

Guide: géologie et archéologie de Genève

Guidebook: geology and archaeology of Geneva



**Walter Wildi, Pierre Corboud, Stéphanie
Girardclos, Georges Gorin***

*Société de physique et d'histoire
naturelle de Genève*

*** Section des sciences de la Terre et de
l'environnement
Rue des Maraîchers 13, CH-1205 Genève**

Copyright 3/2017

Table des matières

Préambule	
1. Introduction	
1.1. Le site naturel	
1.2. Histoire géologique du Bassin genevois	
1.3. L'occupation humaine du pays de Genève	
2. Visite des sites	
Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève	
Ge 1.1: L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale	
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	
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	
Ge 1.4: Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité	
Ge 1.5: Du Pont de l'Île au Jardin Anglais: les anciennes rives du Lac	
Ge 1.6: La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire	
Ge 1.7: Le Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine	
Ge 1.8: Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève	
Ge 2: Les carrières sous-lacustres du Vieux-Genève à Chambésy	
Ge 3: Du parc Mon Repos à la place Longemalle: variations des niveaux lacustres, villages de l'âge du Bronze et colonisation romaine	
Ge 4: Vessy: la nappe phréatique qui alimente Genève en eau potable	
Ge 5: Allondon et Roulave: du torrent d'origine jurassienne aux traces de bitume dans la Molasse	
Bibliographie	

Table of contents

<i>Foreword</i>	3
1. Introduction	3
1.1. The natural site	3
1.2. Geological history of the Geneva Basin	5
1.3. Human occupation of the Geneva site	15
2. Site visit	
Ge 1: Geological visit of Geneva City	24
Ge 1.1: <i>The Arve River: an Alpine river and its alluvial plain</i>	26
Ge 1.2: <i>Bois de la Bâtie: the «Alluvion ancienne», deposits of an old proglacial plain covered by the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier</i>	31
Ge 1.3: <i>From the Junction area, from where the Rhône and Arve rivers meet the reservoir lake of Verbois, to the Prieuré de Saint-Jean, where the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier passes underneath the Rhône River and Geneva Lake</i>	35
Ge 1.4: <i>Dam and sluice of the Seujet: to regulate the level of Lake Geneva and the production of electricity</i>	37
Ge 1.5: <i>From the Pont de l'Île to the Jardin Anglais: the former shore of Lake Geneva</i>	39
Ge 1.6: <i>Geneva Bay at the end of the last glacial age</i>	42
Ge 1.7: <i>The glacio-lacustrine delta of Saint-Antoine</i>	44
Ge 1.8: <i>Saint-Pierre Cathedral: archeological site and stones used for construction of Geneva Old Town</i>	45
Ge 2: Sub-lacustrine quarries of the Old Geneva in Chambésy	47
Ge 3: From the Mon Repos Park to the Longemalle Plaza: variations of lake level, villages of the Bronze Age and Roman colonization	53
Ge 4: Vessy: the water table supplying drinking water to the City of Geneva	56
Ge 5: Allondon River and Roulave stream: from a Jura-sourced torrent to traces of petroleum in the Molasse	62
References	

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.

Foreword

After the glacial retreat marking the end of the last Würm glaciation, humans settled down in the territories located north of the Alps during the late Paleolithic (Magdalenian culture), some 13'000 years ago. They chose areas with a favorable environment, particularly those crossed by wild animal herds which they hunted for food (reindeers, horses, etc.). Since early times, the Geneva Basin offered favorable conditions for human settlement, as well because of its topography as its climate. In the Neolithic, the existence of the lake and its westernmost bay (the Bay of Geneva) provided favorable conditions for the settlement of the first farmers. Since the Gallic period, the Geneva hill provided a protected and strategic settling place, where the town of Geneva was founded and never stopped to grow until today.

But what are these natural elements from which the city originated, both in the strict and figurative terms, and what has been the human impact on the natural site since its first occupation? This guide tries to answer these questions as well as others associating the natural site, the town and Geneva surroundings. In order to do that, it presents a short introduction about the natural site, its geology and ancient history. The reader is then invited to visit different places within and near the city, and to familiarize himself more thoroughly with the history of the city site and the Canton of Geneva¹.

In order to better inform interested readers, this guide also refers to complementary documents and additional bibliography about several topics.

¹ This chapter is largely similar to the following publication (modified and complemented): Walter Wildi 1997: Géographie historique du plan d'eau et des rives du site naturel au site élaboré: 1. Le site naturel de Genève. In: 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, Thoune, 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).

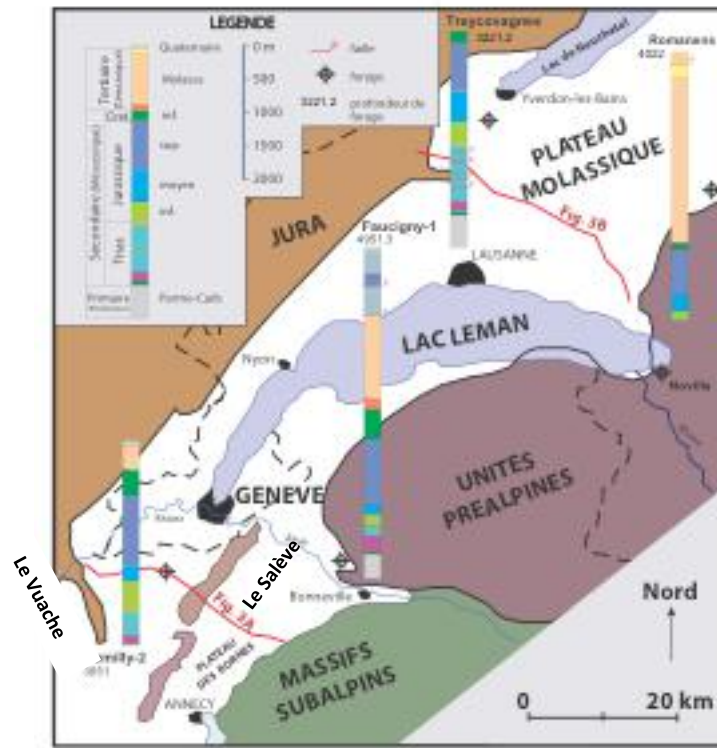
1. Introduction

1.1.- The natural site

The beginning of the urbanisation coincides with the settling down of the first inhabitants, hunters, fishermen or farmers, but also traders and craftsmen. The outflow area of the lake is particularly interesting for such an urbanisation. It is a zone where one can cross the waters on foot, in a boat, or build a bridge, and where the migration of populations facilitates encounters and trading. Moreover, fishing and lacustrine transport provide interesting economic opportunities. The transition from a small village to a fortified town in order to protect the crossing happened in many other places in those days: in Switzerland, the towns of Constanz, Zürich, Luzern, Thun, Bienne and Geneva provide perfect examples of this situation.

Nevertheless, the building of houses and roads in the outflow zone of the lake may face several problems. Storm waves, lake-level variations, catastrophic and unpredictable flooding events, marshes, a geological substrate often unstable and unsuitable to the construction of buildings were all obstacles to urbanisation. Consequently, the natural sites of towns underwent major transformations and adaptations to human needs, which may sometimes hide their original natural condition.

Geneva, at the western outflow zone of Lake Geneva, is located in a vast topographic depression limited to the north by the Jura Mountain range (reaching an altitude of over 1700 m), and to the south by the Salève Mountain (maximum altitude of 1379 m). This basin is part of the Swiss Plateau and forms its western termination. The Geneva depression is limited to the west by the Vuache Mountain (reaching an altitude of 1105 m), which was uplifted by an important geological lineament linking the Jura to the Salève and subalpine mountain ranges in the area of Annecy (Fig. 1).



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.

The Geneva Basin, and the Lake Geneva Basin in general, are part of the drainage basin of the Rhône River, which originates in the Canton Valais and contributes for 85% to the water intake of the lake. The present-day water level of Lake Geneva is at 372 m above mean sea level (amsl), whereas the edges of the Geneva Basin, at the foothills of the Jura and Salève mountain ranges, are located at some 500 m amsl.

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 Moscardiello 2013, inspiré de Paolacci 2013).

Figure 1: Schematic map of the geological and tectonic framework of Lake Geneva Basin, with the main geological boreholes and location of geological sections shown in fig. 4 (Gorin et Moscardiello 2013, inspiré de Paolacci 2013).

In Geneva, the average water flow of the Rhône River is of 251 m³/sec, and can increase up to 700 m³/sec during flooding periods, which are smoothed through the reservoir effect of the lake. The latter is not the case for the Arve River, which drains part of the Mont-Blanc, Platé, Aravis and Bornes massifs.

This river is an affluent of the Rhône River, and joins up the latter in the part of Geneva City called «La Jonction» (fig. 2) without having been dammed in any place between its source and Geneva. Its average flow is of 79 m³/sec, the maximum flood flow recorded being of 840 m³/sec in 1968.

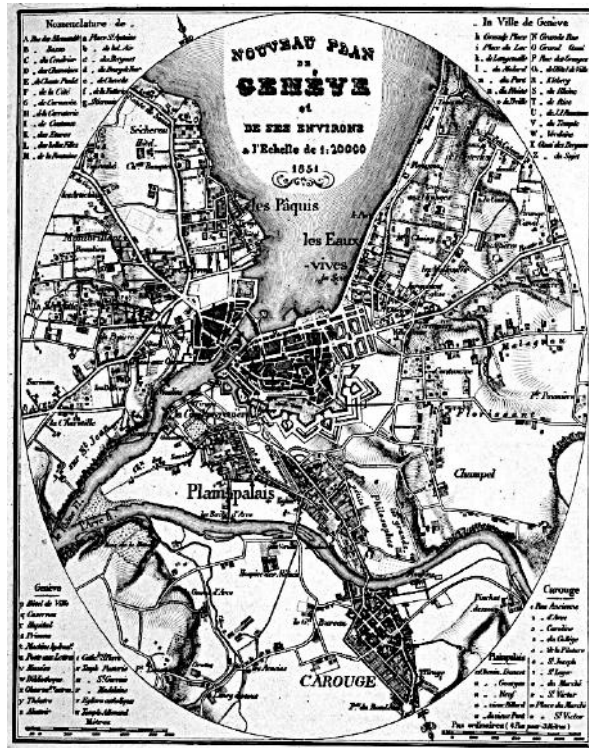


Figure 2: carte de Genève et de ses environs, 1851 (Collection du Centre d'Iconographie genevoise N° 39P90). La carte montre la situation avant la démolition des fortifications entourant la vieille ville.

Figure 2: Map of Geneva City and its surroundings, 1851 (Collection of the Geneva Centre of iconography N° 39P90). The map shows the situation existing prior to the dismantling of the fortifications surrounding the old part of the city.

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.

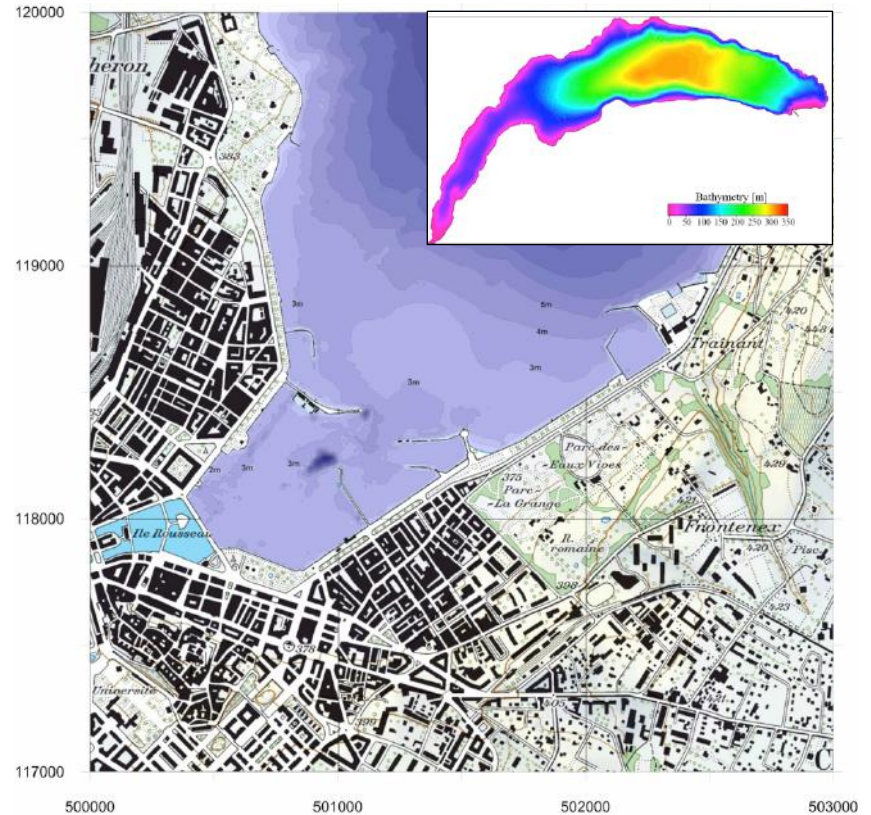


Figure 3: carte des profondeurs du Petit-Lac et de la Rade de Genève (Institut F.-A. Forel).

Figure 3: Bathymetric map of Lake Geneva and Geneva Bay (Institut F.A. Forel)

The outflow zone comprised between the downstream «Ile Rousseau» and an imaginary upstream cross-line joining up the «Perle du Lac» to the «Port-Noir» is called the Geneva Bay («Rade de Genève»). This imaginary cross-line corresponds physically to a shoal called «Banc de travers» (Fig. 3). It is on this shoal that were located the first coastal villages during the Neolithic and until the end of the Bronze Age (see chapter 1.3)

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

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).

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 sismique (fig. 1 et 4).

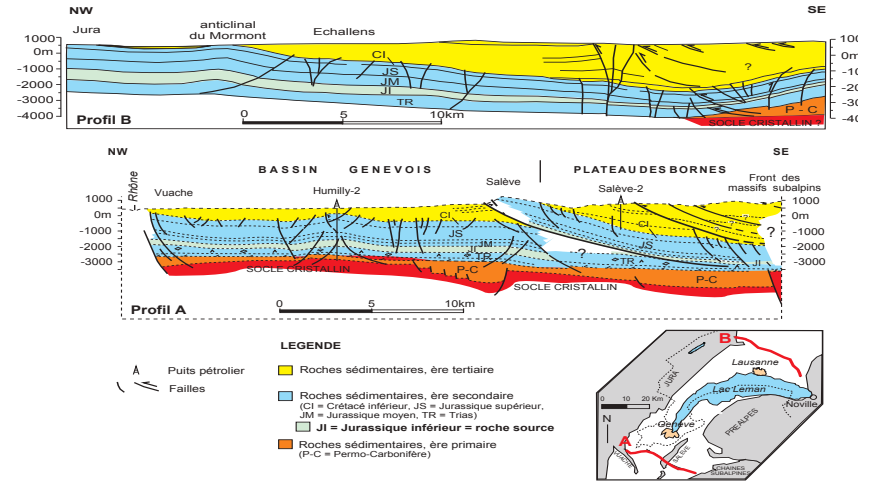


Figure 4: coupes géologiques du Bassin lémanique et du Bassin genevois. Pour les tracés des coupes voir fig. 1 (Gorin et Moscardiello 2013, inspiré de Gorin et al. 1993).

Figure 4: Geological cross-sections of Lake Geneva and Geneva basins. See fig. 1 for location of sections (Gorin et Moscardiello 2013, modified from Gorin et al. 1993).

1.2.- Geological history of the Geneva Basin

From the Alpine sea to the folding of the Jura Mountains

The mountains limiting the Geneva Basin to the north, west and south, i.e. the Jura, Vuache and Salève ranges respectively, correspond to tectonic structures uplifted through folding and thrusting associated with the final phases of the Alpine orogeny some 5 to 10 millions years ago. Nowadays, these movements are still expressed through a relative seismic activity (Figs. 1 and 4).

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**).

These structures brought to surface the strata of carbonate rocks originally deposited on a marine platform at a water depth ranging from 0 to 100 m, during the Jurassic and Cretaceous (some 145 to 100 millions years ago for the rocks presently visible at surface). This carbonate sedimentation came to a halt some 70 millions years ago, and after that part of the strata was eroded. The carbonate platform was located on the European margin of the Alpine sea, which separated Europe from Africa during the Mesozoic (Fig. 5).

*Geological formations of the Jurassic and Cretaceous do not outcrop in the Canton Geneva, but corresponding carbonate rocks play an important role as constructing material (see visit **Ge 1.8** in chapter 2).*

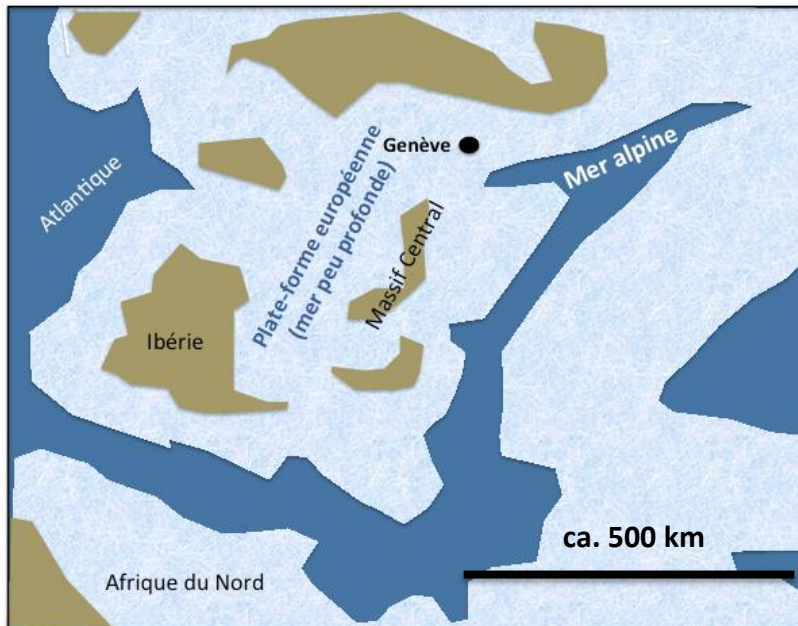


Figure 5: paléogéographie de la mer alpine au Jurassique supérieur (env. 152 millions d'années). Bleu clair: plate-forme marine et talus; bleu foncé: mers profondes et zones océaniques; kaki: zones continentales. A cette époque, la région genevoise se situait sur la plate-forme européenne avec une mer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

Figure 5 : Paleogeography of the Alpine sea during the Late Jurassic (about 152 millions years ago): Light blue: marine platform and slope; dark blue: deep seas and oceanic zones; brown: continental zones. At that time the Geneva region was located on the European platform covered by a shallow tropical sea (highly simplifies after <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.

*The **Tertiary Molasse** overlies the carbonate strata of the Cretaceous. It is essentially made of sandstones, marls, intercalations of gypsum and, in the vicinity of the Alps, of conglomerates. The constituents of the latter come from the erosion of the Alps which were being uplifted (Fig. 6). The thickness of the Molasse below the city of Geneva reaches about 1 km. It represents in geological time part of the Oligocene period (approximately 30 to 25 millions years). These deposits were originally deposited over the whole area north and west of the Alpine front, but were subsequently eroded over the Jura and Salève folds. In the Geneva Basin, the Molasse is made of two formations: the « Red Molasse » and the « Grey Molasse ».*

Molasse strata are not outcropping within the area of the Geneva City, but are visible in the small valleys eroded by rivers in the glacial deposits in the countryside surrounding the city. Molasse rocks have been exploited as construction material in the coastal zones on both sides of Lake Geneva until the 18th century, during the winter when the lake level was lower.

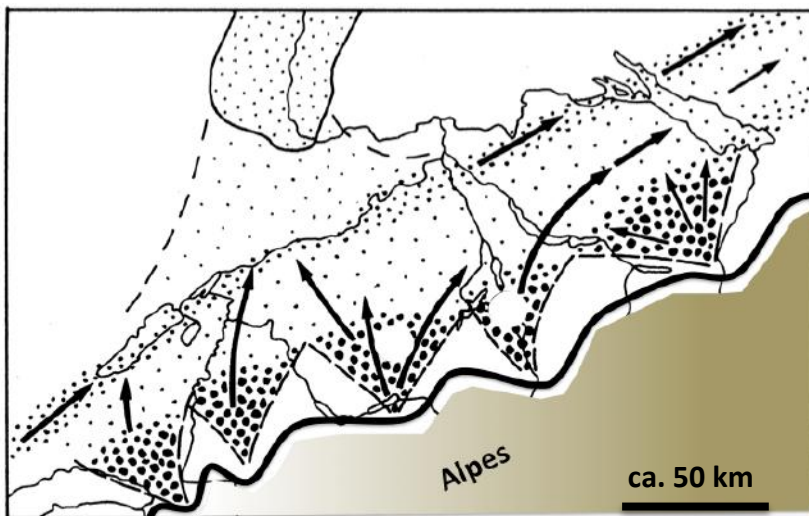


Figure 6: paléogéographie de l'avant-pays alpin à l'Oligocène supérieur (env. 30 – 27 millions d'années). Sédimentation de la Molasse Rouge et de la Molasse Grise. Le Bassin lémanique se situe dans la zone d'influence du cône du Mont Pèlerin où s'accumulent les conglomérats, grès et marnes issus de l'érosion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

Figure 6: Paleogeography of the Alpine foreland in the late Oligocene (ca. 30 millions years). Sedimentation of the «Red and Grey Molasse». The Lake Geneva Basin is located within the depositional zone of the Mont Pèlerin fan, where conglomerates, sandstones and marls derived from the erosion of the Alpine range were accumulated. Summits of the latter reached altitudes of over 6'000 m (after 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

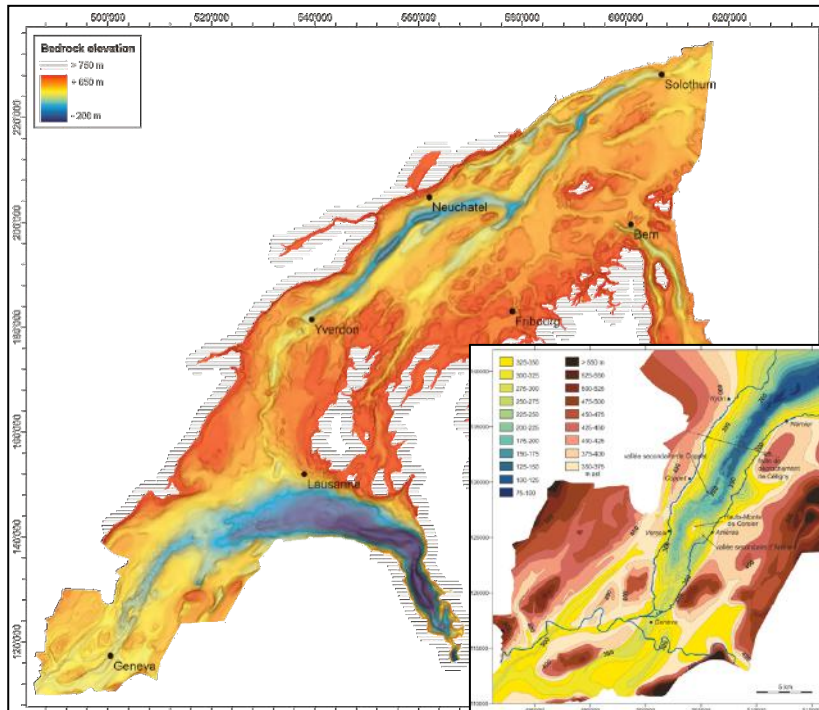


Figure 7: topographie de la surface du rocher sous les sédiments glaciaires, lacustres et fluviaux du Pléistocène en Suisse occidentale (J. Fiore 2007) et dans le Bassin genevois.

Figure 7: Topography of the bedrock surface below Pleistocene glacial, lacustrine and fluvial sediments in Western Switzerland (J. Fiore 2007)

Glacial ages

The topography of the top of the Molasse bedrock below the Geneva basin, most often covered by more recent deposits, is characterized by SW-NE trending mounds and grooves (fig. 7). West of Geneva City, the deepest grooves reach depths of around 300 to 350 m amsl, whereas the mounds (e.g., that of the Bernex village) are higher than 450 m amsl. In Lake Geneva, the top of the Molasse bedrock dips towards the



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

Figure 8: Maximal extension of Alpine glaciers during the last glacial age (map by Bini et al. 2009), with the autorisation of swisstopo (BA14046).

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 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.

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'Ecoteaux et de Maracon, 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).

City of Lausanne and then towards the Alpine front, where it may reach a depth of about 200 m below msl. This topography of the bedrock is essentially the signature of glacial erosion in the Molasse during the Quaternary, particularly during the Pleistocene since two millions years.

The glaciers that covered the Swiss Plateau were sourced from the Alps. A small ice cap was also covering the crest of the Jura Mountains. With temperatures much lower than present-day ones, the glacier accumulation zones reached low altitude areas and glacial tongues temporarily flowed down the Rhône Valley, and eventually extended down to the city of Lyon in France. The signatures that the glacier left in the landscape testify to processes which took place below the ice, on top, at the front and on the flanks of the glacier. The maximum extension of Alpine glaciers during the last glacial age is illustrated in fig. 8.

In the Lake Geneva Basin, the first imprints of glaciations are encountered south of Palézieux (Canton Vaud) between Ecoteaux and Maracon villages at an altitude of 800 m amsl, where deposits of an older lacustrine delta can be observed. This delta can be linked to glacial moraines and lacustrine sediments, part of which is older than the last inversion of the terrestrial magnetic field some 860'000 years ago. The glacial moraines correspond to those of the so-called Günz Glaciation. Up to five glacial advances during the middle and late Pleistocene are documented in the Aubonne Valley near Morges, and in time-equivalent deposits on the southern shore of Lake Geneva related to the Dranse Valley in France. In the vicinity of Geneva, such imprints of older glaciations are encountered in Lake Geneva as deep grooves cut into the Molasse through the Rhône Glacier. These grooves are also known from boreholes in the Geneva Basin (Amberger 1978, Wegmüller et al. 1995, Arn 1984, Brun 2000, Fiore 2007, Fiore et al. 2010, Moscariello et al. 1998, Pugin et al. 1993).

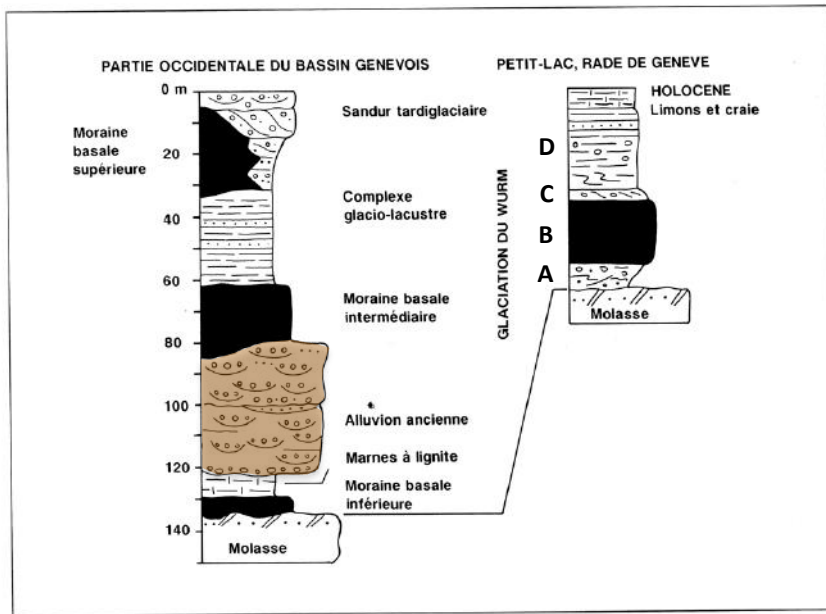


Figure 9: succession des sédiments de la dernière glaciation (Würm) à nos jours dans le Petit-Lac et la Rade de Genève et dans la partie occidentale du Bassin genevois (Wildi 1997, adapté). Unité A: graviers et sables cisailés par le passage du glacier; Unité B: moraine basale déposée sous le glacier; 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 9: Sedimentary sequence from the last glaciation (Würm) until today in the Petit Lac and Geneva Bay, and in the western part of the Geneva Basin (Wildi 1997). Unit A: Gravels et sables sheared by ice; Unit B: basal moraine deposited under the glacier; Unit C: Gravels and sands deposited through the under-glacier torrent at the front of the Rhône Glacier; Unit D: glacio-lacustrine sediments deposited at the front of the retreating glacier.

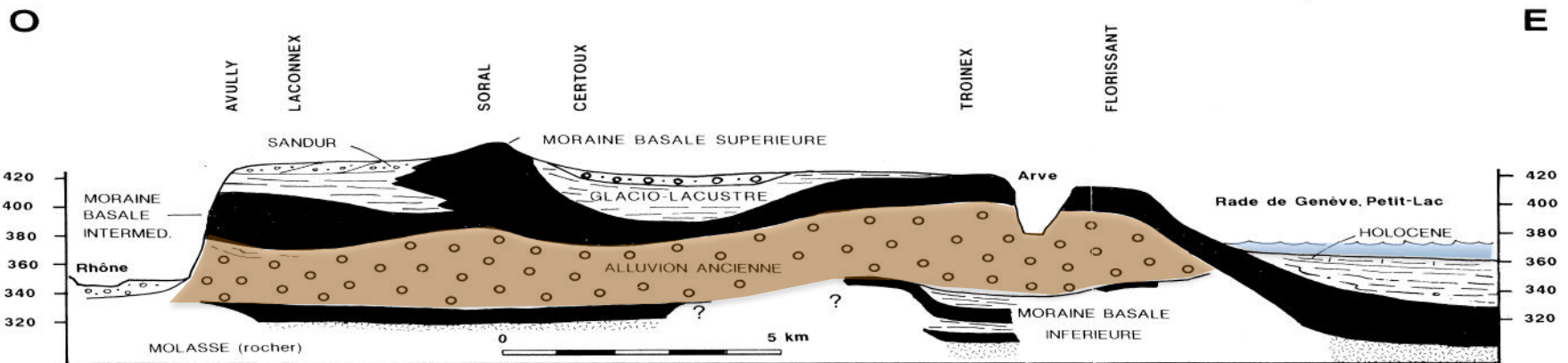
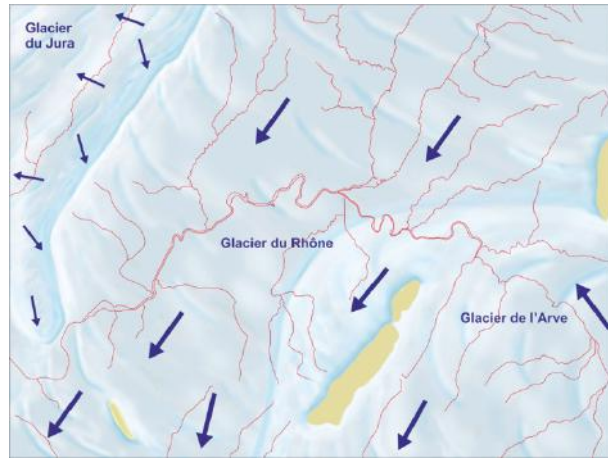
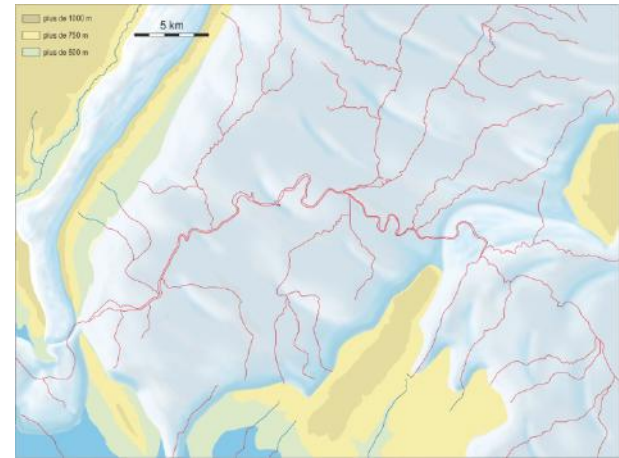


Figure 10: coupe géologique synthétique des dépôts glaciaires, fluviaux et lacustres de la partie occidentale du Bassin genevois (Wildi 1997, adapté).
Figure 10: Synthetic geological cross-section of glacial, fluvial and lacustrine deposits in the western part of the Geneva Basin (Wildi 1997).

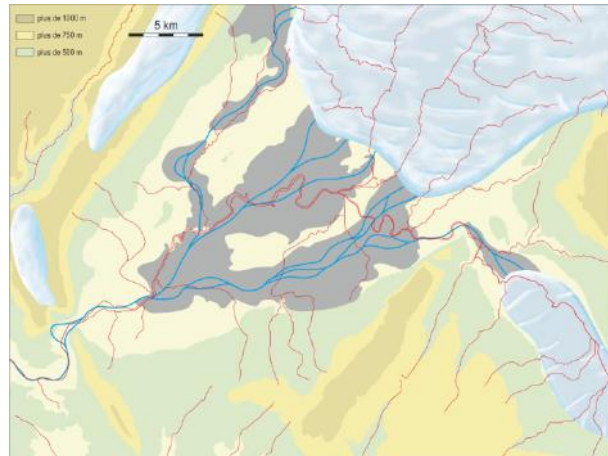
Figure 11: paysages du Bassin genevois au cours du dernier âge glaciaire. Les âges indiqués sont approximatifs.
Figure 11: Landscapes of the Geneva Basin during the last glacial age. Indicated ages are approximate



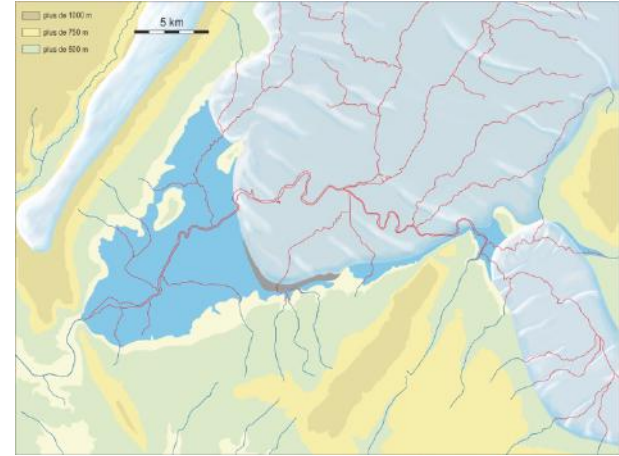
- a)** 70'000 – 60'000 ans BC? Extension maximale des glaciers au dernier âge glaciaire (Moraine basale inférieure).
a) 70'000 – 60'000 years B.C.? Maximum extension of glaciers during the last glacial age (Lower Basal Moraine).



- c)** situation vers 30'000 ans BC? Récurrence glaciaire dans le Bassin genevois (dépôt de la Moraine basale intermédiaire).
c) Situation around 30'000 years B.C.? Glacial readvance in the Geneva Basin (deposition of the Intermediary Basal Moraine).

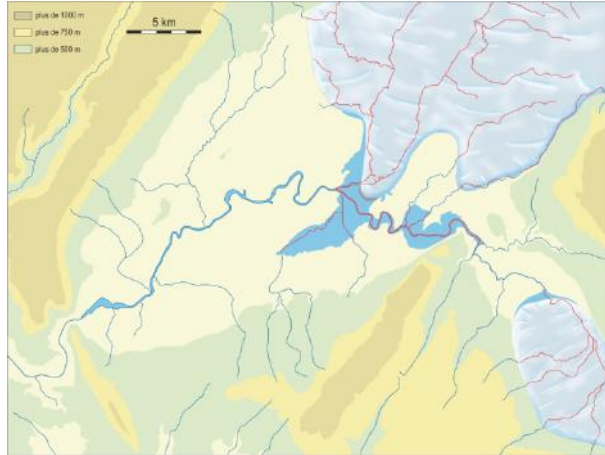


- b)** situation vers 38'000 – 35'000 ans BC? Dépôt de graviers de l'Alluvion ancienne (plaine alluviale en gris).
b) Situation around 38'000 – 35'000 years B.C.? Deposition of the gravels forming the Alluvion ancienne (alluvial plain in grey).

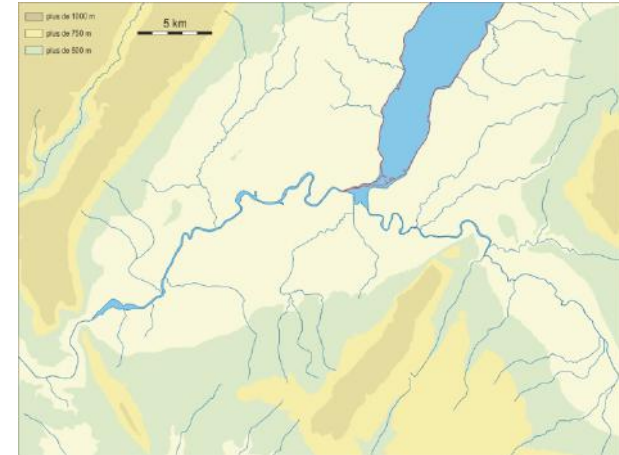


- d)** situation autour de 25'00 ans BC: stade de Laconnex, lac de 470 m (dépôt de la Moraine basale supérieure).
d) Situation around 23'000 years B.C.: Laconnex stage, 470 m lake (deposition of Upper Basal Moraine).

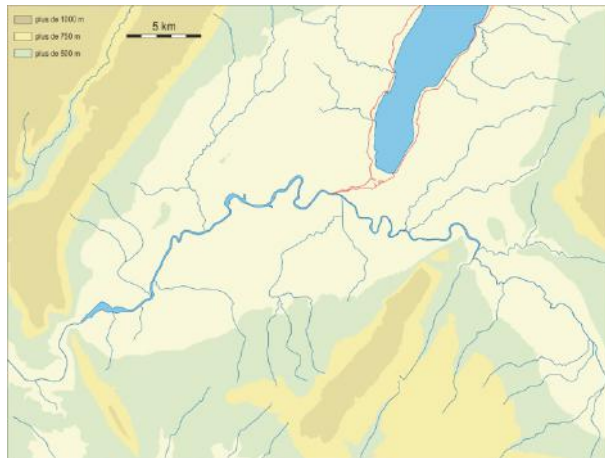
Figure 12: paysages du Bassin genevois depuis le retrait des glaciers.
Figure 12: Landscapes of the Geneva Basin after the retreat of the glaciers.



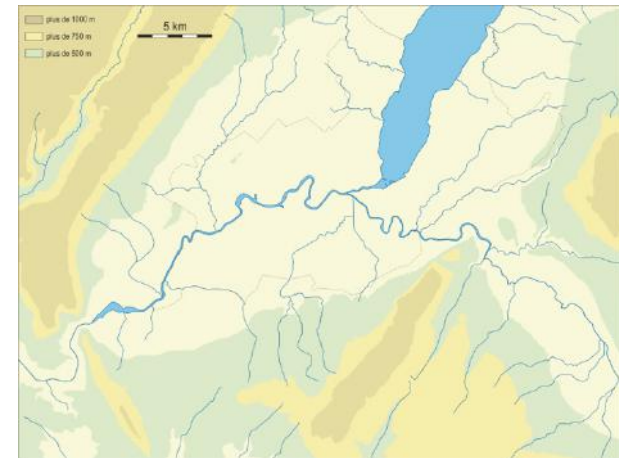
a) 20'500 ans BC: stade de Genève, lac de 405 m. Dépôt du Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine et des Pierres du Niton.
a) 20'500 years B.C.: Geneva stage, 405 m lake. Deposition of the glacio-lacustrine Saint-Antoine Delta and the Pierres du Niton.



c) époque romaine, pendant un haut niveau du lac à 375 m.
c) Roman times, during a high lake level at 375 m.



b) vers 1'000 ans BC: bas niveau du lac (niveau < 369 m), époque des villages palafittiques.
b) Around 1'000 years B.C.: low lake level (< 369 m), period of the prehistoric pile dwellings.



d) lac actuel à 372 m d'altitude.
d) Present-day lake at 372 m.

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 fluviale

*In the terrestrial part of the Geneva basin, the **Lower Basal Moraine** rests on top of the Molasse bedrock eroded during the older glaciations. This first moraine of the Würmian glaciation corresponds probably to the maximum extension of the Rhône Glacier when it reached the Isère Glacier and eventually the Lyon area (fig. 11a). Lacustrine or marsh deposits (**Lignitic Marls**) locally overlie this moraine and testify to the retreat of the Rhône Glacier up to the Lake Geneva Basin and to the presence of shallow lakes and marshes in the western part of the Lake Geneva Basin.*

*Gravels and sands of the «**Alluvion ancienne**»¹ which overlie the Lignitic Marls represent the deposits of a large fluvial plain (or sandur in the geomorphological terminology) at the front of the Rhône Glacier which was probably located at the level of the Petit-Lac. The river*

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).

Figure 13: Outcropping conglomerates and sandstones of the «Alluvion ancienne» along the access path to the Bois de la Bâtie (chapter 2, site **Ge 1.2**; height: ca. 2 m).



¹ In geology, lands of same composition that can be observed and mapped in the field are «geological formations». Most often they are named after either their lithology (gravels, marls, limestones), or a place. «**Alluvion ancienne**» is a word used since the 19th century and formally introduced in 1879 by Alphonse Favre. It describes the formation of strongly cemented gravels and sands (conglomerates) forming the cliffs bordering the Arve River (Champel cliffs) and Rhône River (St Jean cliffs). These gravels were deposited during the last glacial age by rivers flowing at the front of the Rhône and Arve glaciers.

importante (d'un *Sandur*, dans la terminologie des géomorphologues) en avant du Glacier du 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).

À 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

feeding this sandur was organized in several channels (braided-stream river) separated through gravel and sand bars (fig. 11b). These sediments outcrop nowadays as carbonate-cemented conglomerates and sandstones in the cliffs bordering the Rhône and Arve rivers (fig. 13).

*Following another degradation of the climate, the Rhône Glacier readvanced a last time over the « Alluvion ancienne », locally eroding the surface of the gravel terrace and depositing a significant layer of moraines in a large part of the Geneva Basin, called the **Intermediary Basal Moraine** (figs. 9, 10 and 11c) Deglaciation in the Geneva Basin began with a glacier retreat up to Laconnex village (fig. 11d) where a morainic vallum was formed (**Upper Basal Moraine**). A lake existed at the front of this vallum, being filled by the **Glacio-lacustrine Complex** and the **Sandur** (fig. 11c). Upstream of this Laconnex stage the Intermediary and Upper Basal Moraines can not be distinguished from each other. When the glacier of the Laconnex stage retreated, a new lake formed in the Plaine de l'Aire area (fig. 11d: 400 m lake), progressively filled by fine sediments, grading upwards to peat.*

*During its phase of melting, the Rhône Glacier stopped for some time at the level of Geneva City. Gravels and sands brought in by the underglacial stream accumulated as a sub-lacustrine delta (**Saint-Antoine Delta**), which forms the relief upon which the city was built. From the Geneva City to the Aire River alluvial plain a new lake was formed (fig. 12a: 405 m lake), which was finally filled by fine sediments, grading upwards into peat deposits.*

*In the center of the Petit-Lac and Geneva Bay Basin (figs. 9 and 10) the sedimentary succession comprises the deposits of only one glacial cycle. The latter consist of gravels and sands sheared by the movement of the glacier and overlain by a compacted basal moraine and a succession of **Glacio-lacustrine Sediments** deposited during the deglaciation. The «Pierres du Niton» are part of this sequence. The discovery of wood fragments in the gravels and sands overlying directly the moraine give an age of around 22'500 years (calibrated age obtained from carbon 14*

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").

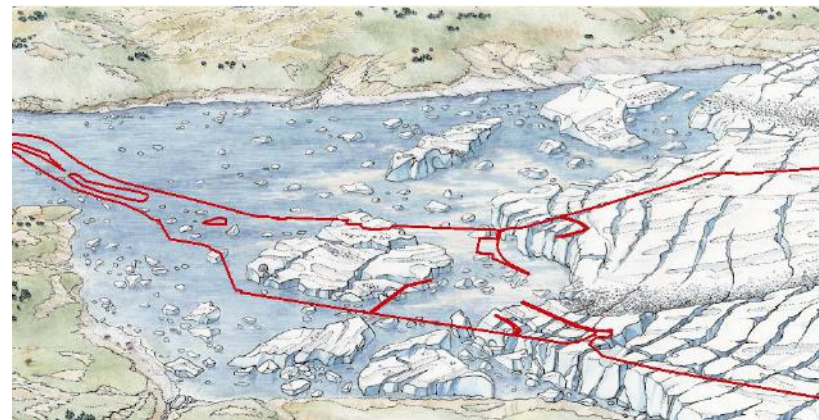
Figure 14: *deglaciation of the Geneva Bay with a lake level at 405 m amsl. Red lines indicate the recent shores of Lake Geneva and Rhône River (drawing by Yves Reymond, in: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").*

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

datation). fig. 12a shows the reconstitution of the Petit-Lac and Geneva Bay deglaciation at that time, with a lake level situated at approximately 405 m ams, and lowering progressively down to 400 m.



The Holocene, the Post-glacial period

Whereas the Geneva Basin (outside of the glaciers and lake) was covered at the end of the last glacial age only by a low-diversity flora made of grasses, lichens and mosses, small pioneer trees and flowers were beginning to colonize the ground during the so-called Tardiglacial period. This period ended some 11'000 years ago with a significant climate improvement and passed to the Post-glacial (or Holocene) period. The evolution of the environment at the end of the last glacial age is schematized in fig. 17 using sedimentological indicators in the Petit-Lac and pollen encountered in the sediments. During the Tardiglacial, the level of Lake Geneva continuously dropped to reach a level close to the present-day one approximately 10'000 years ago. This was the result of the erosion of sills, moraines and other obstacles damming the outlet of the lake. In the Geneva Bay and the Petit-Lac, chalk deposits and fine-grained deposits

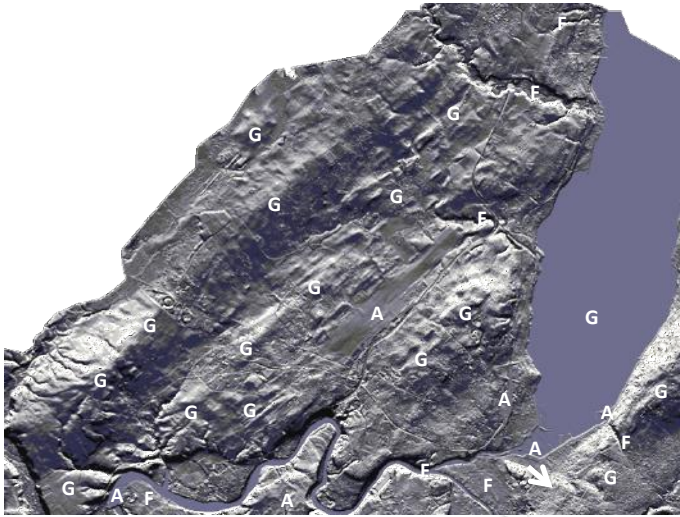


Figure 15: modèle numérique d'altitude de la rive droite du Léman et du Rhône dans le Canton de Genève (Fiore 2007). A: morphologie d'origine humaine (chemin de fer, aéroport, autoroutes, remblais lacustres, barrages), G: morphologie glaciaire, le plus souvent des drumlins (rochers et moraines sculptés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

Figure 15: Digital elevation model of the northern side of Lake Geneva and Rhône River In Canton Geneva (Fiore 2007). A: human-made morphology (railroad, airport, motorways, lacustrine embankment, dams), G: glacial morphology, most often drumlins (rocks and moraines carved through the ice flow), F: fluvial erosion following the last glacial Age (post-glacial and Holocene).

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 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.

(«muds») rich in organic matter terminate the sedimentary sequence (Moscariello 1996, Fiore 2007, Girardclos et al. 2005).

The lake extension towards the area of La Jonction and Carouge must have been rapidly filled in by the influx of sediments brought in by the Arve River, thereby transforming the former lake into an alluvial plain. From then on, the Arve River was not anymore flowing into the lake, but directly into the Rhône (visits **Ge 1.1** et **Ge 1.2**). And because the level of the Rhône River bed determined the topographic level of the lake outlet, any plugging of the Rhône River bed through a massive influx of gravels from the Arve River could lead to a lake level rise. By contrast, the base level of the lake outlet was determined by the very cohesive nature of the moraine in the Rhône River bed (see chapter 1.3 concerning observed variations of Lake Geneva level).

The result of glacial, fluvial and lacustrine processes and of human activity which carved the landscape of the Geneva Basin are perfectly illustrated on the digital elevation model of 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>). La dernière crue centenaire est celle de mai 2015 (encadré **Ge 1.1**).

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

Natural risks, tsunamis in Lake Geneva

Geologists or geophysicists will a priori not be very much bothered by the natural risks that might threaten the buildings and inhabitants of the Geneva Basin and City of Geneva. Indeed, this basin presents only a low relief, except for the zones affected by major geological accidents. Nevertheless, some events with a geological or climatic origin can be identified in the history of this region. Among others, it is worth mentioning:

Hydrology: *historical floods of the Arve River breaking up bridges have been reported in Haute Savoie and Geneva City in 1404, 1570 (flooding of the Plaine de Plainpalais and backflow of the Arve and Rhône river waters towards the lake), 1733 (destruction of bridges crossing the Arve River), 1852, 1859 and 1888 (flooding of the alluvial plain and backflow of river waters towards the lake; see also visit Ge1). This risk is presently decreased through the human-made channelization of the river (see: <http://www.riviere-arve.org/territoire/inondations-memorables-arve.htm>).*

Slope instabilities: *these phenomena are observed mainly in erosion reliefs. For instance, large conglomerate blocks of «Alluvion ancienne», encountered at the base of the cliffs formed by this formation, testify to rockfalls occurring more or less regularly in time. Rockfalls from the cliffs in the area of St Jean may even have formed at one stage obstacles to the free flow of the Rhône River waters (visit Ge 3). Moraines may even cause slope instabilities, not so much in Geneva City, but for example along the reservoir lake of the Verbois Dam, where a large landslide is a major threat on the right shore of the lake, between the village of Peney and the dam.*

Earthquakes: *the epicenters of earthquakes felt in Geneva City are located in other geological regions, namely in the area of Annecy, along the Vuache Fault, in the Chablais Prealps, in the Jura Mountains or even in Canton Valais. Some important faults, for instance those following the front of the Salève range or those linking the Alpine front to the Jura Mountains are presently inactive, but could well be reactivated one day (Hernandez – Trevethan, 2010).*

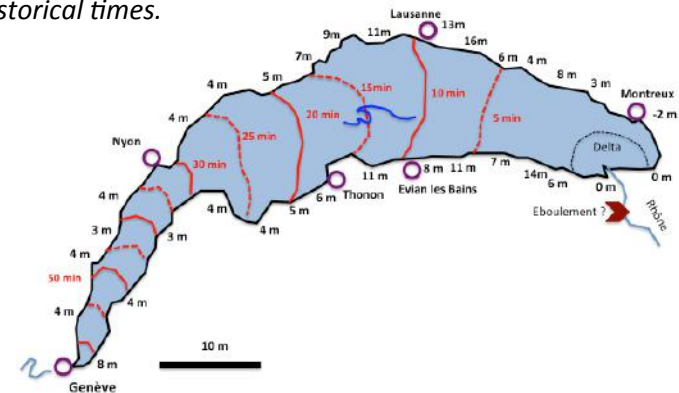
front alpin au Jura sont actuellement inactives, mais pourraient se réveiller un jour (bibliographie: Hernandez – Trevethan, 2010).

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 VIe 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). De récents travaux (Kremer et al. 2014; 2015) montrent qu'au moins six tsunamis ont eu lieu sur le Léman durant les derniers 4000 ans, indiquant une fréquence moyenne de 1.6 tsunamis par mille ans.

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)

Figure 16: Simulation of the tsunami wave in Lake Geneva caused by the impact of the Tauredunum rockfall on the subaerial Rhône Delta in the area of Villeneuve. The time of arrival (in minutes) of the first tsunami wave is shown in red, the wave height in metres is

Tsunamis in Lake Geneva: historical archives tell us that in 563, following the Tauredunum rockfall, the Lake Geneva region was hit by a tsunami which flooded its shores, destroyed mills and the Geneva bridge, killed men and cattle herds and finally entered the City of Geneva. The study of sediments at the bottom of the Grand-Lac (east of the city of Nyon) reveals a 1 to 7 m thick gigantic deposit which blankets all of the deep basin bottom and is contemporaneous with the Tauredunum event. It consists of a giant turbidite with a volume of 0.25 km³, the movement of which was most probably initiated through the destabilisation of the Rhône delta, following the impact of the rockfall on the subaerial part of the delta. This sediment volume has been used to model the height of the tsunami wave created through the displacement of sediments in the lake. The numerical model shows a wave height of 8 m in the Geneva area and of 13 m in the Lausanne area. This is conformable with historical data which report inflow of water within Geneva City, because in the 6th century, the latter was located on the Old Town hill (fig. 16). These results demonstrate that tsunamis in a lacustrine environment should not be underestimated (Montandon 1925, Kremer et al. 2012). Other tsunamis probably occurred in the Lake Geneva Basin during prehistorical times.



indicated in black along the coastline of the lake. The black contour line in the centre of the basin marks the extension of the sediment mass that slid from the delta area, thereby forming an enormous «turbidite» (mudflow).

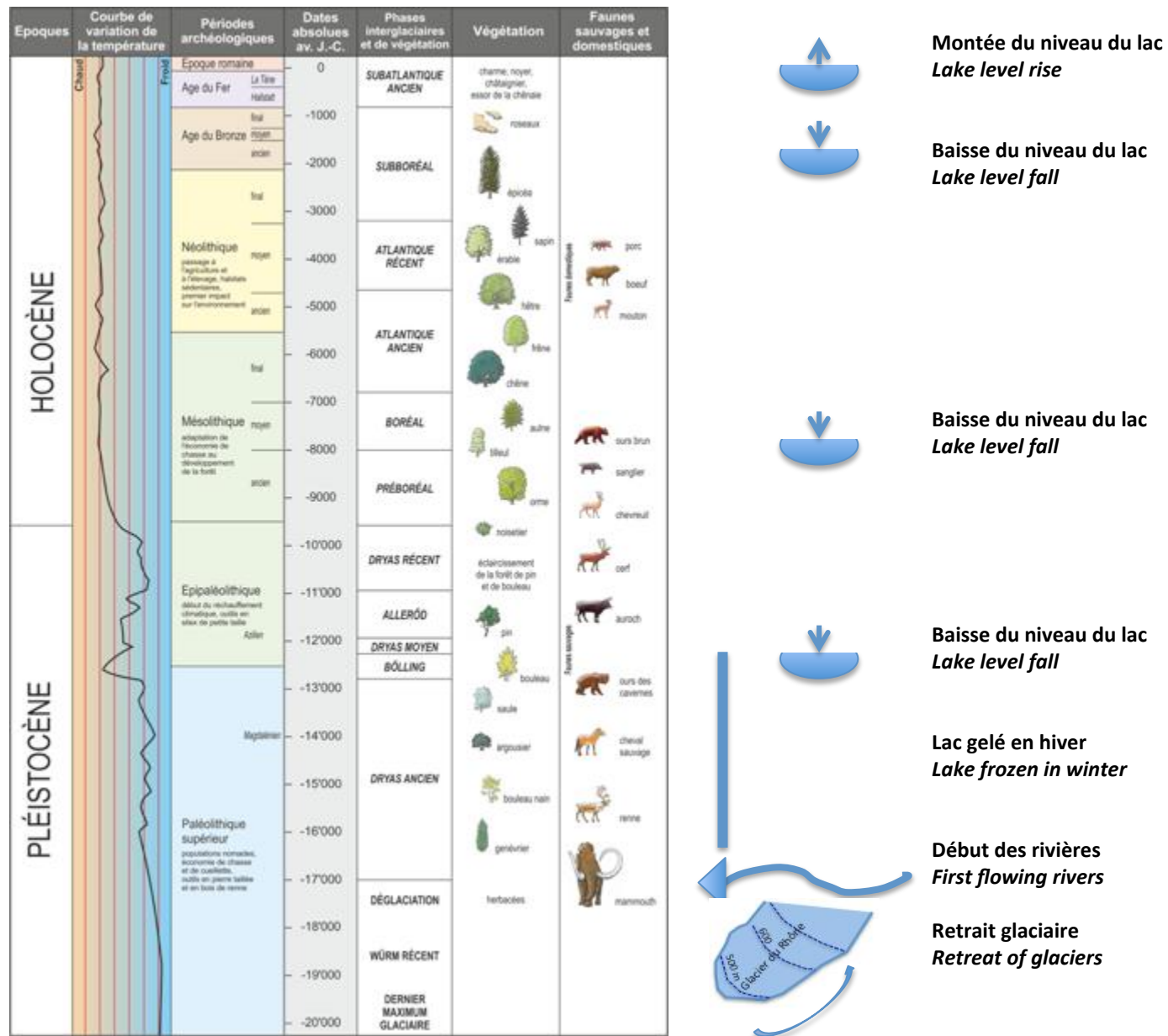


Figure 17: tableau synthétique de l'évolution de l'environnement depuis la fin du dernier Âge glaciaire (d'après Corboud 2013, Girardclos 2001).

Figure 17: synthetic chart showing the evolution of the environment in Lake Geneva area since the end of the last glacial Age (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.

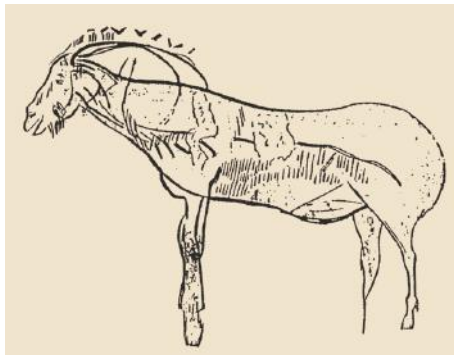


Figure 18: le site de Veyrier est célèbre pour la découverte de bâtons percés en bois de renne, probablement utilisés pour redresser les pointes de sagaie. Une de ces pièces est magnifiquement décorée, d'une gravure représentant un bouquetin. Au dos du même objet, un motif végétal suggère un rameau de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

1.3 – Human occupation of the Geneva site

After the final retreat of the glacier from Geneva, the first people to arrive in the area were hunters of reindeers and wild horses. They belong to the Magdalenian culture (Upper Paleolithic). Walking the Rhône Valley upstream from south to north, they followed the game which was itself attracted by the meager herbaceous vegetation of the type growing in a steppe or tundra. The only arboreal species were the juniper tree, the dwarf willow tree and later the dwarf birch tree.

The camp traces of these hunters have been found in shelters beneath blocks at the foot of the Salève, in the municipality of Etrembières not far from Veyrier. This first human presence dates back to 13'000 years B.C.. These camps were temporary and occupied cyclically or seasonally. The Lake Geneva level was still eight to ten meters higher than at present day. This did not prevent the reindeer hunters to roam the shore of the lake, where water attracted herds of reindeers and wild horses.

The product of the activity of these first «Genevan» people was both modest and very well adapted to their way of life: spear heads made of reindeer horns, scrapers, blades and chisels made of silex, harpoons with remarkably thin barbs. Not forgetting jewellery such as Mediterranean shells or lignite pearls, or everyday objects very nicely decorated.

Figure 18: The Veyrier site is famous for its pierced sticks made of reindeer horns, probably used to straighten the spear heads. One of these is magnificently decorated with the engraving of an ibex. On the back of the same stick, a vegetal pattern suggests a branch of birch tree.



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



Figure 19: While they were passing through the Geneva Basin, the Magdalenian hunters established their camp underneath large blocks of limestone that had fallen down from the Salève cliffs during the retreat of the glacier.

The most appreciated animal species was the reindeer. Its meat provided food, its skin was used to make clothes and its horns were cut into tools and weapons (drawing by André Houot in: Affolter et al. 2012 «La Haute-Savoie durant la préhistoire»).

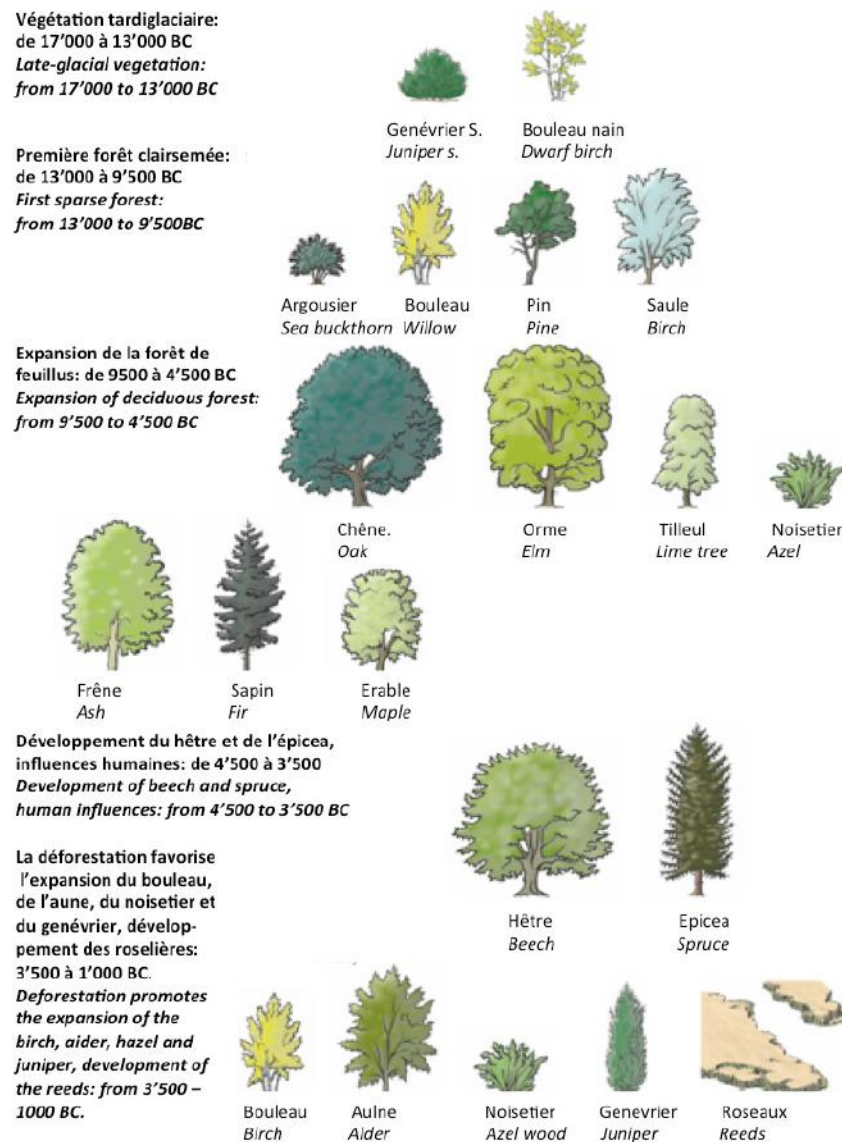
The high density of modern constructions around the lake and ground disturbances undoubtedly erased all traces of human occupation which followed. The climatic warming, which started at around 8500 years B.C., led to an important evolution of the landscape. The sparse arboreal cover was replaced by dense forests where broad-leaved trees dominated, for example the oak tree, the hazel tree, the elm and the lime tree. Cold animal species were replaced by a forest fauna more adapted to this new environment.

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).

Figure 20: Evolution of the vegetation and of the forest cover between the glacier retreat and 1000 years B.C. Represented species correspond to those new ones which appeared in relation with the climate and human influence. The others remained, but in smaller proportions (drawings by Yves Reymond).



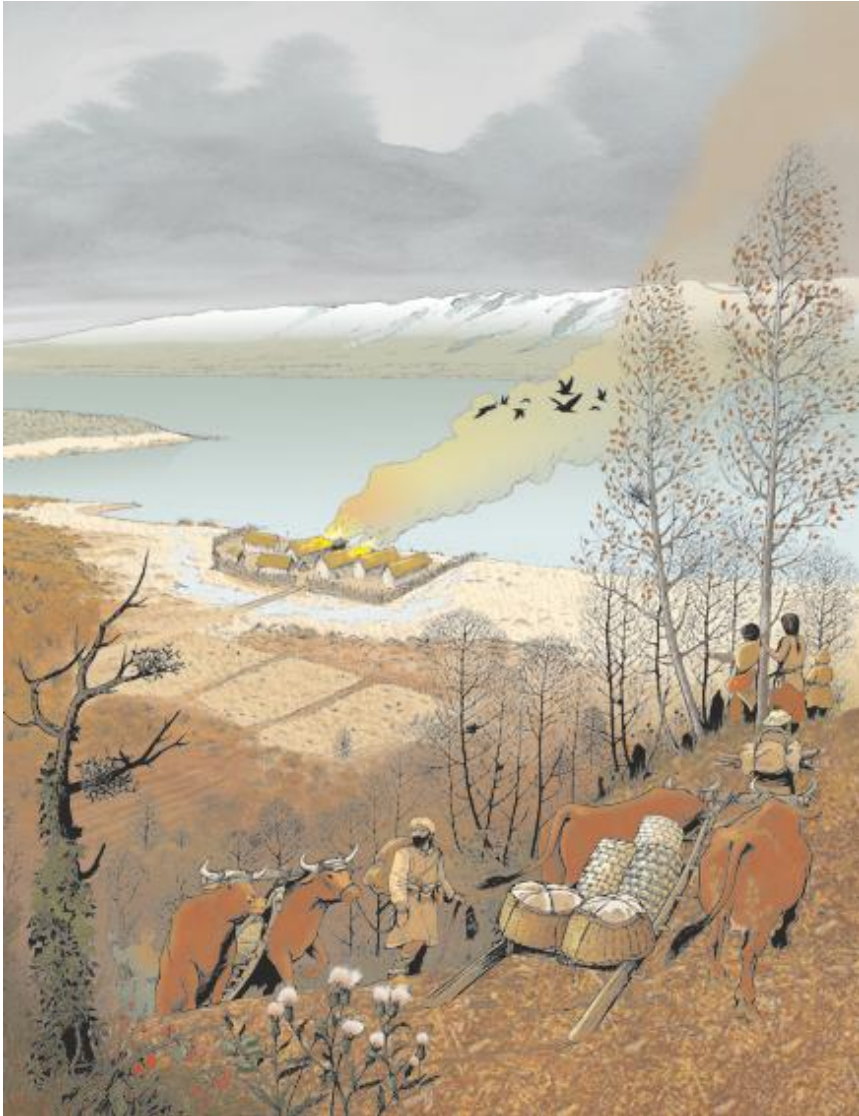


Figure 21: abandon d'un village du Néolithique final (vers 3000-2800 av. J.-C.). Après l'épuisement des terrains de culture alentour, la communauté villageoise abandonne son village des bords du Léman après l'avoir incendié. On distingue autour du village la plage de craie lacustre partiellement envahie 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: Gallay 2008 «Des Alpes au Léman»).

Figure 21: abandonment of a village in the late Neolithic (around 3000-2800 years B.C.). Following the depletion of cultivated soils around the village, the village community leaves its village on Lake Geneva shore after having set fire to it. One can distinguish around the village the lacustrine chalk beach partially invaded by grasses and the marshy zone located between the settlement and the first moraine grounds. The latter are marked by rows of willow, viburnum and sea buckthorn bushes. Abandoned fields are partially invaded by vegetation. Most of the community will catch up with a scouting group already settled down in a new location on the lake shore. This group has already built the first houses and cleared new fields in the forest which is still preserved or has gone wild again (drawing by André Houot in: Gallay 2008 «Des Alpes au Léman»).

The prehistoric man also adapted himself, with a still nomadic way of life, but over a smaller territory between plain and middle mountain sites. Lake shores and marshes were popular camp sites. Some of them are known in the Lake Geneva Basin, but unfortunately not in the Geneva area, which is too developed and where the ground has been too much reworked.

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.

A climatic optimum occurred around 5000 years B.C., during which the average temperature was higher than the present-day one. The first farming communities originating from the Mediterranean region settled down on the Swiss plateau and in Valais. They brought with them the agriculture and cattle breeding which had appeared some 3000 years earlier in the Middle East.

This new way of life coincided with the first impact of man on his environment. Cultivated fields replaced forest cleared thanks to the use of polished stone axes. Villages consisted of wooden houses with cob walls and roofs were covered with cereal thatch or small wooden planks. The occupation of these villages was still reduced to two or three generations of some twenty years each. The depletion of soils close to the settlements forced the inhabitants to periodically move towards new land.

The average level of Lake Geneva at that time was close to the present-day one. Nevertheless, temperature and pluviosity changes induced lake level fluctuations following secular rhythms, reaching a maximum amplitude of up to 9 meters (if one takes also into account seasonal variations).

During periods of relative drought, prehistoric men from the Neolithic and late Bronze Age came closer to the lake and built their villages on the emerged coastal terrace. These settlements are called lakeside settlements or pile dwellings, because their traces are encountered today in the form of thousands of stilts hammered into the soft sediments at the bottom of the lakes, where they formed the foundations of abandoned houses.

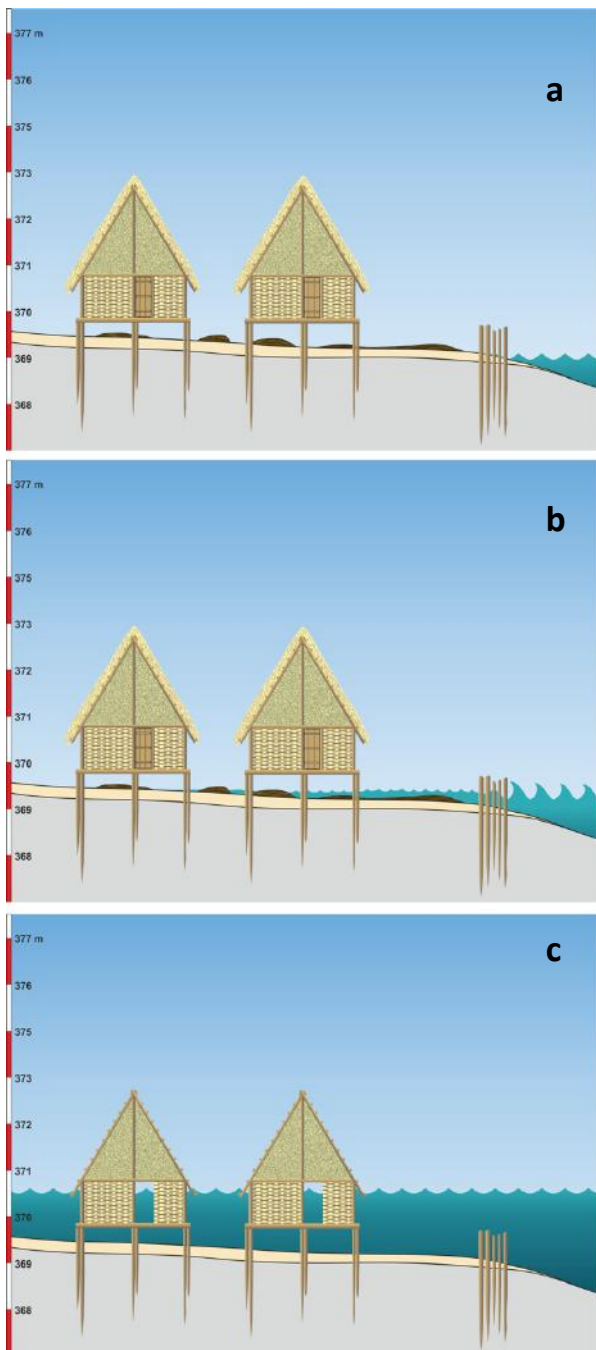


Figure 22 a: pendant des périodes de sécheresse relative, le niveau du lac descend de deux à trois mètres au moins en-dessous du niveau moyen actuel. Les paysans du Néolithique ou de l'âge du Bronze profitent des surfaces riveraines libérées par les eaux pour y construire leurs villages et se rapprocher 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).

Figure 22 a: During periods of relative drought, the lake level fell by least two to three meters below its present-day level. Farmers of the Neolithic or Bronze Age took advantage of the coastal zone freed from water to build up their villages and get closer to the lake. Seasonal lake level rises and storms forced them to construct fences acting as wave-breakers (in order to shield the habitations on the lake side) and to raise the floors of the houses to keep them dry.

b: several times, during periods of high water level in the summer, the lake level rose by less than a metre and waves were pushed towards the village by the local wind (the «bise»). The wave-breaking fence shielded the constructions onshore and the slightly uplifted floors of the houses prevented them from temporary flooding.

c: when the Lake Geneva level rose more and more frequently, house floors were submerged and the lake transgression was too important to permit the continuation of human occupation. Subsequently, the village was abandoned and the constructions were very rapidly destroyed during strong bise storms.

The water level went on rising regularly and each storm continued to dismantle the horizontal structures of the already wrecked houses, even eroding the vertical stilts. Soon, all pieces of the constructions were scattered by waves, except for those piles firmly hammered into the argillaceous ground (Corboud 2012).

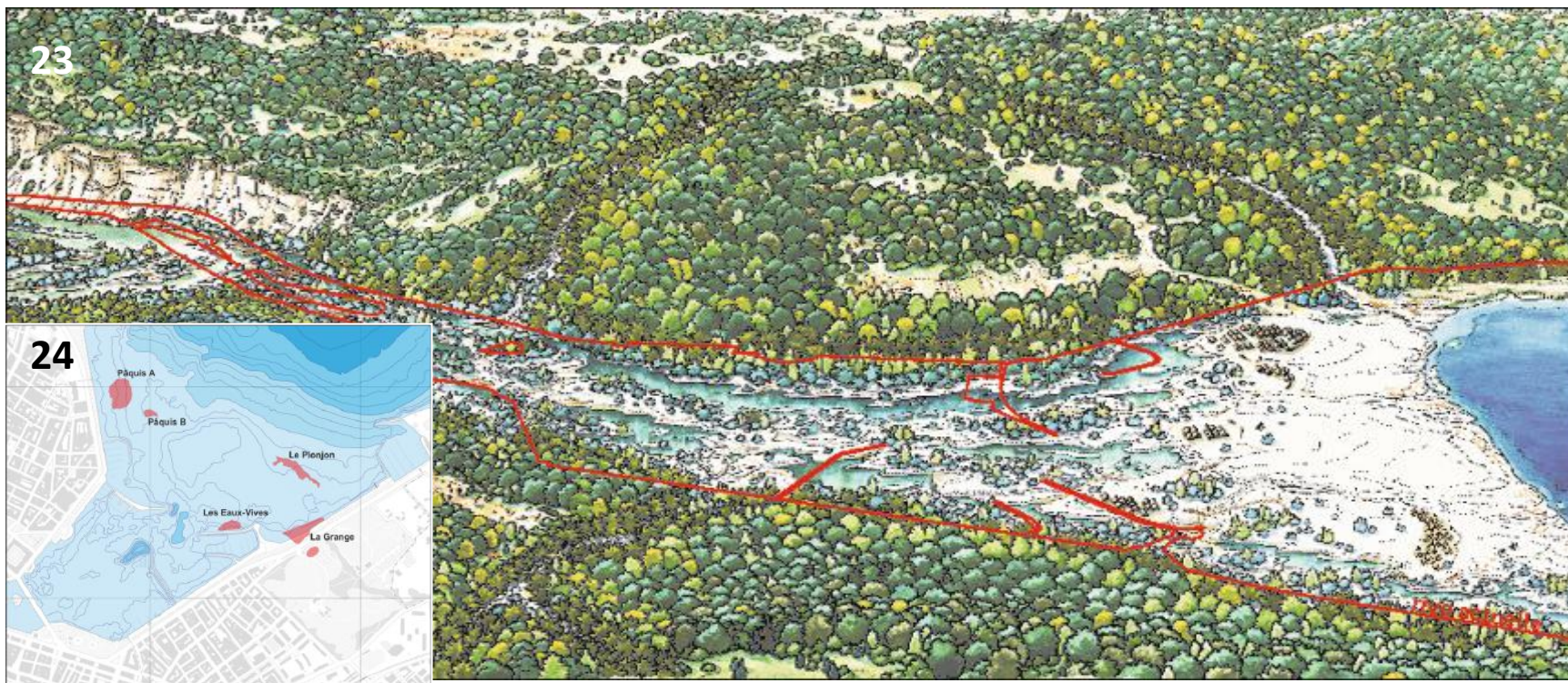


Figure 23: paysage de la Rade de Genève pendant un bas niveau du Léman. Age du Bronze final, vers 1000 av. J.-C. La forêt occupe la plus grande partie de l'espace, avec une majorité de chênes, de noisetiers, ainsi que du hêtre. Dans les surfaces libérées par les eaux, les saules colonisent le terrain, 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 23: Geneva Bay landscape during a period of low lake level (late Bronze Age, around 1000 years B.C.). Forests took up most of the land, with a majority of oak, hazel and beech trees.

In areas freed from water, willow trees were colonizing the ground, whereas flooded shores were occupied by reed areas which gave way slightly higher up to a riverside forest of alder and ash trees.

Farmers grew cereal fields on the first terrace overlooking the lake, after having cleared forested areas. Villages were built on the «Banc de Travers», the vast area freed from water and still uncolonized by vegetation (drawing by Yves Reymond in: 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.

Figure 24: Remnants of five coastal settlements occupied between 4000 and 850 years B.C., are preserved in Geneva Bay.

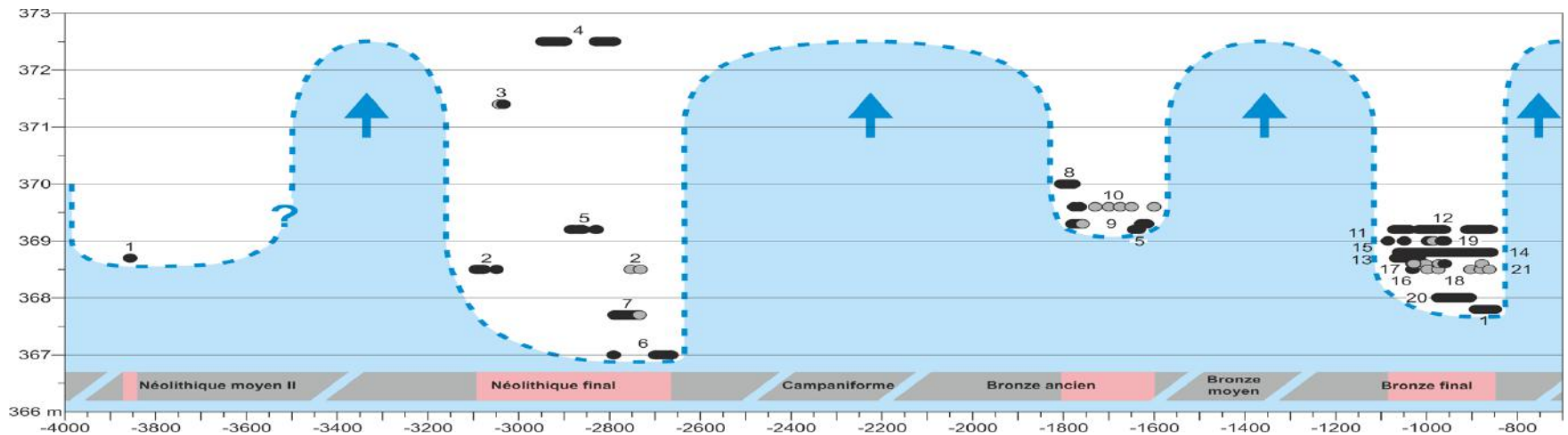


Figure 25: Positions chronologiques des stations littorales lémaniques avec les altitudes du niveau du lac probable pour chaque station. Périodes archéologiques régionales. 1-21 : sites archéologiques étudiés et datés par la dendrochronologie. En gris : datation données avec réserve (Corboud 2012).

Figure 25: Chronological positions of pile dwelling settlements in the Lake Geneva with the probable water altitudes for each station. Local archaeological periods. 1-21 : archaeological sites studied and dated by dendrochronology. In grey : datation with reserve (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!

The Lake Geneva, an «enclosed sea»?

The Rhône River which stopped flowing in Geneva, the Lake Geneva which was stagnant and the level of which fell down to 5 or 6 meters below the present-day level: impossible to imagine this lake as an «enclosed sea». Nevertheless, up to now, neither archaeologists, nor geologists have found a 3 to 4 m deep channel hidden or filled in by sediments broken up by waves, currents or a tsunami, through which the Rhône River would have been able to flow out. Consequently, let's imagine the unthinkable, i.e., that the climate would have been responsible for this situation, keeping in mind the theoretical possibility that a channel might have existed. Anyway, one should not forget that it was not only Lake Geneva that was undergoing low-water conditions, but all of the perialpine lakes, from lakes Neuchâtel, Bienne and Zürich up to Lake Constance and way beyond!

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.

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.

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

Therefore, during periods of low lake level, the Geneva Bay became a favourite zone for settlements, because of its lack of vegetation and proximity to a permanent water supply. During these periods, Lake Geneva had no westerly outflow and the Arve River waters were the only ones to flow in the Rhône river bed.

There are four cultural phases during which prehistoric farmers built their villages on the emerged shores of the lake: the middle Neolithic (4000 to 3400 years B.C.), the final Neolithic (3200 to 2500 years B.C.), the early Bronze Age (1800 to 1600 years B.C.) and finally the late Bronze Age (1080 to 850 years B.C.). These periods are particularly well known, because their remnants are exceptionally well preserved, particularly the objects made of wood and organic matter.

Between these drier phases, prehistoric inhabitants did not leave the region, but moved up their villages to terraces overlooking the lake. Unfortunately, remnants of their presence in these zones have been only rarely preserved.

Around 850 years B.C., deterioration of the climate led to a water level rise of all lakes north of the Alps. From this time onwards, the Lake Geneva level never fell sufficiently low so as to permit the settlement of the Iron Age populations on its shores. Moreover, during the Roman period, the lake reached a level three meters higher than its present-day average. Such a rise can not be explained through a climatic crisis (increase in rainfall and decrease in temperature), but rather through the formation of a natural dam near the confluence of the Arve and Rhône rivers. The formation of such a temporary dam might also have occurred at other times, caused by the collapse of the cliffs in the area of Saint-Jean, opposite the Bois de la Bâtie hill.

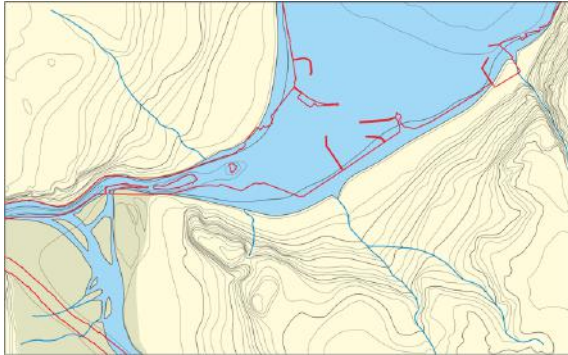


Figure 26: la Rade de Genève pendant un niveau moyen du Léman, vers 372 m. Les rives naturelles ont une emprise plus vaste qu'aujourd'hui.

Figure 26: *Geneva Bay during a phase during which Lake Geneva had an average level of ca. 372 m. Water on the shores covered a larger area than today.*

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.

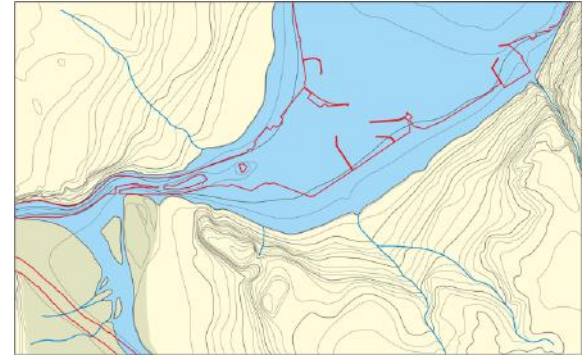


Figure 27: la Rade de Genève pendant un haut niveau du Léman, 3 mètres plus haut que le niveau moyen actuel. Le lac arrive au pied de la colline de Genève, à l'endroit où se trouvait le port gaulois et romain de la ville, au premier siècle av. J.-C.

Figure 27: *Geneva Bay during a period of high lake level, 3 meters higher than the present-day average level. The lake reaches the bottom of the Geneva hill, at the location where the Gallic and Roman harbour was located in the 1st century B.C.*

During the Gallic period the Geneva hill was occupied by a Celtic tribe. The settlement was first a small-size village, but then became a fortified camp: around 100 years B.C., this oppidum had solid walls built by the Allobrogs, a tribe integrated within the Roman province of the Narbonnaise. At the foot of the hill, a harbour was built at the present location of the Longemalle Square, just below the Madeleine Church. The lake level was still high and waters covered the area corresponding to the present-day Rues-Basses. In the year 58 B.C., the Helvetians who occupied the Swiss Plateau decided to migrate to southwestern France, to the north of the Gironde Estuary. The general Jules Cesar, in charge of the Narbonnaise Province, did not want this population of some 263'000 people to cross this territory with all their belongings. He moved to Geneva and had the bridge crossing the Rhône River dismantled, because it acted as the only passage way towards the south. Consequently, the Helvetians had to cross the Jura Mountains,

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 III^e siècle, Genève adopte le christianisme. Un évêché est fondé, qui prendra une place politique grandissante, avec l'installation d'un Prince-Evêque dès le VIII^e siècle. Les vestiges du premier groupe épiscopal, construit entre le III^e et le IV^e siècle, ont été découverts sous la cathédrale Saint-Pierre. Son extension est encore limitée, mais des remparts en maçonnerie le protègent.

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

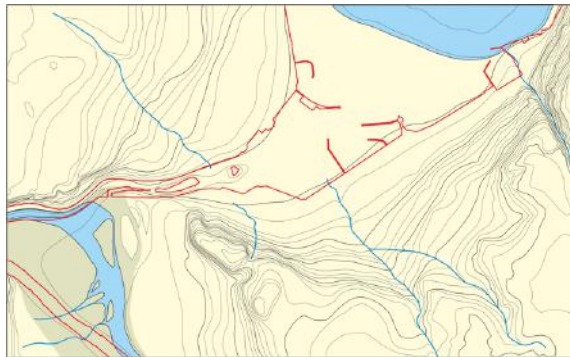


Figure 28: la Rade de Genève pendant un bas niveau du lac, vers 368 à 369 m, soit 3 à 4 m plus bas que la moyenne actuelle. Une vaste surface de sable et d'argile est disponible pour les préhistoriques pour y établir leurs villages, à proximité de la rive. Le Rhône ne s'écoule plus à Genève et l'Arve emprunte l'ancien lit du Rhône.

Figure 28: Geneva Bay during a low lake level at about 368 to 369 m, i.e., 3 to 4 m lower than the present-day average. A vast zone of sand and clay was accessible to the prehistoric settlers to build their villages, close to the lake shore. The Rhône River was not flowing out of the lake anymore and the Arve River flowed within the Rhône bed.

but were defeated by the Roman army at Bibracte (Morvan) and forced to go back to the Swiss Plateau under the pressure of Jules Cesar.

Since that date, Geneva and the Swiss Plateau were under the domination of the Roman Empire. The city was called Genua, a name cited by Jules Cesar in his narrative of the Gallic Wars. This marks the transition between prehistory and history

Thanks to its favorable geographical location and commercial harbour, Geneva City experienced a rapid development. Since the 3rd century, at the fall of the Roman Empire, Geneva adopted the Christian religion. A bishopric was founded, which was to take an increasing political weight with the installation of a Prince Bishop since the 8th century. Remnants of the first episcopal group of constructions built between the 3rd and 4th centuries has been discovered beneath Saint-Pierre Cathedral. Its extension was still limited, but it was protected by stonework ramparts.



Figure 29: groupe épiscopal de Genève au VI^e siècle; vue depuis le sud-est (dessin Gérard Deuber, Service archéologique cantonal).

Figure 29: Geneva episcopal group of constructions in the 6th century, viewed from the southeast (drawing by Gérard Deuber, Canton Archeological Service).

En 1533 le Prince-Evêque 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

From the Early Middle Ages until the Middle Ages, Geneva was enclosed inside its fortifications. The keen interest of its neighbours justified these protective walls.

In 1533 the Prince Bishop had to flee from the city and in 1536 the Reformation was definitely adopted. During the 16th century, the city transformed its system of fortifications by building a network of bastions, which prevented even more strictly the spatial extension of the city. Higher buildings were constructed to accommodate the Protestants who had fled from other European regions where they were persecuted by the Catholics.

From 1350 until around 1850, average temperatures dropped significantly all over Europe. This period is called the «Little Ice Age». Famine affected several low mountain regions.

This long-lasting cooling interval contrasted with the warmer period that predated it around the year 1000 AD and referred to as «Medieval Warm Period». The social and political tensions at the beginning of the 17th century might have been the reasons that encouraged the Duke of Savoy to attack Geneva during the cold night of the 11th to the 12th of December 1602. This aggression was firmly repelled by the Geneva inhabitants and its commemoration led to the traditional yearly celebration of the «Escalade». This war episode highlighted the necessity to have an efficient system of fortifications.

Figure 30: plan de Genève et de ses fortifications, par Nicolas Chalmandrier, entre 1750 et 1790 (Collection Ryhner, Bibliothèque de l'Université de Berne).

Figure 30: Map of Geneva and its fortifications between 1750 and 1790 by Nicolas Chalmandrier (Ryhner Collection, Library of Bern University).





Figure 31: 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 édifée 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'iconographie genevoise).

Figure 31: View of Geneva from the south around 1642 by Matthieu Merian. In the foreground: the Porte Neuve, which had in the front a drawbridge, a bridge over the moat and a barbican, was constructed in 1565. By cutting the rope of the portcullis closing this door, Isaac Mercier prevented most of the Savoyard troops to enter the city in 1602 (BGE, Geneva Centre of Iconography).

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 32: 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 le 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: Construction in 1885 of the Forces Motrices Building in Geneva. In the background, one can observe the hydraulic wheels which supplied energy to various industrial buildings in Saint-Jean: flour-mill, watchmaker and mechanical workshops. The hydraulic machines meant for providing drinking water to the city were moved from the «Pont de la Machine» to new buildings. The first «Jet d'eau» (water fountain) was meant to lower the pressure of unused water (BGE, Geneva Centre of iconography)

From 1830 onwards, large hotels were built on the northern shore of Geneva Bay. They were popular among the British tourists who

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.

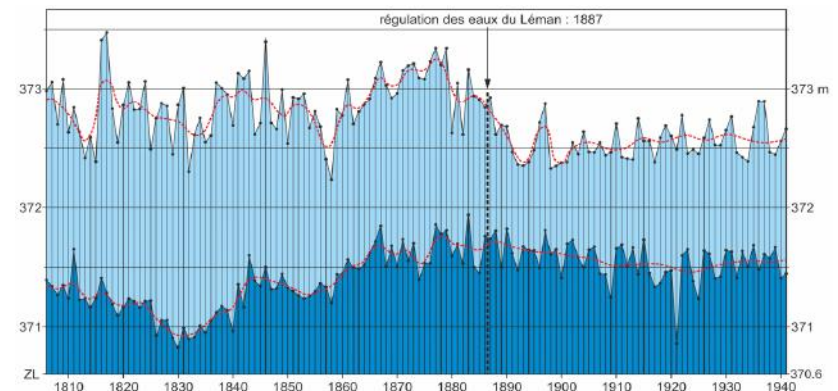
Dès le début du XVIII^e siècle des barrages sont construits à Genève, dans le Rhône, pour alimenter des moulins et fournir l'énergie nécessaire aux nombreux ateliers installés sur son cours. Ces aménagements retiennent les eaux et sont responsables de hauts niveaux du lac. En 1873, l'Etat de Vaud porte 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 33: évolution des niveaux extrêmes du Léman (minima et maxima annuels) , entre 1806 et 1941. Dès 1887: effets de la régularisation des eaux du Léman .

Figure 33: evolution of the minimum and maximum annual levels of Lake Geneva between 1806 and 1941. Since 1887 note the effects of the Lemman water regulation.

enjoyed the Alpine panorama. In the 1850's the need for the city of a military protection had disappeared. The city could demolish its old fortifications and until 1880 extended the urban zone over the area previously occupied by the ramparts. The city was thoroughly transformed, the new living districts built upon the old fortifications constituted the «Fazy Belt», named after the radical politician James Fazy who favoured the opening of the city and its social orientation. This opening also led to the gaining of space on the lake and to the laying out of quays on both shores, where prestigious buildings were constructed which still shape the outline of the bay today.

From the beginning of the 18th century, dams were built in Geneva in the Rhône River to supply water to mills and provide the energy required to operate the numerous workshops located on the river shores. These dams held back the waters and were responsible for the high lake levels. In 1873 the Canton Vaud lodged a complaint to the Federal Court, which led to the so-called «Leman trial» that lasted for nearly ten years. In 1884 this conflict was solved through the signing of a convention between the cantons which defined limits for the variations in water level. The construction of the sluice gates at the «Pont de la Machine» was meant to comply with this convention which was effective since 1887. Since 1995, the Seujet Dam built downstream has replace the wooden shutters of the old sluice gates.



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).

2. Site visits

Starting from the geological and archeological history of the Geneva City area described above in the first part of this guide, this second part is devoted to the visit of typical locations corresponding to different geological periods and to the first urbanization. The order in which sites are described follows first an itinerary through the city. Starting from near the City of Carouge, one walks first along the muddy waters of the Arve River and then climbs on the hill of the Bois de la Bâtie. Then, by walking upstream along the Rhône River, one reaches the Lake of Geneva and the visit terminates at the archeological site located underneath the Saint-Pierre Cathedral. The visitor must plan with approximately 3 to 4 hours to carry out this excursion, depending on the time spent at the different sites. This guide comprises the localization (address, location map and Swiss coordinates for GPS localization), description and interpretation of the sites. A detailed city map with zoom and satellite photo can be found on the following website <http://www.ville-geneve.ch/plan-ville/>

Other sites located outside of the city walk are described after this visit of the Geneva City. Visitors can reach these sites using public transports, except for Site Ge 2, where it is suggested to rent a small rowing or motor boat.

Liste des sites

Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève

- Ge 1.1: L'Arve: une rivière alpine et sa plaine alluviale
- 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
- 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
- Ge 1.4: Barrage et écluse du Seujet: de la régulation du Léman et de la production d'électricité.
- Ge 1.5: Du Pont de l'Ile au Jardin Anglais: les anciennes rives du Léman
- Ge 1.6: La Rade de Genève à la fin du dernier âge glaciaire
- Ge 1.7: Le Delta glacio-lacustre de Saint-Antoine
- Ge 1.8: Cathédrale Saint-Pierre: site archéologique et pierres de construction de la vieille ville de Genève

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

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

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

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

Bibliographie

List of sites

Ge 1: Geological visit of Geneva City

- Ge 1.1: The Arve River: an Alpine river and its alluvial plain 26
28
- Ge 1.2: Bois de la Bâtie: the «Alluvion ancienne», deposits of an old proglacial plain covered by the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier 31
35
36
- Ge 1.3: From the Jonction area, where the Rhône and Arve rivers meet the reservoir lake of Verbois, to the Prieuré de Saint-Jean, where the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier passes underneath the Rhône River and Geneva Lake. 38
41
43
44
46
- Ge 1.4: Dam and sluice gates of the Seujet: to regulate the level of Lake Geneva and the production of electricity 47
- Ge 1.5: From the Pont de l'Ile to the Jardin Anglais: the old shores of Lake Geneva 52
55
- Ge 1.6: Geneva Bay at the end of the last Glacial Age
- Ge 1.7: The glacio-lacustrine delta of Saint Antoine 61
- Ge 1.8: Saint-Pierre Cathedral: archeological site and stones used for the construction of the Old Town of Geneva

Ge 2: Sub-lacustrine quarries of the Old Geneva City in Chambésy

Ge 3: From the Mon Repos Park to the Longemalle Square: variations of lake levels, villages of the Bronze Age and Roman colonization

Ge 4: Vessy: the water table supplying drinking water to the City of Geneva

Ge 5: Allondon River and Roulave Stream: from a Jura-sourced torrent to traces of bitumen in the Molasse

References

Ge 1: Visite géologique de la ville de Genève / Geological visit of the City of Geneva

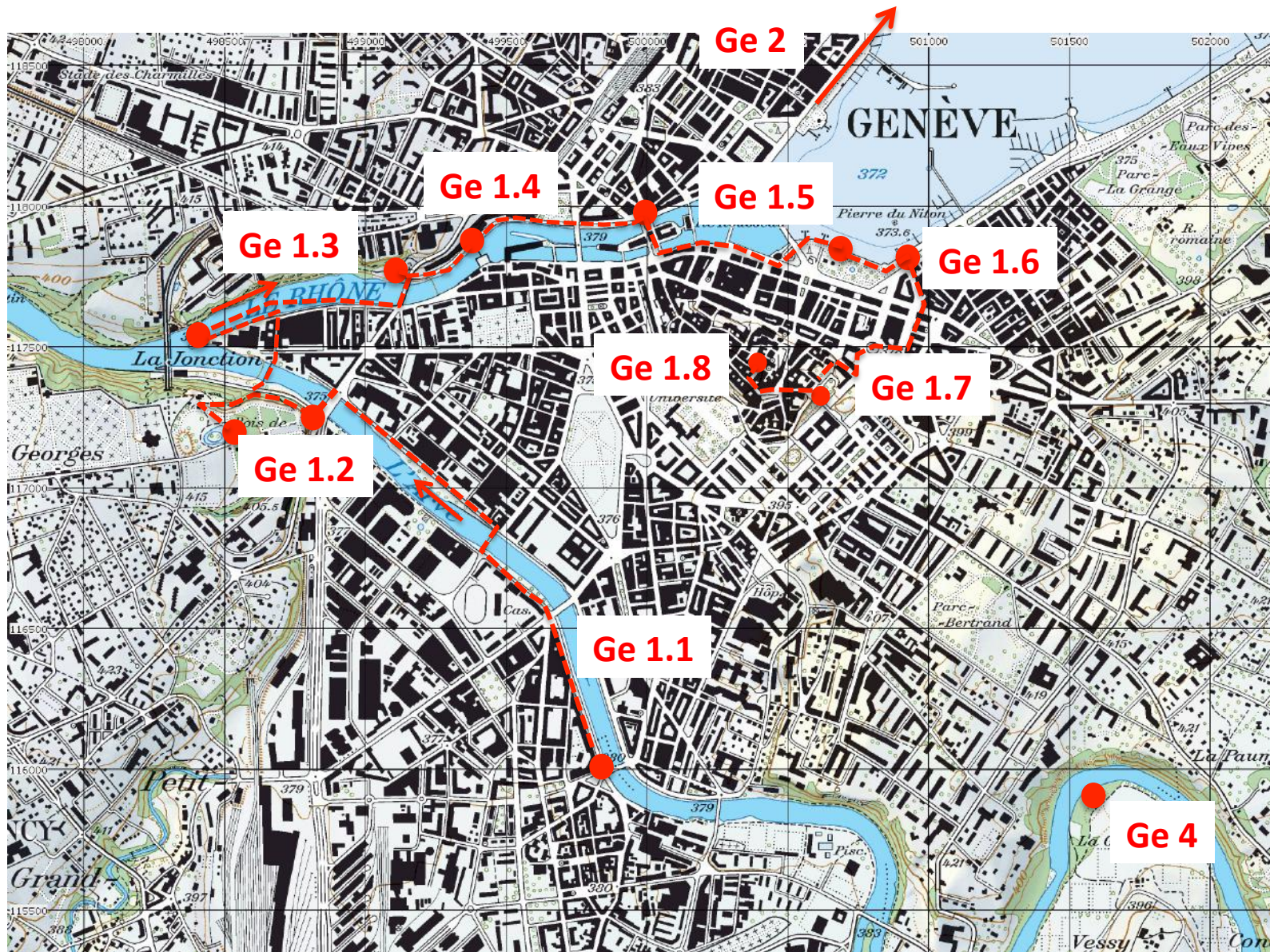


Figure 34: itinéraires et carte des sites **Ge 1**, **Ge 2** et **Ge 4** (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046)). **Figure 35:** Itineraries and map of sites **Ge 1**, **Ge 2** et **Ge 4** (Swiss National Map 1:25'000, sheet Geneva 1301, with the autorisation of swisstopo (BA14046)).

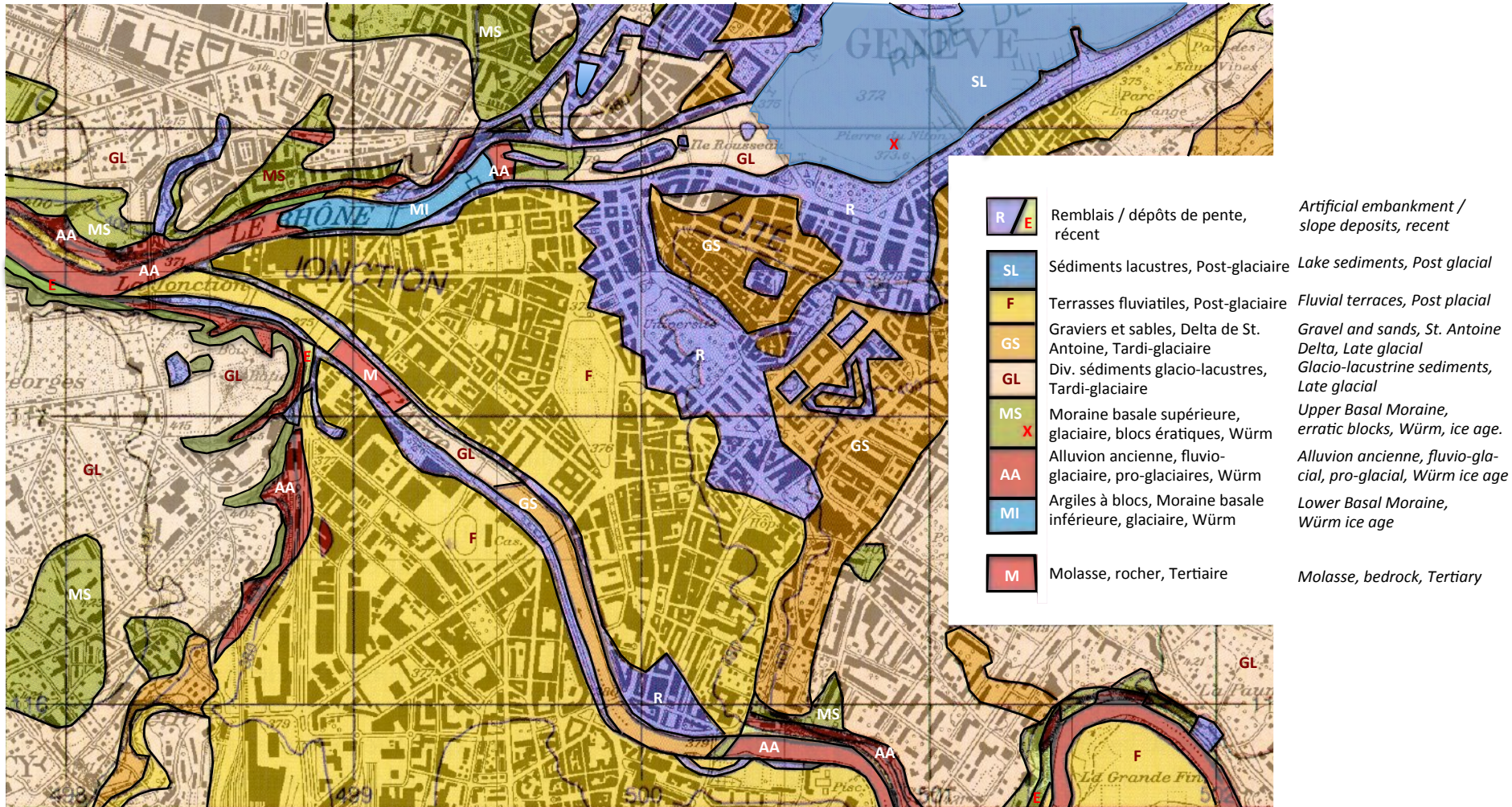


Figure 35: carte géologique simplifiée de la ville de Genève (géologie: modifié d'après Wildi 1993; données de base: Carte géotechnique du Canton de Genève; topographie: Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046).

Figure 35: Simplified geological map of Geneva City (geology: modified after Wildi 1993; data: Geotechnical map of Geneva; topography: Swiss National Map 1:25'000, sheet Geneva 1301, with the autorisation of swisstopo (BA14046).

Ge 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 m³/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 m³/seconde, avec un minimum autour de 10 m³/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 m³/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»

Ge 1.1: The Arve River: an Alpine river and its alluvial plain

Localization: From the Octroi Square (coordinates : 499 800/115 980, tramway no. 12 stop «Armes» in Carouge) to the Saint-Georges Bridge (coordinates: 498 910/117 350).

Web: <http://www.fgsp.ch/Rivieres/Arve/Arve.htm> (detailed descriptions, history, constructions, nature), <http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/> (Arve River flows).

Itinerary: from the Armes Square towards the Arve River up to the Octroi Square, then one follows the river downstream up to the new Hans Wilsdorf Bridge, and then, on the right bank, up to the Saint Georges Bridge (at the base of the Bois de la Bâtie hill).

The Arve is an Alpine river. Its average flow, at the hydrographical station of the Bout du Monde (upstream of Geneva City), is of 78 m³/sec. From December till January or February, a large part of the water is retained as snow in the Mont Blanc Massif. In periods of low waters, the river flow drops below 20 m³/sec, with a minimum at around 10 m³/sec, and from Carouge to the Hans Wilsdorf Bridge downstream the bedrock made of pebbles and rocks becomes visible (fig. a). This river bed and the embankments on both sides of the river result from containment and correction works carried out at the end of the 19th century, in particular after the 1888 flood which reached a record flow rate of 1136 m³/sec (fig. b). Other floods took place on 14th April 1970, 1st July 1974 and 22nd-23rd May 1980. The river presents an essentially snowmelt-dominated regime with pronounced floods in the spring, but also after summer thunderstorms or autumn rains. During the summer, the melting of glaciers contributes significantly to the river flow. The river is often loaded with sands and silts, which originate either from glacial erosion in the summer (« glacial milk » of grey colour), or from soil erosion (brown colour). A

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 centennaires 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 sab-leuse des crues annuelles. Prise de la photo en automne 2013 par un débit de 38 m³/sec.

Figure a: Rocky bed of the Arve River upstream of the Hans Wilsdorf Bridge. On the right bank of the river one can observe the narrow sandy terrace resulting from the annual floods. Photo taken in autumn 2013 with a river flow of 38 m³/sec.

large part of these sediments are deposited within the reservoir lake of Verbois, the dam being located 8km downstream of Geneva City. The influence of the dam can be observed up to the upstream side of the Saint-Georges Bridge, i.e. between the latter bridge and the Hans Wilsdorf Bridge. On the right bank of the Arve River, small terraces of fine-grained sandy sediments indicate the water level reached by the annual floods. Centennial floods infill completely the man-made contained channel, whereas millennial floods may flood the areas of Geneva City and the City of Carouge located on the fluvial terrace of the Arve River.

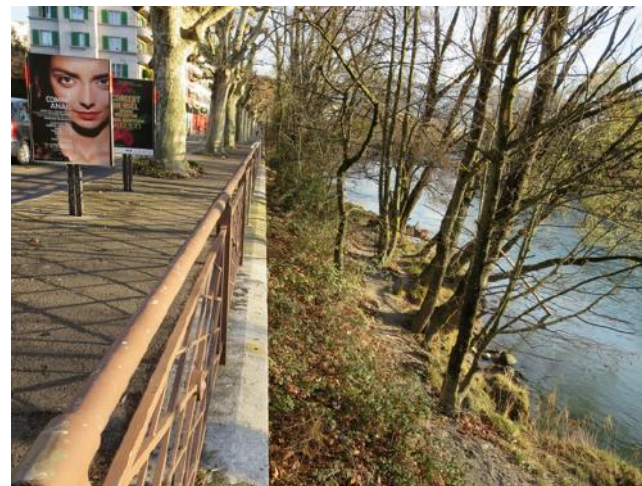


Figure b: digue du Quai Ernest-Ansermet, en rive droite de l'Arve; vue à contre-courant. Ces constructions protègent les quartiers de Plainpalais et de la Jonction des crues centennaires et millénaires.

Figure b: upstream view of the Quai Ernest-Ansermet embankment, on the right bank of the Arve River. This man-made construction protects the areas of Plainpalais et La Jonction from centennial and millennial floods.

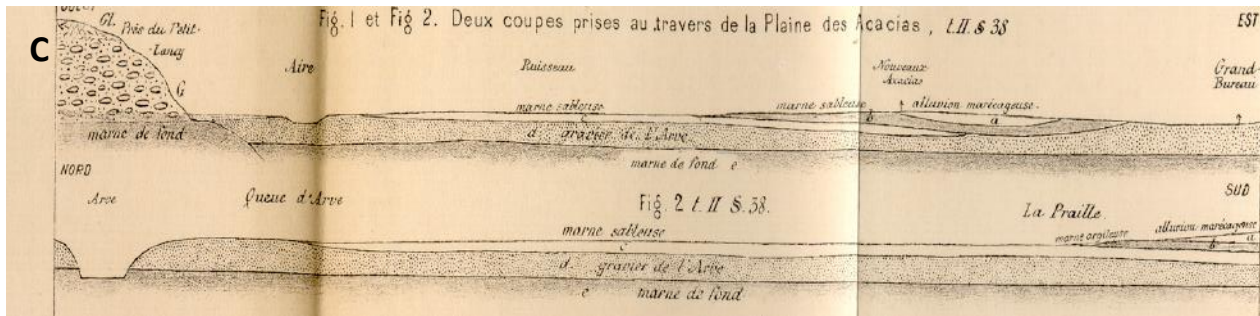


Figure c: coupe géologique de la terrasse fluviale de l'Arve aux Acacias (Alphonse Favre 1879, planche III). A proximité de l'Arve, la terrasse est composée exclusivement de graviers de l'Arve. Vers les bords de la terrasse (quartier de la Praille), des limons palustres (dépôts d'étangs) et des limons 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 c: Geological cross-section of the Arve River fluvial terrace in Les Acacias (Alphonse Favre 1879, plate III). In the vicinity of the river, the terrace is made only of Arve gravels. Towards the edges of the terrace (area of La Praille), paludal silts (marsh deposits) and slope silts brought down from the Lancy Plateau are overlying the gravels of the fluvial terrace. Underneath the Arve gravels, at a few meters depth, one can observe black-coloured silts and fine-grained sands deposited after the glacial retreat in the «proglacial» lake (i.e., located at the front of the glacier). This lake was constrained by the relief of the Bois de la Bâtie, the Rhône River gorge being not yet present at that time.

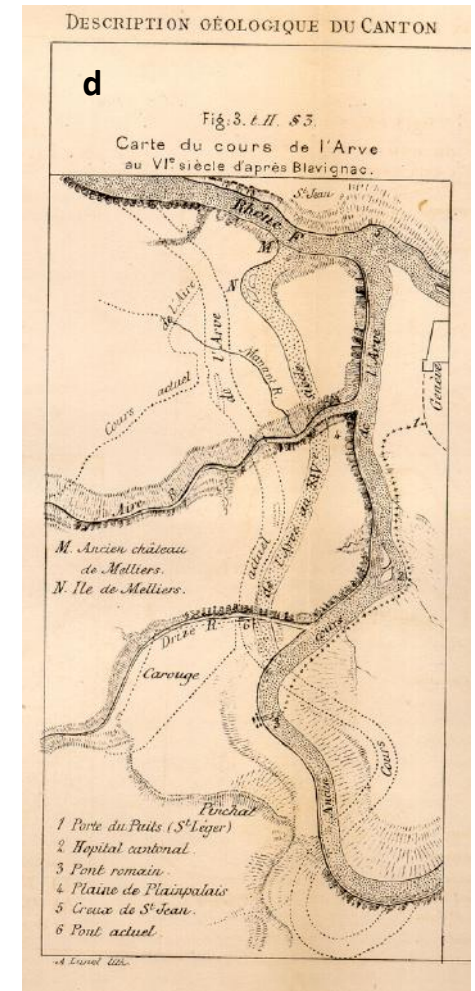


Figure d: «carte du cours de l'Arve au VI^e siècle d'après Blavignac» (Alphonse Favre 1879, Planche I). La figure montre la migration du chenal de l'Arve sur sa plaine alluviale au cours du temps. Le chenal de la rivière aurait migré, depuis l'époque romaine, du pied de la butte de la Cité de Genève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

Figure d: «Map of the Arve River course in the 6th century after Blavignac» (Alphonse Favre 1879, Plate I). This figure shows the migration of the Arve River channel over its alluvial plain through time. The river channel would have migrated since Roman times from the base of the Geneva Old City hill towards the other end of the Plaine de Plainpalais, at the base of the Bois de la Bâtie relief.

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).

At the end of the last glacial age, since some 22'500 years before present (calibrated C-14 age), the Arve River has progressively filled the lake located between the Geneva Old City hill, the relief of the Bois de la Bâtie and that of the Saint-Jean area. The City of Carouge and the districts of Les Acacias, Plainpalais and La Jonction in Geneva City are located on the alluvial terrace of the river. The river flows either on the glacio-lacustrine silts (fig. c), or on its own gravely terrace, or on Molasse outcrops that can be seen in the river bed (during low level periods) upstream of the Saint-Georges bridge (see geological map in fig. 17).

Crue centenaire de l'Arve, mai 2015

Une crue qui restera dans les mémoires (<http://ge.ch/eau/actualites/crue-historique-de-larve-levee-des-dernieres-restrictions>)

« Une crue est qualifiée de centennale lorsqu'elle atteint une ampleur qui ne se produit statistiquement qu'une fois par siècle. C'est bien un évènement record qui a frappé Genève au début du mois de mai 2015, dépassant toutes les valeurs consignées de façon systématique depuis 1935.

Il a pour origine les intempéries qui ont touché le massif du Mont-Blanc : dans la haute vallée de l'Arve, les précipitations ont atteint le 1er mai entre 90 et 150 litres d'eau par mètre carré. A ces pluies exceptionnelles s'est encore ajouté l'effet de la fonte printanière des neiges.

C'est dans la partie aval du cours d'eau - où s'additionnent les apports de tous les affluents du bassin - que l'impact de cet afflux d'eau massif a été le plus marqué. Ainsi, en l'espace de trois jours, Genève a vu passer trois crues successives dont la plus importante, culminant le samedi 2 mai 2015 au matin, a dépassé un débit 900 m³/s – presque 12 fois le courant habituel de l'Arve à cette saison !

Charriant de nombreux débris, les eaux tumultueuses du cours d'eau ont alors constitué un risque pour certains ouvrages riverains dont l'accès a dû être restreint. L'Arve a atteint au plus haut de la crue une cote de plus de 3 m au-dessus de la normale. Pour éviter les débordements, le débit du Rhône a été réduit, la Léman fonctionnant alors comme une retenue.

Le 6 mai, la période la plus critique s'est achevée et la décrue de l'Arve s'est amorcée, son débit étant redescendu à 300 m³/s. L'enjeu s'est alors déplacé sur le Rhône afin de permettre au lac, qui avait atteint dans l'intervalle sa cote maximale, de retrouver progressivement un niveau normal, ce qui pourrait nécessiter encore plusieurs semaines.

Quant aux amoncellements de branchages créés par la crue le long de l'Arve et déposés en grande quantité par endroit, ils font à présent partie de la vie du cours d'eau et seront à ce titre laissés en l'état, à l'exception des cas où ils devraient fragiliser les ouvrages d'art. »

Centennial flood of the Arve river, May 2015

A flood that will be remembered (<http://ge.ch/eau/actualites/crue-historique-de-larve-levee-des-dernieres-restrictions>)

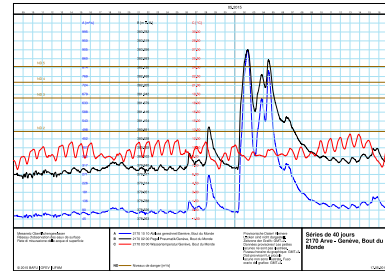
"A flood is described as Centennial when it reaches a magnitude that statistically occurs once in a century. This is a record event that hit Geneva in early May 2015, exceeding all values recorded since 1935.

At its origin is the weather that affected the Mont-Blanc in the upper valley of the Arve. On May 1, rainfall reached between 90 and 150 liters of water per square meter. The effect of the spring snowmelt added to the effect of this exceptional rainfall.

It is in the downstream part of the river – where the contributions of all the tributaries of the basin add up - that the impact of this massive water inflow has been most marked. Thus, within three days, Geneva has seen three successive floods, the most important culminating Saturday, May 2 in the morning, exceeded a flow of 900 m³/s - almost 12 times the usual flow of the Arve during this season! Spooling a lot of debris, waters of the river then constituted a risk for some shoreline works; therefore, access has been restricted. The Arve reached the highest level of more than 3 m above normal. To avoid overflow, the flow of the Rhone has been reduced, while Lake Geneva operated as a reservoir to retain water from the Rhone water shed.

On May 6, the most critical period ended and the decline of the Arve started, its flow decreased to 300 m³/s. The challenge then moved on the Rhone to allow the lake, which had risen in the meantime to its maximum level, to gradually return to normal levels, which could still take several weeks.

As for the piles of branches created by the flood along the Arve and accumulated in large quantities by location, they are now part of the life of rivers and as such will be left as is, to the extent where they could weaken structures. "



Débit, niveau et température
<http://www.hydrodaten.admin.ch/>



Pont de Carouge / Carouge bridge



Pont Willsdorf / Willsdorf bridge



Confluence Rhône-Arve



Ambiance de crue / flood ambiance



Ambiance de crue / flood ambiance

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 «orpilleur/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'orpilleur accordée par le châtelain de Gex.
- XV^{ème} siècle: 4 orpilleurs disposent en 1471 d'une concession du Duc de Savoie pour exploiter les sables aurifères de l'Arve au niveau des Îles d'Aire 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 orpilleurs 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>).

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

Gold washing: gold diggers in the Geneva rivers

Alpine granitic rocks contain gold in small quantities. Nevertheless, it is not in these rocks that one goes to look for it, but in their weathered and eroded products. Indeed, gold is present as small flakes in the sands deposited by the rivers draining the Alpine massifs, as well as in the sand deposits and moraines from the last glacial age. Gold is characterized by its high density, i.e., 19.3 g/cm^3 («19.3 density»), with respect to the 2.7 g/cm^3 of the continental crust, granitic rocks and gneisses of the Alps. Because of this large difference in density, gold flakes can be separated from the sands through a washing process: one places two to three handfuls of sand in a special hollow pan, that looks like a Chinese «wok». The gold digger (or «gold panner») adds water from the river, makes it swirl in the pan and overflow to get rid of the sand. When the amount of sand is reduced, one might have the chance to see gold flakes shining at the bottom of the pan.

A little bit of history (simplified after <http://www.riviere-arve.org/usages/orpaillage-sur-arve.htm>)¹:

- 1397: first mention of a gold panner concession given by the feudal lord of Gex.
- 15th century: in 1471 four gold panners had a concession granted by the Duke of Savoy to exploit the gold sands of the Arve River at the level of the Aïre islands near Geneva.
- In 1477 a licence was granted to 12 gold diggers for a sum of 12 pounds per year.
- In 1651, following a large flood, Pierre Amyrant was authorized to start a gold digging business on a large scale in the Arve River from Conches down to the confluence with the Rhône River, but this undertaking failed and the lease was terminated in 1658.
- In 1682 Mr. Jean Frezely asks the Council of the Geneva Republic for permission to dig the Arve River alluvial deposits and put up smelting works in order to transform gold flakes into ingots.
- Near the middle of the 18th century, a strong decline in gold washing is observed in the region as well as in the whole of Europe.
- The last gold panners of the Arve River disappeared around 1900: their work brings in at that time three to four francs a day.

Nowadays, gold washing in the Canton Geneva rivers requires a permit. The latter can be obtained only for the months of May, June and September (<http://ge.ch/nature/formulaires/activites-de-loisirs-en-riviere-ou-dans-des-sites-protectes-hors-foret>). For an initiation to gold washing we recommend the following address: <http://www.thierrybasset.ch>.

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



Demonstration of gold washing during the «Nuit de la science» 2012

Ge 1.2: Bois-de-la-Bâtie: l' «Alluvion ancienne», dépôts d'une ancienne plaine alluviale pro-glaciaire 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



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

Figure a: Rock falls and small rock slide (g) between the «Alluvion ancienne» cliff (a) and the path

Ge 1.2: The Bois de la Bâtie: the «Alluvion ancienne», deposits of an older, pro-glacial alluvial plain overlain by the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier

Localization: Bus/tramway stop «Jonction» of the bus/tramway TPG lines 2, 4, 11, 14, 19, D; start from the Saint Georges Bridge, left bank (coordinates : 498 830/117 270) to the wildlife park of the Bois de la Bâtie, (coordinates: 498 450/117 160).

Itinerary: Cross the Saint Georges Bridge and take the pedestrian/bike path going up towards the Saint Georges Cemetery. At the Café de la Tour turn left towards the wildlife park.

The steeply dipping slope linking the plateau of the Bois de la Bâtie to the Arve River bank is the result of erosion. The framework of the slope, with occasional cliffs outcropping, is made of the '«Alluvion ancienne» conglomerates. At the bottom of these cliffs one finds fallen rocks, made of pebbles from the conglomerates, as well as rock slides from the conglomerate (fig. a). About halfway up the slope, the path crosses the conglomerate cliff (fig. b and c).



Figure b: conglomérat et sable fortement cimentés par un ciment calcaire (CaCO₃), formé par précipitation des eaux interstitielles.

Figure b: Strongly cemented conglomerate and sand. The calcareous (CaCO₃) cement is precipitated from interstitial waters.



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

Figure c: Cliff of «Alluvion ancienne» conglomerates by the path.

The conglomerate is made of more or less rounded pebbles, the size of which varies from 1 to 15 cm. The conglomerate forms 1 to about 3 m thick bars, which may thin out and disappear laterally. Dm-thick sandy intervals are intercalated between the bars.

Maître et Vergain (1992) have dated precipitation phases of the conglomerate calcareous cement, using the carbon 14 method. They found a maximum age older than 35'000 years. It is evident that the age of the formation of the «Alluvion ancienne» and that of the first cementation dates back to a period between two glacial advances, i.e., between the formation of the Lower Basal Moraine and the Intermediary or Upper Basal Moraine, during the second part of the last glaciation (Würm). The last cementation phase is postdates this glaciation.

The «Alluvion ancienne» corresponds to deposits of a braided river downstream of the Rhône Glacier. At the time of deposition the glacier was located in the area of Chêne-Bourg, upstream of Geneva City.

Walking up the path towards the Saint Georges Cemetery, a change of slope marks the top of the « Alluvion ancienne » cliff. Below the leaves along the path, one can observe a clayey and sandy matrix incorporating rounded pebbles and blocks (fig. f and g). These deposits are called « argiles à blocs » (« clays with blocks ») in the Geneva terminology. They correspond to the merged Intermediary

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

Maître 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.

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.

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).



Figure d and e: Braided river downstream of the Mont Miné Glacier (Valais). Source of the river (above) and alluvial plain (left). The different channels of the river are shallow and separated by sedimentary bars made of gravels with large pebbles. During periods of high waters (snow melting), the alluvial plain is covered by water and sands are deposited on top of the sedimentary bars.

and Upper Basal moraines which cover the Bois de la Bâtie Plateau and the whole Saint Georges and Lancy Plateau.

This moraine has a very low permeability. Consequently it retains rain water and forms an ideal bed for the pond of the wildlife park (fig. h).

This glacial formation may often be masked through some centimeter- to decimeter-thick lacustrine clays and silts, deposited in a lake during the glacier retreat.

Basal moraines form at the base of glaciers, where the latters release the fine «abraded» material and blocks pulled out through the

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 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.

movement of the glacier on the rocky bed. Fig. i shows an example of such a moraine formed underneath an Alpine glacier. Usually, the fine material of basal moraines on the Swiss Plateau contains less pebbles and sands, and more clays and silts, than shown in this example.



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).

Figure g : landslide in the Upper Basal Moraine downstream of the Nant-Manant footbridge (photo taken from coord. 498 560/116 930).

Figure f: Upper Basal Moraine in the stream upstream of the Nant-Manant footbridge (coord. 498 550/116 930). Rounded pebbles have rolled in the glacial torrent before being incorporated into the moraine clayey and sandy matrix. The composition of the pebbles allows the tracing of their origin to the Alps. In the photo, dark green coloured pebbles come from the Zermatt – Saas Fee Zone in Valais. The surface of some pebbles was scratched through the friction with other rock fragments at the base of the moving glacier.



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.*

Ge 1.3: 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



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: From the Jonction, where the Rhône and Arve rivers meet the reservoir lake of the Verbois Dam, to the «Prieuré de Saint-Jean», where the Upper Basal Moraine of the Rhône Glacier passes underneath the Rhône River and Lake Geneva

Localization: From the «Pointe de la Jonction» (coordinates: 498 390/117 500) to the ruins of the «Prieuré Saint-Jean» (coordinates: 499 150/117 800).

Itinerary: Walk down from the Bois de la Bâtie towards the Arve River and cross it using the La Jonction footbridge; walk to the Rhône River bank and then downstream up to the Pointe de la Jonction. Then walk upstream the Rhône River and cross it using the Sous-Terre Bridge and enter the small park on the right bank where the ruins of the « Prieuré de Saint-Jean » are located.

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, 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 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).

Figure a: Confluence of the Rhône (left) and Arve rivers (right) at the «Pointe de la Jonction». On this photo the Arve River is in flood following heavy rains and carries an important load of sediments coming from soil erosion. On the right handside the relief of the Bois de la Bâtie, and on the left handside the cliffs and area of Saint-Jean (photo: Jean-Luc Loizeau).

Where it flows out of Lake Geneva, the Rhône River carries only little suspended solid material, and this mainly during windstorms from the east (wind called the «Bise») when waves rework lacustrine sediments in the Geneva Bay. Consequently, downstream from Geneva City, most of the sedimentary load in the Rhône River comes from the Arve River. It is either reworked soil material or sands and silts originating from the glacial abrasion in the Mont Blanc Massif (fig. a). By contrast, only little gravel is transported by the Arve River nowadays, because this resource has been used as construction material until very recently in Haute Savoie (France). This exploitation stopped following the signature of a « river contract » in 1995, and one can expect the return of gravels up to La Jonction in the forthcoming years.

From the « Pointe de la Jonction, one walks upstream on the left bank of the Rhône River. One goes alongside the old front of the Arve alluvial plain towards the Rhône River, where the Arve River was in the past pouring out gravels in the Rhône River bed and was purging

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**.

Figure b: Old fan of the Arve alluvial plain towards the Rhône River and erosive edge of the Saint-Jean cliffs (red dashed line). For reference, see fig. d of the **Ge 1** itinerary.



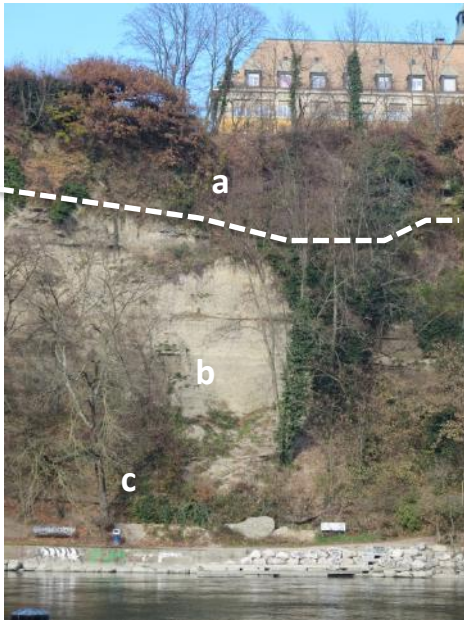


Figure c: falaise de Saint Jean: a) Moraine basale supérieure, b) Alluvion ancienne, c) éboulis et éboulements de blocs

Figure c: *Saint-Jean cliffs: a) Upper Basal Moraine, b) «Alluvion ancienne», c) fallen rocks and blocks*

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.



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.

Figure d: *Pont Sous-Terre and Prieuré de Saint Jean, the contact between the Upper Basal Moraine and the Alluvion ancienne plunges underneath the Quai du Seujet. a) Upper Basal Moraine, b) Alluvion ancienne, c) Prieuré de Saint Jean.*

it progressively towards the Saint-Jean cliffs (fig. b). Large conglomerate blocks and fallen rocks at the foot of the Saint Jean cliffs (fig. c) testify to the active erosion of these cliffs. Through time, the infill of Arve gravels and rockfalls from the Saint-Jean cliffs may have led to the elevation of the Rhône River bed, and subsequently to an elevation of Lake Geneva level caused by the position of this sill.

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).

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.

The Upper Basal Moraine, which forms the upper part of the Saint Jean cliffs becomes topographically lower and lower upstream of La Jonction and near the Pont Sous-Terre, passes underneath the Quai de Seujet and the river (fig. c). The basal contact of the moraine is erosive resulting from glacial abrasion. This lowering of the moraine below the Rhône River bedrock and then below Lake Geneva can also be observed on the geological map (fig. 35).

Ge 1.4 (1): Dam and sluice gates of the Seujet: control of Lake Geneva level and electricity production

Localization: right bank of Rhône River (coordinates: 499 400/117 850).

Itinerary: from the Prieuré de Saint Jean pass underneath the Sous-Terre Bridge et walk upstream along the Rhône River (right bank).

The level of Lake Geneva is controlled since 1884, following the convention signed by the cantons of Vaud, Valais and Geneva. This agreement was meant to control and stabilize the level of Lake Geneva throughout the year. In the spring, the level is temporarily lowered to create the volume needed for the intake of melting waters from the Alps. According to this agreement, Geneva is in charge of keeping the lake level within a specific range, using a specific regulation device (fig. a).

The first regulation installation was that of the La Machine Bridge, located 800 m upstream of the Seujet site. A set of wood shutters fixed to the bridge allowed the manual regulation of the Rhône River,

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

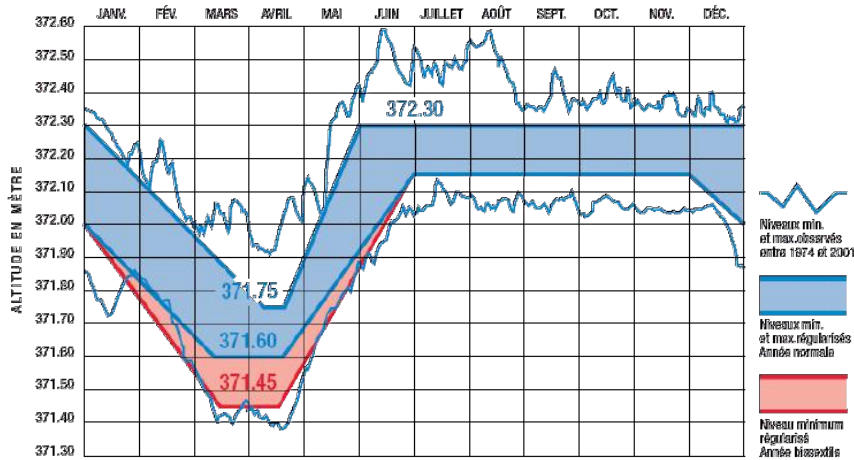


Figure a: régulation du niveau du Léman par les Services Industriels de Genève (www.geneve.ch/nature).

Figure a: Regulation of Lake Geneva level by the Services Industriels de Genève (www.geneve.ch/nature).

and consequently of the lake level. This device was used until the construction of the Seujet Dam in 1995.

Nowadays, the Seujet installations provide the following services (fig. c) and d):

- Regulation of Lake Geneva level according to the 1884 convention.
- Local production of electricity (3 turbines).
- Flow regulation of the Rhône River towards the hydroelectric plant of Verbois and regulation of electricity production.
- A sluice permitting the passage of boats between the lake and the river.
- Fish ladder

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).



Figure b: The La Machine Bridge at the time when the Lake Geneva regulation was carried out through metal shutters underneath the bridge. This device, totalling 39 larch-wood shutters was constructed in 1887 (photo: view from the Belair Island, 1988).



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.

Figure c: Dam and sluice of the Seujet, downstream view from the left bank of the Rhône River; a) sluice, b) gates regulating the river flow and Lake Geneva level, 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).

Owing to the Seujet plant, Lake Geneva is presently being used as a reservoir lake through the hydroelectric plant of Verbois. Indeed, during hours of high electricity consumption, the Services Industriels de Genève open the gates at the Seujet, which leads to a high electricity production at the Verbois plant, 8 km downstream (essentially during working days). By contrast, during week-ends and nights, the river flow is considerably reduced at the Seujet (fig. d). Nevertheless, the contribution of the Arve River flow to the Rhône River can not be regulated with this installation. The production capacity of the Seujet plant is of 5.6 MW, and that of the Verbois Dam of 100 MW (www.sig-ge.ch).

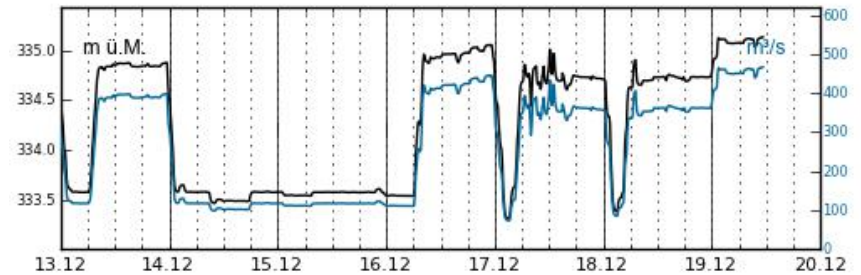


Figure d: Mesure du niveau (courbe noire) et du débit (courbe bleue) du Rhône à Chancy («Aux Rippes») en aval de Genève. La forte variation des débits provient de la régulation de l'écoulement au Seujet. (Données: www.hydrodaten.admin.ch/fr/).

Figure d: measure of the Rhône River flow at Chancy (place called « Aux Rippes ») downstream of Geneva City. The strong flow variations are caused by the flow regulation at the Seujet.

Ge 1.5: 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.,



Ge 1.5: From the Pont de l'Île to the Jardin Anglais: the old shores of Lake Geneva

Localization and itinerary: the walk starts at the Pont de l'Île which links the two banks of the Rhône River (coordinates: 500 000/117 950). From there, one walks upstream towards the Jardin Anglais, on the left (southern) shore of Lake Geneva (coordinates: 500 650/117 850).

In the «History of Geneva» Alfred Dufour wrote: “The first time that the name of Geneva appears in historical records is in the writings of one of the most famous Roman historians and politicians, Jules Cesar. Indeed, Cesar, who at the same time presents a striking portrait of the Helvetians at the beginning of his «Commentaries on the Gallic Wars» (De Bello Gallico) in 52 B.C., indicates that the only bridge linking the Helvetian land with that of the Gauls is located where the Rhône River flows out of Lake Geneva. Informed of the Helvetian project to settle down in this area, he reached Geneva to block the way to them”. This « place where the Rhône River flows out of Lake Geneva » did not correspond to the present-day termination of the lake at the level of the Mont Blanc Bridge, but was located downstream by the Belair Island, as shown in the landscape reconstitution in fig. a) for the so-called Atlantic Period. At that time, the lake level was located at an altitude of approximately 372 m amsl, close to the current level. This can be explained on one hand by

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 a: Reconstitution of the outlet of Lake Geneva during the Atlantic period (3800 till 7500 years before present time (drawing by Yves Reymond from the prehistoric archeology division of the Institut Forel).

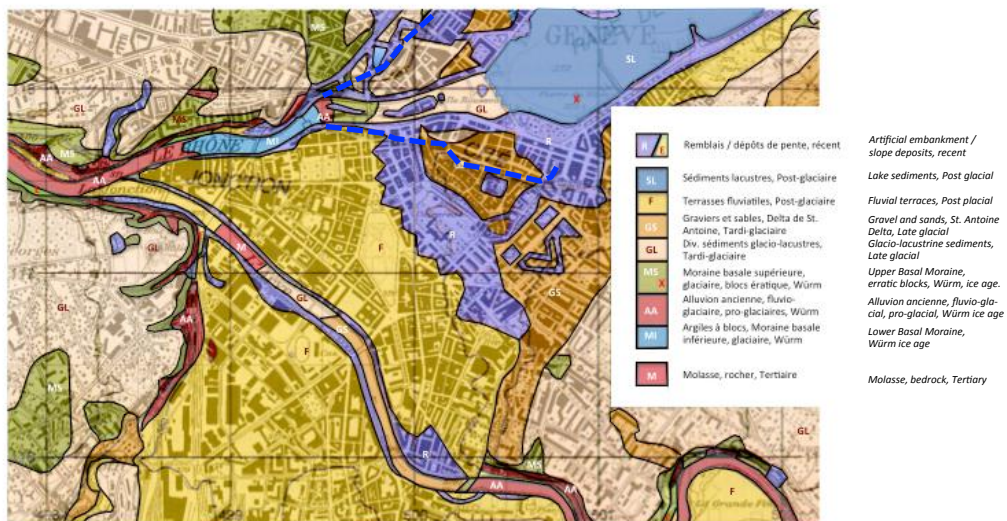


Figure b: carte géologique; en bleu, ligne de rivage approximative du Léman pendant la période romaine (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046)).

Figure b: geological map; in blue, the approximate shoreline of Lake Geneva during the Roman period. With the autorisation of 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.

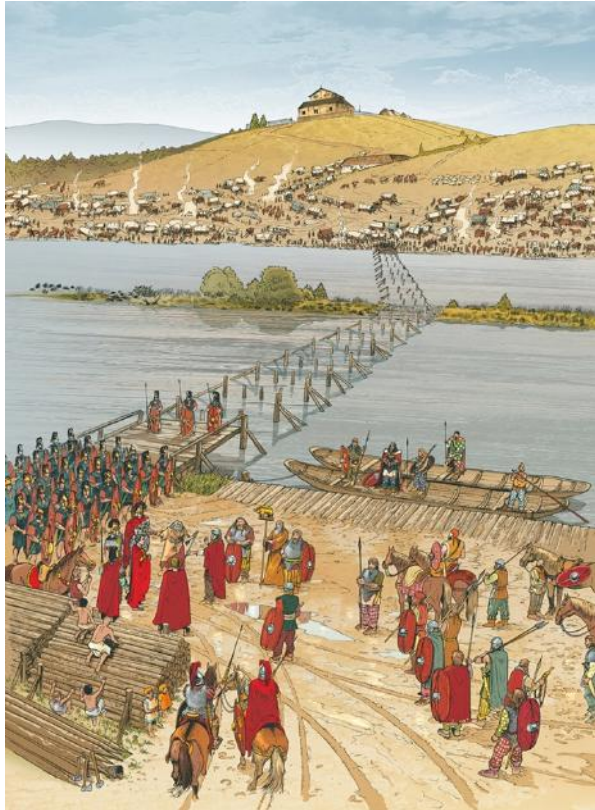
the drop in lake level since that time, and on the other hand by the backfilling of the lake (fig. b). Most of the present-day buildings located on the left bank, between the Rues Basses and Rue du Rhône and the river, lie upon this backfill.

An antique harbour has been discovered in the Rues Basses during roadworks (coord. 501.540/117.580, alt. 375 m).

This backfilling of the lake really started in the 18th century and went on until about 1880, in particular with the construction of the embankments on the right and left shores and with the backfill of the 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).



Ge 1.5 (2): From the Pont de l'Île to the Jardin Anglais: the old shores of Lake Geneva

As illustrated in fig. b), the islands located in the middle of the Rhône River are made of clayey and sandy terrains with blocks, interpreted as Upper Basal Moraine of the last glacial age. This material was certainly particularly favorable for the driving of piles during the construction of bridges (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").

Figure c: deconstruction of the bridge of Bel-Air by Jules Cesar, to prevent the Helvetii to cross (58 BC, (drawing André Houot in: Gallay 2008 "Des Alpes au Léman").

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^e 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.

The La Machine Bridge and supply of running water to the City

A visitor should not pass by the La Machine Bridge without knowing that this name refers to the emplacement of the installations used for pumping the waters of the Lake, respectively of the Rhône River. In their book entitled «Trois siècles d'eau genevoise», G. Duc, A. Frei et O. Perroux (2009) present the following main phases of running water supply to the City of Geneva (slightly modified text):

- *1st to 3rd century: water supply to the city through an aqueduct from a source at the base of the Voirons Mountain (France).*
- *Middle Ages: supply through private and public wells (see visit Ge 1.8) and some sources.*
- *1708 : installation of a first hydraulic pump on the river banks by the engineer Joseph Abeille, originally to supply water to 7 public fountains (fig. d).*
- *Through time the pumping capacity will be increased from 250 to 700 liters/minute and the installation will supply up to 24 public fountains.*
- *1843 : The engineer Jean-Marie Cordier installs a new machine in the original building of the present-day La Machine Bridge (fig. e).*
- *A hydraulic machine is then installed in the Rhône River bed, in the original building of the present-day La Machine Bridge (capacity : 16'000 l/min).*
- *1880 : Installation of a hydraulic steam machine.*
- *1886 : Construction of the hydraulic plant of the Coulouvrenière, supplying 40 to 50'000 l/min of water under pressure.*
- *Years 1920-1930: installation of the first pumping stations on the lake shores and in the water table of the Geneva countryside.*
- *1950's: the lake water quality degrades and Geneva builds its first filtering plant (Prieuré). At the same time, major investments are made for the construction of a network of main sewers and purification plants (STEP) in the whole canton.*

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.



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 d: Fountain of the Bourg de Four Square, built in 1817 et and supplied at the time through the running water pumped at the La Machine Bridge.

As far as the historical description of the evolution of this part of town and that of the lake termination, we refer the reader to the book edited by 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.



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

Figure e: La Machine Bridge, where the running water pumps were installed in 1843.

Ge 1.6: 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

Ge 1.6: Geneva Bay at the end of the last glacial age

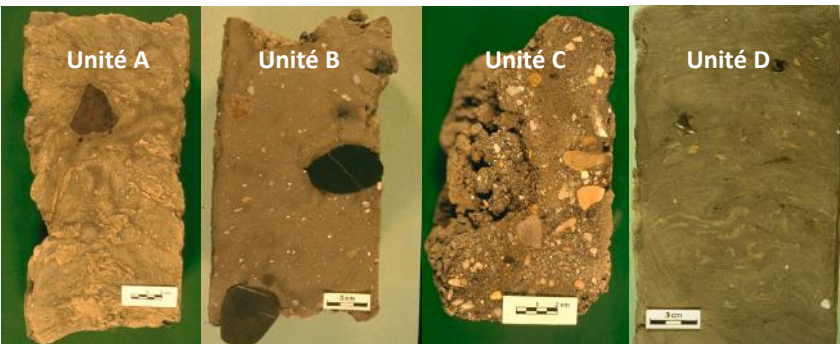
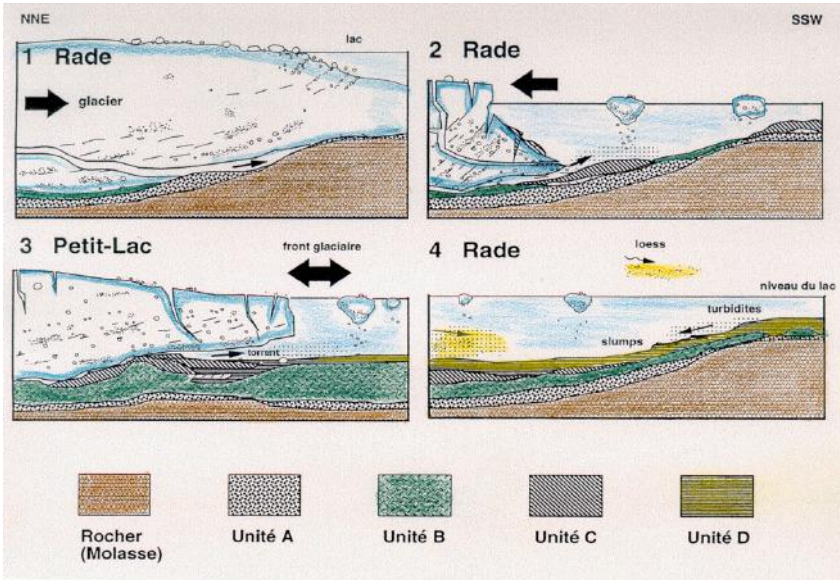
Localization : at the pontoon of the Neptune boat, opposite the Pierres du Niton (coordinates: 500 950/117 830).

The Geneva Bay marks the transition from the Geneva Lake to the Rhône River. Its present depth of less than 3 m (fig. 3 of chapter 1.1) is noticeable particularly during windstorms from the northeast (the so-called « Bise »wind), from autumn till spring, when the waves rework the fine sediments and make the waters turbid. Before the backfill and construction of the embankments in the 19th century, the bay shores had a low-angular, continuous slope.

The geology of the Bay is particularly well known thanks to the boreholes carried out during the 1980's for a project of bridge construction (which was never achieved). In the centre of the basin, a single glacial sequence is in direct contact with the Molasse bedrock (fig. 9). This sequence dates back to the last advance of the Rhône Glacier (fig. a, units A et B). When deglaciation started 22'500 years ago, gravels and sands of Unit C and then fine sediments of Unit D released by the glacier were deposited. This formation of glacio-lacustrine sediments contains pebbles and blocks that were transported on top of icebergs and then dropped at the bottom of the lake (« drop stones »).

The Pierres du Niton (fig. c), visible upstream of the Jardin Anglais on the left shore of the Bay, are the best examples of such dropped blocks which are visible above the lake surface. These two blocks made of porphyric granite are respectively 4.3 and 3.5 m high and come from the eastern part of the Mont Blanc Massif. A bronze geodesic marker was fixed in 1837 on the highest one, at an altitude of 376.6 by G.H. Dufour. This point had been chosen as an altitude marker for the elaboration of the first national topographic map at 1:100'000 scale. In 1902, Switzerland deciding to use the precision

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).



levelling of bordering countries (France), the block lost altitude, which was calculated at 373.6 m above the mean level of the Mediterranean Sea established at the Marseille maregraph (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 (Moscariello 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.

Figure a: Scenario of glacial advance and retreat explaining the genesis of the sedimentary sequence observed in the centre of the Geneva Bay and Petit-Lac (Moscariello 1996). Unit A: gravels and sands sheared by the moving glacier; Unit B: basal moraine deposited below the glacier; Unit C: gravels and sands brought in by the sub-glacial stream at the front of the Rhône Glacier; Unit D: deposition of glacio-lacustrine sediments at the front of the retreating glacier. Sediment samples from the four units are shown in fig. b.

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 b: Samples representing the four sedimentary units of fig. a. They show parts of cores taken during the geotechnical investigation campaign carried out in the framework of a bridge construction project in the Geneva Bay (taken from Moscariello 1996). The wooden debris which yielded a Carbon-14 age of 22'500 years (calibrated age) come from Unit C).



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

Figure c: *Pierres du Niton viewed from the pontoon of the La Neptune boat.*

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.

Ge 1.7: *The glacio-lacustrine Saint-Antoine Delta*

Localization : Promenade Saint-Antoine (coordinates 500 620/117 300).

In the middle of the 19th century, the City of Geneva decided to build ring avenues, in order to concentrate the traffic around the old city. The digging out of parts of the hill upon which the old town is located led to the creation of the Boulevard Jaques Dalcroze and Boulevard Helvétique. We owe to Alphonse Favre a most valuable geological drawing illustrating the geological arrangement of sediments along the flanks of these trenches (fig. a). This drawing shows an alternation of gravel and sand layers steeply dipping towards the north-northwest. Some layers display packages of broken-up sediments and traces of post-depositional erosion. A 2.2 m thick horizontal layer overlies the dipping sediments.

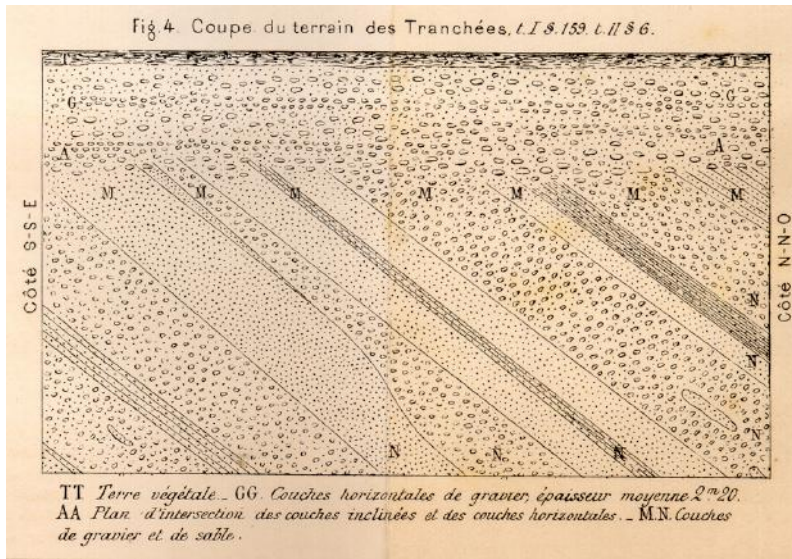


Figure a: affleurement du Delta de Saint-Antoine levé par A. Favre (1879, fig.4).

Figure a: outcrop of the Saint-Antoine Delta mapped by A. Favre (1879, fig. 4).

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).



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.

Figure b: Saint-Antoine Promenade and parking viewed from the bridge crossing the Boulevard Jaques Dalcroze. The construction of the parking has unearthed old fortifications of the town and the Saint-Antoine Delta.

The presence of this delta poses a problem. Indeed, fine glacio-lacustrine sediments (silts and sands) have been discovered through boreholes underneath the deltaic sequence. Consequently, the glacier had already retreated from this location, before readvancing up to the location of the city and depositing this delta by means of its subglacial stream. Similar sediments are found laterally in the Champel area (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.



Ge 1.8 (1): Saint-Pierre Cathedral: archeological site and stones used for the construction of Geneva Old Town

Localization : from the Promenade Saint-Antoine take the Rue des Chaudronniers down to the Bourg de Four Square and then take the Rue de l'Hôtel de Ville. The first street to the right will take you to the La Taconnerie Square and Saint-Pierre Cathedral (coordinates: 500 400/117 400).

The Saint-Pierre Cathedral, as it stands now, was built in gothic style between the 12th and 15th centuries, with a portal dating from the 18th century. The basement of the building hosts an archeological site where one can visit the remnants of old religious constructions built up at this location since the 4th century A.C. One can also observe the contact between the geological substrate (the glacio-lacustrine delta) and the cultural layers. It is recommended to use the audio-guide available at the entrance of the site, in order to benefit from the explanations during the visit. Opening hours and other informations can be obtained on the website 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.

Figure a: *Old drinking water well in the archeological site beneath the Saint-Pierre Cathedral. From mid-19th century and the construction of the Boulevard Helvétique and Boulevard des Tranchés the water table does not reach anymore the wells in the old city.*

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.

Figure b: Saint Pierre Cathedral, towers built with white-coloured limestone and nave with Molasse sandstones.

The cathedral itself and the other buildings surrounding the cathedral square give an idea of the construction material used to build up the old city of Geneva. This material consists essentially of two types of natural stones:

- *On one hand, white-coloured limestones often displaying fine zig-zag lines called « stylolithes » (dilution sutures of the limestone). Locally, one may also encounter limestones with traces of burrowing organisms, which are called « calcaires vermiculés » by the geologists . All these rocks date back to the Late Jurassic (or Malm, about 155 to 145 million years ago) and come mainly from quarries located at the foot of the Jura Mountains, where they outcrop as massive or stratified limestones. The latter are quite resistant to weathering and ground humidity. Consequently, they have been used for the basement of buildings, cornerstones and towers (fig. b et c).*



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

Figure c: Base of a column at the cathedral entrance; white-coloured limestone referred to as « vermiculé » (see darker specks), with numerous stylolithes (fine, zig-zag shaped dilution sutures). 67



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

Figure d: Saint Pierre Cathedral; Red Molasse fluvial sandstones displaying lenticular sedimentary features.

- 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 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.

- On the other hand, red or grey to greenish sandstones. Most of them come from old sub-lacustrine quarries (see visit Ge 11) exploited at the time during the winter (low-water periods of Lake Geneva), then brought to the city on barges during summer. These sandstones of the Red Molasse date back to the Oligocene period (about 30 million years ago). They were deposited in meandering river channels in the Alpine foreland. Red traces may indicate the presence of organic matter which is at present completely oxidized. The lenticular shape of the sedimentary structures give an idea of the dimension of the river channels at the time of sedimentation. Molasse sandstones are used essentially as «infill» building material. It is a rock that is easily weathered, in particular because of its poor calcareous cementation that makes it poorly resistant to acid rains.

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 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.

Ge 2: Sub-lacustrine quarries of the Old Geneva in Chambésy

Localization et itinerary : take TPG bus N° 28 up to the Botanical Garden, or TPG tramway N° 15 from the Cornavin train station up to the Les Nations Square. Walk down the Avenue de la Paix up to the Route de Lausanne and follow the latter in the direction of Lausanne. The pits of the quarry are located 300 m upstream of the Reposoir Beach, off the Chinese Embassy. The perimeter is marked through buoys (coordinates: 500'750 / 121'039). For a proper visualisation, a small boat with little draught is needed.

These quarries were dug in the Red Molasse sandstones of Geneva. The thickness of this formation in the Geneva area varies between 250 and 1000 m. Its lithology, sedimentary structures, fauna and flora point to deposits of a flood plain, the latter being crossed by a set of fluvial meandering channels. It dates back to the geological stage of the « late Chattian », about 30 million years ago (see Decrouez 2012).

These quarries have been exploited from the end of the Middle Ages until the 18th century. The extracted blocks were used to build part of Saint-Pierre Cathedral, the western front of the Town Hall and several houses around the Bourg-de-Four Square.

For the extraction, the quarrymen isolated the zone to be exploited by means of "batardeaux" (the holes used to fix the batardeaux are still visible around the pits). Once the zone had been isolated, the quarrymen drew the water in order to be able to work. They sawed terraced pits, some of them reaching a depth of ca. 3 m. Then they sawed the blocks down to the required dimensions. The extraction pits are separated one from the other through molasse walls upon which lied the batardeaux.

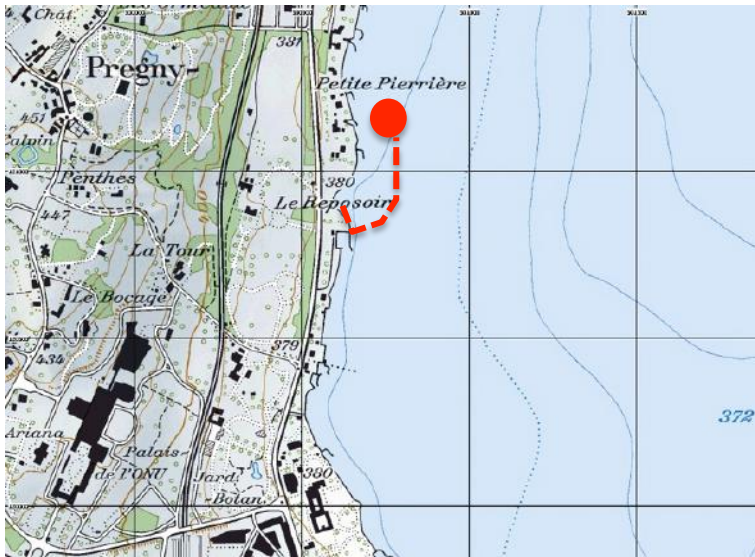


Figure a: localisation du site sous-lacustre (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046).

Figure a: How to reach the site of the sub-lacustrine quarries in Chambésy, with the autorisation of swisstopo (BA14046).

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 barges.

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.



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

Figure b: Sub-lacustrine quarries in Chambésy as observed on Google-Earth.

In several pits, « staircases » were cut (www.plongeplo.ch/wiki/index.php/Le_Reposoir). The cut stones were then transported to the city by means of barges.

Onshore, Molasse quarries were also exploited in the perimeter of the Botanical Garden. These outcrops are not anymore accessible today.

Ge 3: 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).



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

Ge 3: From the Mon Repos Park to the Longemalle Square: variations of lake levels, villages of the Bronze Age and Roman colonization

Localization and itinerary: with the TPG bus N° 1 or 25, or with the Mouette N° 4 (boat) at stop/wharf De-Chatabriand. Get close to the lake, at the level of a small beach north of the wharf (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 (fig. 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.

Look towards the Pâquis lighthouse. You are well positioned to imagine the stretch of water in front of you as being a vast sandy and argillaceous zone with locally some willow groves. This was the landscape that the prehistoric farmers were gazing at in the Neolithic or the Bronze Age, during periods of low lake levels. The lake level was some 3 to 4 metres lower than the present-day one. You can use the draughted reconstitution (fig. b), to locate the two pile dwellings villages of Pâquis A and B, which were occupied in the late Bronze Age, between 1067 and 960 years BC. Then continue with the visit following the lake shore towards point B.

Figure a, itinéraire 3: from the lacustrine villages to the Romans. (Swiss national Map 1:25'000, sheet Geneva 1301, © 2014 swisstopo (BA14046)).

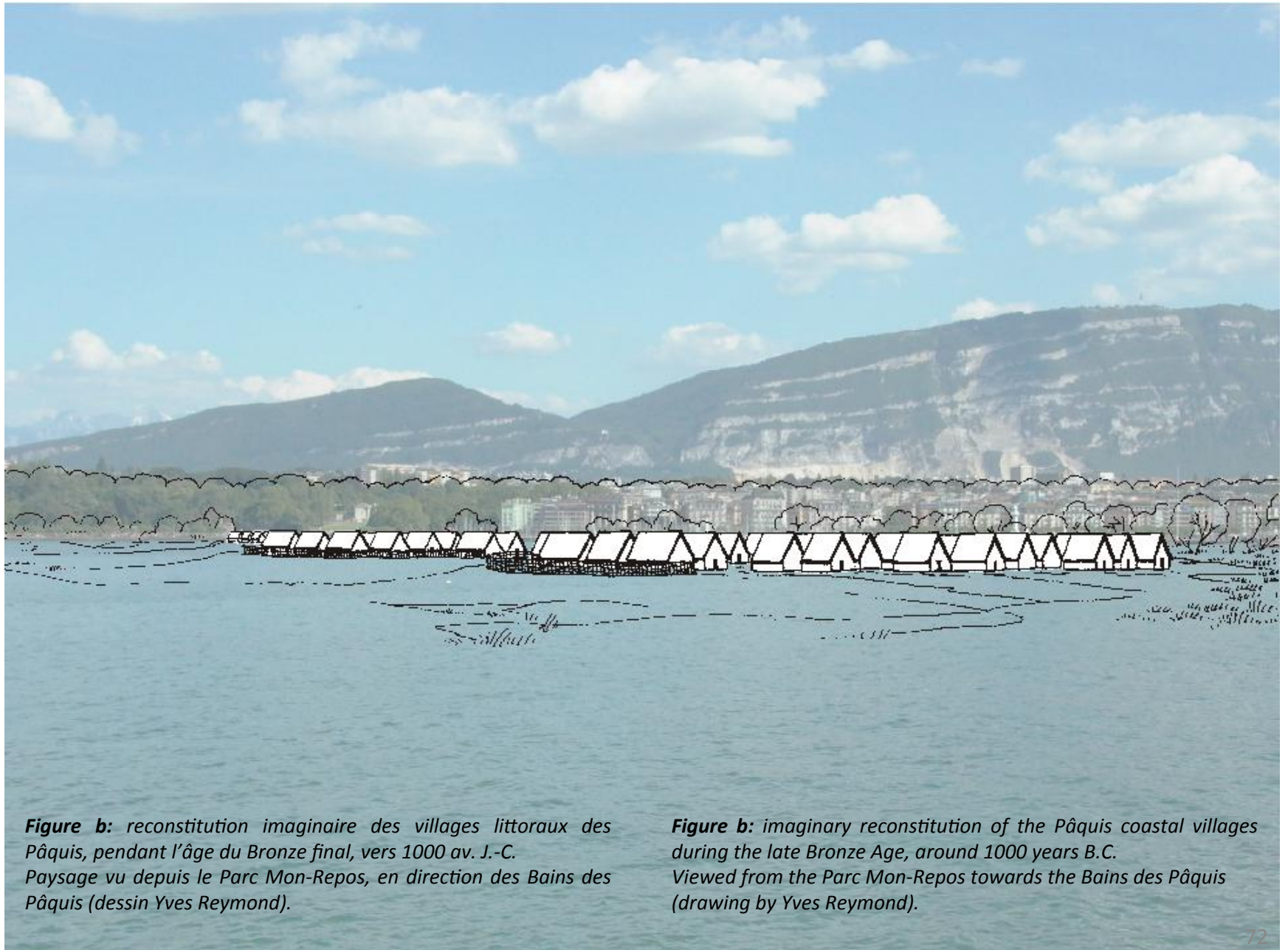


Figure b: reconstitution imaginaire des villages littoraux des Pâquis, pendant l'âge du Bronze final, vers 1000 av. J.-C.
Paysage vu depuis le Parc Mon-Repos, en direction des Bains des Pâquis (dessin Yves Reymond).

Figure b: imaginary reconstitution of the Pâquis coastal villages during the late Bronze Age, around 1000 years B.C.
Viewed from the Parc Mon-Repos towards the Bains des Pâquis (drawing by 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.

Figure c: the Geneva Bay in 1444, view from the northern shore : «The miracle fishing» by Konrad Witz, Photo, Art and History Museum of Geneva.



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.

Stop a little before you reach the Pâquis Bath jetty (point B). Looking towards the Pâquis lighthouse (built in 1894 and classified as historical monument), you can imagine the last remnants of the prehistoric occupation in the Geneva Bay. These remnants were still visible between 1881 and 1921. At present, no more archeological remnants remain downstream of the Pâquis and Eaux-Vives jetties. Some rare stilts are still trying to withstand the current along the Eaux-Vives jetty.

From the Pâquis rotunda (point C), one can easily observe the two «Pierres du Niton» (Niton stones), the only survivors of a large number of blocks cluttering the bay and the southern shore of the lake in the 19th century. The Pierre du Niton which is the furthest away from the bay shore bears a bronze marker that was embedded in 1820. It acted for a long time as an altitude marker for the levelling of Switzerland, in particular for the Dufour Map, carried out from 1848 till 1864.

Continue your walk up to the Mont-Blanc Bridge. Before crossing it (point D), look at the view of the Prealps and Alps. In a clear day one can admire the Mont-Blanc. This point of view was highly appreciated by the English tourists residing in the grand hotels of the northern shore. This was a must in the «Grand Tour» of the wealthy elite passing through Geneva.

This panorama owes also its fame to the altarpiece of the Basel artist Konrad Witz (see previous page). It was the first realistic topographic representation of a landscape painted in 1444. In the foreground, one observes in the water evidences of clay digging for a tile factory. To the far left one notices the trace of the «Nant de Trainant», a stream draining the waters of the Frontenex plateau. Behind the Christ, a line of wooden piles sticks out of the water. This was probably designed to prevent the small boats to get to the shore. Piles from this line, made of oak wood, have been dated back to the autumn-winter of the years 1298/1299 AD.



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

Figure d: *The sluice gates of the Machine Bridge viewed from downstream of the bridge, between 1888 and 1898 (BGE, Geneva Centre of iconography).*

Now look downstream to the other side of the bridge. Passed the Bergues Bridge and the Rousseau Island, a white majestic building catches the eye: the building of the «Pont de la Machine» (point E). First built in 1709 to house the hydraulic machine designed to pump the Rhône waters to feed the city fountains, it was transformed in 1885 to support the sluice gates designed to regulate the Lake Geneva level, following the famous «Leman trial».

Now you cross the Mont-Blanc Bridge to reach the southern shore of the Geneva Bay. Walk on up to the Longemalle Square which you will cross. Stop between a cigar and a toy shop (point F). You are standing precisely at the location of the first Geneva harbour built around 120 to 80 years B.C.

The Gallic harbour was built by the Celtic tribe of the Allobrogs who was allied to the Romans. The altitude of the jetty points to a lake level situated at more than 374.6 m, i.e., more than two metres above the present-day average level. An oak wood statue was discovered nearby. It represents a warrior who had become a hero or a divinity. This statue was dated through dendrochronology as being post-100 years B.C. The figure wears a short tunic with a hood or maybe a helmet. He wears a gold torc around his neck. The remains of defeated enemy warriors (spears, shields, sacrificed heads) are hanging at the bottom of the statue

Around 47 years A.C. the harbour is completely rebuilt, this time with a dike made of stones and wooden beams stretching over more than 200 metres. The oppidum of Geneva is now in Roman hands. We are leaving prehistory to enter history.

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».

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, édifiée sur plus de 200 m. L'oppidum de Genève est maintenant en mains romaines. Nous quittons la préhistoire pour entrer dans l'histoire . . .

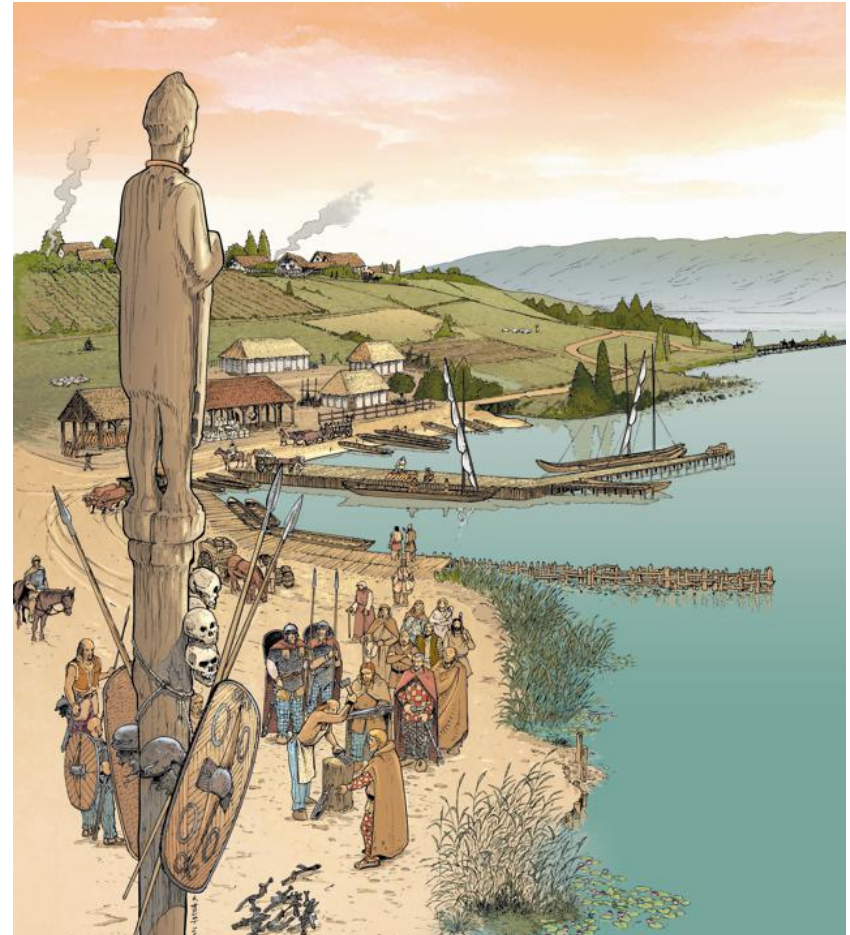


Figure e: reconstitution du premier port de Genève, vers 120 à 80 av. J.-C. (dessin André Houot dans: Gallay 2008 «Des Alpes au Léman»).

Figure e: Reconstitution of the first Geneva harbour around 120 till 80 years B.C.(drawing by André Houot in: Gallay 2008 «Des Alpes au Léman»).

Ge 4: 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.

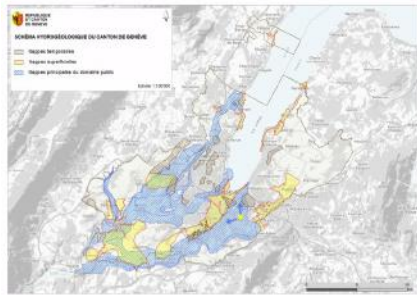


Figure a: principales nappes phréatiques du canton de Genève. Cercle jaune: zone d'alimentation artificielle de Vessy; flèches: sens d'écoulement de la «Nappe du Genevois» (figure: Service de géologie, sol et déchets, Canton de Genève).

Figure a: main water tables exploited by the Services Industriels of Canton Geneva. Yellow circle: zone of artificial feeding at Vessy; Arrows: flow direction of the «Nappe du Genevois» (figure: Service de géologie, sol et déchets, Canton de Genève).

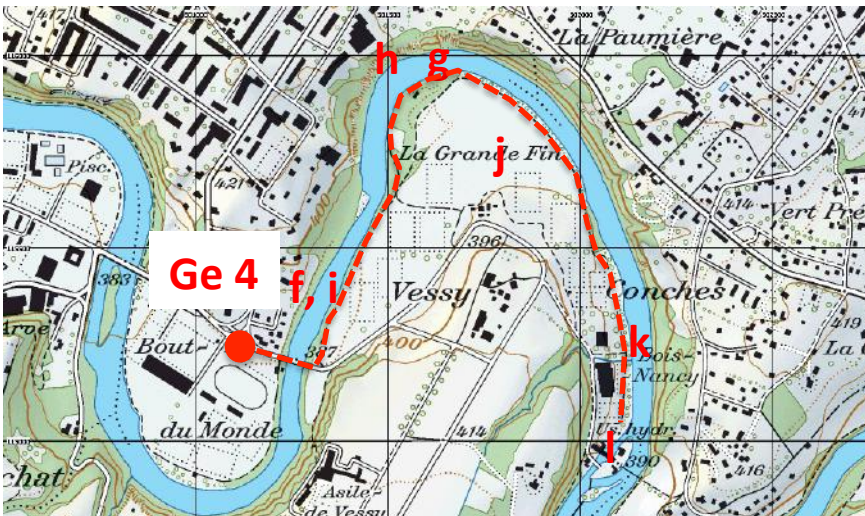


Figure b: carte de la visite. Les points f à l correspondent à la localisation des figures ci-après (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Genève 1301, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046).

Ge 4: Vessy: the water table supplying drinking water to the City of Geneva

Localization and itinerary : take Bus TPG N° 11 from the Jardin Botanique or Carouge up to the Bout du Monde (coordinates: 501 025/115 310), then by foot walking upstream along the left bank of the Arve River. The visit starts at some 1500 m upstream of the Bout du Monde, at the dam of the Vessy plant.

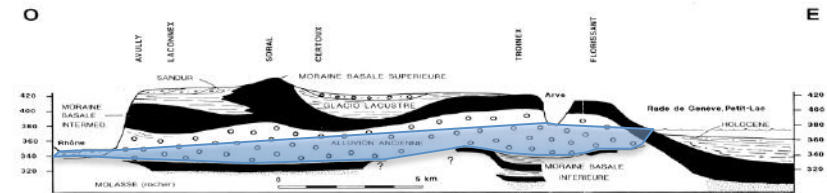


Figure c: coupe géologique synthétique du Léman à la vallée de l'Arve et à la vallée du Rhône à Chancy (fig. 10 ci-avant), et nappe phréatique «Nappe du Genevois» (en bleu).

Figure c: Synthetic geological cross-section from Lake Geneva to the Arve Valley and the Rhône Valley at Chancy (see fig. 10 above), and the «Nappe du Genevois» water table.

Figure b: Itinerary of the visit. Points f to l correspond to the location of the figure below (Swiss National Map 1:25'000, sheet Geneva 1301, with the autorisation of swisstopo (BA14046)).

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 » .

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 (<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

The Services Industriels de Genève are the main suppliers of drinking water in the canton. 80% of the water distributed in the network come from the pumping in Lake Geneva, whereas 20% are provided by a water table called «Nappe du Genevois».

This water table originates in the Arve River valley, upstream of Geneva City (fig. a), where the river crosses the Alluvion ancienne and partly infiltrates the gravels of this formation. Following the Alluvion ancienne formation, the water table then flows on one hand northwards towards Lake Geneva, and on the other hand westwards, where it meets the Rhône River near the village of Chancy (fig. a and b). All along its course, the «Nappe du Genevois» is shielded from pollution through the clayey-silty deposits of the overlying basal moraines and lacustrine deposits. Its intensive exploitation provoked a significant decrease of its level in the 1970's (fig. c). This led Canton Geneva to build an important installation of artificial feeding (fig. d). Because this corresponds to one of the most important uses of a georessource in Canton Geneva, we hereby propose a visit, either within the framework of an independent excursion in the field, or within the framework of a guided visit (<http://ge.ch/geologie/eaux-souterraines/les-nappes-principales-du-domaine-public/la-nappe-du-genevois/realimentation-de-vessy>).

Fig. (d) shows a map where are located the different installations used for the artificial feeding, from the water intake at the old hydroelectric plant at Vessy, to a water treatment plant, where the Arve water is decanted and filtered (sand filters), and finally distributed into a large network of infiltration drains. The infiltration terrain is located on a low gravelly terrace of the Arve River, dating back to the late and post-glacial period. At this location, the river is presently eroding and digs its natural bed in the large Vessy meander. On its right bank, the Arve River is destabilizing the slope made of moraine and Alluvion ancienne, at the foot of the Champel area and

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.

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.

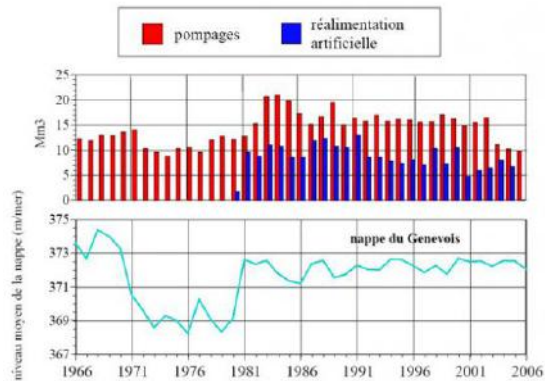


Figure d: pompage, alimentation artificielle et évolution du niveau de la Nappe du Genevois à Vessy de 1966 à 2006 (De los Cobos 2012).

Figure d: Pumping, artificial feeding and evolution of the level of the Nappe du Genevois at Vessy from 1966 till 2006. Red: pumping; blue: artificial feeding (De los Cobos 2012).

of the high university residential building. Inside the meander, in the forest bordering the infiltration area, gravels and sands form an unstable point bar.

Therefore, the walk along the river allows an overview of the technical installation of artificial feeding, as well as the visit of a beautiful natural site



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 (De los Cobos 2012).

Figure e: Installations of the artificial feeding of the Nappe du Genevois at Vessy: (1) water intake (pumping in the Arve River); (2) pipe towards the treatment plant (340 m long); (3) treatment plant; (4) pipe towards the area of artificial feeding (700 m long); (5) area of artificial feeding (underground drains, 5000 m long (De los Cobos 2012).



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

Figure f: *natural infiltration zone into the Alluvion ancienne (view from 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 g: *point bar in the Arve meander at the foot of the Champel cliff (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 h: *landslide in the Upper Basal Moraine forming the Champel cliff. View from 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 Tardiglaciaire (coord. 501 475/ 115 585).

Figure i: *torrential fluvial deposits with up to 50 cm in diameter blocks, below the terrace where the Vessy sport grounds are located, just opposite the tower of the «Cité universitaire». Their age is probably late glacial (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 j: *fountain for the distribution of water and infiltration terrace between the Vessy sport grounds and the Arve meander (coord. 501 725/115 790).*



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

Figure k: *plant for the treatment of waters taken from the Arve River prior to re-infiltration (view from 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).

Figure l: *Vessy hydroelectric plant; site of water taking from the Arve River (view from 502 005/ 114 920).*

Ge 5: 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 balade 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» éditée 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

Ge 5: Allondon River and Roulave Stream: from a Jura-sourced torrent to traces of bitumen in the Molasse

Localization and itinerary: the starting point is the Dardagny Town Hall (castle in the centre of the village). To get to Dardagny, a pedestrian path connects the CFF train station in La Plaine to the village of Dardagny; the walk takes about 30 minutes. For possible connections using Geneva Public Transports, one shall refer to the relevant website (www.tpg.ch). If using a private vehicle, park on the parking lot of the multi-purpose hall. The walk follows to a large extent the naturalist path of the «Vallon de la Roulave» (Roulave Valley; geotope n° 060 Ge of SC NAT). The visit lasts 2 to 2h½ hours, it follows partly tarmac roads and (for the walk up the Roulave Valley) natural paths which are often humid, muddy and slippery (fig. a and b). From the Dardagny Castle, follow the pedestrian path (yellow signposts) towards the «Chapelle de Malval». Crossing first the moraine plateau and the vineyards, the road then goes steeply down with severe undulations (because of landslides) down to the bridge over the Roulave Stream (fig. c).

The Allondon River: it is known through its « Vauclusian » source (karst) at the foot of the Jura (Naz-Dessus hamlet). It is fed through the rain or snow falling on the high ridge of the Jura Mountains, where the highest summits reach altitudes of over 1700 m. The river flow shows very strong variations, similar to those of an Alpine torrent. The « River index card » edited by the Environmental department of the Canton (DIA 2003) indicates a low water flow of 0.5 m³/second and a high waterflood) of 85 m³/second (10 year flow) or of 150 m³/second (100 year flow at the place called «Les Granges»,

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).

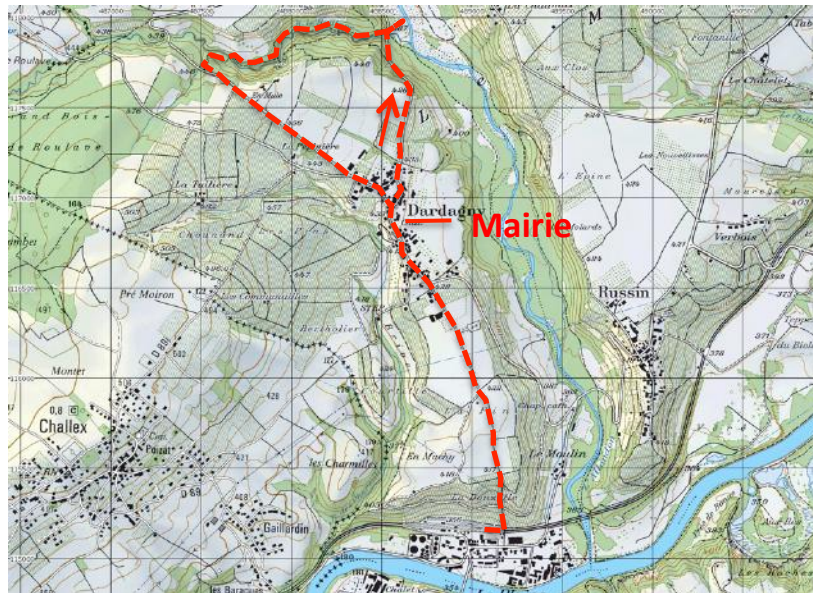


Figure a: localisation du parcours de la visite (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Chancy 1300, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046)).

Figure a: *Itinerary of the visit (Swiss National Map 1:25'000, sheet Chancy 1300, with the autorisation of swisstopo (BA14046)).*

one kilometre downstream from our observation point). In the zones where the river is not canalized (by blocks or dikes), i.e., downstream of a transect through the Essertines hamlet, this flow variability is expressed through a « braided stream » bed characterized by several channels separated by sedimentary bars. These channels can migrate laterally considerably over time. Fig. d, e and f illustrate this situation in views from point **Ge 5.2** (small dike, coord. 488 515/117 930).

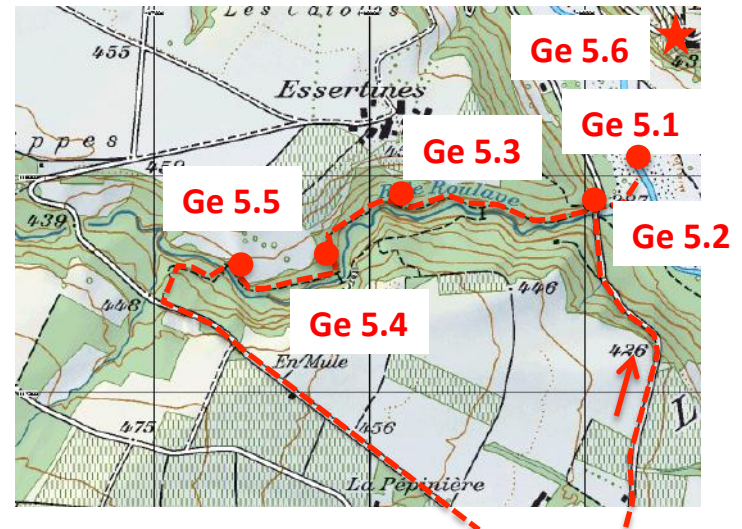


Figure b: localisation des points d'observation (Carte nationale suisse 1:25'000, feuille Chancy 1300, avec l'autorisation de swisstopo (BA14046)).

Figure b: *Location of observation points (Swiss national Map 1:25'000, sheet Chancy 1300, with the autorisation of swisstopo (BA14046)).*

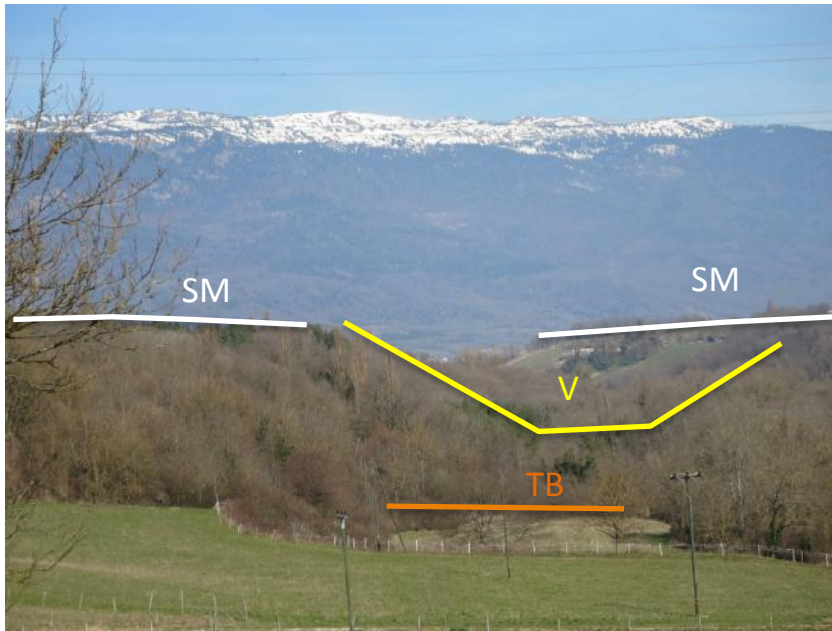


Figure c: vue sud – nord de la basse Vallée de l’Allondon (coord. 489 380/ 115 990) vers la Chaîne du Jura («Recullet» à gauche, «Crêt de la Neige» à droite). Les surfaces morainiques (**SM**) avec leurs reliefs en «drumlins» (buttes allongées, morainiques ou rocheuses, formées sous le glacier) datent de la récurrence glaciaire il y 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 Baillels» 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 d (on the left handside): braided stream and meandering river (meander reactivated by works, situation in March 2014). During high waters, the whole plain is flooded. **Figure e** (on the right handside): flood channel (C, on the left handside, out of the water) and main channel (or low water channel E, on the right handside). River flow: 4.5 m³/second.

Figure c: view from the south of the low Allondon Valley (coord. 489 380/ 115 990) towards the Jura ridge (the «Recullet» summit on the left handside, the «Crêt de la Neige» summit on the right handside). The moraine surfaces (**SM**) with their «drumlin»-shaped reliefs (elongated mounds made of moraine or bedrock and formed below the glacier) date back to the glacial recurrence some 30’000 years ago (fig. 11 c). The relief of the valley (**V**) is erosive and later than this recurrence (Geneva Stage, fig. 12 a): from top to bottom the erosion profile cuts: the Intermediary Basal Moraine, the «Alluvion ancienne» and the Molasse. The «Baillels Terrace» (**TB**) corresponds to the highest levels of fluvial terraces at that time. They look down on the present-day Allondon river bed by up to 10 m (low valley) and are made of gravels and sands brought in by the Rhône Glacier or eroded from the «Alluvion ancienne» outcrops. At the location of profile V, the Geneva electricity company (Services Industriels de Genève) had planned the construction of a hydroelectric dam in 1938-39.

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.



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.

*Channels and sedimentary bars can migrate from one season to the other, or from one year to the other. The conditions shown in fig. d, e and f correspond to those in March 2014. At observation point **Ge 5.1** (fig. b) the Allondon River feeds its water table through infiltration. A few hundreds of metres downstream, conditions are reversed and the water table exfiltrates into the river.*

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.

Figure f: erosion of the «Baillets Terrace» on the left bank of the Allondon River, downstream of observation point **Ge 5.2**. The cliff is approximately 5 m high.

Walk up the Roulave Valley: the walk starts at point **Ge 5.1** (bridge on the Malval road, coord. 488 515/117 915).

*Some twenty metres north of the bridge, one can observe in the slope on the right handside a small cliff made of the strongly cemented conglomerate of the Alluvion ancienne (fig. g, see also visit **Ge 1.2**). The latter cliff together with the Molasse cliffs form the steep-slope reliefs in the valley.*



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

Figure g: conglomerate of the Alluvion ancienne at 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 i). Ces dépôts se sont formés il y a 27 à 30 millions d'années, dans une plaine alluviale, certainement à l'occasion de crues.

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.



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

Figures h, i: small cliff (approx. 3-4 m high) of marly and argillaceous Molasse in the meander of the Roulave River at point **Ge 5.3**.

While following the footpath up the valley, one notices large erratic blocks made essentially of various gneisses and granites from the Valais Alps. Some 100 metres from the starting point, the path goes over a small cliff made of Molasse green sandstones, which also outcrop in the river bed. Then one crosses a zone of wild forest disrupted by landslides on the right (south) bank of the river.

*At point **Ge 5.3** (coord. 488 100/117 915, explanatory sign) one can observe a small cliff made of green and multicoloured, marly to argillaceous Molasse. It is finely bedded with some small sandstone beds (fig. h et i). These deposits were formed between 27 to 30 millions of years ago in an alluvial plain, probably during floods.*

*When one gets to a fork in the path (coord. 487 900/117 860), take left following the signpost «Grottes». The explanation site **Ge 5.3** (coord. 487 920/117 800) is located opposite a sandstone cliff of Red Molasse. The latter is made of different parts and has a cumulated height of some 20 m. Three galleries of some 2 m in diameter*



Figure j: 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.

Figure j: sandstone cliff in the Molasse and gallery for the exploration of bitumen, opposite the observation point. The ca. 2 m wide gallery was not accessible in March 2014 because of rock falls.

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. j) 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.

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.

have been dug in the cliff to look for bitumen impregnating the sandstone (see boxed text on next page). In March 2014, none of the three galleries was accessible because of block and tree falls and landslides.

Molasse sandstones are essentially made of quartz, feldspath and mica. They are poorly cemented and weathering is important. Some zones are more strongly cemented by a calcareous cement and form prominent stronger beds. The bitumen impregnates sandstones in an irregular way, these impregnated zones forming sorts of «nests» or «lenses».

Sedimentary structures (fig. j) correspond to the infill of meandering river channels. The apparent width of these channels could reach or be over 10 m, with a depth in the order of one metre. Some smaller structures are also visible.

The base of this Molasse has been dated in the stratigraphical column as «Lower Chattian» (approx. 28 millions of years old) thanks to the discovery of small remnants of rodents, in particular teeth.

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.

Looking for petroleum in the Roulave Valley and Canton Geneva

As explained in the explanatory signs at site **Ge 5.4**, « the bituminous sandstones have been prospected since a long time, they are already mentioned in 1770 by H.B. de Saussure. The first attempts to exploit them in the area date back to 1826, the digging of galleries in the Roulave Valley began around 1845, and phases of production and abandonment went on until 1894. During the two world wars, the exploitation was reinitiated with the digging of wells and deep galleries. Probably a total of several tens of tons of viscous bitumen was extracted. It was used to asphalt some streets in the City of Geneva, lubricate carriage wheels, caulk boats or for medical purposes » (see also H. Lagotala 1935).

Where does this bitumen come from? It corresponds to the migration up to the surface of crude oil produced by a source rock located underneath the Geneva Basin at a depth of about 3'000 m below the surface in Lower Jurassic rocks (approx. 180 millions years; see fig. 4 in introductory part). Because of the increase in temperature and pressure, the source rock reached its thermal « maturity » and « expelled » crude oil that « migrated » upwards because of gravity (indeed sedimentary rocks are impregnated by water and crude oil is lighter). If this migrating oil does not meet an impermeable rock that can form a petroleum trap and block the upward migration of the oil, the latter will reach the surface and impregnate the rocks outcropping at surface and form oil seeps. Volatile components will evaporate and light components be biodegraded by bacteria, leaving only the heavy components which form the bitumen.

This petroleum system has obviously an economic interest in case the oil can be trapped in subsurface rocks to form an oil field. For example, the oil of producing oil fields in the Paris Basin (Val de Marne, east of Paris) comes from the same source rock which also underlies the Paris Basin. At the beginning of the 1980's, the company BP France drilled a series of shallow wells around the Canton Geneva in the Gex area to test for potential oil fields. They found some viscous oil, but such accumulations were not considered as economic at the time. In the Geneva Canton, an exploration licence has been granted to the company Tethys Oil at the beginning of the 2000's, but so far no well has been drilled.

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. k à n).

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. o et p).



Figure m: fissures dans le terrain le long du chemin. Il s'agit du début d'un nouvel arrache-ment.

Figure m: Fissures in the ground along the footpath. This marks the beginning of a new landslide.

*When following the footpath towards Dardagny from point **Ge 5.4**, one crosses a large landslide in the Intermediary Basal Moraine. This landslide has been moving since many years; it is reactivated and accelerates during humid periods and sometimes slows down during periods of drought (fig. k – n).*

*Two galleries (or «caves») in the Molasse are accessible at observation point **Ge 5.5** (coord. 487 680/117 760). Bitumen is concentrated in fine-grained sandstone lenses associated with marly intercalations (fig. o and p).*

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

Figure k (on the left handside): The path connecting point **Ge 5.4** to **Ge 5.5** crosses the flank of a landslide. The humid zone testifies to the seeping of water.

Figure l (on the right handside): Scar left by the landslide, where the moraine is exposed.

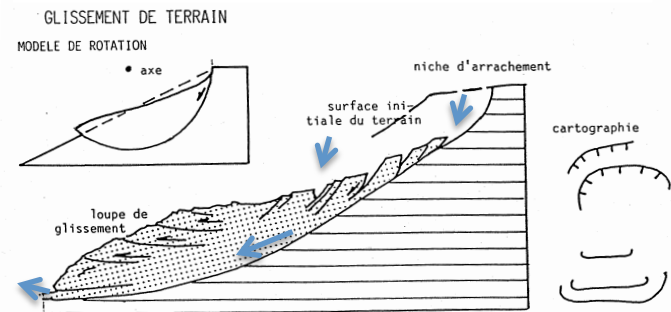


Figure n: fonctionnement d'un glissement de terrain (en bleu: circulation d'eau).

Figure n: formation of a landslide (in blue: water circulation).



Figure o (en haut): caverne dans la molasse au point **Ge 5.5**.
Figure p: (en bas): infiltration de bitume (noir) dans la Molasse de la caverne.

*Figure o (above): gallery in the Molasse at point **Ge 5.5**.
Figure p (below): bitumen impregnation (in black) within the Molasse inside the gallery.*



Figure q: 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).

*Figure q: From point **Ge 5.5** one crosses the stream (fig. r) and walks up towards the road linking Dardagny village to Essertines hamlet (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 rassemblent informations et indications sur les lieux, la date et l'heure du crime. Puis, ils/elles comparent et corrélient 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!

Postscriptum

This geological and archaeological guide of Geneva tells the recent history of the Earth and landscapes upon which the first inhabitants settled down in Geneva, as if we were present at the time and as the story of a chronicler. But this impression is evidently deceiving. Indeed, geologists and archaeologists work in reality like scientific police to reconstruct the story of the crime: they collect information about the sites, date and hour of the crime. Then they compare and correlate what happened in the different sites under inquiry. These information's are compared with other stories that have or would have taken place somewhere else or at another time. All this is finally assembled in a more or less convincing scenario.

Whereas hard work has been carried out to reconstruct the true prehistory of Geneva, we must keep in mind that this scientific «truth» will last as long as no new discovery is made which will contradict or correct the previously established facts. Therefore, this guide is intended to be modified in the future with respect to new discoveries and investigations, and let's hope it will never be terminated.

This guide benefited from the thorough read-through by Jean-Claude Lalou (Vaumarcuse) and Alexandra Baeriswyl (Institut F.A. Forel). Katia Loizeau took care of loading it on the website of the Institut Forel. We are very grateful to them!

Bibliographie /Bibliography

- 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 Culture74/8. 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.
- De los Cobos, G. 2012: L'eau sans frontières. Quarante ans d'une gestion partagée de la nappe d'eau souterraine du Genevois. Slatkine, Genève, 200p.
- 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^e 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 a 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., Hilbe, M., Simpson, G. et al. 2015: Reconstructing 4000 years of mass movement and tsunami history in a deep peri-Alpine lake (Lake Geneva, France-Switzerland). *Sedimentology* 62/ 5, 1305–1327.
- Kremer, K., Marillier, F., Hilbe, M. et al. 2014: Lake dwellers occupation gap in Lake Geneva (France–Switzerland) possibly explained by an earthquake–mass movement–tsunami event during Early Bronze Age. *Earth and Planetary Science Letters* 385, 28-39.
- Kremer, K., Simpson, G., Girardclos, S. 2012: Giant Lake Geneva tsunami in AD 563 *Nat. Geosci.* 5, 756-757.
- Lagotala, 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.
- Sesiano, J. & Girardclos, S. 2015: Ce jour-là, à Genève, les moulins sur le Rhône auraient pu tourner à l'envers... La crue de l'Arve des 1-5 mai 2015. *Le Globe* 155, 97-108.
- 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/>

