Arve (fig. 13).

A la suite d'une nouvelle dégradation du climat, le glacier du Rhône s'est avancé une dernière fois sur cette Alluvion ancienne, en érodant par endroits la surface de la terrasse de gravier et en la recouvrant d'une bonne couche de moraines sur une grande partie du Bassin genevois, la **Moraine basale intermédiaire** (fig. 9, 10 et 11 c). La déglaciation du Bassin genevois commença par un retrait des glaciers jusqu'à la hauteur du village de Laconnex (fig. 11 d), où se formait un *vallum* morainique (**Moraine basale supérieure**). Un lac subsistait alors en avant de ce stade et se remplissait par le **Complexe glacio-lacustre** et le *Sandur*. En amont du stade de Laconnex, la Moraine basale intermédiaire et la **Moraine basale supérieure** se confondent et nous utiliserons en général le nom de cette dernière pour désigner la formation morainique superposée à l'*Alluvion ancienne*.

Au cours de sa fonte, le glacier du Rhône stagnait pendant un certain temps à hauteur de la ville de Genève. Graviers et sables expulsés par le torrent sous-glaciaire s'accumulaient alors en un delta sous-lacustre (**Delta de Saint-Antoine**) qui constitue le relief sur lequel s'est construite la Cité. De la Cité de Genève à la plaine de l'Aire se forma un nouveau lac (fig. 12 a: lac de 405 m), comblé au cours du temps par des sédiments fins, passant vers la surface à des tourbes.

Dans le centre du bassin du Petit-Lac et la Rade de Genève la succession des couches ne comprend que les dépôts d'un seul cycle glaciaire (fig. 9 et 10), avec des graviers et sables cisailés par le passage du glacier, surmontés par une formation de moraine basale compactée et une formation de **Sédiments glacio-lacustres** datant de la déglaciation; les Pierres du Niton font partie de cette séquence. La découverte de débris de bois dans des graviers et sables, superposés immédiatement à la moraine, donnent un âge (datation au carbone-14, âge corrigé) d'environ 22'500 ans, soit 20'500 ans BC. La fig. 12a présente une reconstitution de la déglaciation du Petit-Lac et de la Rade de Genève à cette période, avec un niveau lacustre situé à environ 405 m d'altitude, en baisse progressive vers 400 m.

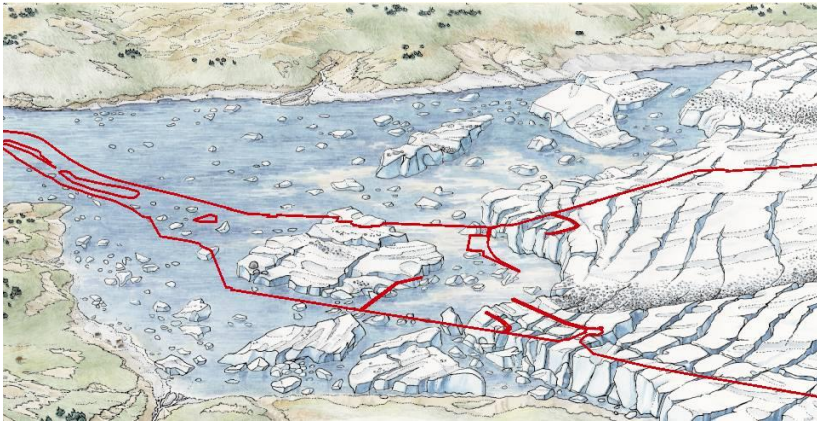


Figure 14: déglaciation de la Rade de Genève, par un niveau du lac à 405 m d'altitude. Les traits rouges indiquent les rives modernes du Léman et du Rhône (dessin Yves Reymond dans: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").

Holocène, la période post-glaciaire

Alors que le Bassin genevois (en dehors des glaciers et du lac) n'était occupé à la fin du dernier âge glaciaire que par une maigre flore d'herbes, de lichens et de mousses, de petits arbres pionniers et des fleurs commençaient à prendre leur place pendant la période dite du Tardi-glaciaire. Cette période s'est terminée il y a 11'000 ans, au passage vers la période post-glaciaire (ou période de l'Holocène), avec une nette amélioration du climat. Cette évolution est retracée schématiquement dans la fig. 17, basée sur des indicateurs sédimentologiques dans le Petit-Lac, et en tenant compte des pollens trouvés dans les sédiments. Au cours du Tardi-glaciaire le niveau du Léman s'est abaissé continuellement par l'érosion des seuils, moraines et autres, qui encombraient son exutoire, pour atteindre à peu près le niveau actuel il y a environ 10'000 ans.

Dans la Rade et le Petit-Lac du Léman, des dépôts crayeux et des sédiments fins (des «boues») riches en matière organique terminent la séquence (bibliographie: Moscariello 1996, Fiore 2007, Girardclos et al. 2005).

L'extension du lac vers le quartier de la Jonction et vers Carouge a dû être rapidement comblée par les sédiments apportés par l'Arve, en transformant

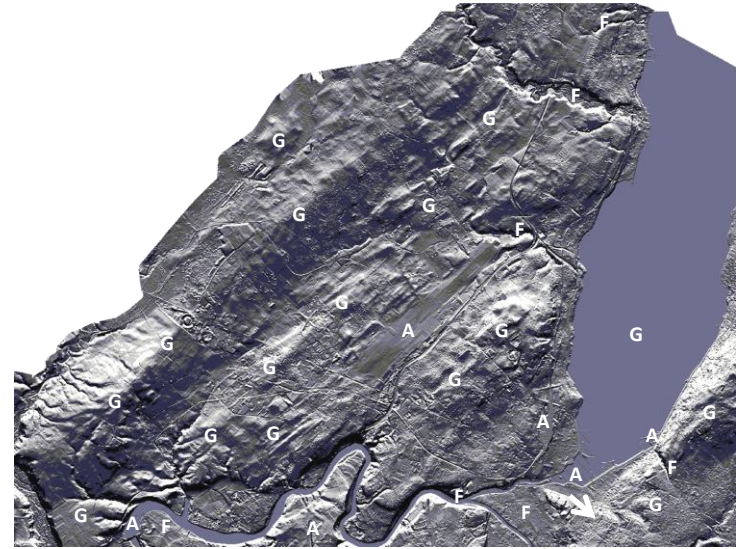


Figure 15: modèle numérique d'altitude de la rive droite du Léman et du Rhône dans le Canton de Genève (Fiore 2007). A: morphologie d'origine humaine (chemin de fer, aéroport, autoroutes, remblais lacustres, barrages), G: morphologie glaciaire, le plus souvent des drumlins (rochers et moraines sculptés par le passage du Glacier), F: érosion fluviale (par les rivières) après le dernier âge glaciaire (Post-glaciaire et Holocène).

l'ancien lac en plaine alluviale. Dès lors, l'Arve ne s'écoulait plus dans un lac, mais terminait sa course dans le lit du Rhône (visites [Ge 1.1](#) et [Ge 1.2](#)). Etant donné que le niveau du lit du Rhône était déterminant pour le niveau topographique de l'exutoire du Léman, tout encombrement du lit du Rhône par un apport massif de gravier pouvait faire monter le niveau du lac. En revanche, le niveau de base le plus bas de l'exutoire était déterminé par le fond morainique de nature très cohésive du lit du Rhône non encombré, ni par des graviers, ni par du matériel d'éboulement (voir le chapitre 1.3 concernant les variations du niveau du Léman observées au cours de la préhistoire).

Le résultat des processus glaciaires, fluviaux, lacustres et l'activité humaine qui ont sculpté le paysage du Bassin genevois apparaît de façon spectaculaire sur le modèle numérique d'altitude de la fig. 15.

Risques naturels, les tsunamis du Léman

Le géologue ou le géophysicien auront a priori de la peine à s'émouvoir sur les risques naturels encourus par les bâtiments et les habitants du Bassin genevois et de la ville de Genève. En effet, le bassin ne connaît qu'un relief faible, en dehors des grands accidents géologiques. Et pourtant, certains événements d'origine géologique ou climatique peuvent bien être identifiés dans l'histoire de cette région. Sans être exhaustif on peut notamment mentionner:

- **Hydrologie:** des crues historiques de l'Arve causant des inondations et emportant des ponts ont été rapportées en Haute Savoie et à Genève en 1404, 1570 (inondation de la Plaine de Plainpalais et refoulement des eaux de l'Arve et du Rhône vers le Léman), 1733 (destruction des ponts sur l'Arve), 1852, 1859 et 1888 (inondation de la plaine alluviale et refoulement de l'eau vers le lac; voir également la visite **Ge 1**). Ce risque est actuellement diminué par l'endiguement de la rivière (voir: <http://www.riviere-arve.org/territoire/inondations-memorables-arve.htm>).
- **Instabilités de terrain:** ce sont surtout les reliefs d'érosion qui montrent des phénomènes d'instabilité de terrain. Ainsi, de gros blocs de conglomérats de l'Alluvion ancienne, posés au pied de la falaise de cette formation, témoignent de chutes plus ou moins régulières. Des éboulements depuis la falaise du quartier de Saint-Jean ont même pu, à un moment donné, faire obstacle à l'écoulement libre du Rhône (visite **Ge 1.3**). Les moraines peuvent causer des glissements de terrain, moins en ville de Genève que par exemple le long du lac de barrage de Verbois, où un énorme glissement, surveillé par le Service de Géologie, menace le bassin de la retenue en rive droite, entre le village de Peney et le barrage.
- **Tremblements de Terre:** les tremblements de Terre ressentis à Genève ont leur épicerie dans d'autres régions géologiques, notamment dans la région d'Annecy, le long de la faille du Vuache, dans les Préalpes du Chablais, dans le Jura ou encore en Valais. Certaines failles importantes, soit par exemple les failles profondes qui suivent le front du Salève et plusieurs failles reliant le front alpin au Jura sont actuellement inactives, mais pourraient se réveiller un jour (bibliographie: Hernandez – Trevethan, 2010).
- **Tsunamis du Léman:** les archives historiques racontent qu'en 563, suite à l'éboulement rocheux de Tauredunum, la région Lémanique fut heurtée par un raz de marée sur le lac qui inonda ses rives, détruisit des moulins

et le pont de Genève, tua des hommes et des troupeaux et entra finalement dans la Cité de Genève. L'étude de l'enregistrement sédimentaire du Grand-Lac révèle un gigantesque dépôt de 1 à 7 m d'épaisseur, qui couvre tout le fond du bassin profond et qui est contemporain de l'événement du Tauredunum. Il consiste en une «turbidite» (coulée de boue et de sable) géante d'un volume de 0.25 km³ dont le déplacement a très certainement été initié par la déstabilisation du delta du Rhône suite à l'impact rocheux sur sa partie aérienne. Ce volume de sédiment est utilisé pour modéliser la hauteur de la vague provoquée par le déplacement de ces sédiments dans le lac. Un modèle numérique indique une hauteur de vague de 8 m à Genève et de 13m pour Lausanne, ce qui est en conformité avec les données historiques mentionnant l'entrée de l'eau dans la Cité de Genève, puisqu'au VI^e siècle, elle était située sur la colline de la Vieille-Ville (fig. 16). Cette étude montre que les tsunamis en milieu lacustre constituent un risque géologique à ne pas sous-estimer (Montandon 1925, Kremer et al. 2012). D'autres tsunamis s'étaient probablement déjà produits à l'époque préhistorique dans le bassin du Léman.

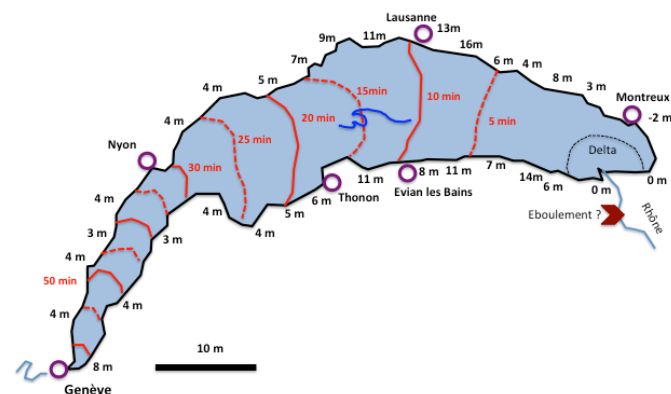


Figure 16: résultats d'une simulation du tsunami provoqué sur le Léman par l'impact de l'éboulement de Tauredunum sur le Delta du Rhône près de Villeneuve. Le temps d'arrivée (en minutes) de la première vague du tsunami est marqué en rouge, la hauteur de la vague (en mètres) est indiquée en chiffres le long des rives du lac (simplifié d'après Kremer et al. 2012)

Epoques	Courbe de variation de la température	Périodes archéologiques	Dates absolues av. J.-C.	Phases interglaciaires et de végétation	Végétation	Faunes sauvages et domestiques		
HOLOCÈNE	Chaud	Epoque romaine	0	SUBATLANTIQUE ANCIEN	charme, noyer, châtaignier, essor de la chênaie			
		Age du Fer	-1000	SUBBORÉAL	roseaux			
		Age du Bronze	-2000		épicéa			
		Néolithique	-4000	ATLANTIQUE RÉCENT	érable, sapin	porc, bœuf, mouton		
		Mésolithique	-8000	BORÉAL	hêtre, frêne, chêne	ours brun, sanglier, chevreuil, cerf		
		PLÉISTOCÈNE	Froid	Epipaléolithique	-11'000	DRYAS RÉCENT	noisetier	cerf
					-12'000	ALLERÔD	éclaircissement de la forêt de pin et de bouleau	cerf
					-13'000	DRYAS MOYEN	pin	uroch
					-14'000	BÖLLING	bouleau, saule	ours des cavernes, cheval sauvage
					-15'000	DRYAS ANCIEN	argousier	cheval sauvage
	-16'000			DÉGLACIATION	bouleau nain	renne		
	-17'000				genévrier	mammouth		
	-18'000			WÜRM RÉCENT	herbacées			
	-19'000							
	-20'000			DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE				

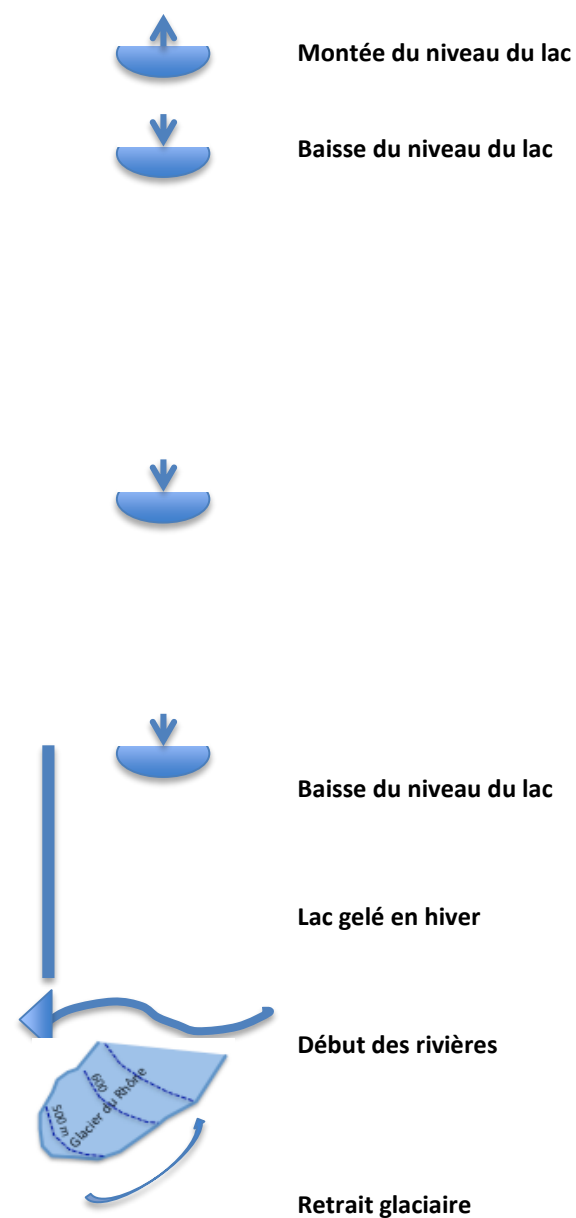


Figure 17: tableau synthétique de l'évolution de l'environnement depuis la fin du dernier Âge glaciaire (d'après Corboud 2013, Girardclos 2001)

1.3 – L’occupation humaine du pays de Genève

Après le retrait définitif du glacier dans le Bassin genevois, les premiers arrivants dans la région sont des chasseurs de rennes et de chevaux sauvages, appartenant à la culture magdalénienne (Paléolithique supérieur). En remontant la vallée du Rhône du sud au nord, ils poursuivent leur gibier, lui-même attiré par la maigre végétation d’herbacées de type steppe ou toundra. Les seules essences arbustives sont le genévrier, le saule nain et bientôt le bouleau nain.

Les traces des campements de ces chasseurs ont été retrouvées dans des abris sous blocs, au pied du Salève, sur la commune d’Etrembières non loin de Veyrier. Cette première présence humaine date de 13'000 ans avant notre ère, il s’agit de campements temporaires, occupés de manière cyclique ou saisonnière. Le niveau du Léman est encore supérieur de huit à dix mètres au niveau actuel, ce qui ne devait pas empêcher les chasseurs de rennes d’en fréquenter les rives, dont les eaux attiraient les troupeaux de rennes et de chevaux sauvages.

L’industrie de ces premiers «genevois» est à la fois modeste et très bien adaptée à leur mode de vie: pointes de sagaies en bois de renne, grattoirs, lames et burin en silex, harpons à barbelures d’une finesse remarquable. Sans oublier des objets de parure tels des coquillages méditerranéens, perles en lignite, ou des objets usuels et très habilement décorés.

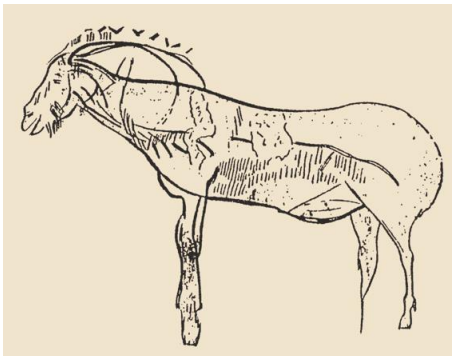


Figure 18: le site de Veyrier est célèbre pour la découverte de bâtons percés en bois de renne, probablement utilisés pour redresser les pointes de sagaie. Une de ces pièces est magnifiquement décorée, d’une gravure représentant un bouquetin. Au dos du même objet, un motif végétal suggère un rameau de bouleau.



Figure 19: les chasseurs magdaléniens lors de leur passage dans le Bassin genevois établissent leur campement sous des amas de gros blocs calcaires, effondrés de la paroi du Salève au cours du retrait glaciaire. L’espèce animale la plus appréciée est le renne. Sa viande est consommée, sa peau sert à confectionner des habits et ses bois sont utilisés pour y tailler des outils et des armes (dessin André Houot dans: Affolter et al. 2012 «La Haute-Savoie durant la préhistoire»).

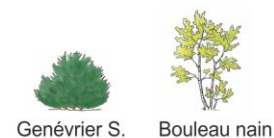


La haute densité des constructions modernes autour du lac et les perturbations du sol ont assurément effacé toutes les traces des occupations humaines qui ont suivi. Le réchauffement climatique, qui débute vers 8500 ans avant notre ère, conduit à une évolution importante du paysage. La couverture arboréenne clairsemée fait place à une forêt dense, dans laquelle dominent les feuillus, par exemple le chêne, le noisetier, l'orme et le tilleul. Les espèces animales froides sont remplacées par une faune forestière, plus adaptée à ce nouvel environnement. L'homme préhistorique s'adapte lui aussi, avec un mode de vie toujours nomade, mais dans un territoire plus réduit, entre plaine et sites de moyenne montagne. Les rives des lacs et des marais sont des lieux de campement recherchés, on en connaît quelques exemples dans le Bassin lémanique, mais malheureusement pas à Genève, région trop aménagée et aux sols trop remaniés.

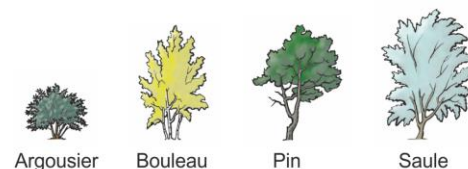
Un optimum climatique survient vers 5000 ans av. J.-C., la température moyenne de nos régions est supérieure à l'actuelle. Des premières communautés paysannes issues de la Méditerranée s'installent sur le plateau suisse et dans le Valais, apportant avec elles l'agriculture et l'élevage apparus quelques 3000 ans plus tôt au Proche-Orient.

Figure 20: évolution de la végétation et du couvert forestier entre le retrait du glacier et l'an 1000 av. J.-C. Les essences représentées correspondent aux nouvelles espèces apparues en fonction du climat et de l'influence humaine. Les autres subsistent, mais dans des proportions plus faibles (dessins Yves Reymond).

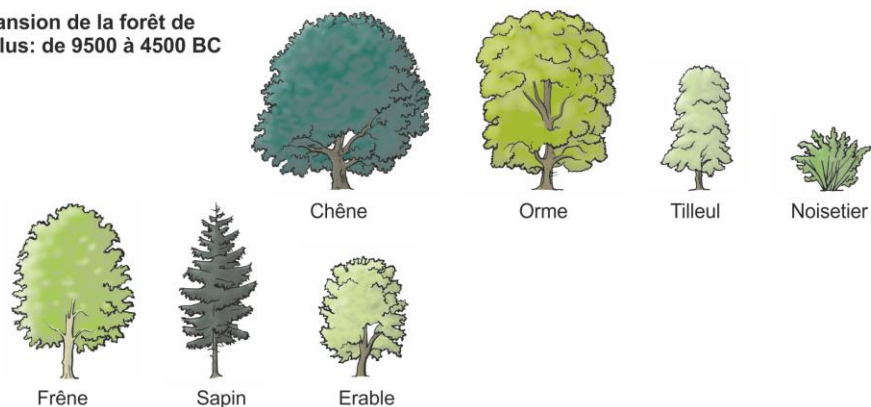
**Végétation tardiglaciaire:
de 17'000 à 13'000 BC**



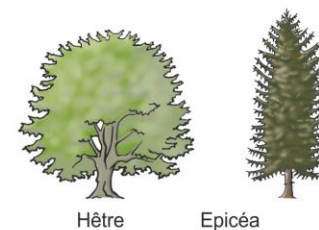
**Première forêt clairsemée:
de 13'000 à 9500 BC**



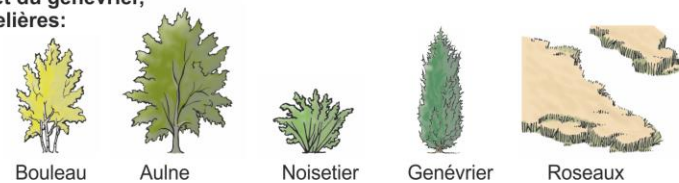
**Expansion de la forêt de
feuillus: de 9500 à 4500 BC**



**Développement du hêtre et de l'épicéa
influences humaines: de 4500 à 3500 BC**



**La déforestation favorise l'expansion du bouleau,
de l'aune, du noisetier et du genévrier,
développement des roselières:
de 3500 à 1000 BC**



Ce nouveau mode de vie coïncide avec le premier impact de l'homme sur son environnement. Les champs cultivés sont gagnés sur la forêt, défrichée grâce à la hache de pierre polie. Les villages regroupent des maisons construites en bois et parois de torchis, les toitures sont recouvertes de chaume de céréales ou de planchettes de bois. L'occupation de ces villages est encore limitée à deux ou trois générations d'environ une vingtaine d'années. L'épuisement des terrains agricoles proches de l'habitat impose périodiquement des déplacements vers de nouveaux terroirs.

Le niveau moyen du Léman atteint à cette époque une valeur proche de l'actuelle. Néanmoins, des changements de température et de pluviosité provoquent des fluctuations du niveau du lac selon des rythmes séculaires, pour une tranche d'eau maximale d'environ 9 mètres, si l'on tient compte aussi des variations saisonnières.

Pendant les périodes de relative sécheresse, les préhistoriques du Néolithique puis de l'âge du Bronze se rapprochent du lac, pour construire leurs villages sur la terrasse littorale émergée. Ces établissements sont appelés villages littoraux ou palafittes, car on les retrouve aujourd'hui grâce à la découverte de milliers de pilotis plantés dans le sol des lacs, vestiges des fondations des maisons abandonnées.

Figure 21: abandon d'un village du Néolithique final (vers 3000-2800 av. J.-C.). Après l'épuisement des terrains de culture alentour, la communauté villageoise abandonne son village des bords du Léman après l'avoir incendié. On distingue autour du village la plage de craie lacustre partiellement envahie par des herbes et la zone marécageuse située entre l'établissement et les premiers terrains morainiques signalés par une rangée de buissons de saules, de viornes et d'argousiers. Les champs abandonnés sont partiellement envahis par la végétation. Le gros de la communauté va rejoindre une avant-garde, déjà installée sur un nouveau terroir, en un autre point de la rive. Elle y a construit les premières cabanes et défriché de nouveaux champs dans une forêt encore préservée ou revenue à l'état sauvage (dessin André Houot dans: Gally 2008 «Des Alpes au Léman»).

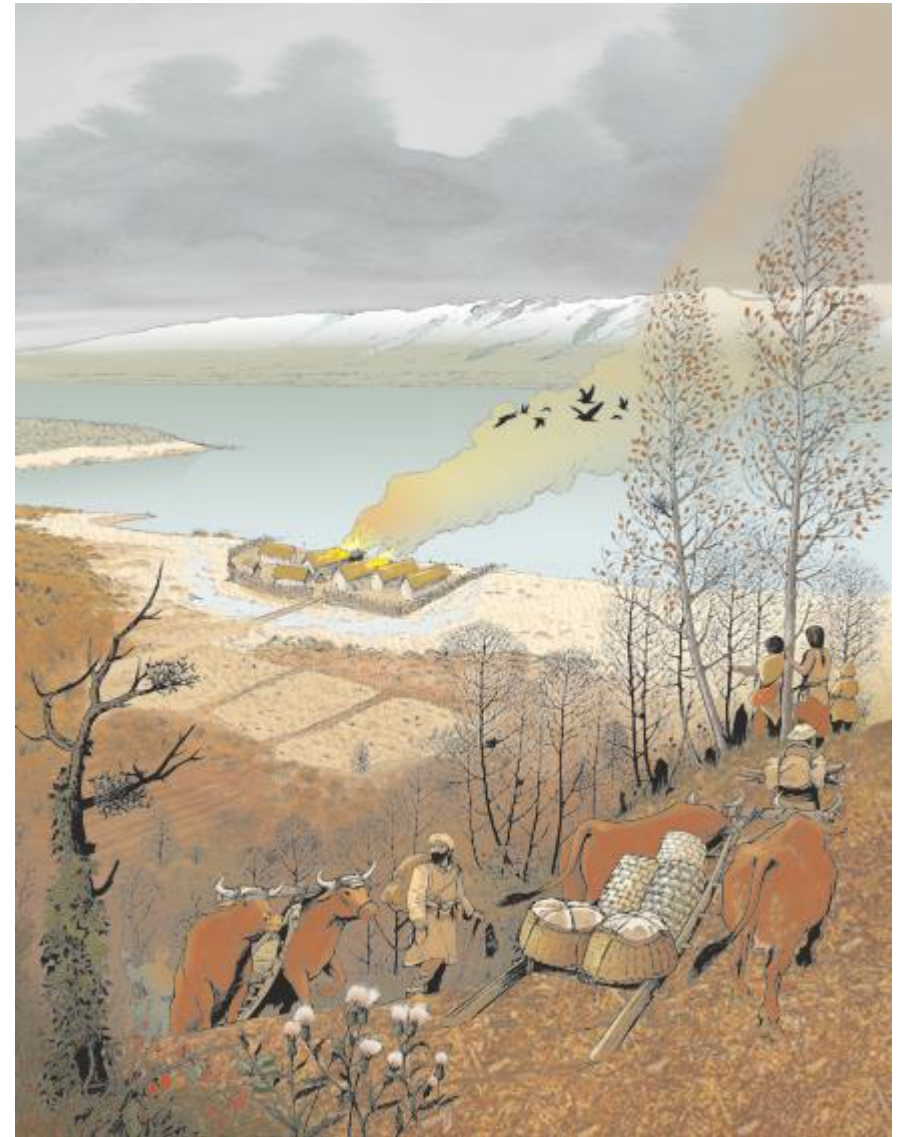
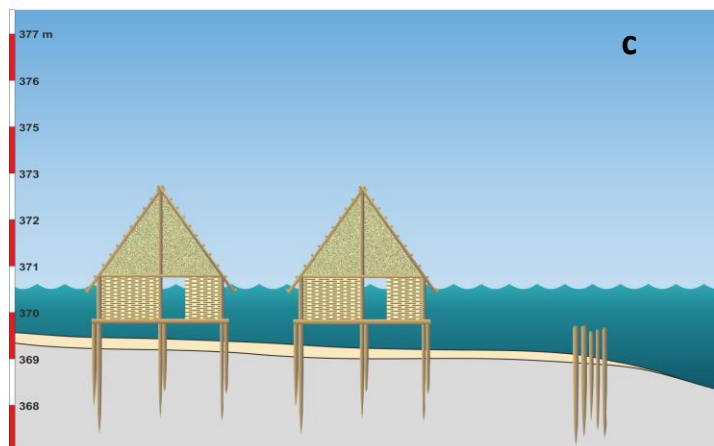




Figure 22 a: pendant des périodes de sécheresse relative, le niveau du lac descend de deux à trois mètres au moins en-dessous du niveau moyen actuel. Les paysans du Néolithique ou de l'âge du Bronze profitent des surfaces riveraines libérées par les eaux pour y construire leurs villages et se rapprocher du lac. Les remontées saisonnières de niveau et les tempêtes nécessitent la construction de palissades brise-vagues, pour protéger les habitations du côté du lac et des planchers surélevés pour les garder au sec.



b: à plusieurs moments, lors des hautes eaux estivales, le niveau du lac remonte de moins d'un mètre et les vagues de bise sont poussées vers le village. La palissade brise-vagues protège les constructions situées en aval et les planchers légèrement surélevés des cabanes les mettent à l'abri des inondations temporaires.



c: lorsque le niveau du Léman remonte de plus en plus fréquemment, les planchers des maisons sont submergés et la transgression du lac est trop importante pour permettre la poursuite de l'occupation humaine. Le village est alors abandonné et les constructions sont très vite détruites lors des fortes tempêtes de bise.

Le niveau de l'eau remonte encore régulièrement et chaque tempête démolit encore plus les structures horizontales des cabanes ruinées et érode les pieux verticaux. Bientôt tous les éléments de construction, à l'exception des pieux solidement plantés dans le sol argileux seront dispersés par les vagues (Corboud 2012).

Le Léman, une «mer intérieure»?

Le Rhône qui ne coule plus à Genève, le Léman qui stagne et dont le niveau descend jusqu'à 5 ou 6 m en-dessous du niveau actuel: impossible de s'imaginer ce lac en tant que «mer intérieure». Et pourtant, ni archéologues, ni géologues n'ont trouvé à ce jour un chenal caché ou remblayé par des sédiments disloqués par les vagues, les courants ou encore un tsunami, par lequel aurait pu s'écouler le Rhône dans un lit creusé de 3 à 4 m de profondeur. Donc: imaginons l'inimaginable, c'est à dire continuons à imaginer le climat qui aurait été à l'origine de cette situation tout en gardant à l'esprit la possibilité théorique de l'existence d'un chenal et n'oublions pas: ce n'est pas uniquement le Léman qui est en situation de bas niveau, mais l'ensemble des lacs périalpins, de Neuchâtel et Bienne à Zürich et au lac de Constance, et bien au-delà!

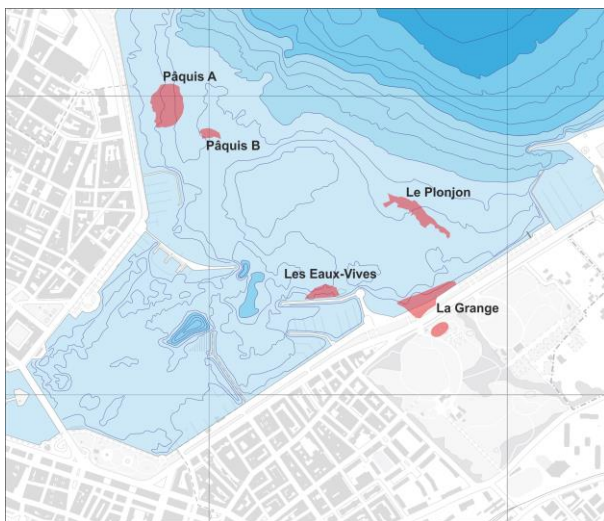
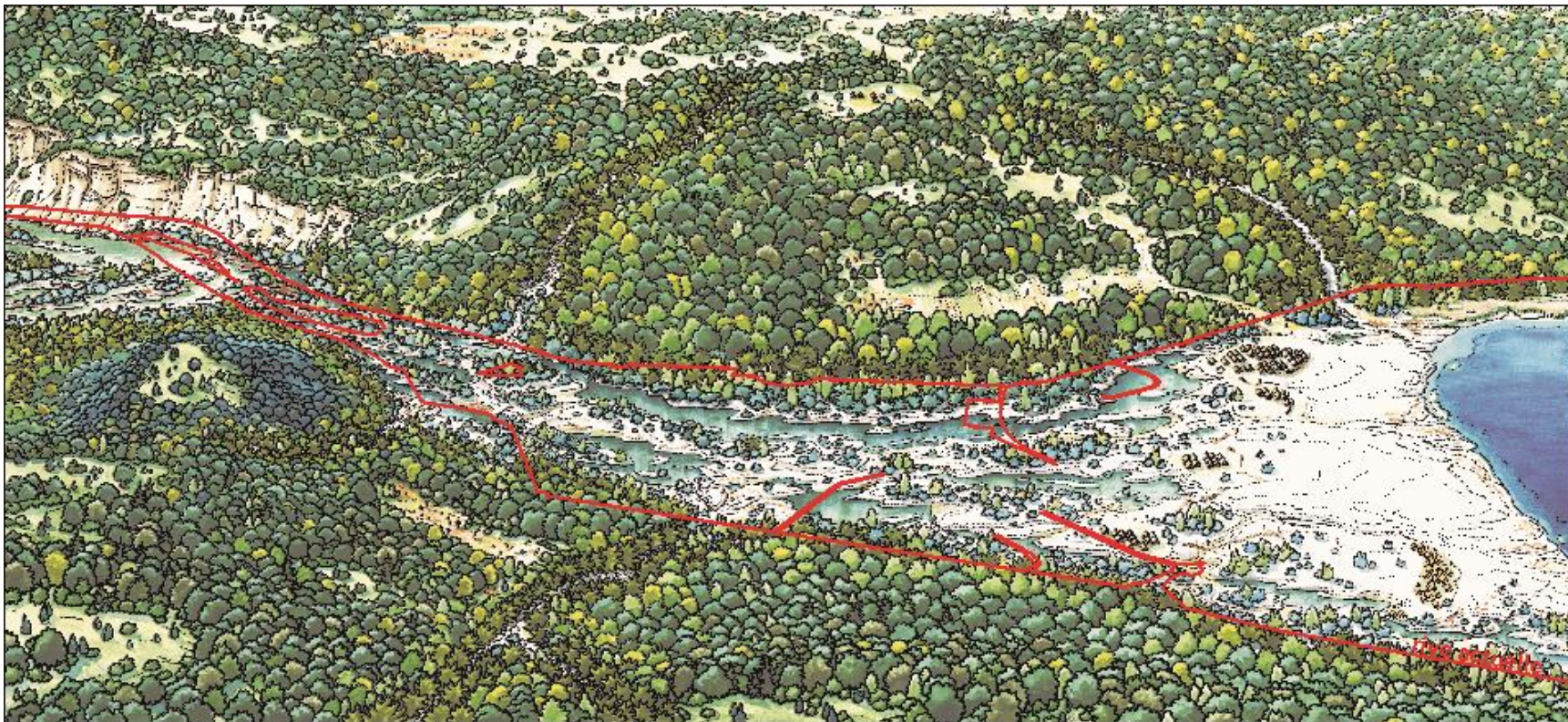


Figure 23: paysage de la Rade de Genève pendant un bas niveau du Léman. Age du Bronze final, vers 1000 av. J.-C. La forêt occupe la plus grande partie de l'espace, avec une majorité de chênes, de noisetiers, ainsi que du hêtre. Dans les surfaces libérées par les eaux, les saules colonisent le terrain, tandis que les rives inondées sont peuplées de roselières, qui laissent la place, un peu plus haut, à une forêt riveraine d'aulnes et de frênes.

Les agriculteurs exploitent des champs de céréales sur la première terrasse surplombant le lac, après avoir défriché les terrains boisés. Les villages sont construits sur le Banc de Travers, la vaste surface libérée par les eaux et non encore colonisée par la végétation (dessin Yves Reymond dans: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").

Figure 24: les vestiges de cinq stations littorales, occupées entre 4000 et 850 av. J.-C., ont été préservés dans la Rade de Genève.

La Rade de Genève devient ainsi, pendant les bas niveaux lacustres, une surface de prédilection pour l'habitat, car dépourvue de végétation mais proche d'une réserve d'eau permanente. Pendant ces phases, le Léman ne s'écoulait plus en aval de Genève, seule l'Arve continuait à alimenter l'ancien lit du Rhône.

Les phases culturelles, au cours desquelles les agriculteurs préhistoriques construisent leurs villages sur les rives émergées du lac, sont au nombre de quatre: le Néolithique moyen (4000 à 3400 ans av. J.-C.), le Néolithique final (3200 à 2500 av. J.-C.), l'âge du Bronze ancien (1800 à 1600 av. J.-C.) et enfin l'âge du Bronze final (1080 à 850 av. J.-C.). Ces époques nous sont particulièrement bien connues, car les vestiges y sont exceptionnellement bien conservés, particulièrement les objets en bois et en matière organique.

Entre ces phases plus sèches, les préhistoriques ne désertent pas la région, mais ils déplacent leurs villages sur les terrasses surplombant le lac, terrains qui n'ont que très rarement conservé les vestiges de leur présence.

Vers 850 avant notre ère, une dégradation climatique provoque la remontée de tous les lacs du nord des Alpes. A partir de cette époque le Léman ne s'abaissera plus assez pour permettre aux populations de l'âge du Fer de s'établir sur ses rives émergées. Et même, à l'époque romaine, son niveau atteindra une altitude supérieure de trois mètres à la moyenne actuelle. Une telle élévation ne peut correspondre à une crise climatique (augmentation de la pluviosité et baisse de la température), mais plutôt à un barrage naturel survenu à la hauteur de la jonction entre l'Arve et le Rhône. Un tel barrage temporaire a pu se créer aussi à d'autres moments, provoqué par l'effondrement des falaises du quartier de Saint-Jean, face à la colline du Bois-de-la-Bâtie.

Figure 26: la Rade de Genève pendant un bas niveau du lac, vers 368 à 369 m, soit 3 à 4 m plus bas que la moyenne actuelle. Une vaste surface de sable et d'argile est disponible pour les préhistoriques pour y établir leurs villages, à proximité de la rive du Léman. Le Rhône ne s'écoule plus à Genève et l'Arve emprunte l'ancien lit du Rhône.

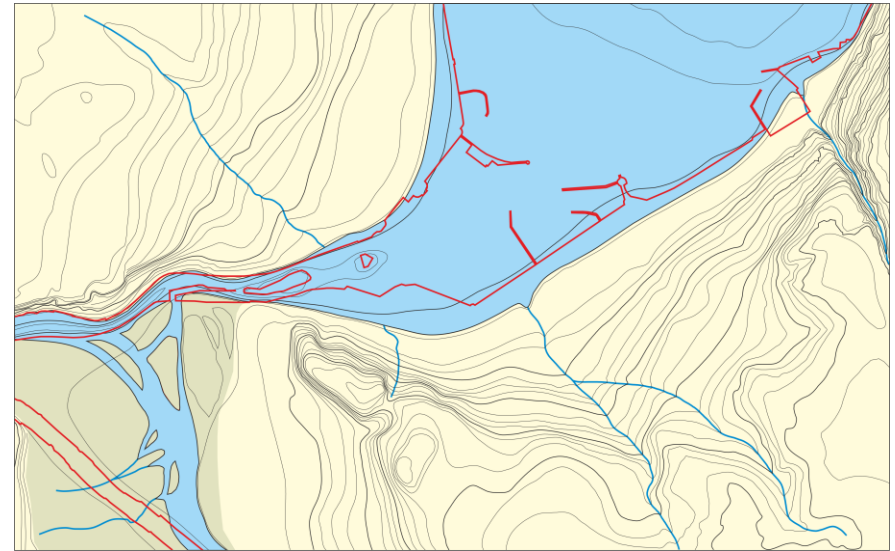
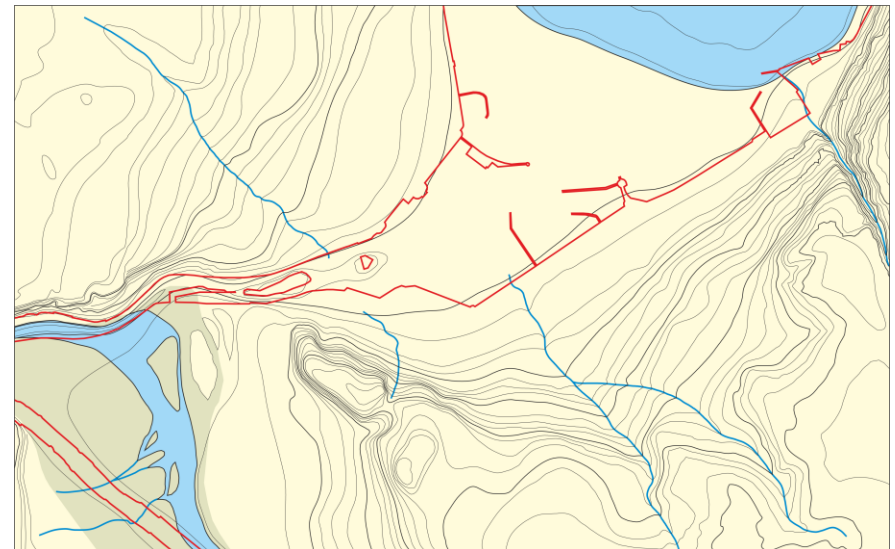


Figure 25: la Rade de Genève pendant un niveau moyen du Léman, vers 372 m. Les rives naturelles ont une emprise plus vaste qu'aujourd'hui.



C'est au cours de la période gauloise que la colline de Genève est occupée par une tribu celte. Son habitat est tout d'abord un modeste village, puis un camp fortifié: un oppidum, qui vers 100 av. J.-C. possède de solides remparts, construits par les Allobroges, tribu intégrée à la province romaine de la Narbonnaise. En contrebas de la colline, un port est établi, à l'emplacement actuel de la place Longemalle, au pied de l'église de la Madeleine. Le niveau du lac est encore élevé et baigne la zone qui correspond aux Rues Basses aujourd'hui.

En 58 av. J.-C., les Helvètes qui occupaient le plateau suisse décident d'émigrer dans le sud-ouest de la France, au nord de l'estuaire de la Gironde. Le général Jules César ne veut pas que cette troupe de 263'000 âmes, avec armes et bagages, traverse la province de la Narbonnaise dont il a la charge. Il gagne Genève et fait démonter le pont sur le Rhône, seul passage vers le sud. Les Helvètes doivent alors traverser le Jura, mais ils seront battus à Bibracte (Morvan) par l'armée romaine et devront regagner le plateau suisse sur la pression de Jules César.

Depuis cette date, Genève et le Plateau suisse seront sous la domination de l'Empire romain. La cité porte alors le nom de Genua, cité par Jules César dans son récit de la Guerre des Gaules. Dès lors, nous quittons la préhistoire pour entrer dans l'histoire.

Grâce à sa position géographique favorable et à son port de commerce, la cité connaît un développement rapide. A la chute de l'Empire romain, dès le IIIe siècle, Genève adopte le christianisme. Un évêché est fondé, qui prendra une place politique grandissante, avec l'installation d'un Prince-Evêque dès le VIIIe siècle. Les vestiges du premier groupe épiscopal, construit entre le IIIe et le IVe siècle, ont été découverts sous la cathédrale Saint-Pierre. Son extension est encore limitée, mais des remparts en maçonnerie le protègent.

Figure 28: groupe épiscopal de Genève au VIe siècle; vue depuis le sud-est (dessin Gérard Deuber, Service archéologique cantonal).

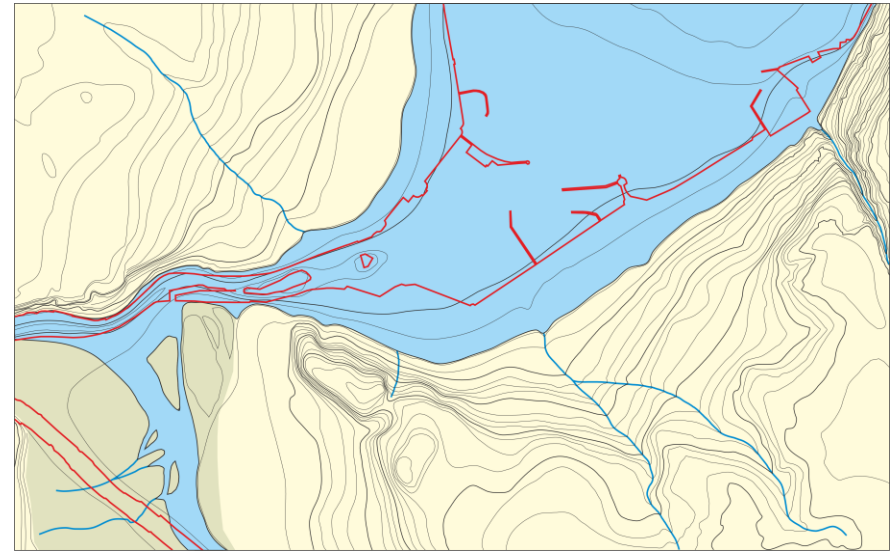


Figure 27: la Rade de Genève pendant un haut niveau du Léman, 3 mètres plus haut que le niveau moyen actuel. Le lac arrive au pied de la colline de Genève, à l'endroit où se trouvait le port gaulois et romain de la ville, au premier siècle av. J.-C.



Du Haut Moyen Age au Moyen Age, Genève est enserrée dans ses fortifications. La convoitise de ses voisins justifie cette protection.

En 1533 le Prince-Évêque doit fuir la ville et, en 1536, la Réforme est définitivement adoptée. Pendant le XVI^e siècle, la ville transforme son système de fortifications en construisant tout un réseau de bastions, qui condamne encore plus strictement l'extension en surface de la cité. Les habitations se développent alors en hauteur pour accueillir les protestants des autres régions d'Europe qui fuient les persécutions catholiques.

De 1350 à 1850 environ, la température moyenne chute de manière considérable sur l'ensemble de l'Europe, on nomme cette période le «Petit âge glaciaire». La famine s'installe dans plusieurs régions de moyenne montagne.

Ce refroidissement de longue durée contraste avec la période plus chaude qui l'a précédée autour de l'an 1000, qualifiée d'optimum climatique médiéval. Ce sont peut-être les tensions sociales et politiques du début du XVI^e siècle qui décident le duc de Savoie à attaquer Genève, dans la nuit glaciale du 11 au 12 décembre 1602. Cette agression sera fermement repoussée par les genevois et restera dans la tradition avec la commémoration de l'Escalade. Cet épisode guerrier renforce encore plus l'exigence d'un système efficace de fortifications.



Figure 29: plan de Genève et de ses fortifications, par Nicolas Chalmandrier, entre 1750 et 1790 (Collection Ryhner, Bibliothèque de l'Université de Berne).

Figure 30: vue de Genève, prise du Sud, vers 1642, par Matthieu Merian. Au premier plan: la Porte Neuve, précédée d'un pont-levis, d'un pont dormant et d'une barbacane, fut édiflée en 1565. En coupant la corde de la herse de ce bâtiment, Isaac Mercier empêcha le gros des troupes savoyardes de pénétrer dans la cité en 1602 (BGE, Centre d'icographie genevoise).

Dès 1830, la rive droite de la Rade voit se construire de grands hôtels, prisés par les touristes anglais, qui profitent ainsi du panorama des Alpes. Dans les années 1850, la nécessité d'une protection militaire n'a plus de raison d'être, la ville peut donc démolir ses anciennes fortifications et trouver, jusqu'en 1880, une extension et un développement urbains gagnés sur ses remparts. La ville est profondément transformée, les nouveaux quartiers construits sur les anciens remparts constituent la «ceinture fazyste», du nom du politicien radical James Fazy, qui favorise l'ouverture de la cité et son orientation sociale. Cette ouverture permet aussi de se réapproprier le lac et d'aménager les quais des deux rives, en y installant des immeubles prestigieux qui dessinent encore aujourd'hui les contours de la Rade.

Dès le début du XVIIIe siècle des barrages sont construits à Genève, dans le Rhône, pour alimenter des moulins et fournir l'énergie nécessaire aux nombreux ateliers installés sur son cours. Ces aménagements retiennent les eaux et sont responsables de hauts niveaux du lac. En 1873, l'Etat de Vaud porte plainte contre Genève auprès du Tribunal fédéral, ce qui conduit au «Procès du Léman», qui durera près de dix ans. En 1884, ce conflit est résolu par la signature d'une convention intercantonale qui définit les limites des variations du niveau des eaux. La construction des écluses du Pont de la Machine est destinée à mettre en application cette convention, effective dès 1887. Depuis 1995, le barrage du Seujet construit plus en aval remplace les volets en bois des anciennes écluses.



Figure 31: construction du Bâtiment des Forces Motrices à Genève en 1885. En arrière plan, on distingue les roues hydrauliques qui alimentent divers établissements industriels de Saint-Jean: minoterie, ateliers horlogers et mécaniques. Les machines hydrauliques destinées à alimenter la ville en eau potable sont déplacées du Pont de la Machine dans les nouveaux bâtiments. Le premier Jet d'eau à pour fonction de décharger la pression de l'eau non utilisée (BGE, Centre d'iconographie genevoise).

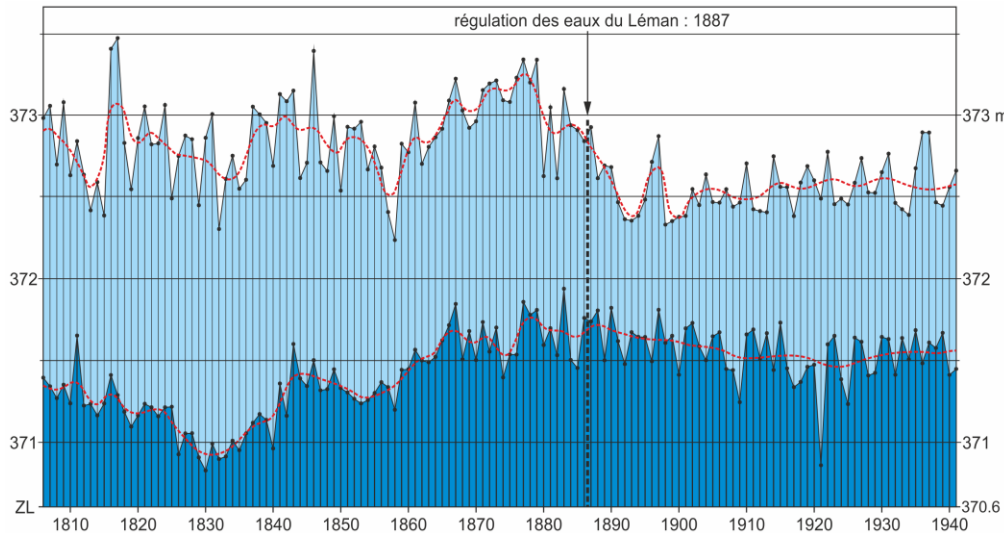


Figure 32: évolution des niveaux extrêmes du Léman (minima et maxima annuels), entre 1806 et 1941. Dès 1887: effets de la régulation des eaux du Léman.

2. Visite des sites

En partant de l'histoire géologique du site occupé par Genève et décrite dans la première partie de ce guide, cette deuxième partie est consacrée à la visite des lieux typiques des différentes époques géologiques et de la première urbanisation. L'ordre de la description suit d'abord un itinéraire en ville. En partant des portes de la ville de Carouge, on longe les eaux troubles de l'Arve, pour monter ensuite dans les reliefs du Bois-de-la-Bâtie. Puis, en remontant le long du Rhône, on atteint le Léman, et on termine la visite au site archéologique localisé sous la Cathédrale Saint-Pierre, dans la vieille Cité de Genève. Le visiteur doit compter env. 3 à 4 heures pour réaliser cette excursion, selon l'intérêt porté aux différents sites. Le guide comprend la localisation (adresse, indication sur carte et coordonnées suisses pour la localisation GPS), la description du site et son interprétation. Un plan de ville détaillé avec zoom et vision photo peut être consulté sur www.ville-geneve.ch/plan-ville/.

D'autres sites, localisés en dehors de ce parcours, sont énumérés par la suite. Le visiteur pourra s'y rendre au moyen des transports publics, à l'exception du site **Ge 2**, où nous recommandons de louer un petit bateau à rame ou à moteur. L'utilisation du GPS est facilitée par l'indication de nombreuses coordonnées (système de coordonnées suisses).

Liste des sites

Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève	26
Ge 1.1: L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale	28
Ge 1.2: Bois-de-la-Bâtie: l'«Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône	31
Ge 1.3: De la Jonction, où le Rhône et l'Arve rejoignent le lac de barrage de Verbois, au Pont Sous-Terre et au Prieuré de Saint-Jean, où la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône passe sous le Rhône et le lac	35
Ge 1.4: Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité	36
Ge 1.5: Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman	38
Ge 1.6: La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire	41
Ge 1.7: Le Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine	43
Ge 1.8: Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève	44
Ge 2: Les carrières sous-lacustres du Vieux-Genève à Chambésy	46
Ge 3: Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine	47
Ge 4: Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable	52
Ge 5: Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse	55
Bibliographie	61

Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève

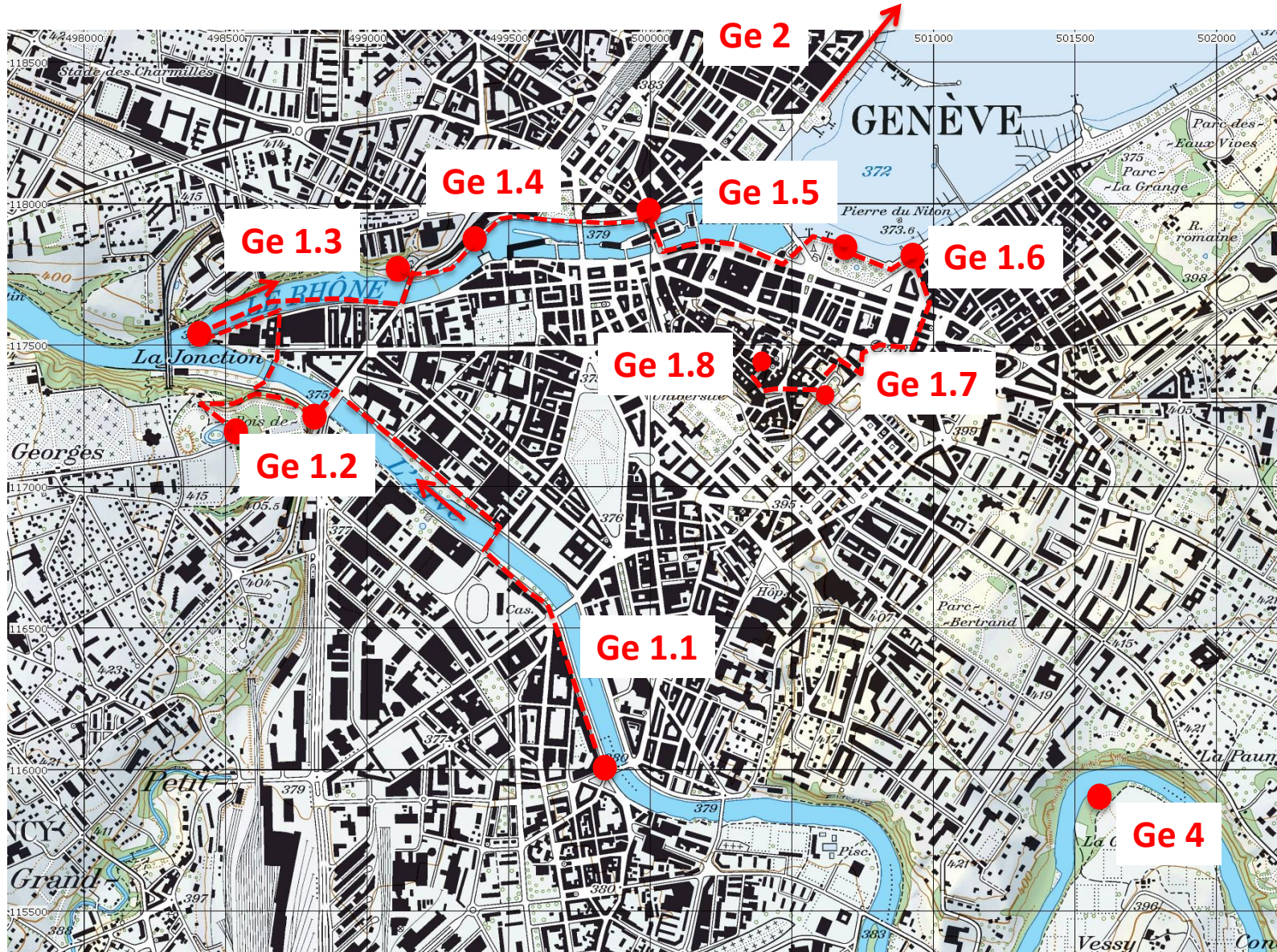


Figure 34: itinéraires et carte des sites Ge 1, Ge 2 et Ge 4 (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).

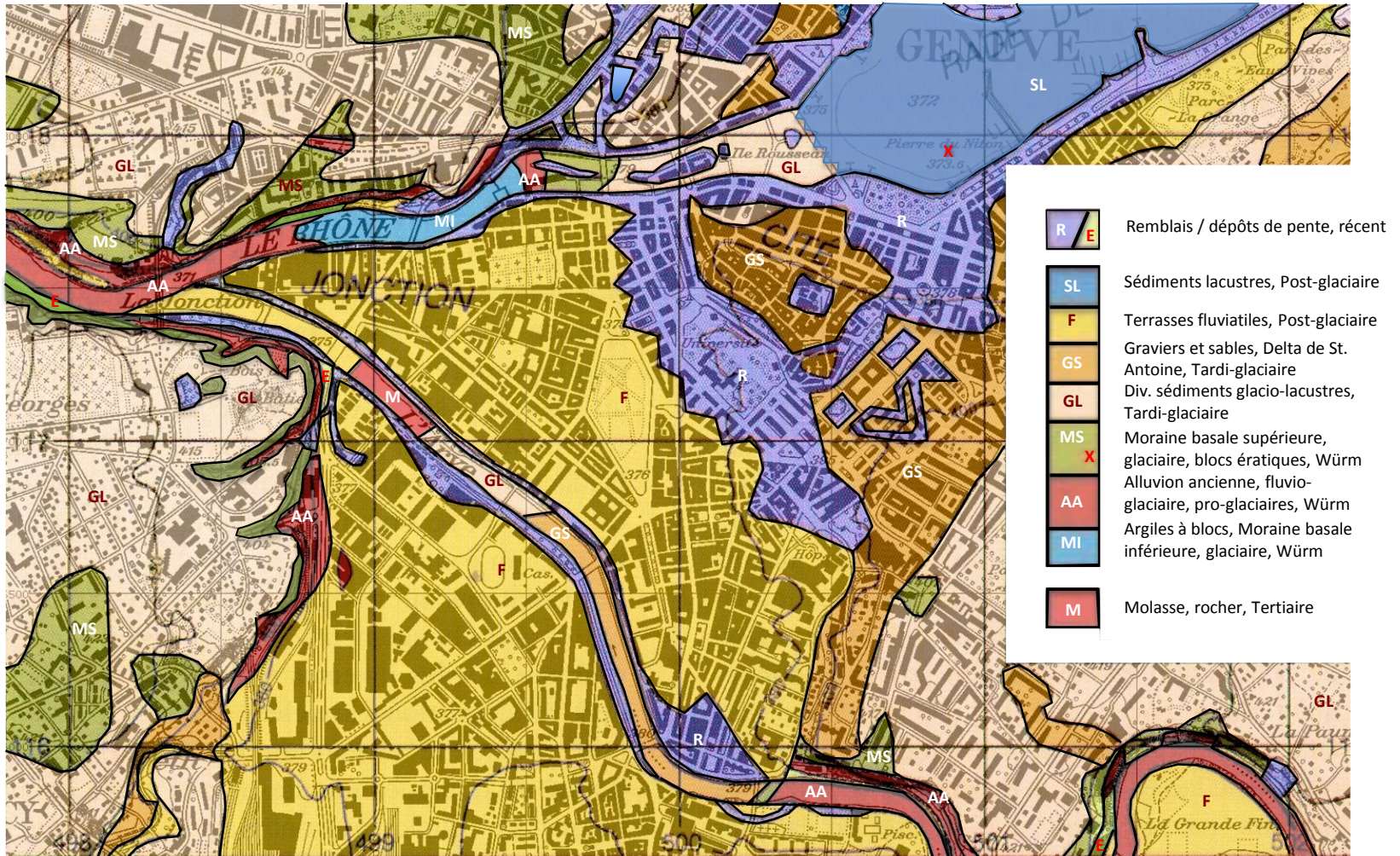


Figure 35: carte géologique simplifiée de la ville de Genève (géologie: modifié d'après Wildi 1993; données de base: Carte géotechnique du Canton de Genève; topographie: Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046).

Ge 1.1 (1): L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale

Localisation: de la Place de l'Octroi (coordonnées: 499 850/115 995, arrêt du Tram 12 «Armes» à Carouge) au Pont Saint-Georges (coordonnées: 498820/117 250).

Web: <http://www.fgsp.ch/Rivieres/Arve/Arve.htm> (descriptions détaillées, histoire, constructions, nature), <http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/> (débits de l'Arve).

Itinéraire: depuis la Place d'Armes en direction de l'Arve jusqu'à la Place de l'Octroi, puis on suit la rivière dans le sens de l'écoulement jusqu'au nouveau pont Hans Wilsdorf et, en rive droite, jusqu'au Pont Saint-Georges.

L'Arve est une rivière alpine; son débit moyen, à la station hydrographique du Bout-du-Monde en amont de Genève, est de $78 \text{ m}^3/\text{seconde}$. De décembre à janvier ou février, une grande partie de l'eau est retenue sous forme de neige dans le Massif du Mont-Blanc. Aux basses eaux («étiage») le débit de la rivière tombe en-dessous de $20 \text{ m}^3/\text{seconde}$, avec un minimum autour de $10 \text{ m}^3/\text{seconde}$ et fait apparaître, de Carouge jusqu'au Pont Hans Wilsdorf, un lit rocailleux à gros galets et blocs (fig. a). Ce lit et les quais des deux côtés de la rivière résultent de travaux d'endiguement et de la correction réalisée à la fin du XIX^e siècle, et en particulier après la crue de 1888 avec un débit record de $1136 \text{ m}^3/\text{sec}$ (fig. b). D'autres crues provoquant des inondations se sont produites en 1968, le 14 avril 1970, le 1er juillet 1974 et les 22 et 23 mai 1980. En amont, vers Chamonix, l'Arve connaît un régime glacio-nival, et en aval, vers Genève, elle a un régime pluvial. Ainsi la rivière peut entrer en crue toute l'année en fonction de facteurs variés (orage, pluie, fonte de neige et de glace, etc.). La rivière est souvent chargée de sables et de limons, provenant soit de l'abrasion glaciaire en été («lait glaciaire» de couleur gris clair), soit de l'érosion des sols (couleur brune). Ces sédiments vont se déposer en grande partie dans le bassin de la retenue de Verbois, dont le barrage se situe à 8 km en aval de la ville de Genève. Cette retenue se manifeste jusqu'en amont du Pont Saint-Georges, respectivement entre ce dernier et le Pont Hans Wilsdorf. Sur rive droite de l'Arve, de petites terrasses de sédiments fins, sableux, marquent le niveau atteint par les crues annuelles. Les crues centenaires remplissent actuellement le chenal endigué, alors que les crues millénaires risquent d'inonder les quartiers de la ville de Genève et la ville de Carouge localisés sur la terrasse fluviale de l'Arve.



Figure a: chenal rocailleux de l'Arve en amont du Pont Hans Wilsdorf. Sur la rive droite on reconnaît l'étroite terrasse sableuse des crues annuelles. Prise de la photo en automne 2013 par un débit de $38 \text{ m}^3/\text{sec}$.



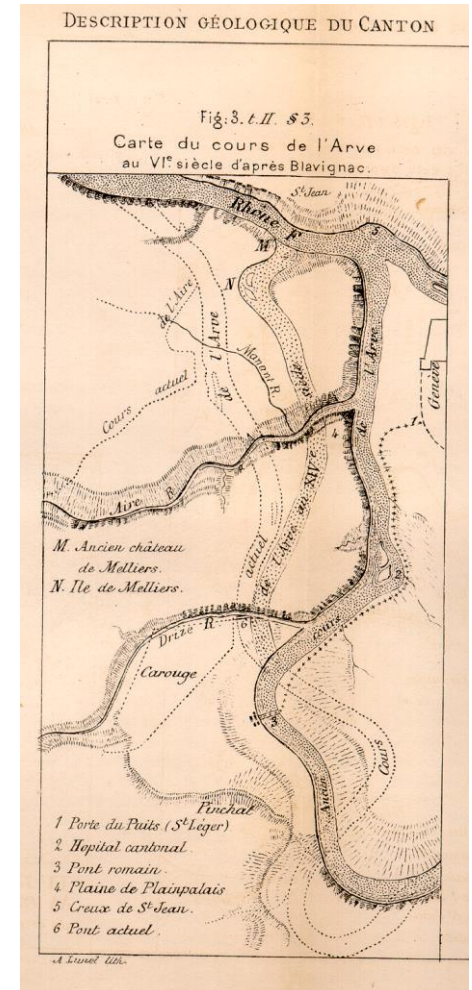
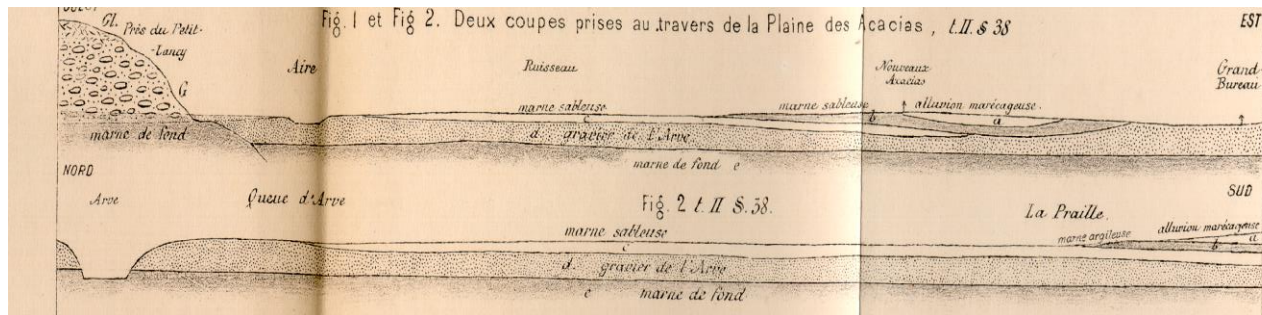
Figure b: digue du Quai Ernest-Ansermet, en rive droite de l'Arve; vue à contre-courant. Ces constructions protègent les quartiers de Plainpalais et de la Jonction des crues centenaires et millénaires.

Ge 1.1 (2): L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale

A la fin du dernier âge glaciaire, dès env. 22'500 ans avant le présent (âge C-14 corrigé), l'Arve a comblé le lac localisé entre la butte de la Cité de Genève, le relief du Bois-de-la-Bâtie et celui du quartier de Saint-Jean. La ville de Carouge et les quartiers des Acacias, de Plainpalais et de la Jonction en ville de Genève sont localisés sur la terrasse alluviale de la rivière. La rivière s'écoule, soit sur les limons glacio-lacustres (fig. c), soit sur sa propre terrasse graveleuse, soit sur des affleurements de Molasse que l'on voit apparaître dans le lit de la rivière (par bas niveau) en amont du Pont Saint-Georges (voir la carte géologique fig. 19).

Figure c: coupe géologique de la terrasse fluviale de l'Arve aux Acacias (Alphonse Favre 1879, planche III). A proximité de l'Arve, la terrasse est composée exclusivement de graviers de l'Arve. Vers les bords de la terrasse (quartier de la Praille), des limons palustres (dépôts d'étangs) et des limons de pente, amenés depuis le plateau de Lancy, recouvrent les graviers de la terrasse fluviale. Sous les graviers de l'Arve apparaissent à quelques mètres de profondeur des limons et sables fins, de couleur noirâtre, déposés après le retrait glaciaire dans le lac «proglaciaire» (localisé devant le front du glacier).

Figure d: «carte du cours de l'Arve au VI^e siècle d'après Blavignac» (Alphonse Favre 1879, Planche I). La figure montre la migration du chenal de l'Arve sur sa plaine alluviale au cours du temps. Le chenal de la rivière aurait migré, depuis l'époque romaine, du pied de la butte de la Cité de Genève vers l'autre extrémité de la Plaine de Plainpalais, au pied du relief du Bois-de-la-Bâtie.



Orpillage: chercheurs d'or dans les rivières genevoises

Les roches granitiques des Alpes contiennent de l'or en petite quantité. Toutefois, ce n'est pas là que l'on va le chercher, mais dans les produits d'altération et d'érosion de ces roches. De l'or se trouve en effet sous forme de petites paillettes dans les sables des rivières qui drainent les massifs alpins ainsi que dans des dépôts de sable et les moraines datant du dernier âge glaciaire.

L'or est caractérisé par sa densité élevée, soit 19.3 g/cm^3 («densité 19.3»), comparé aux 2.7 g/cm^3 de la croûte continentale, des roches granitiques et des gneiss des Alpes. Grâce à cette grande différence de densité, les paillettes d'or peuvent être séparées du sable par un processus de lavage: on place 2 à 3 poignées de sable dans une «battée», une grande assiette creuse, comparable à un «wok» chinois. Le/la chercheur ou chercheuse d'or (ou «orpailleur/euse») ajoute de l'eau de rivière qu'il/elle fait tourner dans l'assiette et déborder en éliminant le sable. Lorsque la quantité de sable se trouve réduite, on peut avoir la chance de voir briller les paillettes d'or au fond de l'assiette.

Un peu d'histoire (simplifié d'après <http://www.riviere-arve.org/usages/orpillage-sur-arve.htm>)¹:

- 1397: première mention d'une concession d'orpailleur accordée par le châtelain de Gex.
- XV^{ème} siècle: 4 orpailleurs disposent en 1471 d'une concession du Duc de Savoie pour exploiter les sables aurifères de l'Arve au niveau des Îles d'Aïre près de Genève.
- 1477: la licence est accordée à 12 chercheurs pour une redevance de 12 livres par an.
- 1651: suite à une grande inondation, Pierre Amyrant obtient l'autorisation de mettre en route une exploitation aurifère à large échelle sur l'Arve depuis Conches jusqu'à la confluence avec le Rhône, mais cette entreprise échoue et le bail est résilié en 1658.
- 1682: le Sieur Jean Frezely fait une demande au Conseil de la République de Genève pour exploiter les alluvions de l'Arve et installer une fonderie afin de transformer les paillettes d'or en lingots.
- Vers le milieu du XVIII^e siècle: on observe dans la région, comme dans l'ensemble de l'Europe, un vif déclin de l'orpillage.
- Les derniers orpailleurs de l'Arve disparaissent vers 1900: leur travail rapporte à l'époque 3 à 4 francs par journée.

Actuellement, l'orpillage dans les rivières genevoises est soumise à autorisation. Elle ne peut être obtenue que pour les mois de mai, de juin et de septembre (<http://ge.ch/nature/formulaires/activites-de-loisirs-en-riviere-ou-dans-des-sites-protoges-hors-foret>). Pour une initiation à l'orpillage nous recommandons l'adresse suivante: <http://www.thierrybasset.ch>.

¹ Référence: J.J. Pittard 1936: La Recherche de l'or dans la région de Genève. Société générale d'imprimerie.



Démonstration d'orpillage à la «Nuit de la science» 2012

Ge 1.2 (1): Bois-de-la-Bâtie: l' «Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône

Localisation: arrêt «Jonction» des lignes TPG 2, 4, 11, 14, 19, D, départ du Pont Saint-Georges, rive gauche (coordonnées: 498 820/117 250) au parc animalier du Bois-de-la-Bâtie, (coordonnées: 498 520/117 200).

Itinéraire: traverser le Pont Saint-Georges et s'engager dans le chemin pédestre et cyclable qui monte vers le cimetière Saint-Georges. Au Café de la Tour tourner à gauche, vers le parc animalier.

Le versant à forte pente qui relie le plateau du Bois-de-la-Bâtie à la rive de l'Arve est d'origine érosive. L'ossature du versant, montrant par-ci et par-là des falaises, est formée par le conglomérat de l'«Alluvion ancienne». Au pied de ces falaises apparaissent des éboulis, composés de galets décrochés du conglomérat, ainsi que des glissements de blocs du conglomérat (fig. a). A mi-hauteur de la pente, le sentier croise la falaise du conglomérat (fig. b et c). Le conglomérat est formé de galets plus ou moins arrondis, de taille centimétrique, atteignant à peu près 15 cm. Il forme le plus souvent des

barres d'une épaisseur de 1 à env. 3 m, qui peuvent s'amincir et disparaître latéralement. Des zones sableuses décimétriques s'intercalent entre ces barres.

Figure a (->): éboulis (e) et petit glissement de terrain (g) entre la falaise de l'Alluvion ancienne (a) et le sentier



Figure b: conglomérat et sable fortement cimentés par un ciment calcaire (CaCO_3), formé par précipitation des eaux interstitielles.



Figure c: falaise du conglomérat de l'Alluvion ancienne à l'aplomb du sentier; (s) sable (coord. 498 555/117 314).

Ge 1.2 (2): Bois-de-la-Bâtie: l' «Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône

Maistre et Vergain (1992) ont daté des phases de précipitation du ciment calcaire du conglomérat par la méthode carbone-14 et ont trouvé comme âge maximal plus de 35'000 ans. Aussi bien la formation de l'Alluvion ancienne que celle de la première cimentation datent de toute évidence d'une période entre deux avancées glaciaires, soit entre la formation de la Moraine basale inférieure et la Moraine basale supérieure, pendant la deuxième partie de la dernière glaciation (Würm). La dernière phase de cimentation est postérieure à cette glaciation (voir fig. 11).



L'Alluvion ancienne correspond au dépôt d'une rivière en tresse, en aval du glacier du Rhône. Au moment du dépôt, le glacier était stationné dans la région de Chêne-Bourg, en amont de Genève.



Figures d et e: rivière tressée en aval du glacier du Mont Miné (Valais). Naissance de la rivière (ci-dessus) et plaine alluviale (à gauche). Les chenaux des différents bras de la rivière sont de faible profondeur et séparés par des barres sédimentaires de graviers à gros galets. Par hautes eaux (fonte de la neige), la plaine est recouverte d'eau et des sables se déposent sur les barres sédimentaires. Cette situation est comparable, dans une taille beaucoup plus restreinte, à celle du Bassin genevois pendant le dépôt de l'Alluvion ancienne.

Ge 1.2 (3): Bois-de-la-Bâtie: l' «Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la dernière moraine basale du glacier du Rhône

En montant le chemin vers le cimetière Saint-Georges, une rupture de pente marque le sommet de la falaise de l'Alluvion ancienne, et le bord du chemin laisse apparaître sous les feuillages une terre argileuse et sableuse avec des galets et des blocs arrondis (fig. f et g). Ce sont des «argiles à blocs» dans la terminologie genevoise, correspondant à la Moraine basale supérieure qui recouvre le plateau du Bois-de-la-Bâtie et tout le plateau de Saint-Georges et de Lancy.



Figure f: moraine basale supérieure dans le ruisseau en amont de la Passerelle du Nant-Manant (Bois-de-la-Bâtie, coord. 498 560/116 930). Les galets arrondis ont roulé dans le torrent glaciaire avant d'être intégrés dans la matrice argileuse et sableuse de la moraine. La composition des galets permet de situer leur origine dans les Alpes. Sur la photo, les galets vert foncé proviennent de la zone de Zermatt – Saas Fee, en Valais. La surface de certains galets a été rayée par la friction à la base du glacier en mouvement.

Cette moraine est de très faible perméabilité. Elle retient donc l'eau de pluie et peut former ainsi un lit idéal pour l'étang du parc animalier (fig. h).

La formation d'origine glaciaire est souvent masquée par quelques centimètres ou décimètres d'argiles et limons lacustres, déposés dans un plan d'eau au retrait du glacier.

Les moraines basales se forment à la base des glaciers, où ces derniers lâchent le matériel fin «abrasé» et les blocs arrachés par le glacier en mouvement sur son lit rocheux. La fig. i montre l'exemple d'une telle moraine sous un glacier alpin. A la différence de cet exemple, le matériel fin des moraines basales sur le Plateau suisse contient moins de galets et de sables, mais plus d'argiles et de limons.



Figure g: glissement de terrain dans la Moraine basale supérieure en aval de la Passerelle du Nant-Manant (localisation voir fig. f, prise de vue depuis coord. 498 560/116 930).

Ge 1.2 (4): Bois-de-la-Bâtie: l' «Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale proglaciaire recouverte par la dernière moraine basale du glacier du Rhône



Figure h: étang dans le parc animalier du Bois-de-la-Bâtie. Cet étang est installé sur les terrains imperméables de la Moraine basale supérieure.



Figure i: moraine basale en formation à la base du glacier du Mont Miné (Val d'Hérens, Valais). La moraine est formée de limons, sable, galets et blocs, sans aucun tri hydraulique (par l'eau).

Ge 1.3 (1): De la Jonction, où le Rhône et l'Arve rejoignent le lac de barrage de Verbois, au Prieuré de Saint-Jean, où la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône passe sous le Rhône et le lac

Localisation: de la Pointe de la Jonction (coordonnées: 498 430/117 500) aux ruines du Prieuré Saint-Jean (coordonnées: 499 125/117 800).

Itinéraire: rejoindre le bord de l'Arve et traverser la rivière par la passerelle de la Jonction; rejoindre les bords du Rhône et suivre jusqu'à la pointe de la Jonction. L'itinéraire remonte le long du Rhône et traverse le Pont Sous-Terre pour arriver dans le petit parc sur rive droite et les ruines du Prieuré de Saint-Jean.

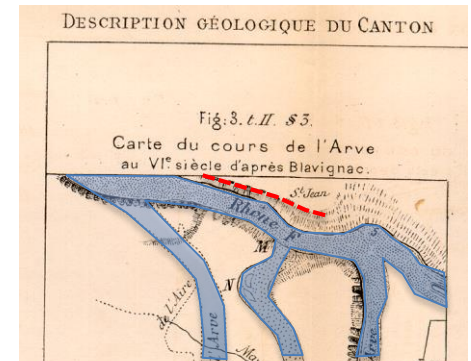
A sa sortie du Léman, le Rhône ne transporte que peu de matière solide en suspension, et ceci seulement pendant des tempêtes de vent de nord-est («Bise») quand les vagues remanient du sédiment lacustre dans la Rade de Genève. L'essentiel de la charge sédimentaire du Rhône en aval de Genève provient en conséquence de l'Arve, que ce soit du matériel de sol remanié ou des sables et limons provenant de l'abrasion glaciaire dans le Massif du Mont-Blanc (fig. a). En revanche, peu de gravier est charrié actuellement par l'Arve,



Figure a: confluence du Rhône (à gauche) et de l'Arve (à droite) à la pointe de la Jonction. Sur cette photo, l'Arve est en crue suite à de fortes pluies et transporte une importante charge de sédiments provenant de l'érosion des sols. A droite le relief du Bois-de-la-Bâtie, à gauche les falaises et le quartier de Saint-Jean (photo: Jean-Luc Loizeau).

car cette ressource était récemment encore exploitée comme matériel de construction en Haute-Savoie. Après l'arrêt de cette exploitation suite à la signature d'un «contrat de rivière» en 1995, on s'attend toutefois à un retour des graviers jusqu'à hauteur de la Jonction dans les années à venir.

Figure b: ancien cône de la Plaine alluviale des différents bras de l'Arve vers le Rhône et bordure érosive des falaises de Saint Jean (trait rouge). Référence voir fig. d de l'itinéraire **Ge 1**.



De la pointe de la Jonction on remonte le Rhône en suivant sa rive gauche (dans le sens de l'écoulement). Le long de ce parcours on longe l'ancien front du cône de la plaine alluviale de l'Arve dans le Rhône, où l'Arve déversait dans le passé du gravier dans le lit du Rhône et repoussait le cours de cette rivière vers les falaises de Saint-Jean (fig. b). De grand blocs de conglomérat et les éboulis au pied des falaises de Saint-Jean (fig. c) témoignent de l'érosion active sur ces falaises. Au cours du temps, l'alluvionnement par les graviers de l'Arve et des éboulements sur le front des falaises de Saint-Jean ont pu conduire à une élévation du lit du Rhône et par la même occasion une élévation du niveau du Léman, déterminée par l'altitude de ce seuil d'écoulement.

Ge 1.3 (2): De la Jonction, où le Rhône et l'Arve rejoignent le lac de barrage de Verbois, au Prieuré de Saint-Jean, où la Moraine basale supérieure du glacier du Rhône passe sous le Rhône et le lac

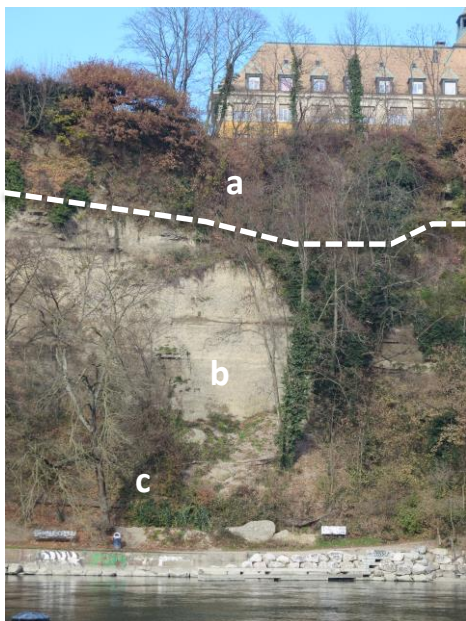


Figure c: falaise de Saint Jean: a) Moraine basale supérieure, b) Alluvion ancienne, c) éboulis et éboulements de blocs

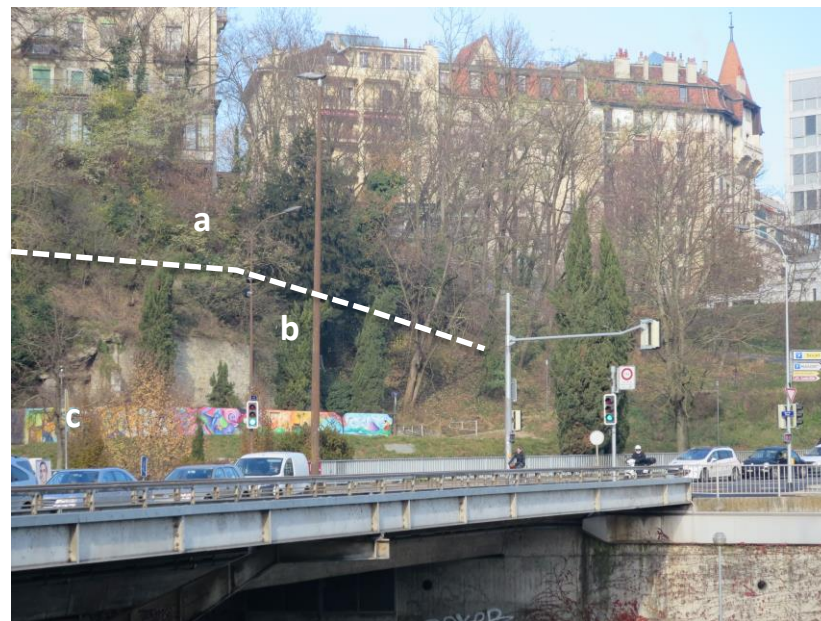


Figure d: Pont Sous-Terre et Prieuré de Saint Jean, descente du contact entre la Moraine basale supérieure et l'Alluvion ancienne sous le Quai du Seujet. a) Moraine basale supérieure, b) Alluvion ancienne, c) Prieuré de Saint-Jean.

La Moraine basale supérieure qui constitue le haut des falaises de Saint-Jean s'abaisse de plus en plus en remontant le Rhône et descend finalement, à hauteur du Pont Sous-Terre, sous le Quai de Seujet et sous le fleuve (fig. c). Le contact basal de la moraine est de nature érosif, créé par l'abrasion par le glacier. Cette descente de la moraine sous le lit du Rhône, puis sous le niveau du Léman, se remarque également sur la carte géologique (fig. 35).

Ge 1.4 (1): Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité

Localisation: rive droite du Rhône (coordonnées: 499 480/117 850).

Itinéraire: depuis le Prieuré de Saint-Jean, passer sous le Pont Sous-Terre et remonter le long du Rhône (rive droite).

Le niveau du lac Léman est régulé depuis 1884, en vertu de la convention signée entre les Cantons de Vaud, Valais et Genève. Cet accord était destiné à contrôler et stabiliser le niveau du Léman au cours de l'année. Au printemps, le niveau est temporairement abaissé afin de créer le volume nécessaire à la réception des eaux de fonte de neige en provenance des Alpes. Dans le cadre de l'accord, Genève est chargée de garder le niveau du lac dans une certaine fourchette, par le biais d'une installation de régulation (fig. a).

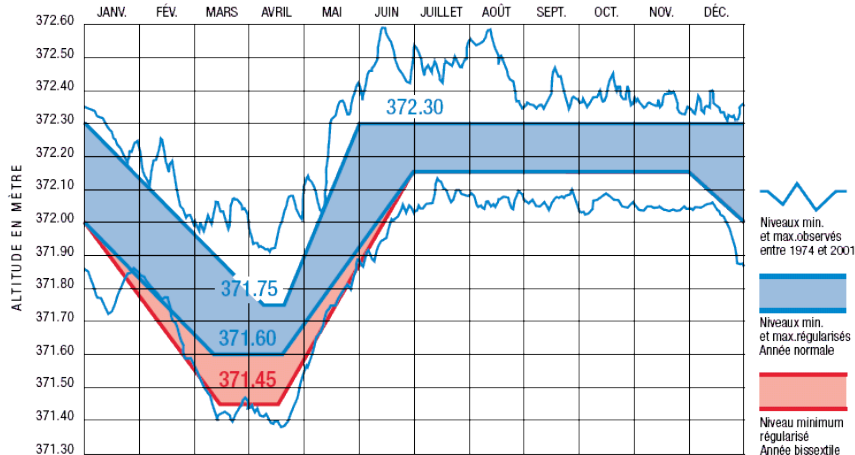


Figure a: régulation du niveau du Léman par les Services Industriels de Genève (www.geneve.ch/nature)

La première installation de régulation était celle du Pont de la Machine, localisée à 800 m en amont du site du Seujet. Un ensemble de rideaux fixés au pont y permettait, jusqu'à la mise en service du barrage du Seujet en 1995, de réguler manuellement l'écoulement du Rhône et par là le niveau du Léman.

Actuellement, l'ouvrage du Seujet assure les fonctions suivantes (fig. c et d):

- Régulation du niveau du Léman selon la convention de 1884.
- Production locale d'électricité (3 turbines).
- Régulation de l'écoulement du Rhône en direction de l'usine hydroélectrique de Verbois et régulation de la production d'électricité.
- Service d'écluse pour le passage des bateaux entre le lac et la rivière.
- Echelle à poissons

Figure b: Pont de la Machine à l'époque où la régulation du Léman s'effectuait par des rideaux installés sous le pont. Cette construction, comptant 39 rideaux en bois de mélèze, fût construite en 1887 (photo: vue depuis l'île de Bel-Air, 1988. Coord. du bâtiment SIG 500 140/117 960).



Ge 1.4 (2): Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité



Figure c: barrage et écluse du Seujet; vue depuis la rive gauche, en aval. a) écluse, b) vannes de régulation du débit du Rhône et du niveau du Léman, c) turbines.

Grâce à l'installation du Seujet, le Léman est actuellement exploité à travers l'usine hydroélectrique de Verbois comme un lac de réservoir. En effet, pendant les heures de forte consommation d'électricité, les Services Industriels de Genève ouvrent les vannes au Seujet, ce qui conduit à une forte production (essentiellement pendant la journée et pendant les jours de travail) dans l'installation de Verbois, à 8 km en aval. En revanche, pendant les fins de semaine et la nuit, l'écoulement est fortement réduit à l'ouvrage du Seujet (fig. d). En revanche, la part de l'écoulement fourni par l'Arve ne peut pas être régulée selon ce schéma. La capacité de production de l'installation du Seujet est de 5.6 MW, celle du barrage de Verbois est de 100 MW (www.sig-ge.ch).

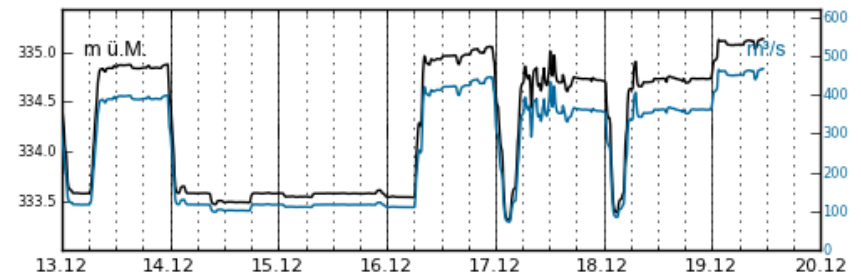


Figure d: mesure du niveau (courbe noire) et du débit (courbe bleue) du Rhône à Chancy («Aux Rippes») en aval de Genève. La forte variation des débits provient de la régulation de l'écoulement au Seujet. (Données: www.hydrodaten.admin.ch/fr/).

Ge 1.5 (1): Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman

Localisation et itinéraire: le départ se situe au pont de l'Île qui relie les deux rives du Rhône (coordonnées: 500 000/117 950). Depuis là, on remonte jusqu'au Jardin Anglais, en rive gauche du lac (coordonnées: 500 650/117 850).

Au cours de l'histoire post-glaciaire, le niveau du lac montre des variations de plusieurs mètres, et la géographie de la terminaison du Léman varie en conséquence. La fig. a) représente une situation de niveau élevé pendant la période dite de l'Atlantique, avec un lac à environ 372 m, proche du niveau actuel. La terminaison du lac se situe alors à hauteur de l'Île de Bel-Air, et la ligne de rivage est reculée par rapport aux rives actuelles du Rhône (fig. b).

Cette situation correspond de près à celle au cours de l'époque romaine. Dans l'«Histoire de Genève», Alfred Dufour écrit: «La première fois que le nom de Genève paraît dans l'histoire, c'est sous la plume d'un des plus célèbres historiens et hommes politiques romains, celle de Jules César. César, qui trace en même temps un saisissant portrait des Helvètes au début de ses «Commentaires de la Guerre des Gaules» (De Bello Gallico) de 52 av. J.-C,



Figure a: reconstitution de l'exutoire du Léman à l'époque de l'Atlantique récent, vers 4'900 BC. (dessin Yves Reymond dans: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").

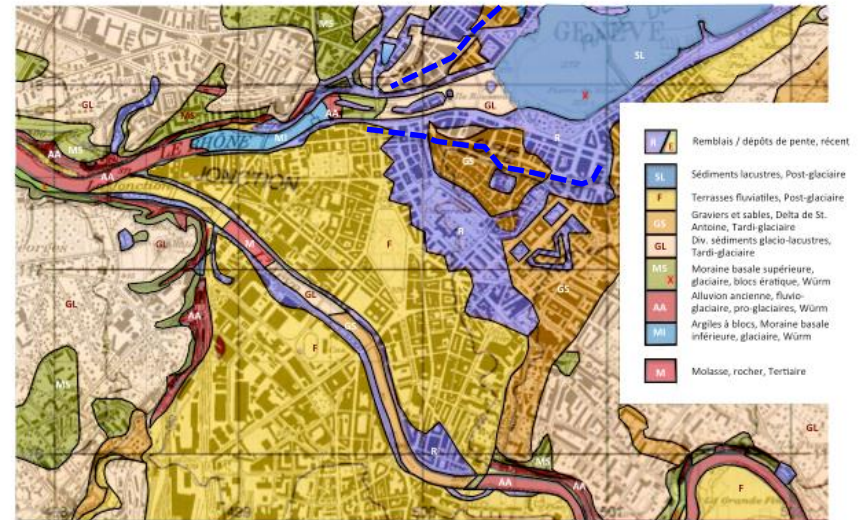


Figure b: carte géologique; en bleu, ligne de rivage approximative du Léman pendant la période romaine (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).

note en effet qu'à l'endroit où le Rhône sort du Léman se trouvait le seul pont menant du pays des Helvètes dans celui des Gaulois et qu'averti du projet des Helvètes de s'y installer, il gagna Genève pour leur barrer le passage» (fig. c).

Un port antique datant de cette période a été découvert dans les Rues Basses à l'occasion de travaux (coord. 501.540/117.580, alt. 375 m).

Les rives actuelles (fig. b) sont dues aux travaux de remblayage des bords du lac qui ont commencé au XVIII^e siècle et ont continué jusque vers 1880, notamment avec la construction des quais en rives gauche et droite ainsi que le remblayage du Jardin Anglais.

Ge 1.5 (2): Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman

Comme le montre la fig. b), les îles localisées au milieu du cours du Rhône sont formées par des terrains argileux et sableux à blocs, attribués à la Moraine basale supérieure du dernier âge glaciaire. Ce matériel était certainement particulièrement favorable à la mise en place par fonçage de pieux pour la construction des ponts (fig. c).

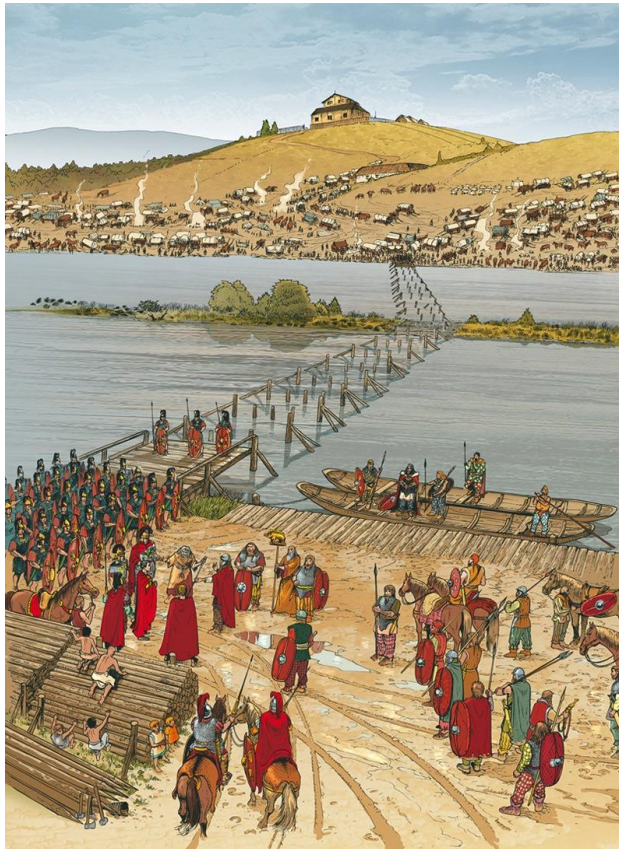


Figure c: déconstruction du pont de Bel-Air par Jules César, pour empêcher les Helvètes de le traverser (58 av. J.-C., dessin André Houot dans: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").

Pour la description historique de l'évolution de cette partie de la ville et de la terminaison du lac, nous renvoyons à l'ouvrage édité par Ph. Broillet, éd. 1997: Les monuments d'art et d'histoire du Canton de Genève; la Genève sur l'eau. Société d'histoire de l'art en Suisse, Wiese, Bâle.

Le Pont de la Machine et l'alimentation de la Cité en eau courante

Le visiteur ne pourrait passer à côté du Pont de la Machine sans apprendre que ce nom se réfère à l'emplacement et aux installations de pompage d'eau du lac, respectivement du Rhône. Dans leur livre «Trois siècles d'eau genevoise», G. Duc, A. Frei et O. Perroux (2009) donnent les principales étapes concernant l'alimentation de la ville en eau potable (texte légèrement modifié):

- 1^{er} au III^e siècle: alimentation de la ville par un aqueduc depuis une source au pied de la montagne des Voirons (France).
- Moyen-Âge: approvisionnement par des puits privés ou publics (voir la visite **Ge 1.8**) et par quelques sources.
- 1708: installation d'une première pompe hydraulique sur les rives par l'ingénieur Joseph Abeille, en premier lieu pour alimenter sept fontaines publiques (fig. d).
- au cours du temps, la capacité passera de 250 à 700 litres/minute et alimentera jusqu'à vingt-quatre fontaines publiques.
- 1843: l'ingénieur Jean-Marie Cordier installe une nouvelle machine dans le bâtiment d'origine de l'actuel Pont de la Machine (fig. e).
- une machine hydraulique est installée ensuite dans le lit du Rhône (capacité 16'000 l/min).
- 1880: installation d'une machine hydraulique à vapeur.
- 1886: construction de la centrale hydraulique de la Coulouvrenière, fournissant 40'000 à 50'000 l/min d'eau sous pression.
- années 1920-1930: mise en service des premières stations de pompage au bord du lac et sur les nappes phréatiques de la campagne genevoise.
- années 1950: la qualité de l'eau du lac se dégrade et Genève opte pour sa première station de filtration (station du Prieuré). Parallèlement, de gros investissements sont consentis dans la construction d'un réseau de collecteurs et de stations d'épuration (STEP) sur tout le canton.

Ge 1.5 (3): Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman



Figure d: fontaine de la Place du Bourg-de-Four, construite en 1817, alimentée à l'époque par l'eau courante pompée au Pont de la Machine.



Figure e: Pont de la Machine, lieu d'installation des pompes d'eau courante en 1843 (coord. du bâtiment SIG 500 140/117 960).

Ge 1.6 (1): La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire

Localisation: ponton d'abordage de la barque La Neptune, en face des Pierres du Niton (coordonnées: 500 950/117 830).

La Rade de Genève marque le passage du lac au Rhône. Sa profondeur actuelle de moins de 3 m (fig. 3, chapitre 1.1) se remarque notamment à l'occasion des tempêtes de vent du nord-est («Bise»), particulièrement de l'automne au printemps, lorsque les vagues remanient les sédiments fins et rendent les eaux turbides. Avant le remblayage et la construction des quais au XIX^e siècle, les rives montraient une pente faible et continue de la terre ferme au lac.

La géologie de la Rade est connue notamment grâce aux sondages effectués dans les années 1990 pour le projet de construction d'un pont (qui n'a d'ailleurs jamais été réalisé). Au centre du bassin, une simple et unique séquence glaciaire est en contact direct avec le rocher de la Molasse (fig. 9). Elle date de la dernière avancée du Glacier du Rhône (fig. a, unités A et B). A la déglaciation, il y a 22'500 ans, des graviers et sables (unité C), puis des sédiments fins (unité D) expulsés par le glacier se sont déposés (fig. b et fig. 12 a). Cette formation de sédiments glacio-lacustres contient des galets et des blocs qui ont voyagé sur le dos d'icebergs et ont été lâchés dans le lac lorsque les icebergs ont fondu («drop stones»).

Les Pierres du Niton (fig. c), visibles en amont du Jardin Anglais en rive gauche de la Rade, sont les plus beaux témoins de blocs lâchés qui émergent en surface du lac. Ce sont deux blocs de granite porphyrique (Sesiano et al. 2011), d'une hauteur de respectivement 4.3 et 3.5 m, provenant de la partie orientale du Massif du Mont Blanc. Un repère géodésique en bronze a été fixé en 1837 à l'altitude de 376.6 m sur le plus grand des blocs par G.H. Dufour. Ce point avait été choisi comme repère d'altitude pour l'élaboration de la première carte topographique nationale au 1:100'000. En 1902, la Suisse décidant de se baser sur le nivellement de précision des pays limitrophes (notamment la France), la pierre perdait de l'altitude et se retrouvait à 373.6 m au-dessus du niveau moyen de la Méditerranée, établi au marégraphe de Marseille (bibliographie: Deriaz 1958).

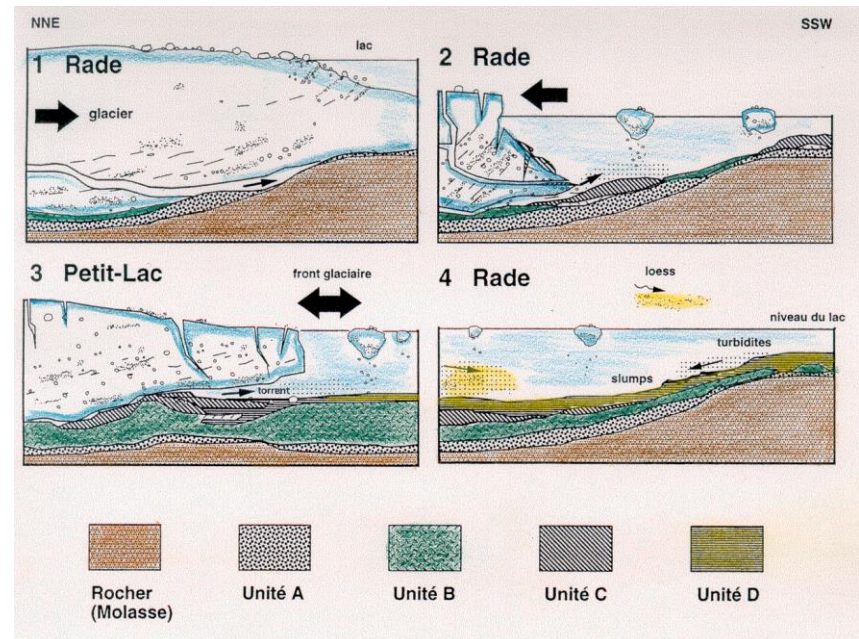


Figure a: scénario d'avancée et de recul glaciaire expliquant la genèse de la séquence sédimentaire observée dans le centre du bassin de la Rade de Genève et du Petit-Lac (Moscarello 1996). Unité A: graviers et sables cisailés par le passage du glacier; Unité B: moraine basale déposée sous le glacier; Unité C: graviers et sables expulsés par le torrent sous-glaciaire au front du Glacier du Rhône; Unité D: dépôt de sédiments glacio-lacustres devant le glacier en recul. Des échantillons provenant des quatre unités sont présentés dans la fig. b.

Ge 1.6 (2): La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire

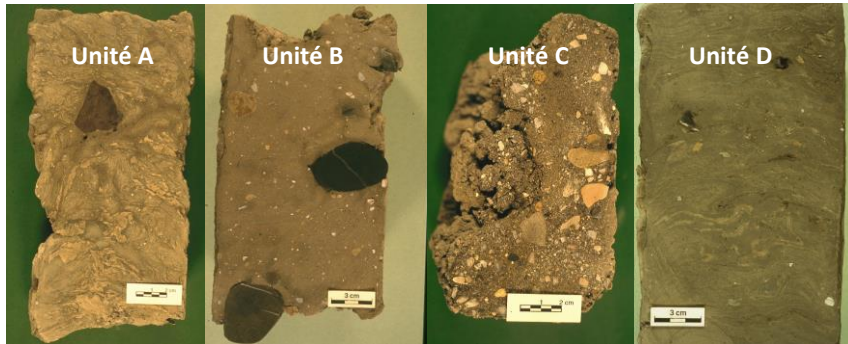


Figure b: échantillons représentant les quatre unités sédimentaires de la fig. a. Il s'agit de sections de carottes de forage de la campagne d'investigation géotechnique pour la construction d'un nouveau pont routier sur la Rade de Genève (tiré de Moscariello 1996). Les débris de bois qui ont donné un âge au carbone-14 de 22'500 ans (âge corrigé) ont été extraits de l'Unité C.



Figure c: Pierres du Niton vues depuis le débarcadère de la barque La Neptune.

Ge 1.7: Le Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine

Localisation: Promenade Saint-Antoine (coordonnées 500 600/117 290).

Au milieu du XIX^e siècle la ville de Genève décida de s'entourer d'avenues, permettant de canaliser le trafic autour de la Cité. Le percement de la colline occupée par la ville a ainsi permis la création du Boulevard Jaques Dalcroze et du Boulevard Helvétique. Nous devons à Alphonse Favre un levé géologique précieux illustrant la situation géologique sur les flancs de ces tranchées (fig. a). Le dessin de l'auteur y montre une alternance de couches de graviers et de sables, fortement inclinés vers le nord-nord-ouest. Certaines couches montrent des paquets de sédiment disloqués et des traces d'érosion après dépôt. Une couche horizontale de 2.2 m d'épaisseur recouvre les couches inclinées.

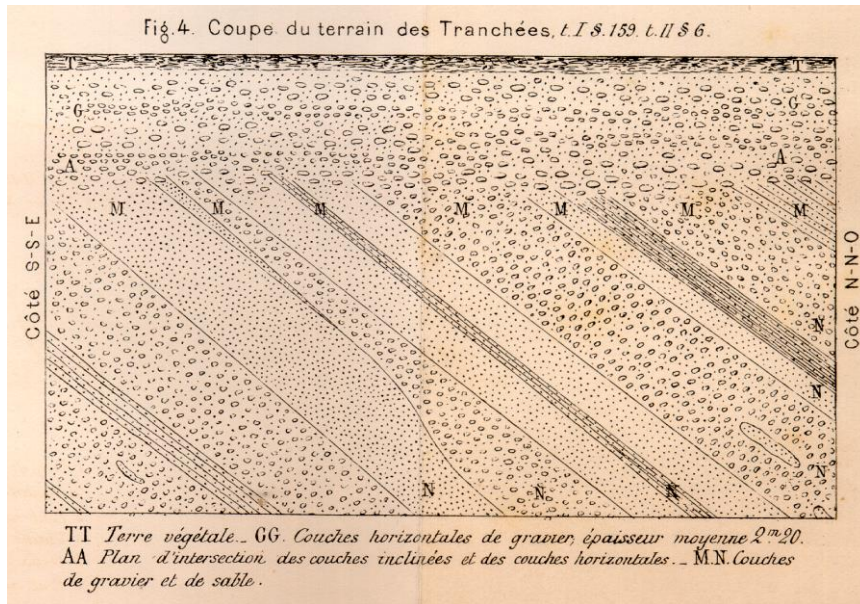


Figure a: affleurement du Delta de Saint-Antoine levé par A. Favre (1879, fig.4).

Cette séquence est réapparue à l'occasion de la construction du parking de Saint-Antoine (fig. b), avec cependant des affleurements bien moins spectaculaires.



Figure b: promenade et parking Saint-Antoine vus depuis le pont traversant le Boulevard Jaques-Dalcroze. La construction du parking a remis au jour d'anciennes fortifications de la ville et le Delta.

La présence de ce delta pose un problème scientifique. En effet, lors de forages, des sédiments glacio-lacustres fins (limons et sables) ont été découverts sous les couches deltaïques. Ce delta semble donc postérieur à la phase glacio-lacustre connue et son origine (Rhône, Arve ?) est discutée. Des sédiments deltaïques similaires se trouvent latéralement jusque dans le quartier de Champel (fig. 35).

Ge 1.8 (1): Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève

Localisation: depuis la Promenade Saint-Antoine descendre la Rue des Chaudronniers jusqu'à la Place du Bourg-de-Four et s'engager dans la Rue de l'Hôtel de Ville. La première rue à droite mènera à la Place de la Taconnerie et à la Cathédrale Saint-Pierre (coordonnées: 500 385/117 440, entrée du site archéologique).

La Cathédrale Saint-Pierre, telle qu'elle apparaît actuellement, a été construite en style gothique entre le XII^e et le XV^e siècle, avec un portail datant du XVIII^e siècle. Le sous-sol de l'édifice héberge un **site archéologique** où l'on visite les vestiges des anciennes bâtisses religieuses érigées sur cette place depuis le IV^e siècle, et où l'on aperçoit le contact entre le substrat géologique (le Delta glacio-lacustre) et le niveau archéologique (fig. a). Il est recommandé de se munir d'un soutien audio à l'entrée du site, afin de profiter des explications en cours de visite. Pour les heures d'ouverture et autres informations voir le site web www.site-archeologique.ch.



Figure a: contact entre le substrat naturel (top du delta glacio-lacustre) et les couches archéologiques dans le site archéologique de la Cathédrale Saint-Pierre. Les couches au sommet du delta sont inclinées en direction du lac. Il pourrait s'agir d'une ancienne plage. Le puits creusé au Moyen-Âge n'atteint plus la nappe phréatique aujourd'hui.

La cathédrale elle-même et les autres bâtisses qui entourent la Cour Saint-Pierre donnent une bonne vision des matériaux de construction qui ont été privilégiés pour ériger la vieille ville de Genève. Il s'agit essentiellement de deux sortes de roche:

- D'une part des calcaires blancs, massifs ou en gros bancs, souvent parcourus de stylolithes (sutures de dilution du calcaire). Par endroit on découvre également des calcaires à traces de fousseurs, connus par les géologues sous l'appellation de «calcaires vermiculés». Toutes ces roches datent du Jurassique supérieur (Malm) et proviennent probablement de carrières localisées au pied du Jura Vaudois. Ces calcaires résistent bien à l'altération et à l'humidité du sol. Ils ont de ce fait été généralement utilisés pour la construction des fondements des bâtiments, des pierres angulaires et des tours (fig. b et c).



Figure b: Cathédrale Saint-Pierre, tours construites en calcaire blanc et nef construite en grès de Molasse.

Ge 1.8 (2): Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève



Figure c: base d'une colonne à l'entrée de la cathédrale; calcaire blanc, vermiculé (taches plus sombres), parcourus de styloolithes (sutures de dilution en zig-zag).

- D'autre part, des grès rouges ou gris à verdâtres. Ces grès proviennent en grande partie des anciennes carrières sous-lacustres (voir la visite **Ge 2**) exploitées à l'époque en hiver, pendant les niveaux bas du Léman, puis amenés en ville en été, chargés sur des barques. Les sables qui forment aujourd'hui ces grès de la Molasse Rouge se sont déposés dans des chenaux de rivières en méandres dans l'avant-pays des Alpes. Les traces rouges peuvent marquer la présence de matière organique, actuellement



Figure d: pierres de construction de la Cathédrale Saint-Pierre en Molasse Rouge.

complètement oxydée. Les formes lenticulaires des structures sédimentaires donnent une idée de la dimension des chenaux de rivière à l'époque de la sédimentation. Dans la construction, les grès de la Molasse servent essentiellement de matériel de «remplissage». Ce sont des pierres qui s'altèrent facilement, notamment en raison de leur faible cimentation carbonatée, et qui résistent mal aux pluies acides.

Ge 2: Les carrières sous-lacustres du Vieux-Genève à Chambésy

Localisation et parcours: par le bus TPG N° 28 jusqu'au Jardin Botanique, ou par le tram 15 de la gare CFF de Cornavin à la Place des Nations. Descendre par l'Avenue de la Paix jusqu'à la Route de Lausanne et suivre cette route en direction de Lausanne. Les anciennes carrières se situent à 300 m en amont de la Plage du Reposoir, au large de l'Ambassade de Chine. Le périmètre est marqué par des bouées (coordonnées: 500'750 / 121'039). Pour la visualisation, une embarcation à faible tirant d'eau est nécessaire.

Ces carrières ont été ouvertes dans les grès de la Molasse Rouge de Genève. L'épaisseur de cette formation oscille entre 250 et 1000 m. Sa lithologie, ses structures sédimentaires, sa faune et sa flore témoignent de dépôts de plaine d'inondation, parcourue par un système fluvial méandrique. L'étage géologique est le «Chattien» il y a 30 à 27 millions d'années (voir Decrouez 2012).

Les carrières ont été exploitées de la fin du Moyen-Age jusqu'au XVIII^e siècle. La pierre extraite a servi à construire une partie de la Cathédrale Saint-Pierre, la face occidentale de l'Hôtel de Ville ainsi que plusieurs maisons de la Place du Bourg-de-Four.

Pour l'extraction, les carriers isolaient la zone à exploiter à l'aide de "batardeaux" (les trous destinés à fixer les batardeaux sont visibles autour des fosses). Une fois la zone isolée, ils en puisaient l'eau pour pouvoir travailler. Ils sciaient des fosses en gradin dans la Molasse. Certaines fosses atteignent

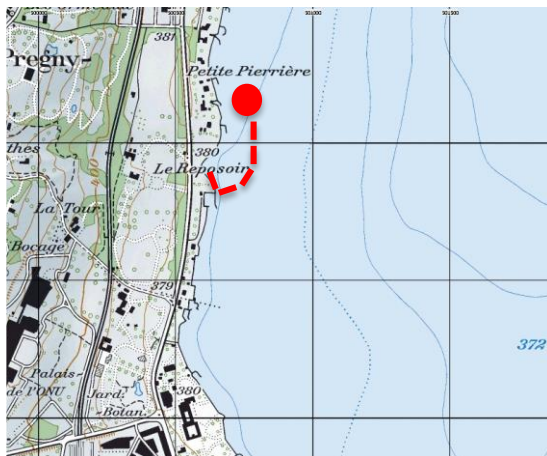


Figure a: localisation du site sous-lacustre (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).



Figure b: les carrières sous-lacustres du Reposoir sur Google-Earth.

près de 3m de profondeur. Ensuite, ils sciaient les blocs aux dimensions demandées. Les chambres d'extraction sont séparées les unes des autres par des épaisseurs de Molasse qui ressemblent à des murs, sur lesquelles reposaient les batardeaux. Dans quelques fosses, des "escaliers" ont été taillés (www.plongeplo.ch/wiki/index.php/Le_Reposoir). Les pierres taillées étaient ensuite transportées en ville à l'aide de barques.

Sur la terre ferme, des carrières de Molasse ont également été exploitées dans le périmètre du Jardin Botanique. Ces affleurements ne sont actuellement plus accessibles.

Ge 3 (1): Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine

Localisation et parcours: avec le bus N° 1 ou 25, ou avec la Mouette N° 4 à l'arrêt/débarcadère De-Chatabriand. Approchez vous du lac, à la hauteur d'une petite plage au nord du débarcadère (point A).



Dirigez votre regard en direction du phare des Pâquis. Vous êtes bien placés pour imaginer toute l'étendue d'eau devant vous comme étant une vaste surface de sable et d'argile, animée par quelques bosquets de saules. C'est le paysage que contemplaient les agriculteurs de la préhistoire, au Néolithique ou à l'âge du Bronze, pendant les bas niveaux du Léman. Le lac était descendu de 3 à 4 m plus bas que le niveau actuel. vous pouvez vous aider de la reconstitution dessinée (figure b), pour retrouver les deux villages palafittiques des Pâquis A et B, occupés à l'âge du Bronze final, entre 1067 et 960 av. J.-C. Poursuivez ensuite votre chemin en longeant le lac.

Maintenant, tournez votre regard vers l'aval, de l'autre côté du pont. Après le pont des Bergues et l'île Rousseau, un édifice blanc et majestueux attire le regard: le bâtiment du Pont de la Machine (point E). Tout d'abord construit en 1709 pour abriter la machine hydraulique destinée à pomper l'eau du Rhône pour alimenter les fontaines de la ville, il sera transformé en 1885 pour soutenir les écluses conçues pour la régularisation du niveau du Léman, suite au fameux «Procès du Léman».

Figure a, itinéraire 3: des lacustres aux romains (carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).



Figure b: reconstitution imaginaire des villages littoraux des Pâquis, pendant l'âge du Bronze final, vers 1000 av. J.-C. Paysage vu depuis le Parc Mon-Repos, en direction des Bains des Pâquis (dessin Yves Reymond).

Figure c: la Rade de Genève en 1444, vue de la rive droite : «La pêche miraculeuse» de Konrad Witz
Photo, Musée d'art et d'histoire de Genève.



Ge 3 (2): Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine

Arrêtez vous ensuite un peu avant la jetée des Bains des Pâquis (point B). En regardant vers le phare des Pâquis (édifié en 1894 et classé monument historiques), vous pourrez imaginer les derniers vestiges des occupations préhistorique de la Rade de Genève, encore observés entre 1881 et 1921. Actuellement plus aucun reste archéologique ne subsiste en aval des jetées des Pâquis et des Eaux-Vives. Quelques rares pilotis tentent encore de résister au courant en bordure de la jetée des Eaux-Vives.

Depuis la rotonde des Pâquis (point C), on distingue aisément les deux Pierres du Niton, seules rescapées d'un plus grand nombre de blocs qui encombraient la Rade et la rive gauche du lac au XIXe siècle. La plus au large de ces pierres porte une cheville en bronze, scellée en 1820 et qui a longtemps servi de repère d'altitude pour le nivellement de la Suisse. Notamment la carte Dufour, réalisée de 1848 à 1864.

Vous poursuivez votre visite jusqu'au pont du Mont-Blanc. Avant de le traverser (point D), contemplez la vue sur les Préalpes et les Alpes. Par temps dégagé on peut admirer le Mont-Blanc. Ce point de vue était très apprécié des touristes anglais, résidant dans les grands hôtels de la rive droite, passage obligé du «Grand Tour» des élites fortunées passant par Genève.

Ce panorama doit aussi sa célébrité au retable de l'artiste bâlois Konrad Witz (page précédente), la première représentation topographique réaliste d'un paysage, peint en 1444. Au premier plan on distingue, dans l'eau, les traces de l'exploitation de l'argile pour une tuilerie. Tout à gauche, on remarque le talweg du Nant de Trainant, ruisseau qui drainait les eaux du plateau de Frontenex. Derrière le Christ, une ligne de piquets en bois dépasse de la surface de l'eau. Il s'agit de la ligne des fiches, vraisemblablement disposée pour empêcher les barques d'accoster sur la rive. Des pieux de cette ligne en bois de chêne ont été datés de l'automne-hiver 1298/1299 ap. J.-C.

Figure d: Les écluses du Pont de la Machine; vue depuis l'aval du pont, entre 1888 et 1898 (BGE, Centre d'iconographie genevoise).



Ge 3 (3): Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine

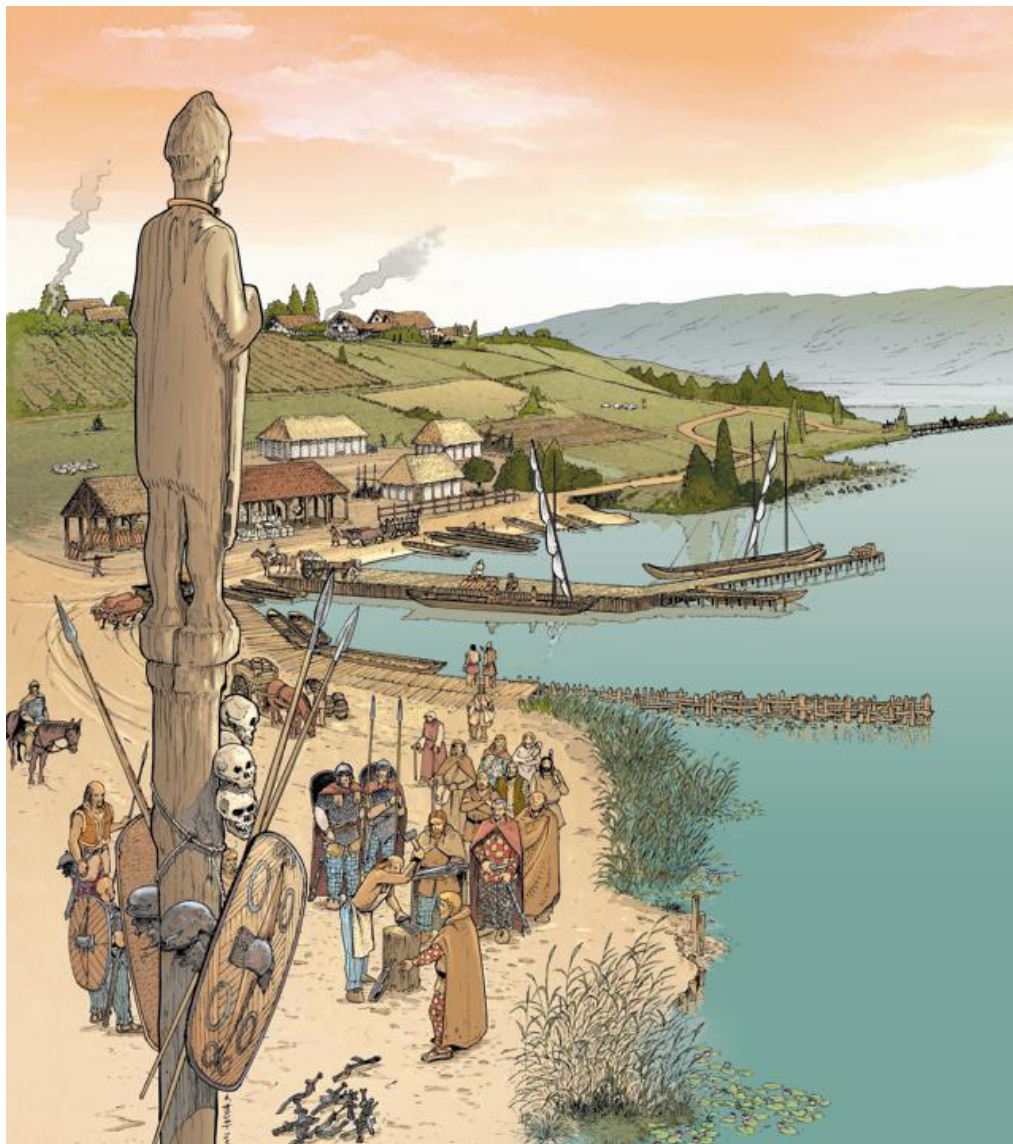


Figure e: reconstitution du premier port de Genève, vers 120 à 80 av. J.-C. (dessin André Houot dans: Gallay 2008 «Des Alpes au Léman»).

Maintenant, vous traversez le pont du Mont-Blanc, pour rejoindre la rive gauche. Poursuivez jusqu'à la place Longemalle que vous traversez. Arrêtez-vous entre un magasin de cigares et un magasin de jouets (point F). Vous vous trouvez exactement à l'emplacement du premier port de Genève, construit vers 120 à 80 ans av. J.-C.

Le port gaulois, est construit par la tribu celte des Allobroges alliés aux romains. L'altitude de la jetée indique un niveau du lac à plus de 374,6 m, soit plus de deux mètres en-dessus du niveau moyen actuel. Une statue en bois de chêne a été retrouvée à proximité, elle représente un guerrier devenu héros ou une divinité. Cette statue a été datée par la dendrochronologie d'après 100 av. J.-C. Le personnage est vêtu d'une tunique courte avec un capuchon ou peut-être un casque; il porte un torque en or autour du cou. Sur la base de la statue sont accrochées les dépouilles (lances, boucliers, têtes sacrifiées) de guerriers ennemis vaincus.

Vers 47 de notre ère, le port est complètement reconstruit, avec cette fois une digue en pierre et poutres de bois, édifée sur plus de 200 m. L'oppidum de Genève est maintenant en mains romaines. Nous quittons la préhistoire pour entrer dans l'histoire . . .

Ge 4 (1): Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable

Localisation et parcours: par le Bus TPG N° 11 jusqu'au Bout-du-Monde (coordonnées: 501 025/115 310), puis à pied en remontant le long de la rive gauche de l'Arve. Le périple commence à environ 1500 m en amont du Bout-du-Monde, au barrage de la microcentrale de Vessy.

Les Services industriels de Genève sont les principaux fournisseurs d'eau potable du canton. Les 80% de l'eau distribuée dans le réseau proviennent du pompage dans le lac, alors que les 20% restant sont fournis par une nappe phréatique appelée la « Nappe du Genevois ».

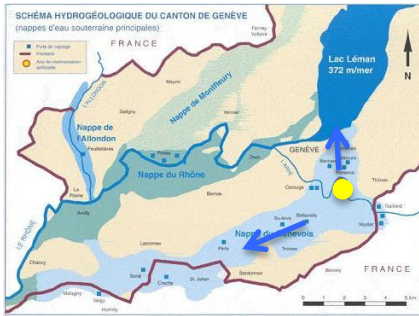
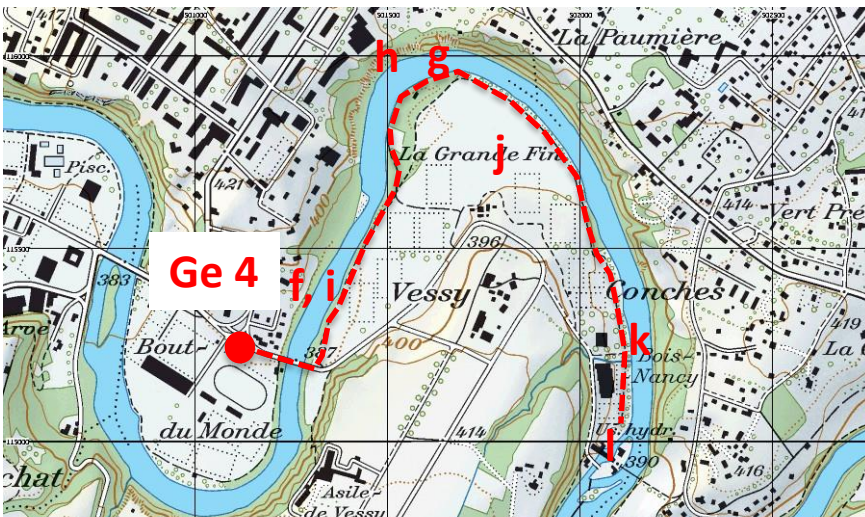


Figure a: principales nappes phréatiques du canton de Genève. Cercle jaune: zone d'alimentation artificielle de Vessy; carrés bleus: principales stations de pompage; flèches: sens d'écoulement de la « Nappe du Genevois ».



Cette nappe prend ses origines dans la vallée de l'Arve, en amont de la ville (fig. a), où la rivière traverse l'Alluvion ancienne et s'infiltrate au passage en partie dans les graviers de cette formation. En suivant la formation, la nappe s'écoule ensuite d'une part vers le nord, en direction du lac, et d'autre part vers l'ouest, où elle rejoint le Rhône à hauteur du village de Chancy (fig. a et c). La « Nappe du Genevois » est protégée de la pollution, tout au long de son parcours, par les dépôts argilo-limoneux des moraines basales et des dépôts lacustres qui la recouvrent. Dans les années 1970, son exploitation intense a provoqué une baisse significative de son niveau (fig. d), ce qui a conduit le Canton à réaliser une importante installation de réalimentation artificielle (fig. e). S'agissant d'une des utilisations les plus importantes d'une géoressource dans le Canton de Genève, nous proposons une visite, soit dans le cadre d'une excursion libre sur le terrain, soit dans le cadre d'une visite guidée (contacts voir le site: <http://ge.ch/geologie/eaux-souterraines/les-nappes-principales-du-domaine-public/la-nappe-du-genevois/realimentation-de-vessy>).

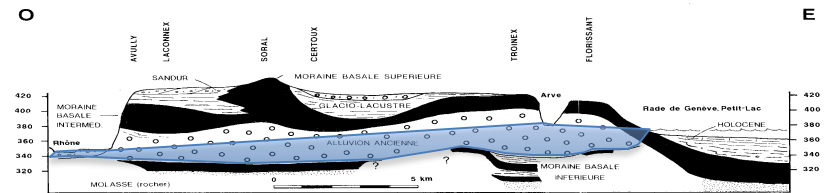


Figure c: coupe géologique synthétique du Léman à la vallée de l'Arve et à la vallée du Rhône à Chancy (fig. 10 ci-avant), et nappe phréatique «Nappe du Genevois» (en bleu).

<- Figure b: carte de la visite. Les points f à l correspondent à la localisation des figures ci-après (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).

Ge 4 (2): Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable

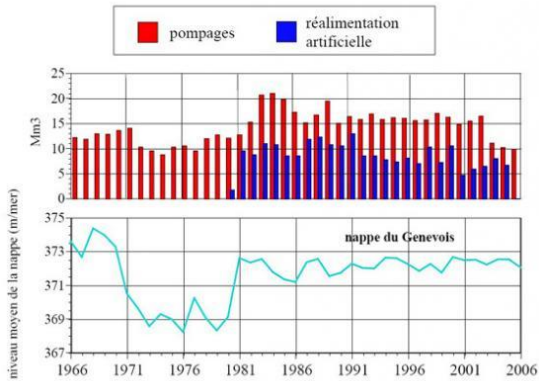


Figure d: pompage, alimentation artificielle et évolution du niveau de la Nappe du Genevois à Vessy de 1966 à 2006 (<http://ge.ch/geologie/eaux-souterraines/les-nappes-principales-du-domaine-public/la-nappe-du-genevois/realimentation-de-vessy>).

La fig. e) montre sur une photo aérienne les différentes installations destinées à la réalimentation de la Nappe du Genevois, de la prise d'eau à l'ancienne usine hydroélectrique de Vessy, par une station de traitement des eaux, où l'eau de l'Arve est décantée et filtrée (filtre de sable), vers la distribution sur un vaste réseau de drains d'infiltration. Le terrain d'infiltration se situe sur une basse terrasse graveleuse de l'Arve, datant de la période tardi- et post-glaciaire. Sur cette partie de son parcours, la rivière est actuellement érosive et creuse son lit naturel dans le méandre forcé du grand méandre de Vessy. Sur sa rive droite, l'érosion par l'Arve déstabilise le versant formé de moraine et de l'Alluvion ancienne, au pied du quartier de Champel et de sa tour d'habitation de la Cité universitaire. A l'intérieur du méandre, dans la forêt qui jouxte le terrain d'infiltration, graviers et sables forment une barre de pointe instable.



Figure e: installations de réalimentation de la Nappe du Genevois à Vessy: (1) prise d'eau (pompage dans l'Arve); (2) canalisation vers la station (longueur 340 m); (3) station de traitement; (4) canalisation vers l'aire de réalimentation (longueur 700 m); (5) aire de réalimentation (drains souterrains, longueur 5000 m) (<http://ge.ch/geologie/eaux-souterraines/les-nappes-principales-du-domaine-public/la-nappe-du-genevois/realimentation-de-vessy>).

La promenade le long de la l'Arve permet en conséquence un double regard, à la fois sur l'installation technique de réalimentation et sur un beau site naturel.

Ge 4 (3): Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable

Figure f: zone d'infiltration naturelle dans l'Alluvion ancienne (vue depuis point i).



Figure g: barre de pointe dans le méandre de l'Arve au pied de la falaise de Champel (501 490/ 115 815).



Figure h (ci-dessus): glissement de terrain dans la Moraine basale supérieure formant la falaise de Champel. Vue depuis 501 650/ 115 955.

Figure i: dépôts fluviaux torrentiels avec des blocs jusqu'à 50 cm de diamètre, sous la terrasse des terrains de sport de Vessy, juste en face de la tour de la Cité universitaire. Âge: probablement Tardi-glaciaire (coord. 501 475/ 115 585).



Figure j: fontaine de distribution et terrasse d'infiltration entre les terrains de sport de Vessy et le méandre de l'Arve (coord. 501 725/115 790).



Figure k: station de traitement des eaux prélevées dans l'Arve avant la ré-infiltration (vue depuis 502 110/ 115 260).



Figure l: centrale hydroélectrique de Vessy; site de prélèvement de l'eau de l'Arve (vue depuis 502 005/ 114 920).

Ge 5 (1): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse

Localisation et parcours: le point de départ est la Mairie de Dardagny (Château au centre du village). Pour arriver à Dardagny, un chemin pédestre d'environ 30 minutes relie la Gare CFF de La Plaine au village. Pour d'éventuelles liaisons par les Transports Publics Genevois, on consultera le site Web de l'entreprise (www.tpg.ch). En véhicule privé, stationner sur le parking de la salle polyvalente. La ballade suit dans une large mesure le sentier naturaliste du Vallon de la Roulave (et géotope n° 060 Ge de SC NAT). Elle dure 2 h à 2h½, en partie sur des routes goudronnées et (pour la remontée du Vallon de la Roulave) sur des chemins naturels, souvent humides, boueux et glissants (fig. a et b). Depuis le Château, suivre le chemin pédestre (indicateurs jaunes) direction la Chapelle de Malval. Passant par le plateau morainique et le vignoble, la route descend ensuite une pente fort mouvementée (glissements de terrain) jusqu'au pont sur la Roulave (fig. c).

L'Allondon: la rivière est connue par sa source «vaclusienne» (karst) au pied du Jura (hameau de Naz-Dessus). Elle est alimentée par les précipitations qui tombent sous forme de pluie ou de neige sur la haute chaîne du Jura, dont les plus hauts sommets atteignent une altitude de plus de 1700 m. Le débit montre de très fortes variations, à la façon d'un torrent alpin. La «Fiche rivière» édité par le DIA (2003) mentionne un débit d'étiage (basses eaux)

de 0.5 m³/seconde et un débit de crue de 85 m³/seconde (débit 10 ans) ou de 150 m³/seconde (débit 100 ans aux «Granges», à 1 km en amont de notre point d'observation). Cette variabilité s'exprime, dans les secteurs sans canalisation ni endiguement en aval du transect du hameau d'Essertines, par un lit en «tresses», caractérisé par plusieurs chenaux d'écoulement à forte migration latérale, séparés par des barres sédimentaires. Les fig. d, e et f illustrent cette situation vue depuis le point **Ge 5.2** (petite digue, coord. 488 515/117 930).

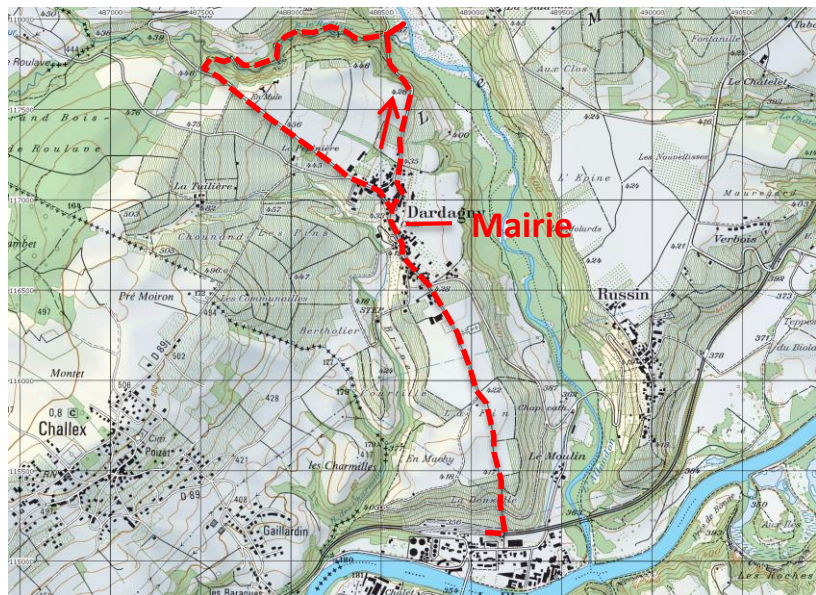


Figure a: localisation du parcours de la visite (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Chancy 1300, © 2014 swisstopo (BA14046)).

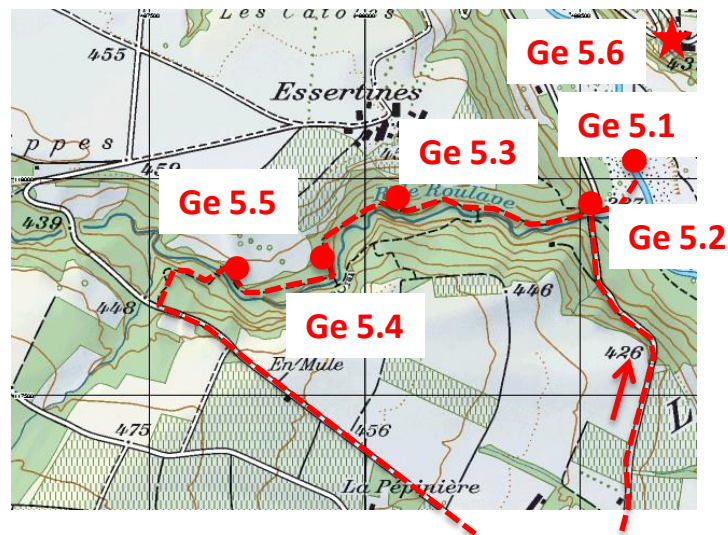


Figure b: localisation des points d'observation (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Chancy 1300, © 2014 swisstopo (BA14046)).

Ge 5 (2): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse

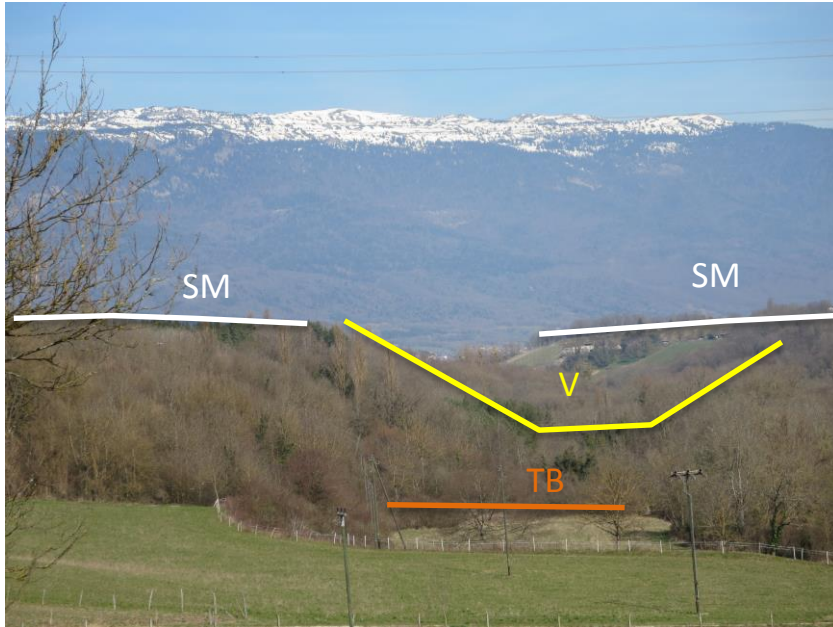


Figure c: vue sud – nord de la basse Vallée de l'Allondon (coord. 489 380/ 115 990) vers la Chaîne du Jura («Reulet» à gauche, «Crêt de la Neige» à droite). Les surfaces morainiques (SM) avec leurs reliefs en «drumlins» (battes allongées, morainiques ou rocheuses, formées sous le glacier) datent de la récurrence glaciaire il y a env. 30'000 ans (fig. 11 c). Le relief de la vallée (V) est érosif et postérieur à cette récurrence (Stade de Genève, fig. 12 a): il recoupe (du haut vers le bas): la Moraine basale intermédiaire, l'Alluvion ancienne et la Molasse. Les «Terrasses des Baillets» correspondent aux plus hauts niveaux de terrasses fluviales de cette période. Elles surplombent le lit actuel de l'Allondon jusqu'à 10 m (basse vallée) et sont composées de graviers et de sables fournis par le Glacier du Rhône de l'époque ou érodés dans les affleurements de l'Alluvion ancienne. A l'emplacement du profil V, les Services industriels de Genève avaient planifié en 1938-39 la construction d'un barrage hydroélectrique.

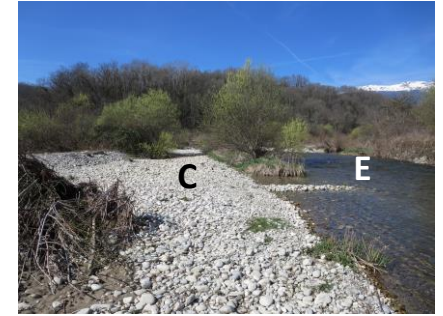


Figure d (à gauche): rivière en tresses et en méandre (méandre réactivé par des travaux, situation mars 2014). En temps de crue, toute la plaine est inondée.

Figure e (à droite): chenal de crue (C, à gauche, hors eau) et chenal principal (ou d'étiage E, à droite). Débit du jour: 4.5 m³/seconde.



Figure f: érosion de la «Terrasse des Baillets» sur la rive gauche de l'Allondon, en aval du point d'observation Ge 5.2. Hauteur de la falaise: env. 5 m.

Les chenaux et barres sédimentaires peuvent se déplacer de saison en saison et d'année en année. La situation montrée dans les fig. d, e et f, illustre l'état au mois de mars 2014. Au point d'observation Ge 5.1 (fig. b), l'Allondon alimente sa nappe phréatique par infiltration. A quelques centaines de mètres en aval, la situation s'inverse et la nappe s'exfiltre dans la rivière.

Ge 5 (3): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse

Montée de la Vallée de la Roulave: la montée de la vallée commence au point **Ge 5.1** (pont de la route de Malval, coord. 488 515/117 915).

A une vingtaine de mètres au nord du pont, on reconnaît dans la pente une petite falaise formée par le conglomérat fortement cimenté de l'Alluvion ancienne (fig. g, voir également la visite **Ge 1.2**). Cette falaise forme, avec les falaises de Molasse, l'ossature des reliefs à forte déclivité de la vallée.



Figure g: conglomérat de l'Alluvion ancienne au point **Ge 5.1**.

En suivant le chemin de la vallée, on remarque de grands blocs erratiques, composés essentiellement de différents gneiss et granites provenant des Alpes valaisannes. A une centaine de mètres du point de départ, le sentier passe au-dessus d'une petite falaise de grès verts de la Molasse qui forment également le lit de la rivière. Suit une zone de forêt sauvage, perturbée par les glissements de terrain sur la rive droite (sud) de la rivière.

Le point **Ge 5.3** (coord. 488 100/117 915, panneau explicatif) permet d'observer une petite falaise avec de la Molasse marneuse et argileuse de couleur verte et bariolée, finement litée, avec quelques petits bancs de grès (fig. h et g). Ces dépôts se sont formés il y a 27 à 30 millions d'années, dans une plaine alluviale, certainement à l'occasion de crues.



Figures i et j: petite falaise (env. 3-4 m) de Molasse marneuse et argileuse dans le méandre de la Roulave au point **Ge 5.3**.

A la bifurcation du chemin (coord. 487 900/117 860) on se dirige vers les «Grottes». Le site d'explication **Ge 5.3** (coord. 487 920/117 800) se situe en face d'une falaise de grès de la Molasse Rouge, d'une hauteur cumulée entre les différents secteurs d'une vingtaine de mètres. Trois galeries, d'un diamètre de l'ordre de 2 m, ont été creusées dans la falaise, à la recherche de bitume qui imprègne la roche (voir l'encadré page suivante). En mars 2014, aucune des trois cavernes n'était accessible en raison de chutes de blocs, d'arbres et de glissements de terrain.

Les grès de la Molasse sont essentiellement composés de quartz, feldspath et mica. La cimentation est mauvaise et l'altération forte. Certaines zones plus fortement cimentées par un ciment calcaire forment des bancs plus résistants. Le bitume imprègne les grès de façon irrégulière, par «nids» et «lentilles».

Les structures sédimentaires (fig. k) font apparaître des remplissages de chenaux fluviaux de rivières en méandres. La largeur apparente de ces chenaux pouvait atteindre ou dépasser la dizaine de mètres, avec une profondeur de l'ordre du mètre. Quelques structures plus petites sont également visibles.

Ge 5 (4): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse



Figure k: falaise de grès de la Molasse et caverne d'exploration de Bitume, face au point d'observation. La caverne d'une ouverture de 2 m n'était pas accessible en mars 2014, suite à des chutes de blocs.

La base de cette Molasse a été datée, dans l'échelle stratigraphique, du «Chattien inférieur» (env. 28 millions d'années) grâce à la découverte de petits restes de rongeurs, en particulier des dents.

A la recherche du pétrole dans la vallée de la Roulave et dans le Canton de Genève

Comme l'expliquent bien les panneaux d'information du site **Ge 5.4**, «les grès bitumineux ont fait l'objet de prospections depuis longtemps, mentionnées déjà en 1770 par H.B. de Saussure. Les premières tentatives d'exploitation dans la région datent de 1826, le creusement des galeries de la Roulave débutèrent vers 1845, des phases de production et d'abandon se succédèrent jusqu'en 1894. Lors des deux guerres mondiales, les exploitations ont repris avec creusement de puits profonds et d'importantes galeries. Probablement plusieurs dizaines de tonnes de bitume visqueux furent exploitées au total, utilisées pour asphaltier certaines rues de la ville de Genève, graisser les roues des chars, calfater des barques ou pour des usages médicaux» (voir également H. Lagotala 1935).

D'où provient ce bitume? Il correspond à l'arrivée en surface de pétrole brut produit par une roche source (ou «roche-mère») située à environ 3'000m sous le bassin genevois dans des roches du Jurassique inférieur (voir figure 4 dans partie introductive). Sous l'effet de la température et de la pression la roche-mère est arrivée à maturité et a «expulsé» le pétrole qui a «migré» vers le haut sous l'effet de la gravité (les roches sédimentaires sont en effet imprégnées d'eau et le pétrole est plus léger). Si ce pétrole ne rencontre pas une roche imperméable susceptible de former un piège pétrolier et de bloquer la remontée du pétrole, ce dernier pourra arriver en surface où il formera des imprégnations et des suintements. Sa partie volatile s'évapore et ses composés légers sont rapidement dégradés par des bactéries, ne laissant que les composés lourds qui forment le bitume.

Ce système pétrolier a bien sûr un intérêt économique au cas où le pétrole peut rester piégé dans des roches pour former un champ pétrolier. Les champs pétroliers du Bassin de Paris (Val de Marne, est de Paris) ont précisément été formés par la même roche-mère. Au début des années 1980, la compagnie BP France a foré une série de puits peu profonds autour de la frontière du canton de Genève dans la région de Gex pour tester cette éventualité. Ils ont trouvé un peu d'huile lourde mais aucune accumulation jugée intéressante d'un point de vue économique. Sur le Canton de Genève, un permis a été accordé à la compagnie Tethys Oil au début des années 2000, mais aucun forage n'a été entrepris à ce jour.

Ge 5 (5): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse

En suivant le sentier en direction de Dardagny depuis le point **Ge 5.4**, on traverse un profond glissement de terrain dans la Moraine basale intermédiaire. Ce glissement est en mouvement depuis de nombreuses années; il s'active et accélère pendant les périodes humides et parfois ralentit pendant des périodes de sécheresse (fig. l à o).



Figure l (à gauche): le chemin reliant **Ge 5.4** à **Ge 5.5** monte depuis le côté sur un glissement de terrain. La zone humide témoigne de sorties d'eau.

Figure m (à droite): Niche d'arrachement du glissement, où la moraine est mise à nu.



Figure n: fissures dans le terrain le long du chemin. Il s'agit du début d'un nouvel arrachement.

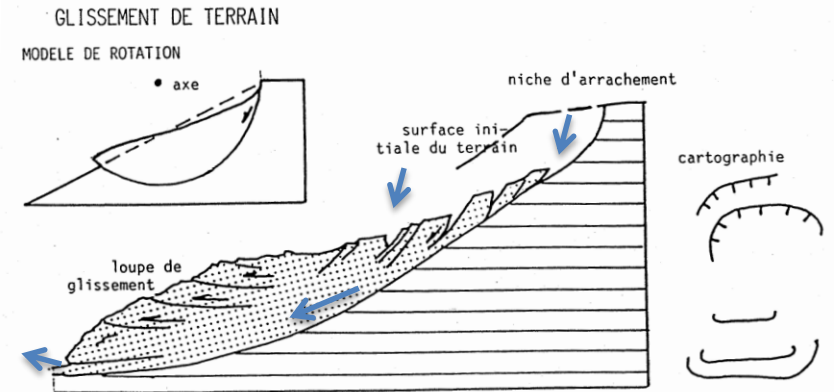


Figure o: fonctionnement d'un glissement de terrain (en bleu: circulation d'eau).

Deux «Grottes» ou cavernes de Molasse sont accessibles au point d'observation **Ge 5.5** (coordonnées 487 680/117 760). Le bitume s'y trouve concentré en lentilles qui sont liées à des intercalations de marnes dans les grès fins (fig. p et q).

Références bibliographiques:

- Collectif d'auteurs 1990: Sentier naturaliste. Vallon de la Roulavaz (Dardagny). Série documentaire 27 des Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève. 1990. 89p.
- Lagotala, H. 1935. les gîtes bitumineux de Dardagny (Genève). Le Globe, Mém., Genève.
- Schroeder, J.W. 1958. Géologie du Pays de Genève. Le Globe 97.
- Feuille de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000, Feuille Dardagny, Vernier, Chancy, Bernex, Feuille 12, No. 1300.

Ge 5 (6): Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse



Figure p (à gauche): caverne dans la molasse au point **Ge 5.5**.

Figure q: infiltration de bitume (noir) dans la Molasse de la caverne



Figure r: depuis le point **Ge 5.5** on traverse la rivière (figure r) et remonte sur la route reliant le Village de Dardagny à Essertines (coord. 487 520/117 700).

Postscriptum

Ce guide géologique et archéologique de Genève raconte l'histoire récente de la Terre et des paysages dans lesquels les premiers habitants se sont installés à Genève, comme si nous y étions, et comme s'il s'agissait du récit d'un chroniqueur. Mais cette impression est évidemment trompeuse. En effet, géologues et archéologues travaillent dans les faits comme la police scientifique pour reconstruire l'histoire du crime: ils/elles assemblent informations et indications sur les lieux, la date et l'heure du crime. Puis, ils/elles comparent et corrèlent ce qui s'est passé dans les différents lieux sous enquête. Ces informations sont comparées avec d'autres histoires qui se sont ou seraient passées ailleurs ou à un autre moment. Tout cela est finalement assemblé en un scénario plus ou moins solide.

Tout en ayant travaillé dur pour reconstruire la vraie préhistoire de Genève, nous devons veiller à être conscient(e)s que cette «vérité» scientifique ne durera que tant qu'il n'y aura pas de nouvelle découverte qui contredit ou corrige les faits préalablement établis. Ce guide est donc destiné à évoluer au cours du temps en fonction des nouvelles découvertes et recherches, et ne sera, espérons-le, jamais terminé.

Ce guide a profité d'une relecture méticuleuse par Jean-Claude Lalou (Vaumarcuse) et Alexandra Baeriswyl (Institut F.-A. Forel). Katia Loizeau s'est chargée de sa mise à disposition sur le site internet de l'Institut Forel. Nous les remercions cordialement!

Bibliographie

Affolter, J. A., Argant, J., Castel, J.C. et al. 2012: La Haute-Savoie durant la préhistoire, 40 000 - 5 500 av. J.-C. Collection d'Ouvrage Culture 74/8. 128 p.

Amberger, G. 1978: Contribution à l'étude du Quaternaire de la région lémanique: Résultats de quelques sondages profonds exécutés à Genève. *Eclogae geol. Helv.* 71/1, 193-206.

Arn, R. 1984: Contribution à l'étude stratigraphique du Pléistocène de la région lémanique. Thèse Fac. Scie. Univ. Lausanne.

Blavoux, B. 1988: L'occupation de la cuvette lémanique par le glacier du Rhône au cours du Würm. *Bull. AFEQ* 2/3, 69-79.

Broillet, Ph., éd. 1997: Les monuments d'art et d'histoire du Canton de Genève; la Genève sur l'eau. Société d'histoire de l'art en Suisse, Wiese, Bâle, 455 p.

Brun A. 2000: Révision des données polliniques dans le Pléistocène du Bas-Chablais (Haute-Savoie) : implications chronostratigraphiques et pluralité des glaciations [Reconsideration of the pollen data in the Pleistocene of the Bas-Chablais. (Haute-Savoie): chronostratigraphic implications and plurality of glaciations]. In: *Quaternaire - Volume 11 - Numéro 1 – 2000*, 41-51.

Collectif d'auteurs 1990: Sentier naturaliste. Vallon de la Roulavaz (Dardagny). Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève, 89 p.

Corboud, P. 2012: L'archéologie lémanique un siècle après F.A. Forel. *Arch. Scie.*, 237 – 248.

Coutterand, S. 2010: Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Thèse Univ. Savoie, Chambéry, 471 p.

Decrouez, D. 2012: Carrières sous-lacustres (Prégny-Chambésy, GE). Géotope suisse n° 304 (GE). ScNat, Berne.

Dériaz, E. 1958: Cartographie actuelle du canton de Genève. *Le Globe, Mém. Soc. Géogr. Genève*, t. XCVII, 15-36.

DIA 2003: L'Allondon; fiche rivière n°1, 3^{ème} édition. Département de l'agriculture, de l'intérieur et de l'environnement, Genève.

Duc, G., Frei, A. & O. Perroux 2008: Eau, gaz, électricité, Histoire des énergies à Genève du XVIII^{ème} siècle à nos jours. Ed. Infolio, Gollion, 2008.

Dufour, A. 2001: Histoire de Genève. 3^{ème} édition. « Que sais-je? » PUF, Paris, 128 p.

Favre, A. 1879: Description géologique du Canton de Genève. A. Cherbuliez & Co, Genève.

Forel, F.A. 1892: Le Léman: Monographie limnologique. F. Rouge, Lausanne (réédité par Slatkine, Genève 1969).

Fiore, J. 2007: Quaternary subglacial processes in Switzerland: Geomorphology of the Plateau and seismic stratigraphy of Western Lake Geneva. *Terre et environnement* 69, 169 pages. ISBN 2-940153-68-X. Cyberthèse.

Fiore, J., Girardclos, S., Pugin, A., Gorin, G. & W. Wildi 2010: Würm deglaciation of western Lake Geneva (Switzerland) based on seismic stratigraphy. *Quat. Scie. Reviews* 30, 377-393.

Fuchs, M. 2008: Integration of ground-penetrating radar, high-resolution seismic and stratigraphic methods in limnogeology: Holocene examples from western Swiss lake deposits. *Terre et environnement* 77, 254 p. ISBN 2-940153-76-0

Gallay, A. (ed.) 2008: Des Alpes au Léman: Images de la Préhistoire. Gollion: Ed. Infolio.

Girardclos, S. 2001: Sismostratigraphie et structure sédimentaire en 3D d'un bassin lacustre, du retrait glaciaire à nos jours (Lac Léman, Suisse). In: *Terre et Environnement*, vol. 33. Université de Genève, Switzerland, 182 pp.

Girardclos, S., Fiore, J., Rachoud-Schneider, A.M., Baster, I. & W. Wildi 2005: Petit-Lac (western Lake Geneva) environmental and climate history from deglaciation to present: a synthesis. *Boreas* 34, 417-433.

Gorin, G.E. & A. Moscariello 2013: Léman et gaz de schiste : un souci infondé. *Lémaniques, Bull. assoc. Sauvegarde du Léman*, sept 2013, 2-6.

Gorin, G.E., Signer, C. & G. Amberger 1993: Structural configuration of the western Swiss Molasse Basin as defined by reflection seismic data. *Eclogae geol. Helv.* 86, 693 - 716.

Hernandez Trevethan, M. 2010: Scénarios de risques sismiques dans la région urbaine de Genève. Thèse Univ. Genève. Cyber-thèse <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:16943>.

Jäckli, H. 1970: La Suisse durant la dernière période glaciaire. Atlas de la Suisse, planche 6.

Kremer, K., Simpson, G., Girardclos, S. 2012: Giant Lake Geneva tsunami in AD 563 Nat. *Geosci.* 5, 756-757.

Lagotata, H. 1935: Les gîtes bitumineux de Dardagny (Genève). *Le Globe, Mém., Genève.*

Maystre, D. H. & J. Vergain. 1992. Les dépôts glaciaires et proglaciaires dans la partie occidentale du Bassin genevois: genèse et chronologie. *Eclogae geol. Helv.*, 85, 169-194.

Monjuvent, G. & G. Nicoud 1988: Interprétation de la déglaciation rhodanienne au Würm, des moraines «internes» à la cuvette lémanique. *Bull. Assoc. Fr. Etude Quat.* 2/3, 129-140

Montandon F. 1925. Les éboulements de la Dent du Midi et du Grammont (examen critique de la question du Tauredunum). Extrait des Mémoires du Globe, tome LXIV, Genève: 35-91.

Moscariello, A. 1996: Quaternary Geology of the Geneva Bay: sedimentary record, palaeoclimatic and palaeoenvironmental reconstruction since the Last Glacial Cycle. *Terre et Environnement, Univ. Genève* 4, 230 p.

Moscariello, A., Pugin, A., Wildi, W., Beck, Ch., Chapron, E., De Batist, M., Girardclos, S., Ivy Ochs, S., Rachoud- Schneider, A.-M., Signer, C. & T. van Clauwenberghe 1998: Déglaciation würmienne dans des conditions lacustres à la terminaison occidentale du bassin lémanique (Suisse occidentale et France). *Eclogae geol. Helv.* 91, 185 -201.

Paolacci, S. 2013: Seismic Facies and Structural Configuration of the Western Alpine Molasse Basin and its Substratum (France and Switzerland). Thèse Univ. Genève.

Pittard, J.J. 1936: La Recherche de l'or dans la région de Genève. Société générale d'imprimerie.

Pugin, A., Bezat, E., Weidmann, M. & W. Wildi. 1993: Le bassin d'Ecoteaux (Vaud, Suisse): Témoin de trois cycles glaciaires quaternaires. *Eclogae geol. Helv.*, 86/2:343 – 354

Schroeder, J.W. 1958: Géologie du Pays de Genève. *Le Globe* 97.

Sesiano J., Schnyder C., Proz P.-A., Gnos E. and Schaltegger U. 2011: Les Pierres du Niton revisitées : soubassement, minéralogie, datation et origine. *Archives Des Sciences* 64: 81-90.

Trümpy, R. 1980: Geology of Switzerland: a Guide Book. Part A: An outline of the Geology of Switzerland. Schweiz. Geol. Komm. Wepf & Co. Publishers. Basel, New York.

Wegmüller, S., Amberger, G. & J.P. Vernet 1995: La formation de Montfleury près de Genève: Etude palynologique et sédimentologique d'une séquence du Pléistocène moyen. *Eclogae geol. Helv.* 88/3: 595-614.

Wildi, W. 1997: Le site naturel de Genève, pp. 3 -13. In: Les Monuments d'Art et d'Histoire du Canton de Genève (Ph. Broillet, ed.). *Soc. Hist. de l'Art, Berne.*

Cartes géologiques

Feuilles de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000:

- Coppet, feuille 46, CN 1281
- Dardagny, Vernier, Chancy, Bernex, Feuille 12, CN 1300
- Genève, Feuille 46, CN 1301

Géoportail du Canton de Genève

<http://ge.ch/geologie/>

Université de Genève, Section des sciences de la Terre et de l'environnement

<http://cms.unige.ch/sciences/terre/>

Musée d'Histoire naturelle de la Ville de Genève

<https://www.ville-ge.ch/mhng/>

Randonnées géologiques

<http://www.thierrybasset.ch>

