



MÉMOIRE ET RETOUR D'EXPÉRIENCES



Figure 1 : Affiche de l'exposition Un tsunami sur le Léman - © Musée du Léman



© Stéphanie Girardclos

DU MYTHE À LA RÉALITÉ : DES PREUVES DU TAUREDUNUM QUI DÉVASTA LES RIVES DU LAC LÉMAN EN 563

Interview de **Stéphanie Girardclos**, chercheuse en sédimentologie des lacs et limnogéologie – Université de Genève

POURRIEZ-VOUS NOUS DÉCRIRE VOTRE DISCIPLINE ET VOS TRAVAUX EN QUELQUES MOTS ?

Je suis chercheuse en sciences de la Terre,

avec une spécialité en sédimentologie des lacs et limnogéologie. J'utilise les sédiments qui sont au fond des lacs comme des archives naturelles pour les « faire parler » d'événements du passé comme un historien utiliserait des archives. Mes travaux ont porté sur les lacs dès mon master, mon doctorat s'est intéressé à l'histoire paléoclimatique du lac Léman, depuis l'apparition du glacier jusqu'à nos jours, un intervalle de 20 000 ans. Puis, j'ai eu la chance de faire partie du groupe de recherche de Flavio Anselmetti avec qui j'ai pu vraiment approfondir l'études des glissements sous-lacustres. Aujourd'hui, grâce aux travaux de recherche auxquels je participe et à mon inclination personnelle, je suis très connectée au Léman et à Genève, c'est ma ville d'enfance, j'y ai ma famille et j'y vis, c'est ce qui m'a amené à étudier ce que j'avais sous le nez et je suis devenue comme on dit une spécialiste de ce lac. Et ça me convient très bien de pouvoir faire des travaux utiles à la communauté de mon lieu de vie, comme apporter des réponses aux autorités locales par exemple.

POUVEZ-VOUS NOUS PRÉCISER CE QU'EST LE TAUREDUNUM ET QUE S'EST-IL PASSÉ EN CETTE ANNÉE 563 SUR LE LAC LÉMAN ?

Le Tauredunum, c'est un événement historique, deux auteurs du haut Moyen Âge, Marius D'Avenches et Grégoire de Tours en ont laissé un récit dans des écrits distincts. À la base, le mot Tauredunum désigne un fort en bas latin ; il s'est transformé par métonymie en nom de l'évènement, le lieu ayant été « englouti » par l'évènement. Ces auteurs racontent un évènement du VI^e siècle, qui a débuté par beaucoup de bruit, où une grosse masse rocheuse s'écroule, qu'une vague formée

en conséquence sur le Léman, a détruit beaucoup de lieux sur son passage jusqu'à Genève en emportant le pont sur le Rhône et franchissant les murailles de la ville.

Le récit de cet évènement soulève trois interrogations :

- ▶ D'où est parti l'écroulement de montagne, quel(s) lieu(x) a (ont) été impacté(s) ?
- ▶ Y a-t-il bien eu un tsunami et à partir de quel évènement ?
- ▶ Quelles en ont été les conséquences sur la région lémanique ?

EN 2010, VOUS FAITES UNE DÉCOUVERTE DANS LE CADRE DE VOS RECHERCHES SUR LES SÉDIMENTS DU RHÔNE. À QUEL MOMENT FAITES-VOUS LE LIEN AVEC LE TAUREDUNUM ?

Tout de suite. Avec la doctorante Katrina Kremer, on travaillait initialement sur les crues du Rhône, on était en campagne de collecte sur le Léman et j'avais émis la possibilité de tomber sur des traces du Tauredunum, ce qui aurait pu nous servir comme élément repère de datation. Mais ce qu'on a vu grâce à la sismique réflexion, c'est un dépôt de sédiments dont la taille nous a interloquées, car il était énorme. Le dépôt recouvrait tout le fond du grand lac, sous la forme d'un patatoïde, sur 10 km de long et 5 km de large depuis l'embouchure du Rhône jusqu'au large du delta de la Dranse. Son épaisseur maximale était de 10 m en direction du delta du Rhône ce qui est un indicateur de l'origine géographique du phénomène. La méthode de la sismique réflexion n'a pas permis de cartographier au-delà de ce que l'on voit (Figure 2), ni de remonter vers le delta du Rhône car il y a du méthane dans les sédiments qui empêche cette méthode de fonctionner, c'est pour ça qu'on n'a pas de données dans le Haut-Lac (l'extrémité est du Léman). Ce qu'on pense, c'est que le dépôt a dû dévaler les pentes du lac et s'accumuler dans le bassin profond du lac après l'évènement.



QUELS SONT LES RÉSULTATS DE VOS RECHERCHES SUR CETTE MASSE DE SÉDIMENTS ? (DATATION, CARACTÉRISTIQUES, ÉVÈNEMENT, ETC.)

Grâce aux carottes faites dans ces sédiments lacustres, on est sûres que le delta du Rhône s'est écroulé sous l'eau du Léman, car les sédiments trouvés dans le fond du lac le prouvent : ils ont la signature minéralogique et la taille de grain correspondant à ceux du Delta du Rhône. Par ailleurs, le dépôt de sédiment est tellement gigantesque qu'aucune crue ne peut en être à l'origine. L'épaisseur du dépôt est également plus importante en direction du Rhône ce qui est aussi une indication de son origine.

Concernant, l'hypothèse de déroulement du phénomène : une montagne s'effondre qui impacte le delta du Rhône qui s'écroule et génère un glissement sous-lacustre puis une vague ; de cela on n'a pas de preuves mais des indices grâce à des cas analogues, notamment le cas connu du « Goldauer Bergsturz », où le Rossberg [une montagne] s'est effondré (400 millions de m³) dans le delta du lac Lauerz en Suisse, et a généré un tsunami et détruit le village de Goldau, le 2 septembre 1806. Pour nous, c'est le même scénario qui a eu lieu pour le Tauredunum, en beaucoup plus important. Mais, surtout c'est en croisant nos données avec les écrits anciens de Marius d'Avenches et Grégoire de Tours, que l'on peut précisément dater l'évènement de 563, et dire que le dépôt de sédiments que l'on a trouvé au fond du lac est la trace du Tauredunum, et qu'il est issu d'un écroulement de montagne. Sans leurs écrits, on n'aurait pas pu non plus préciser les impacts de cette catastrophe qui a touché des villes comme Genève, par exemple, car de notre côté à partir des sédiments, on peut juste dire qu'il y a eu une énorme catastrophe au VI^e siècle, dans le delta du Rhône, qu'elle a sûrement généré un tsunami lacustre et que des dégâts très importants ont dû avoir lieu.

AVEC GUY SIMPSON, VOUS AVEZ PU MODÉLISER L'ÉVÈNEMENT. COMMENT CELUI-CI SE SERAIT-IL DÉROULÉ ? (LIEU, GLISSEMENT DE TERRAIN SOUS-LACUSTRE, TSUNAMI)

Guy Simpson est un chercheur qui exerce dans les sciences de la Terre, il est diplômé en sciences naturelles, mais il utilise la puissance des algorithmes et des lois de la physique pour faire de la modélisation numérique. Je lui ai demandé de créer une modélisation à partir du volume du dépôt que l'on a pu quantifier à 0.25 km³, soit 250 000 000 m³. Il a simulé le déplacement du glissement selon les valeurs connues de vitesse à laquelle les sédiments se déplacent dans l'eau, en appliquant les équations de Barré de Saint-Venant (Shallow Water Equations) et cela, depuis la zone du delta du Rhône actuelle avec la morphologie actuelle du lac — évidemment il y a 1 500 ans, ce n'était pas tout à fait comme ça. Cela nous a permis d'obtenir les valeurs de la vitesse de déplacement des vagues dans le lac et les valeurs de hauteurs de la première vague générée par l'évènement du Tauredunum. Ce qui a donné, à Lausanne par exemple, une vague de 13 mètres, 15 minutes après le début du mouvement de masse, et à Genève, une vague de 8 mètres, 70 minutes après.

Cette recherche a été publiée en 2012 dans Nature Geoscience¹, depuis nous avons amélioré la modélisation dans la partie ouest du lac (« Petit-Lac »), mais ce travail n'est pas encore publié, et on montre que la deuxième et la troisième vague étaient beaucoup hautes que la

première vague, ce qui est habituel pour un tsunami.

EXISTAIT-IL DÉJÀ DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES SUR LE SUJET ?

Des travaux sur le Tauredunum existent depuis longtemps, des historiens d'abord puis des géologues ensuite se sont emparés du sujet dès le XIX^e siècle. Mais ceux-ci n'étaient pas basés sur des preuves et des données, contrairement à la science actuelle. Certains ont fait par exemple, des suppositions relatives au lieu de l'effondrement de montagne. Personnellement, je n'aime pas trop aborder cette question du lieu de l'effondrement vu que je n'ai pas fait de recherches sur cet aspect : est-ce que c'est la Suche ? est-ce que c'est le Grammont ? Parce que pour moi, tant qu'on n'a pas trouvé des roches qui seraient par-dessus les restes d'un village et qui attestent par une datation au carbone 14 que tout ça date du VI^e siècle, ce n'est pas prouvé. Et la difficulté réside aussi dans le fait qu'il y a eu il y a presque 500 ans, en 1584 – donc plus près de nous et après le Tauredunum de 563 –, un autre tsunami sur le Léman. Ce qui implique que localement, même si on trouve des échantillons terrestres des traces qui dateraient de la même période que le Tauredunum, ces traces ont pu être remaniées par des évènements plus récents. Cette question est donc scientifiquement très complexe à résoudre.

QUELS SONT LES APPORTS DE VOS RECHERCHES SUR CET ÉVÈNEMENT PASSÉ ET PLUS LARGEMENT POUR VOTRE DISCIPLINE ?

Concernant le Tauredunum, le travail de recherche que j'ai mené avec Katrina Kremer et Guy Simpson, publié dans Nature Geoscience en 2012, est le premier qui apporte des preuves scientifiques matérielles. Il prouve que l'évènement a eu lieu, et que c'est bien arrivé au VI^e siècle, que les conséquences catastrophiques décrites par les historiens sont tout à fait plausibles vu les volumes qui ont été déplacés sous l'eau. Et cela, on a pu le modéliser. Par contre, cibler l'endroit où la masse s'est effondrée et le processus exact qui a conduit à ce glissement sous-lacustre du delta du Rhône, de cela, on n'est pas sûrs.

On a aussi découvert les traces d'un autre dépôt de l'âge du Bronze ancien, sous le dépôt du Tauredunum, qui est aussi de taille de très importante. Le glissement initial est parti de Lausanne et a traversé jusqu'à l'autre rive. En face, à Évian, un autre glissement est constaté. On pense que c'est un séisme qui les a produits simultanément, mais comme l'évènement est d'âge préhistorique, on ne saura jamais. Si l'on croise nos travaux avec ceux de Pierre Corboud, archéologue qui a étudié via la dendrochronologie des pieux palafittes (habitations lacustres sur pilotis) retrouvés dans le lac, on peut précisément dater l'évènement à 1758 avant J.C. Ils montrent en effet qu'il n'y aurait pas eu d'habitations construites après 1758, et ce pendant 30 ans, soit une génération d'humains, comme si les gens étaient partis après le tsunami.

Ce que nos travaux montrent de façon générale, au-delà du Tauredunum, c'est que le Léman a subi plusieurs tsunamis de façon répétée, dans son histoire, à peu près tous les 1 500 ans.

EN QUOI LES CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES DU LÉMAN FONT QUE CE PHÉNOMÈNE (ÉCROULEMENT/GLISSEMENT DE TERRAIN ET TSUNAMI) A PU ARRIVER ? PEUT-IL SE REPRODUIRE UN JOUR ? AVEC QUELLES CONSÉQUENCES SELON VOUS ? EST-CE QUE CE RISQUE EXISTE AILLEURS ?

N'importe quel lac peut être sujet à un écroulement

¹ Giant Lake Geneva tsunami in AD 563, K. Kremer, G. Simpson & S. Girardclos, Nature Geoscience, advance online publication 28 October 2012.

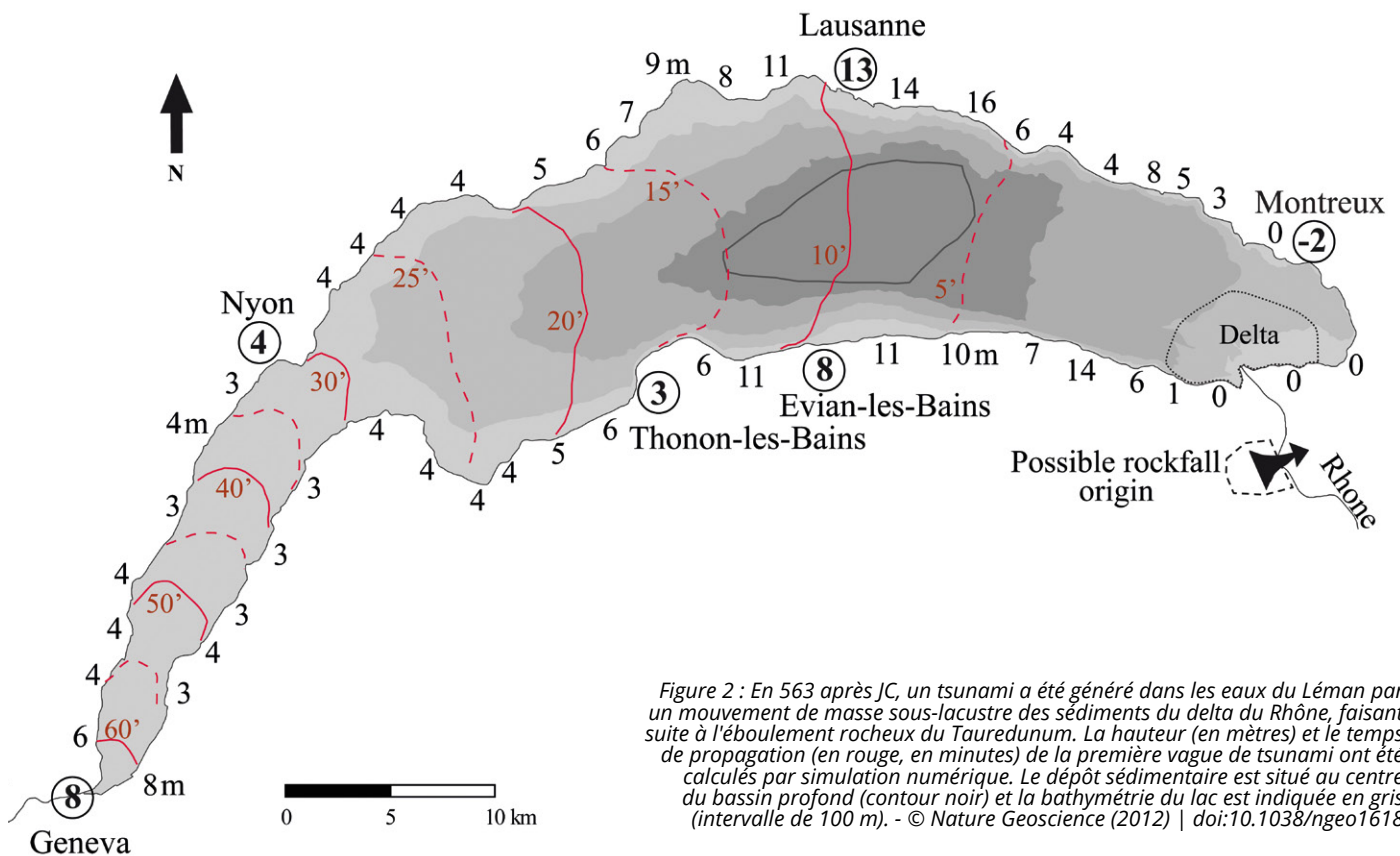


Figure 2 : En 563 après JC, un tsunami a été généré dans les eaux du Léman par un mouvement de masse sous-lacustre des sédiments du delta du Rhône, faisant suite à l'éboulement rocheux du Tauredunum. La hauteur (en mètres) et le temps de propagation (en rouge, en minutes) de la première vague de tsunami ont été calculés par simulation numérique. Le dépôt sédimentaire est situé au centre du bassin profond (contour noir) et la bathymétrie du lac est indiquée en gris (intervalle de 100 m). - © Nature Geoscience (2012) | doi:10.1038/ngeo1618

sédimentaire ou rocheux sous-lacustre suivi d'un tsunami. En ce qui concerne un écroulement terrestre comme le Tauredunum, cela peut arriver de nouveau, mais les lieux les plus à risques d'écroulements dans les Alpes sont suivis donc a priori une telle catastrophe avec de telles conséquences n'arrivera plus. Par contre, pour les glissements sous-lacustres, on ne connaît encore pas suffisamment comment ça se passe, et c'est pour ça que ce risque peut se produire demain à la suite d'un séisme par exemple. Oui, cela peut arriver de nouveau ; il suffit qu'il y ait un gros glissement sous-lacustre dans le Delta du Rhône, ou dans n'importe quel delta. Les conséquences d'un tsunami dépendront du volume de sédiments déplacés. Aujourd'hui sur le Léman cela pourrait impacter jusqu'à 1 million de personnes à cause de l'urbanisation à proximité des rives du lac.

ENVISAGEZ-VOUS D'AUTRES TRAVAUX DE RECHERCHE POUR AMÉLIORER LA CONNAISSANCE DU RISQUE DE TSUNAMI LACUSTRE SUR LE LÉMAN ?

Katrina Kremer (Université de Berne) a notamment une recherche en cours (2022/2027) sur les glissements sous-lacustres dans les deltas en Suisse : identifier là où dans les deltas des glissements risquent de se produire, combien de sédiments risquent de se déplacer, quelles sont les principales causes pour les déclencher ? Grâce des capteurs et une instrumentation, il va s'agir de s'intéresser à comment la topographie change avec le temps, de connaître l'instabilité dans les deltas, pour mieux cerner quels sont les risques. La recherche mondiale sur ce type de glissements sub-aquatiques et leurs déclencheurs en est encore à ces débuts, et l'aléa glissement sous-lacustre est encore mal connu dans son aspect quantitatif. Par « quantitatif », j'entends quelle est la probabilité des phénomènes et des risques pour une certaine magnitude d'effet. Nous ne savons pas encore quantifier de façon fiable les facteurs qui vont déterminer si une zone est dangereuse ou non, et dans quelle proportion. Le problème est identique dans les océans ou les mers où des collègues chercheurs travaillent sur les glissements sous-marins. D'ailleurs, l'ordre de grandeur pour des tsunamis dévastateurs est le même

que pour les lacs, à partir de 107 m³ de sédiments déplacés, cela peut générer des tsunamis avec des vagues de taille métrique, ce qui rend l'aléa dangereux.

AVEZ-VOUS RÉALISÉ DES ACTIONS SPÉCIFIQUES POUR FAIRE CONNAÎTRE CE RISQUE DANS LA SOCIÉTÉ CIVILE ?

La communauté scientifique a le souhait que le risque de tsunami lacustre soit pris en main par la société civile. Personnellement, je souhaite que ce risque entre dans la culture des gens. La connaissance basique que les gens devraient avoir, c'est que s'ils voient l'eau du lac (ou de l'océan) se retirer ou s'il y a un fort séisme à proximité, il faut partir des alentours du lac. J'ai participé personnellement à plus d'une vingtaine de conférences grand public depuis 2012 sur le risque tsunami sur le Léman, et ces communications font aussi partie de notre travail pour valoriser et diffuser les connaissances vers la société. Nous avons été ravies de voir que d'autres disciplines se sont saisies du sujet pour le vulgariser au plus grand nombre : il y a eu un film documentaire RTS/Arte, une exposition au musée du Léman à Nyon (Figure 1), un livre à destination du grand public de Pierre-Yves Frei et Sandra Marongiu qui ont permis de toucher les publics autrement. Puis des BD et même une symphonie ont évoqué l'évènement du Tauredunum. Tout cela a eu pour effet que les autorités locales suisses concernées – soient les cantons de Vaud, Valais et Genève – ont adapté des scénarios de risque tsunami à leurs dispositifs de gestion de crise. Dans ce cadre, un serveur de données majeur du canton de Genève soumis au risque d'inondation de l'Arve et de tsunami lacustre va également être déplacé pour éviter l'effet domino de risques qui pourrait se succéder en cas de catastrophe.

Giant Lake Geneva tsunami in AD 563, K. Kremer, G. Simpson & S. Girardclos, Nature Geoscience, advance online publication 28 October 2012.

DOI:10.1038/ngeo1618