Société Géologique de France

Tour de France 2025

Aide au commentaire géologique

par

Patrick De Wever, Pr. émérite, MNHN, Paris

avec la collaboration de

Pierre Thomas, Pr. émérite, ENS, Lyon



MUSÉUM NAL HIST NATURELLE

A.S.O. Amaury Sport Organisation

Remerciements

Merci pour leur aide et/ou suggestions à : Dr. Jacques Avoine, Laura Baillet, Mireille Béal, Pr. Guillame Billet, Roch-Alexandre Benoit, Pr Sylvain Charbonnier, Dr. Annie Cornée, Sylvain Duffaud, Dr. F. Duranthon, Dr. Damien Germain, Dr. Pierrick Graviou, Pr. F. Meilliez, Dominqiue et Philippe Leroux, Pr. Isabelle Rouget, Marc Thonon
autres à venir ….
Un remerciement particulier à Karine Bozzacchi, pour la confiance qui a bien facilité la tâche.

Texte téléchargeable sur les sites de

Société géologique de France

Planet Terre (ENS Lyon)

Société géologique du Nord

Bulletin de l'AGASous forme papier

1-Sam 05 juillet 2025
Lille-Lille
185 km

Le plat pays qui est le nôtre



(carte récupérée sur le site de la région)

Itinéraire: Lille, Carvin, Courrières LensLiévin

Le bassin minier

Dimensions : 120 km x 12 km x 1,2 km de profondeur

Catastrophe minière de Courrières1906

Le samedi 10 mars 1906, un « coup de poussier » ou « coup de grisou » a dévasté 110 kilomètres de galeries faisant, officiellement, 1 099 morts. C'est la plus importante catastrophe minière de tous les temps en Europe et la deuxième au monde (après celle de Benxi en Chine en 1942, qui a fait 1 549 morts).

La catastrophe a provoqué une crise politique et un mouvement social qui a débouché sur l'instauration du repos hebdomadaire.


LA CATASTROPHE DES MINES DE COURRIÈRES

© Le journal L'illustration, Dom public

Le grisou est un gaz, le méthane, qui se forme lors de la formation de la houille. Les passereaux sont très sensibles à ce gaz. Vers 1910-1985 les mineurs, avaient pris l'habitude de descendre avec un petit canari. Quand celui-ci cessait de chanter ou montrait des signes de détresse il indiquait que les conditions n'étaient plus sûres.




Canari © Cédric Courbois. Domaine public Un mineur avec sa cage de canari © George McCaa, U.S. Bureau of Mines, dom public

Coups de grisouje dirais : explosion dans les mines : 2 types

Il existe deux types principaux d'explosion dans les mines de charbon. Les plus connues sont les coups de grisou.

Le grisou est le nom du méthane naturellement présent dans les couches de charbon. C'est le même gaz que le gaz naturel qui arrive dans nos maisons pour la cuisine et le chauffage. Et comme dans nos maisons, il est susceptible d'exploser s'il est mélangé à l'air dans des proportions adéquates.

Les coups de poussier, correspondent au 2ème type d'accident et c'est ce qui a eu lieu à Courrière. Les coups de poussiers sont dus à l'inflammation et/ou à l'explosion d'un mélange air-poussière de charbon. De tels coup de poussier peuvent aussi arriver dans des installations industrielles ou agricoles où il y a mélange entre de l'air et de la poussière combustible, comme de la poussière de grain ou de farine. Le 18 août 2017, une explosion de poussière détruisait un silo à grain explosait à Blaye en Gironde, causant la mort de 11 personnes.

La catastrophe a provoqué une crise politique et un mouvement social qui a débouché sur l'instauration du repos hebdomadaire. Ce qui a le plus choqué l'opinion publique c'est l'attitude de la compagnie propriétaire des mines pour qui les bénéfices comptaient plus que la vie humaine. Trois jours après l'explosion, les recherches pour retrouver les survivants sont abandonnées et une partie de la mine est condamnée, pour étouffer l'incendie et préserver le gisement. Cette gestion de la crise par la compagnie minière a été particulièrement mal vécue par les mineurs et leurs familles qui pensaient qu'il pouvait encore y avoir des survivants. Et l'avenir leur donna raison. Le 30 mars, soit vingt jours après l'explosion, treize rescapés réussissent à retrouver le puits par leurs propres moyens après avoir erré dans le noir total sur des kilomètres ; un quatorzième est retrouvé quatre jours plus tard.

Les terrils,d'une honte à une fierté

Le bassin minier du Nord forme une étroite bande E-W marquée en surface par des terrils (se dit terri', comme pour fusil, outil…) et des chevalements. Certains terrils couvrent 90 hectares et dépassent les 140 mètres de haut.



Longtemps ces reliefs étaient considérés comme laideurs dans le paysage. Depuis 2012, ces biens sont classés au Patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO. Alors sil sont devenus une fierté.



Quelques terrils, à l'état naturel et aménagé pour les loisirs (Noeux-lez-Mines) © J.Günther-Heinz Jähnick, GFDL 1.2T

Le centre historique minier de Lewarde(prononcer Léouarde, cf. le W flamand)

Un musée de la mine, le plus important de France, expose 3 siècles d'histoire de la Mine, les conditions de vie des mineurs (salle des pendus, bennes de descente, visite d'une mine etc.).



Le centre historique minier de Lewarde est un musée qui présente les outils et la vie des mineurs. ©Jérémy Jännick, dom public

Charbon et machine à vapeur, un emballement

L'exploitation du charbona véritablement explosée au XVIII^{e} et XIX^{e} siècles grâce à l'apport de la machine à vapeur[1], non pas seulement par ses apports mécaniques facilitant l'extraction, mais surtout par sa puissance pour pomper l'eau et ainsi pouvoir descendre profondément dans les mines qui étaient envahies d'eau.

La machine à vapeur a donc permis d'augmenter l'exploitation du charbon, et par là de développer l'usage des machines à vapeur dans l'industrie, les transports (les trains à vapeur)… ce qui a considérablement augmenté les besoins en charbon... Un emballement qui a permis la Révolution Industrielle.

[1] La machine de James Watt , n'est pas une invention de ce monsieur, mais c'est lui qui eut l'astuce de déposer un brevet en 1769 pour une machine améliorée progressivement par de nombreux intervenants. La même astuce fut employée par Joseph Aspdin qui déposa le brevet du ciment Portland en 1824, une invention de 1818 du Français Louis Vicat. Celui-ci avait décidé de ne pas déposer un brevet pour que tout le monde puisse l'utiliser sa découverte !

« Au nooord, c'était[2] les corons » … qui étaient enviés !

Au nord, c'était les corons
La terre c'était le charbon
Le ciel c'était l'horizon
Les hommes des mineurs de fond…

La chanson de Pierre Bachelet les fait voir tristes. En fait **l'habitat minier était envié** ! Les compagnies minières étaient en concurrence pour la qualité de leurs logements de façon à attirer les meilleurs mineurs. Tous les autres ouvriers les enviaient. L'amélioration des modes de vie après 1950 les a rétrogradés

Merville (la Lys) Lin (cf Valenciennes aussi)

La vallée de la Lys était célèbre pour sa culture du lin. Les rivièresou zones ennoyées étaient alors utilisées pour le rouissage du lin (macération de plantes textiles, lin ou chanvre, pour faciliter la séparation de l'écorce filamenteuse avec la tige).

Hazebrouck

Houblon : « la vigne du Nord » sur sol sableux

Le sol sablo-limoneux de la Flandre, légèrement acide est idéal pour la production de houblon.

La culture du houblon est traditionnelle en Flandre et les houblonnières avec leurs hautes perches sont symboliques des paysages. Le houblon est l'or vert de la Flandre, aussi appelé parois la vigne du Nord, car ce sont toutes deux des lianes.

Il y a un léger regain avec l'explosion des brasseries artisanales.

Le houblon n'est pas vraiment nécessaire à la bière

Le houblon n'est pas nécessaire à la fabrication de la bière, car celle-ci est due à la fermentation de céréales (en générale de l'orge) en cours de germination. Le houblon (et plus précisément ses fleurs femelles) n'est là « que » pour donner les arômes de la bière et son amertume. Bref une boisson avec desbulles peut être obtenue sans houblon, mais une bière sans houblon n'est qu'une boisson fermentée.



Les plantes de houblon, très hautes marquent le paysage

La fête du Houblon à Bailleul

[2] On trouve aussi « c'étaient les corons »

Cassel Godesvaervelde

Mont Cassel

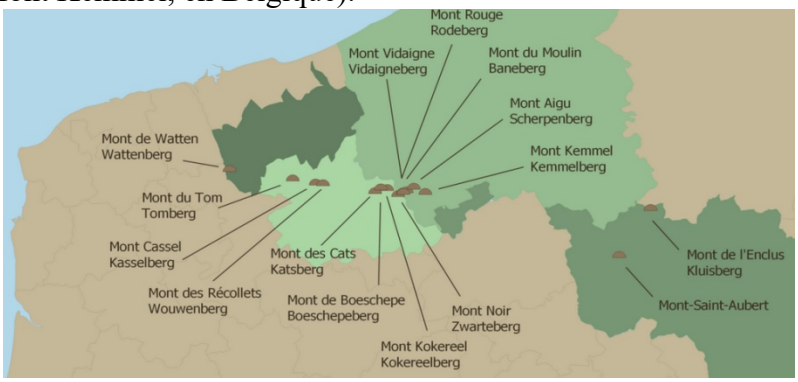
Dans la plaine des Flandres les seuls reliefs sont des "tas de sable", restes d'une mer qui s'étendait là il ya 35 à 50 millions d'années. L'érosion a décapé le sable, laissant apparaitre le substrat argileux. Des parties de sables, solidifiées, devenus des grès résistent mieux et couronnent les sommets ; qui ne dépassent pas les 180 m (le plus haut est le Mont Cassel : 176m).





Le mont Cassel portait des moulins à vent.

Ces monts font partie de tout un ensemble aligné sur une bande ouest- est (du Mont de Watten au Mont Kemmel, en Belgique).



Alignement E-W des monts des Flandres

Mont Noir Armentières Bailleul : puits artésien

De l'eau qui remonte en haut de la colline ? !!

Respectueuse des lois de la gravitation, l'eau a toujours tendance à descendre. Et pourtant, à Bailleul, au sommet de la colline de l'eau est disponible ! Pour quelle raison ?

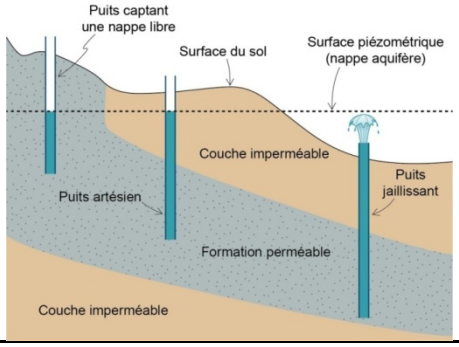
La ville de Bailleul est située sur une colline au milieu de la plaine de Flandre et pourtant, au sommet, en centre-ville existait un puits.





L'ancien puits de Bailleul devant la bibliothèque de la ville © CAUE59
Le puits, aujourd'hui obstrué, s'est asséché vers les années 1920, quand les pompages d'eau pour l'exploitation du charbon et les demandes d'eau pour l'industrie ont augmenté dans le pays minier.
Vue aérienne des monts de Flandres et de la butte de Bailleul (soulignée par un tireté rouge) © Francis Meilliez

Il s'agit d'un **puits artésien**. Ce phénomène de puits artésien a été mis en évidence pour la première fois en France par les moines de l'abbaye de Lillers, en Artois en 1126, d'où son nom. Ce vocable est aujourd'hui utilisé dans le monde entier.



Principe du puits artésien (avec niveau dans un puits et puits jaillissant).
Le phénomène du puits artésien est dû au fait que l'eau a tendance à se trouver, à l'air libre, au même niveau quelle que soit sa situation souterraine.

D'où vient cette eau alors que tout, autour, est plus bas ?

La solution est à rechercher à plusieurs dizaines de kilomètres au sud, dans les collines d'Artois, plus élevées. Pour parcourir cette distance, l'eau prend son temps : entre le moment où l'eau tombe et celui où elle est disponible à Bailleul plusieurs décennies s'écoulent, près d'un demi-siècle.

Cette situation illustre ce qu'est la nature : un système dont la temporalité n'est pas celle des humains. Parfois une eau consommée aujourd'hui est de l'eau de pluie tombée il y a plusieurs siècles voire plusieurs milliers d'années. C'est-à-dire qu'une pollution à un moment donné, en un endroit donné a des répercussions parfois bien loin, et des décennies ou des milliers d'années plus tard. Ce fait place l'Homme devant ses responsabilités dans la nature.

Le temps de l'environnement n'est pas le temps de l'Homme : l'eau

Au pied des Bauges, **Aix-les-Bains** est une **cité thermale** historique qui doit ses sources d'eaux chaudes sulfureuses à un phénomène géologique rare : les eaux qui se sont infiltrées dans les couches calcaires de la crête jurassienne de la Charvaz, au nord du col du Chat, mettent **plusieurs milliers d'années** pour ressortir à Aix-les-Bains après être passées à 2000 m de profondeur sous le lac du Bourget en suivant la forme en U du pli calcaire puis en remontant à la surface à la faveur d'une **faille**. En d'autres termes, l'eau chaude d'Aix-les Bains est une eau de pluie tombée au nord de la dent du Chat au Néolithique !

Les puits artésiens pour les cressonnières

Cette eau qui jailli au niveau de forages creusés il y a plus de 80 ans était encore utilisée récemment en Artois, en particulier dans la région d'Ardres, pour irriguer des cressonnières. Si ces cressonnières sont en voie d'abandon, elles constituent des zones humides, havres de biodiversité et mémoires d'une ancienne activité locale. Les communes concernées veulent protéger ce patrimoine. Une convention a été signée entre le Conservatoire des espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais, l'Établissement public foncier, l'Agence de l'eau, la communauté de communes des Trois-Pays (maintenant communauté de communes pays d'Opale) et la municipalité de Brèmes-les Ardres, pour un aménagement concerté des sites, voire un espace paysager dédié à l'histoire du cresson.





Eau jaillissant d'un puits artésien en 2008 dans une cressonnière
Forage d'un puits artésien dans les années 1935.
Source : La Voix du Nord, https://www.lavoixdunord.fr/670601/article/2019-11-26/bremes-la-famille-catez-et-les-cressonnieres-80ans-d-histoire-et-de-passion

2- Dimanche 06 juillet
Lauwin-Planque –Boulogne/Mer 212 km



Lawin-PlanckeDouai Arras St Pol/ternoise, N.HesdinMontreuil/Mer Etaples Hardelot (cote du Haut Pichot (Cote St Etienne du mont, Boulogne cote d'Outreau.

Douai- Les enfants de Gayant

Les Douaisiens sont tous des « enfants de Gayant ». Beaucoup de villes du Nord et de la Belgique sont représentées par leur Géant. Ils ont généralement des noms, mais celui de Douai est seulement Gayant (= géant en Picard, ce que beaucoup appellent par méprise le patois ch'ti). Le personnage emblématique de Gayant est connu depuis la Renaissance (1530).

Depuis 2015 Gayant est inscrit au patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO comme membre de « Géants et dragons processionnels de Belgique et de France ». Ces effigies ont conservé un sens identitaire pour certaines villes de Belgique (Ath, Bruxelles, Termonde, Malines et Mons) et de France (Cassel, Douai, Pézenas et Tarascon) où elles restent des traditions vivantes.



Le géant Gayant et sa femme Marie Cagenon devant le beffroi de Douai © A. Ceccarelli, cc-sa 1.0

Arras

Les carrières souterraines de craie utilisées lors de la guerre 14-18

La région d'Arras est constituée de craie blanche. Celle-ci a été exploitée depuis le IX^{e} siècle pour construire les édifices et le premier rempart de la ville. Ces excavations sont appelées les***boves***(ailleurs dans la Nord on parle aussi de catiches) .

L'exploitation de ces carrières a cessé au cours du XIX^{e} siècle, mais leur souvenir restait chez les habitants d'Arras qui disposaient parfois d'un accès direct à ces carrières à partir des caves de leurs habitations.

Lors de la Première guerre mondiale, à partir de novembre 1916, les alliés (Néo-Zélandais) préparent l'offensive du printemps 1917. Leur idée est de relier par des tunnels les carrières de craie médiévales pour créer un véritable réseau de casernes souterraines, capables d'accueillir jusqu'à près de **25 000 soldats** !

Une partie de ces galeries est aujourd'hui visitable, à 20 mètres sous terre notamment au lieu-dit : la Carrière Wellington, petite partie des 19 kilomètres qui composent les carrières souterraines d'Arras.

Le 9 avril 1917, à 5 h 30, après un intense tir d'artillerie, 24 000 hommes surgissent de dessous terre et surprennent les premières lignes allemandes. Au même moment, les Canadiens se lancent à l'assaut de la crête de Vimy.



Sortie n 10, l'une de celles utilisées lors de l'offensive du 9 avril 1917. © ChrisO, cc-by sa 3.0

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, les tunnels ont été rouverts pour servir d'abris antiaériens à destination de la population d'Arras.

Architecture flamande

Le pignon à gradins (pignon à redans ou encore pignon à échelons) est assez typique des pays du Nord, dans les édifices gothiques et de la Renaissance.
Les pignons sont présents particulièrement dans les anciennes villes marchandes, où ils ornaient des demeures bourgeoises. Les maisons des centres-villes ne disposaient pas d'une large place, elles étaient donc construites en profondeur. Le pignon seul permettait donc d'afficher le statut social. Il s'apparente au pignon « à pas de moineaux » que l'on trouve dans l'architecture rurale et pour lequel une pierre sert de couverture afin que l'eau ne pénètre pas à l'intérieur du mur.



Place d'Arras. Le pignon à gradin jouxte deux maisons avec des volutes du XVII^{e} siècle qui marquent la période baroque. Ce type de pignon au tracé en courbes et contre-courbes est dit « chantourné ». Sous les arcades se rencontrent des sortes d'entrée de soupirail : ce sont les **Burguets**, par lesquels les commerçants faisaient rentrer leurs denrées (tonneaux , sacs …). © A. Dvisme,cc-by-sa 3.0.

Avantage du pignon : Cette disposition permettait d'éloigner les poutres maîtresses les unes des autres afin de réduire le risque de propagation d'**incendie** d'une maison à l'autre. Elle diminuait aussi la partie visible sur rue et donc l'i**mpôt** qui dépendait de la largeur de la façade ! « Avoir pignon sur rue », c'était posséder une maison ou un commerce en ville. L'expression a ensuite gardé cette signification de notoriété, indépendamment de l'architecture.

Montreuil-sur-mer : la mer recule ?

La ville de Montreuil est située à 14 km du front de mer. Étrange avec ce nom.
De fait, à l'époque médiévale il s'agissait d'un très grand port de pêche. Ce fut même le seul port de mer du domaine royal en 987, lors de l'accession au trône de France de HuguesCapet.

Mais depuis l'ensablement de la Canche le rend inaccessible sauf aux très petites barques.

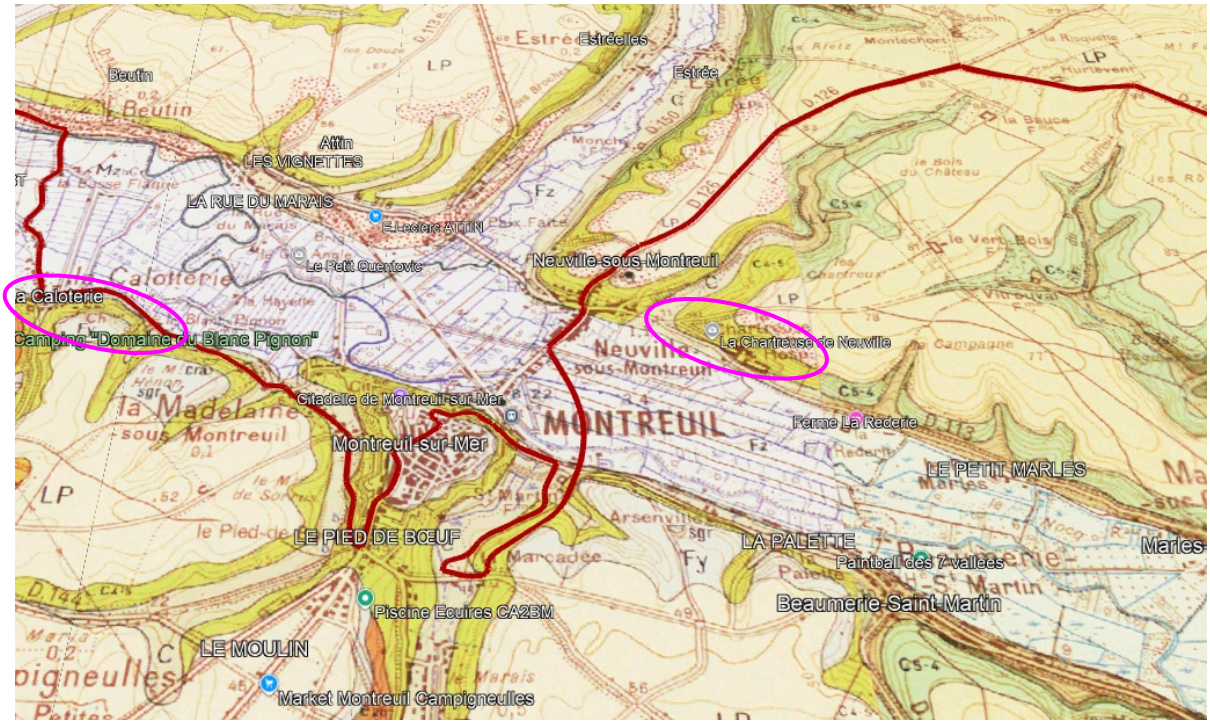


Montreuil-sur-Mer. Vue aérienne de la citadelle de) XIIIe -XIXe siècle. © Commune de Montreuil-sur-Mer, cc-by-sa 4.0

Peut-être que le dérèglement climatique et la remontée du niveau de la mer associée rendra de nouveau « maritime » cette ville ? Que de terres inondées dans cette perspective.

Construire sur le plat de la vallée augmente les chances d'inondations

En 2024 des inondations importantes ont frappé le Nord de la France. Il fut notamment question des bourgs de La Neuville-sous-Montreuil et de La Caloterie. Le noyau historique de ces communes est situé**sur**la berge crayeuse (en vert sur la carte), tandis que toutes les constructions récentes (après 1950) ont été construites en travers de la plaine alluviale de la Canche. C'est plus facile, c'est très plat. **C'est très plat parce que cette zone s'appelle en géologie : le lit majeur de la Canche ou … Plaine d'inondation**... !



Itinéraire du Tour 2025 (en rouge) sur la carte géologique
En nuances de verts : la craie, en beige : les limons de plateau, en blanc : les alluvions de la vallée (le bleu : les cours d'eau)
En fuchsia la partie historique des bourgs de La Caloterie, à gauche et de Neuville-sous-Montreuil (droite).

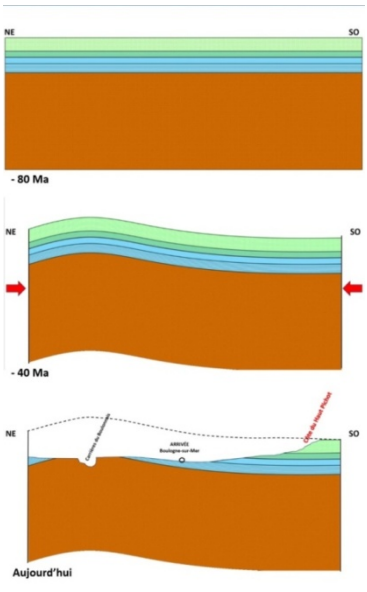
Hardelot

Boutonnière du Boulonnais

La région de Boulogne-sur-Mer est située au nord du bassin Parisien, fait d'un empilement de couches de résistance différentes déposées entre 250 et 50 millions d'années (MA) sur des vieux terrains (>300Ma).

Il y a 40 Ma, le nord de la France subit une compression (liée à la formation des Pyrénées et des Alpes) qui « ondule » ces terrains. L'érosion attaque les parties surélevées de ces ondulations et les couches dures forment alors des côtes (des cuestas). Une de ces cuestas entoure la région de Boulogne sur Mer (on parle alors de boutonnière). La course franchit 3 fois cette cuesta, deux fois en descente et une fois en montée:la Côte du Haut Pichot.

Cette ondulation fait ressortir les vieux terrains au nord de Boulogne qui sont exploités dans la **plus grande carrière de France**, la carrière de Ferques. Elle fait partie des « carrières du Boulonnais », qui extraient 8 à 9 millions de tonnes de roche par an. Ces roches servent au BTP, à l'industrie cimentière et une petite partie sert à faire de la chaux destinée à **l'industrie sucrière** (on cultive beaucoup de betterave dans le nord de la France). Il **faut en effet 100 kg de calcaire pour produire 1 tonne de sucre !**



Formation de la cuesta du Boulonnais, qui va être descendue 2 fois et montée une fois (côte du haut Pichot). Les vieux terrains (datant de l'ère primaire) sont figurés en marron ; les terrains datant de l'ère secondaire sont figurés en bleu et en vert

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

3- Lundi 7 juillet
Valenciennes -Dunkerque 172 km



ValencienneSt Amant, Orchies Mons en Pevelle, SeclinBéthuneLillersAire/LysCasselBerguesDunkerque

Valenciennes

L'Escaut a servi de frontière de 843 (Traité de Verdun) à la fin du XVIIe siècle (prise par Louis XIV en 1677) : Lotharingie à l'est ; Francia occidentalis à l'ouest. L'Escaut a donc été une barrière et en même temps LA voie de communication fluviale majeure de l'Europe du nord-ouest.

De très fins tissages de toiles de lin : le linon&la batiste des mulquiniers

La région du Nord était connue pour sa grosse industrie (proximité des mines et de voies navigables) et pour son tissage très fin, tel son linon (et la**batiste** de Cambrai). Ces tissus étaient célèbres dans le monde entier. Ils étaient fabriqués par des **mulquiniers**, sous les maisons (pour des raisons d'humidité et de température). Pour permettre cette activité, des ouvertures spéciales étaient construites à la base des maisons : les blocures[3].

[3] Inspiré de De Wever P. *et al.* (2024). Construire avec la nature. Belin/Humensis, 305pages.



Batiste et linon de Mouchoirs, pochettes, linge liturgique © PKM, dom public



Maison du mulquinier. Les mulquiniers travaillaient à la lumière d'une verrière caractéristique appelée « trou de blocure » sur des métiers à tisser dits « à marionnettes » (Avesnes-les-Aubert, Nord). © OTC, domaine public.

La trace de la « blocure » reste marquée par son arc d'origine. L'ouverture, qui était destinée à apporter la lumière au tisserand, a été murée ; seul un petit soupirail subsiste (Esnes, Nord). © P. De Wever.

Forêt de Saint-Amand

Une vallée dans ce terrain plat ?

D'étranges reliefs en creux attirent l'attention.

L'horizontalité des plaines du Nord est parfois démentie par une dépression notamment visible sur certaines routes.

Ainsi, un peu après Raismes (vers Vicoigne) la route traverse la Forêt Domaniale de Raismes –St Amand- Wallers, qui comporte de nombreux étangs et nombreuses mares. Ces trous d'eau sont dus à des affaissements miniers qui ont commencé à se manifester en 1916.

La route D313 qui conduit vers Arenberg (célèbre secteur pavé de la course Paris-Roubaix, dénichée par Jean Stablinsky) montre une dépression très nette qui évoque le passage d'une rivière. Or il n'y a pas de rivière. Dans cette zone minière du charbon a été extrait du sous-sol. Alors, tout doucement, avec le temps, les affaissements remontent et finissent par se manifester en surface. C'est le cas de cette route.



La route souligne un effondrement minier.
La dépression de la route D313 ne correspond pas à un vallon naturel mais à un effondrement minier. © P. De Wever
La gauche de la route, derrière les arbres, est bordée par le terril qui délimite la Mare à Goriaux, une zone naturelle protégée installée sur un terril plat.
Droite Les chevalements de l'entrée de Wallers-Aremberg témoignent du passé minier de la région. © P. De Wever



Reserve naturelle de la « mare à Goriaux » ; un effondrement minier, bordé (sur la gauche) par un terril plat © P. De Wever

Mare à Goriaux (ancienne mare à cochons comme son nom l'indique (goriaux = gorets en parlé picard). L'intérêt de la colonisation par la flore et la faune, riche et diversifiée, a conduit à décréter ce lieu réserve biologique domaniale de Raismes-St Amand-Wallers depuis 1982 pour l'intérêt de la recolonisation par la flore et la faune du terril.

Ce que veulent dire les mots … une réserve naturelle est donc une réserve de nature, sans que cela signifie qu'elle soit naturelle depuis longtemps.

Les pavés du Noooord

Le sable

Le sable est un sédiment meuble de granulométrie très fine. C'est la **taille des grains qui détermine l'appellation sable** (et non la composition). Les grains entre 0,06 mm et 1 mm constituent le sable. Plus petits, ce sont des silts ou argilites, plus gros ce sont des gravillons ou des galets. La plupart des sables sont faits de grains de quartz, mais ce n'est pas

obligatoire[4]. Il existe ainsi des sables faits de petits grenats (Ile de Groix), d'autres faits uniquement de coquilles , ou de cendres volcaniques, etc.

Le sable est abondant sur les plages (sable marin) ou dans les déserts (sable continental) où il forme des dunes, ainsi qu'au bord de certaines rivières comme la Loire.

Le sable est la troisième ressource naturelle que nous utilisons après l'air et l'eau (en tonnage).

Consommation moyenne de sable pour quelques réalisations humaines

Maison de taille moyenne : 200 tonnes
Hôpital : 3000 tonnes
Kilomètre d'autoroute : 30 000 tonnes
Centrale nucléaire : 12 millions de tonnes
Projet Palm à Dubaï : 150 millions de tonnes

Pourquoi le sable du désert n'est pas très utilisé en construction ?

Le sable du désert a été accumulé par les vents. De forme arrondie et très lisse, les grains ne s'imbriquent pas parfaitement les uns dans les autres lors du mélange avec les autres constituants du béton. Les grains arrondis forment un peu comme des roulements à billes et du coup, le béton se fissure et offre une moindre résistance au cisaillement. Il n'est donc pas utilisé pour les bétons.

Va-t-on manquer de sable ? On manque déjà de sable !

L'appétit des hommes pour cette ressource semble inextinguible. Par exemple, les îles artificielles de Dubaï ont nécessité un apport colossal de sable d'origine marine. Paradoxalement en effet, dans ce pays désertique, le sable du désert, trop fin, trop rond, ne convient pas. *A elles seules, les îles* The Palm *et* The World *ont ainsi nécessité près de 600 millions de tonnes soit* ***davantage que la production totale française en un an.***

Comme toutes les réserves faciles que sont les carrières ou les lits des rivières ont été aujourd'hui exploitées ou sont soumises à des règlementations contraignantes dans les pays développés, les industriels se tournent de plus en plus vers les sables marins, les extrayant sur les plages ou directement en mer à l'aide de grosses dragueuses pouvant traiter jusqu'à 400 000 m^3 de mélange d'eau et de sable par jour. C'est ainsi que les dunes des plages marocaines de Tanger ou Casablanca ont disparu, vidées nuit après nuit par des escouades de charrettes et camions pour fournir l'industrie du bâtiment florissante dans ce pays touristique (voir plus bas).

Partout dans le monde, on observe ce phénomène de surexploitation de sable, des Iles Maldives aux Caraïbes et à travers tous les océans. Par voie de conséquences, **les plages reculent** de plus en plus.

La consommation de sable en France :

Pour l'ensemble de ses activités, la France a consommé 365 millions de tonnes en 2012. Sur cet ensemble, le sable marin ne représente que 2 %, selon l'Union nationale des producteurs de granulats. L'extraction, réglementée, ne donne pas lieu à une exploitation sauvage. Mais la pression augmente. Le sable marin approvisionne déjà amplement la bande

[4] Texte inspiré de De Wever P. &Duranthon F (2015) Voyage d'un grain de sable. Coll. Terre à portée de main, EDP Sciences, 95 pages

côtière ouest, où la population augmente au galop. Il entre déjà dans 70% des constructions de Seine-Maritime.

Cette ponction du rivage ou de l'avant plage sur les zones côtières a des conséquences catastrophiques : fort impact des tempêtes, inondations, arrivée de l'eau salée dans les nappes d'eau douce, **recul du trait de côte pouvant aller jusqu'à la disparition complète de certaines îles**. C'est le cas de 25 îles indonésiennes qui ont ainsi disparu pour permettre à Singapour de gagner 130 km² sur la mer.

Et comme les 830 000 **barrages** répartis dans le monde **piègent** en amont le sable qui aurait pu participer à l'édification des plages, le phénomène va aller en s'amplifiant.

Cette raréfaction entraîne une véritable spéculation, des **trafics** et la mise en place de réseaux mafieux dans les régions du monde très consommatrices.

S'il fallait une preuve de l'inquiétude grandissante, les Nations Unies viennent de publier une note sur l'exploitation du sable qui appelle à la mise en place de discussions internationales à ce sujet.

Pillage du sable au Maroc

On connait de tels usages irrespectueux de l'environnement au Maroc. Certains retraités choisissent une jolie région en bordure de mer au Maroc : soleil, plage de sable, coût de la vie; Ils décident d'acheter un appartement en projet de construction. Mais voilà… ces appartements sont construits avec le sable de la plage et quand les appartements sont livrés… la plage n'est plus sableuse.



Prélèvements "sauvages" de sable au Maroc, pour la construction de nouveaux appartements

Le grès : dans les pavés, la plage !

Il arrive que les grains de sable soient naturellement cimentés lorsque des fluides les traversent. Le sable n'est alors plus pulvérulent, mais devient massif, devient roche, il devient grès.

Le grès peut donc être bien soudé, massif, solide ou moins cimenté, moins solide (voir Pif paf pouf).

PIF : oui, PAF : parfois, POUF : certainement pas !

Le grès, roche sédimentaire détritique, résulte de l'accumulation de grains de sable (généralement du quartz). La circulation de fluides a soudé ces grains. Le sable insaisissable (sous forme de poudre) est devenu un grès solide. Selon la qualité de la cimentation, le grès est plus ou moins dur, et plus ou moins imperméable.

Les carriers définissent la qualité d'un grès par le son que produit le marteau sur la roche.

Un grès « **PIF** » (son aigu) est de bonne qualité, bien cimenté et idéal pour l'utilisation.



Un grès « **POUF** » (son creux, évoquant l'effondrement du matériau sous le marteau) n'est pas assez cimenté, il est poreux et perméable. Il présente de grands risques de se fissurer au cours du temps et, friable, de s'éroderrapidement. Ce type de grès n'est pas utilisé.

Un grès « **PAF** », intermédiaire, présente quelques risques de fissures bien qu'il soit de meilleure qualité qu'un grès « POUF ». Sa très légère porosité a tendance à retenir l'eau. Il apparaît souvent humide alors que les grès « PIF » sont secs.

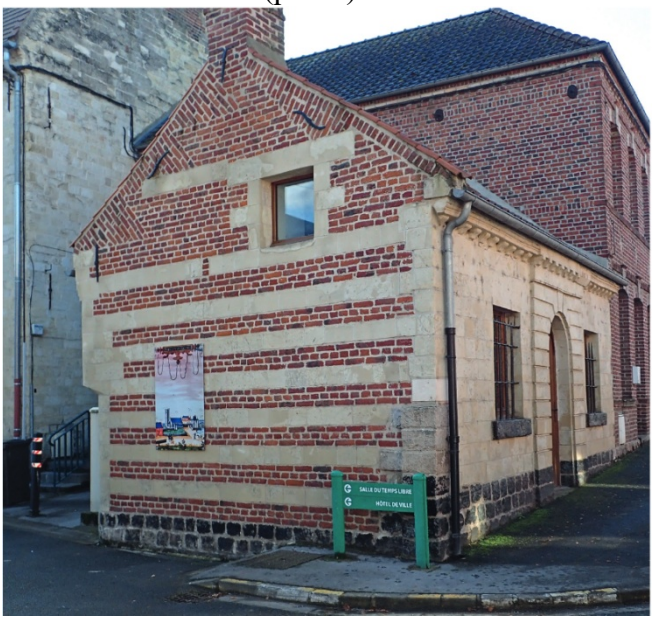
Pavage de rue en grès

Dans les rues le grès a été utilisé. Selon sa qualité, la roche est plus ou moins perméable et donc plus ou moins humide. Les pavés humides, sont généralement plus altérés que les pavés secs parce que, moins bien cimentés, ils sont plus vite endommagés que les autres.

Plusieurs régions ont des grès utilisés dans les constructions et des pavés pour les routes. Ce sont en particulier : les sables de Fontainebleau et les grès du Nord.

Les grès de Fontainebleau ont été utilisés en construction, pour la base de bâtiments et pour paver les rues de Paris.

Dans le Nord de la France, on retrouve aussi ces grès en base de maisons (photo) et pour les célèbres pavés de Paris-Roubaix (photo).



Habitats typiques du Nord : un pignon en « **Rouges –Barres** ».Une maison du Nord en "rouges barres" (craie et briques) et la base, en **grès**. Imperméable, cette roche empêche l'humidité de remonter. Côtoyant une demeure tout en craie et une autre tout en briques (Haspres) © P. De Wever

Une frustration : les pavés

Les pavés du Nord font la réputation d'une course. Ils ont si célèbres qu'ils sont protégés : la fameuse "**trouée de Wallers-Aremberg**" est interdite à la circulation toute l'année, sauf pour la course de vélos Paris-Roubaix. Des portions de routes pavées nécessitent des réfections, qui sont généralement à la charge du contribuable.

Ainsi ces routes pavées coûtent, ne sont pas utilisables et font la (mauvaise) réputation d'une région … de vrais motifs de frustration !



La "trouée de Wallers-Aremberg, en dehors des journées de course.

D'où viennent les pierres qui constituent les pavés ??

Les premiers secteurs avaient été construits par les paysans pour ne pas s'enliser dans la boue. Ils prenaient les pierres de la région : des **grès** le plus souvent.

Ainsi ils construisaient des "**drèves**" (mot qui serait dérivé du néerlandais, que l'on retrouve aussi dans le "**drive**" des Anglais) c'est-à-dire des chemins.

Par la suite ils ont utilisé une autre pierre très dure : le "**porphyre du Hainaut**" qui provient de carrières à quelques dizaines de km (Lessines, Quenast, Belgique). Il s'agit d'une roche issue d'un magma (une diorite, de la famille du granite sans quartz), roche intrusive mise en place il y a environ 440 millions d'années (Base du Primaire, Silurien).

Plus récemment, fin XX^{e} S., des rochespour les pavés proviendraient de Scandinavie. Selon les endroits, les sections pavées, l'un ou l'autre de ces matériaux domine.





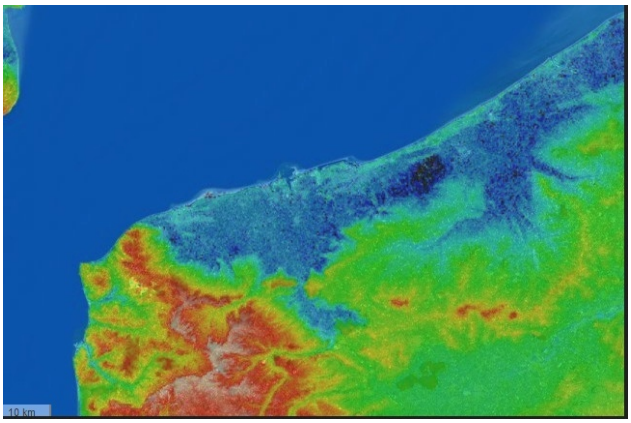
Gauche, sur cette portion pavée les porphyres dominent gris bleutés, à "points : cristaux de feldspath). Un seul pavé de grès (jaune) au milieu

Droite , il y a à peu près autant de pavés de grès (jaunâtres) que de porphyres (bleutés, à grains : les cristaux de feldspaths).

Les routes abimées sont aujourd'hui restaurées, au moins en partie par un lycée horticole de Raismes

Au N de Cassel vers Dunkerque :

Les polders flandriens



Golfes de l'Aa et delta de l'Yser (en bleu)

Carte topographique actuelle du Nord de la France montrant les altitudes en fausses couleurs et révélant, en bleu, les golfes de l'Aa et de l'Yser.

Étendues d'eau gagnées sur la mer, les Polders s'étendent en Flandre Maritime sur environ 100 000 hectares et donne un territoire fertile. Le **polder** est une étendue artificielle de terre gagnée sur l'eau, dont le niveau est le plus souvent inférieur à celui de la mer, à partir de marais, estuaires, lacs ou en ce qui nous concerne des zones littorales. Le procédé est simple : la surface à aménager est d'abord entourée de **digues**. L'eau emprisonnée dans ce périmètre est alors captée par un ensemble de pompes actionnées autrefois par des **moulins à vent** et, aujourd'hui, par des pompes électriques. Le **drainage** du terrain est facilité par un réseau de canaux et de bassins.

La région est drainée par le réseau des "**wateringues**" (= *watergangs*), qui couvre plus de 170 km (700 km en comptant les simples fossés) alimentant l'Aa (bien connue des cruciverbistes)qui se jette dans la mer du Nord à Gravelines. Ces canaux étaient parcourus en barques (les "**bacôves**") par les maraichers





Un Watergang (ou une wateringue) traversant une roselière,
Maison flamande et le Moulin de la Roome à Terdeghem © P-A. Leclercq, cc-by-sa 4.0.. Le moulin en bois pivote sur presque toute sa hauteur pour tenir compte du sens du vent. Il s'agit d'un « moulin pivot » ou « moulin chandelier ».

BERGUES : une citadelle enterrée !

C’est tout plat et en plus ils l’ont enterrée, là est l’astuce !

Bergues est au niveau de la mer (entre -2 et +3m). Comme il était impossible d'établir des moyens de défense en altitude, **il fut choisi au XVI^{e} siècle** de les enterrer : les fortifications sont entourées de larges et profonds fossés qu'il suffisait d'ennoyer en cas de danger. Vauban en améliorera la structure : une des rares **places fortes invisibles de loin**.





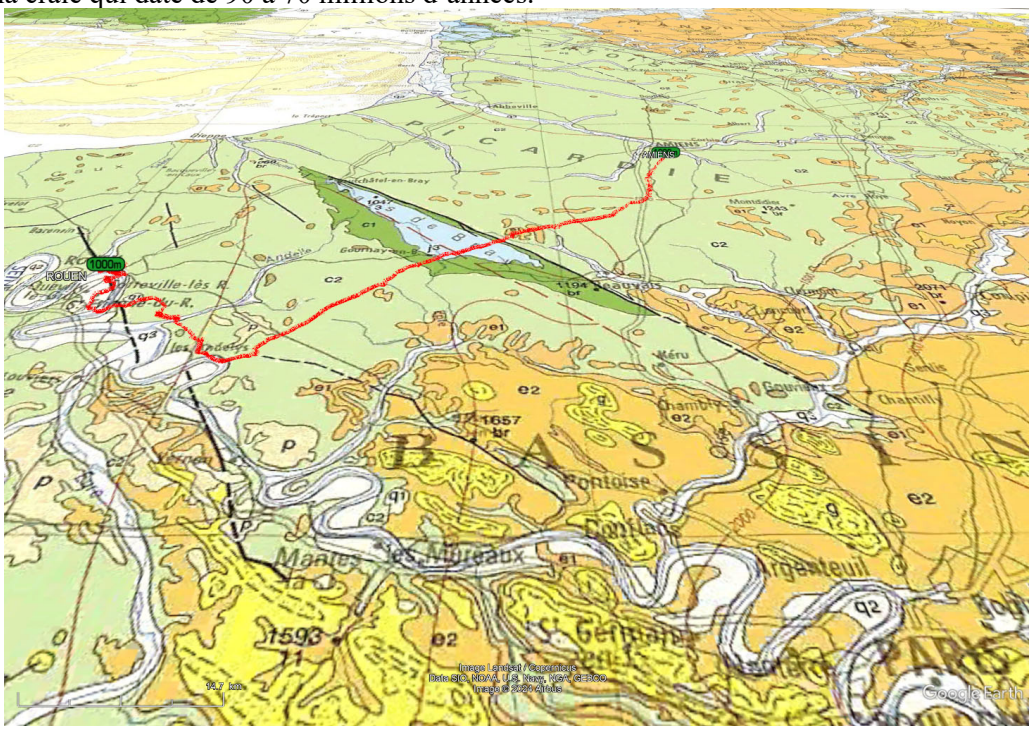
Le trait rouge correspond au parcours emprunté par le Tour 2025.

Plan-relief de Bergues (noter la quadruple ceinture de fossés et canaux). Les plans-reliefs ont été fait à l’initiative de Vauban ; ils sont conservés au Musée des Beaux-Arts de Lille.

4- Mardi 8 juillet
Amiens – Rouen 173 km

AmiensCrevecoeur-la-GrandSongeons Gournay-en-Bray, Les Andelys, Côte J.Anquetil, StAdrien,Belbeuf, Rouen

La carte géologique montre que 90% du trajet de l'étape est dans les mêmes terrains, de couleur vert-clair : la craie qui date de 90 à 70 millions d'années.



Les petites taches orangées sont des terrains qui surmontent la craie, ils sont plus jeunes.
Les terrains vert foncé et bleu sont situés sous la craie, et sont plus vieux. Ils affleurent parce qu'il y a 40 Ma, le nord de la France subit une compression (formation des Pyrénées et des Alpes) « ondule » les terrains, L'érosion attaque les parties surélevées de ces ondulations (anticlinal). Comme dans le Boulonnais traversé lors de l'étape 2, on parle de boutonnière, la boutonnière du Pays de Bray.

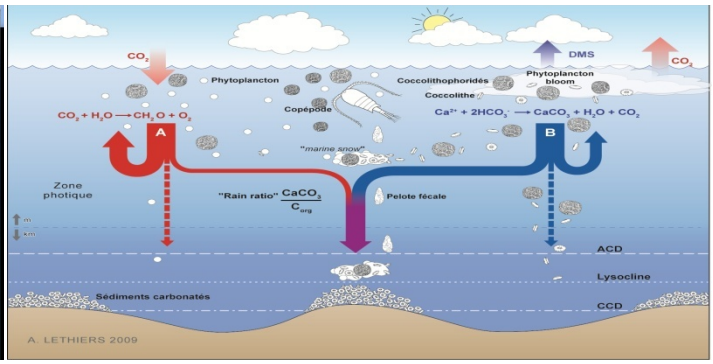
Lacraie

La craie a été utilisée en pierre de taille pour construire de très nombreux bâtiments depuis l'époque romaine. Pour de modestes demeures ou des édifices prestigieux : cathédrale de Beauvais avec la plus haute voûte d'ogive du monde, les cathédrales de Rouen, d'Amiens, de Cambrai, ou de Saint-Quentin…

Jugée fragile et altérable, cette pierre à bâtir tombe en désuétude au cours du XIX^{e} siècle, quand le développement du transport ferroviaire et fluvial permet d'importer massivement des pierres d'ailleurs.

La craie, si blanche est un pur produit de la vie : des algues nanoscopiques sont mangées par des minuscules crevettes. La partie indigeste : le squelette, est rejeté sous forme de pelotes fécales : leur accumulation donne la craie.



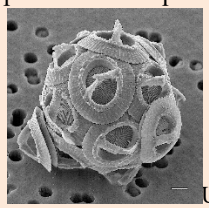


La craie, si blanche et pourtant : un lisier

Très répandue en France, la craie a donné son nom à une partie de l'échelle des temps géologiques : le Crétacé. Il y a 90 millionsd'années, les ¾ de la France étaient occupées par une mer. Dans cette mer de multiples organismes vivaient, des plus petits (quelques millièmes de millimètres, des algues, des protistes) aux plus grands (une dizaine de mètres, tel le Mosasaure). Certaines de ces algues microscopiques, environ de la taille d'un globule rouge (5 à 10 microns) possédaient une coquille calcaire : les coccolithophoridés (mot difficile à placer dans une conversation). Comme aujourd'hui, ils faisaient partie d'une chaîne alimentaire. Certains tiraient leur énergie du soleil, d'autres se nourrissaient de proies. Quand ces organismes mourraient, les coquilles de quelques-uns d'entre eux étaient conservées et s'accumulaient au fond de l'eau.

Parmi les organismes de la chaîne alimentaire, de petits crustacés, appelés copépodes, représentaient la moitié de la masse vivante. Ils se nourrissaient d'organismes plus petits, dont certains ont une petite coquille, non digeste et donc rejetée dans leurs déchets fécaux avec des éléments argileux. Ces petites crottes tombaient et s'accumulaient au fond de l'eau, représentant parfois l'essentiel de la sédimentation. Avec le temps ne restent que les minuscules squelettes calcaires ou siliceux qui constituent la craie.

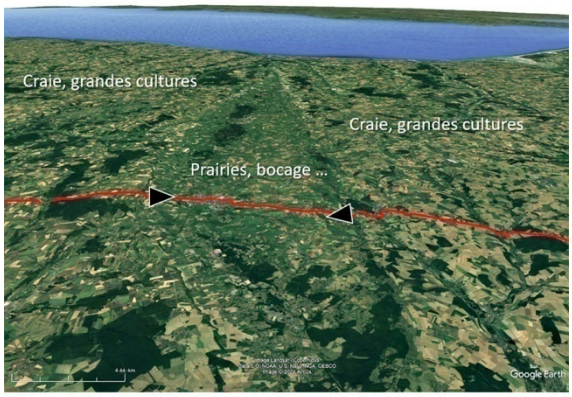
Finalement la craie, si blanche, avec la pureté de ces petits bâtons qu'ont tenus les chérubins à l'école primaire n'est qu'une couche d'excréments, un gigantesque lisier !

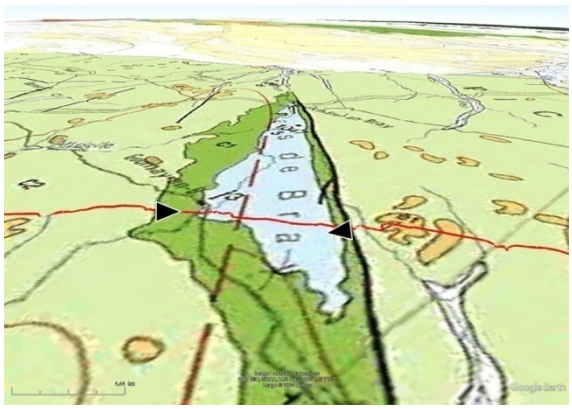

Une « coquille » d'algue unicellulaire (coccolithophoridé) de la taille d'un globule bouge. Ces micro-organismes étaient à la base de la chaine alimentaire marine dans les mers françaises d'il y a 70 à 90 millions d'années. Le trait blanc mesure 1 micron (1 millième de millimètre)



Un squelette de mosasaure au Musée des Confluences, Lyon. Ce lézard marin géant était au sommet de la chaine alimentaire marine dans les mers françaises d'il y a 70 à 90 millions d'années Les visiteurs donnent l'échelle.

La craie est une roche globalement perméable, et donne des sols fertiles, propices à de grandes cultures (céréales, betterave sucrière …). Les terrains plus vieux qui affleurent dans le Pays de Bray sont moins perméables. C'est le pays des prairies, du bocage, des vergers. C'est la géologie et la nature des roches constituant le sous-sol qui « gouvernent » le type de paysage et d'agriculture.





En haut, photo satellite du Pays de Bray que traverse la 4ème étape (entre les deux triangles noirs). En bas, carte géologique correspondante. A droite et à gauche, la craie. Au centre, les terrains situés sous la craie. Là où il y a de la craie (vert clair sur la carte géologique), la couleur d'ensemble de la campagne est plus claire, et les champs sont plus grands. C'est le pays des grandes cultures. Au centre, là où le sous-sol n'est pas crayeux (vert foncé ou bleu sur la carte géologique), la couleur d'ensemble de la campagne est plus foncée, et les parcelles agricoles sont plus petites. C'est le domaine du bocage, des prairies, des vergers. Le pays de Bray est un des pays du cidre ! C'est la géologie et la nature des roches constituant le sous-sol qui « gouvernent » le type de paysage et d'agriculture.

Les Rouges barres (craie et argile[5])

Le rouge et le blanc (on ne parle pas de vins ici) de la langue d' "oil"

Les terrains sont riches en craie, pierre particulièrement blanche. Mais les argiles, un peu plus récentes, ne sont pas rares non plus, elles ont permis le développement de **briqueteries**. On retrouve ces deux types de matériau dans les constructions des bâtiments où leur alternance a donné le nom de « **rouges-barres** » à ce type d'association.

Rouges barres et non Barres rouges ?

La langue d'Oil inverse souvent les positions relatives des adjectifs : les « **Villeneuves** » du sud de la France, sont des neu(f)villes » dans la partie Nord (Villeneuve sur Lot, dans le Lot), mais Neuville St-Amand, Neuville St Rémy, **Neuville**-en-Ferrain dans le département du Nord etc.

De même que l'on a des rouge-monts, des noirs-monts, Blanc-maison, verte-rue …

[5] Extrait de De Wever et alii. (2024) Bâtir avec la nature, ed. Belin, 335p.




Bâtiments en rouges barres. Ferme dans le Mélantois (Nord). © P. De Wever.
Maison en « rouges barres » avec une assise de trois rangs de grès contre la remontée de l'humidité (Aubencheul-au-Bac, Nord). © P. De Wever.

Lœss pour agriculture et les briques

Au Quaternaire, les vents des périodes glaciaires (vers -18000 ans) ont déposé des particules fines, très fertiles, appelées **lœss**. Ce riche limon a fait la richesse agricole de cette région.

Ce sédiment parfois riche en argiles a favorisé la fabrication de tuiles et de briques, de grandes cheminées de ces briqueteries en attestent




Maison en briques et tuiles : toutes deux résultent de la cuisson de l'argile
Seule la cheminée de l'ancienne briquetterie témoigne de cette activité

Tuiles et ardoises : toutes deux issues de l'argile

La tuile et l'ardoise sont deux matériaux largement utilisés par l'Homme pour les constructions, notamment pour les couvertures de toits. Les deux sont issus de l'argile.

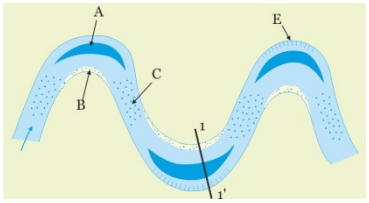
Les **tuiles** et les **briques** sont de l'argile cuite, manufacturée.

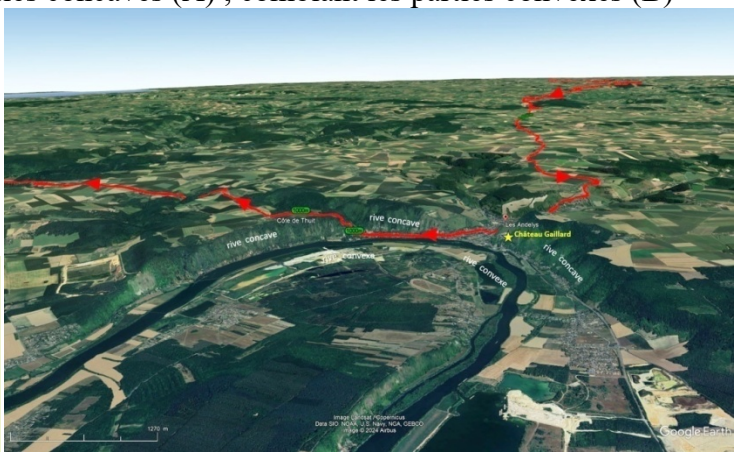
L'ardoise, un matériau naturel, est un sédiment qui a été soumis à de très fortes pressions lors de son enfouissement en profondeur dans les anciennes chaines de montagnes et ainsi transformé en une sorte de millefeuille très compact. Souvent les ardoises contiennent des petits cristaux de pyrite : un sulfure de fer qui apparaît doré quand il est frais (d'où son nom d'« or des fous ») ou rougeâtre, voire rouille quand il est altéré. Du fait même que cette pyrite s'altère en s'oxydant, elle finit par disparaître en laissant une petite cavité … un trou dans le toit n'est pas ce qui est attendu ! C'est précisément pour cette raison que les ardoisières de Fumay (Ardennes) par exemple ont été abandonnées, trop riches en cristaux instables de pyrite.

Les Andelys

Les boucles de la, Seine

La Seine installée dans une plaine divaguait paresseusement, puis avec le temps (et les glaciations) son cours s'est enfoncé tout doucement en accentuant la forme des méandres ; entaillant les parties concaves (A) , comblant les parties convexes (B)





Le méandre des Andelys sur la Seine, dominé par le Château Gaillard (en jaune). On voit bien la différence entre rive concave et rive convexe. Le Tour descend au niveau de la Seine en empruntant une petite vallée (la vallée du Cambon) et remonte en escaladant la rive concave au niveau de la Côte de Thuit.





Le prestigieux Château Gaillard (Les Andelys, Eure) a été construit sous Richard Cœur de Lion (1198). Ce chef-d'œuvre d'architecture militaire domine la Seine qui entaille les falaises de craie. © Sylvain Verlaine [CC BY-SA 3.0].

La Seine aux Andelys, l'île du château, vue du Château-Gaillard, Eure. © Tristan Nitot, cc-by-sa 3.0.

5- Mercredi 9 juillet
Caen - Caen 33km Clm

Caen, Parc de la colline aux oiseauxBd Marechal Juin (vers le N)Cambes en plaine ColombyAnguerny, Barbières (et ses méandres)**Thaon**Proximité de CamillyCairon puis par rue des rois Rosel (Rte de CaenGruchy

Une pierre prestigieuse : la pierre de Caen[6]

La pierre est utilisée depuis les temps préhistoriques et quelques-uns de ses usages célèbres en sont les sarcophages mérovingiens (VIIe siècle) et un usage très important comme pierre de taille par Guillaume le Conquérant (XIe siècle). Initialement la pierre était extraite dans la ville, mais quand son usage devint très abondant, des carrières furent ouvertes dans les flancs de la vallée autour de la ville.



Roue utilisée pour remonter des carrières souterraines les gros blocs de la pierre de Caen.
On notera la couleur très blanche de cette pierre, qui reste blanche avec le temps, ce qui en a fait un matériau apprécié pour les bâtiments prestigieux. © D. Peeters.

Guillaume le Conquérant voulut utiliser cette pierre pour construire sa capitale anglaise, Londres, mais ce ne fut que plus tard qu'elle fut largement utilisée là-bas que ce soit pour la Tour et le Pont de Londres, le palais de Buckingham, le parlement, l'Abbaye de Westminster, mais aussi dans les cathédrales de Cantorbery, Rochester, Chichester et Durham. De fait, jusqu'au XIVe siècle, la pierre de Caen fut presque exclusivement utilisée pour des constructions britanniques et quelques carrières sont restées des possessions britanniques jusqu'au XIXe siècle.



Palais de Westminster © Diliff CC BY-SA 2.5

A cause de cette énorme demande les carrières ont fini par devenir souterraines où elles représentent plus de 300 hectares. Vers la fin du XIXe siècle, la pierre de Caen se retrouvait partout en Europe pour des constructions importantes : Palais Royal à Bruxelles

[6] Extrait de De Wever P. & Cornée A. (2020).- Roches à tout faire. Edp Sciences, 304 pages.

(Belgique), Cathédrale de Cologne (Allemagne), aux Pays-Bas …, mais aussi hors d'Europe comme à Toronto (atrium de Osgoode Hall, Canada), à New York (cathédrale Saint-Patrick, USA) aux Iles Bermudes …

La pierre de Caen est un calcaire blanc quand il est extrait et qui devient encore plus blanc et durcit au contact de l'air. Le sédiment qui a donné la pierre de Caen s'est déposé au Jurassique moyen (Bathonien, il y a 165 millions d'années).

Caen :D'une décharge ils firent un parc floral

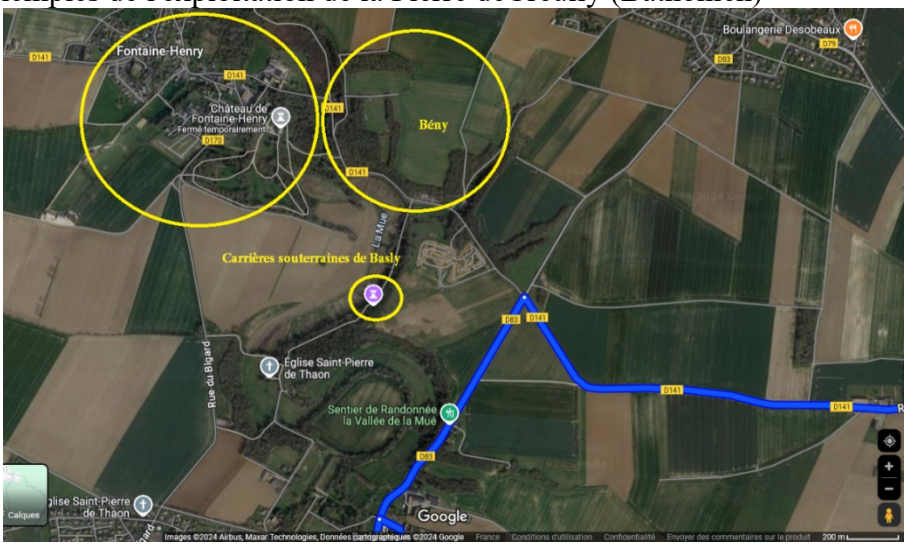
Parc de la colline aux oiseaux. Un parc floral de plus de 17 ha au cœur de Caen a été créé à l'occasion du 50ème anniversaire du débarquement. Cette ancienne décharge, où abondaient les oiseaux, d'où le nom, est un bel exemple de réhabilitation. De nombreux jardins à thème le composent (labyrinthe en buis et ifs, vivaces, jardins d'essais floraux...).



La butte de détritus (en haut) réhabilité en parc floral (dessous et à droite).

Surmontant le Calcaire de la Pierre de Caen existe le calcaire de Creully qui a aussi été exploité comme pierre à bâtir. De nombreuses carrière à ciel ouvert ou souterraines en attestent le long du circuit.

Vers Thaon, nombreuses carrières, parfois souterraines de la vallée de la Mue, sont de beaux exemples de l'exploitation de la Pierre deCreully (Bathonien)



Dans la vallée en méandres de Thaon

Le Tour passe juste à proximité de Carrières souterraines de Baslyoù était exploitée la Pierre de Creully, pour construire de nombreux bâtiments du Bessin dont le magnifique Château de Fontaine Henry.




Entrée d'une ancienne carrière souterraine et la pierre visible dans le village (Fontaine-Henry)



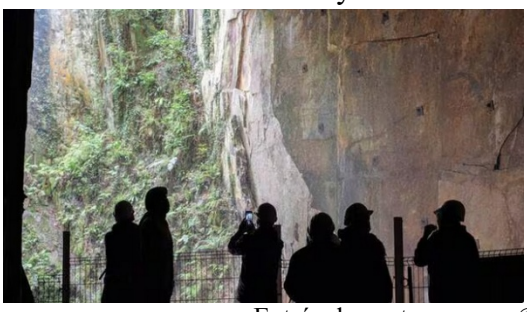
Château de Fontaine-Henry, en pierre blonde de Creully © Romain Bréget, cc-by-sa 4.0

6- Jeudi 10 juillet
Bayeux – Vire
201 km accidenté

Bayeux,Villers bocages Clécy Pont d'Ouilly-CahanFlers lonlay L'abbayeGersBarenton(Bion) RomagnyLa Gde CascadeCambremontBellefontaine Côte de Juvigny le-tertre Le Mesnil-AdeléeCherenceSaint-PoisStMichel de Montjoiepluton de granite de VireMontMirel Les Vaux –Chat de Vire Vire

Villers bocages et ses ardoisières

Ardoisières de Villy … ce sont des argiles compactées, déposées il ya près de 650 à 550 millions d'années, l'exploitation des schistes ardoisiers de Villy-Bocage servait à approvisionner la ville de Caen au XIVe et XVe siècle. Les ardoisières en surface couvrent 7 ha, mais les ardoisières existent aussi en profondeur : visitables à Caumont-l'Éventé, sous l'appellation de **Souterroscope** qui offre aux visiteurs des galeries creusées au XIXe siècle. Ces ardoises couvrent l'Abbaye du Mont Saint-Michel.




Entrée du souterroscope © C. Raoult et © M. Duvaux

Clecy La Suisse Normande

La région de Clécy, très accidentée, appelée la Suisse Normande est très jolie. Il s'agit d'un site connu des sportifs à la recherche de sensations (escalade, via ferrata, saut à l'élastique sur le viaduc, VTT et activités nautiques dans l'Orne en contre bas.




Sites escarpés de Clécy © INPG

La barre rocheuse, constituée de conglomérats très durs domine la vallée de l'Orne installée sur des schistes

Les falaises calcaires qui dominent l'Orne correspondent au retour de la mer, peu profonde, il y a environ 550 millions d'années sur une ancienne chaine de montagne arasée.

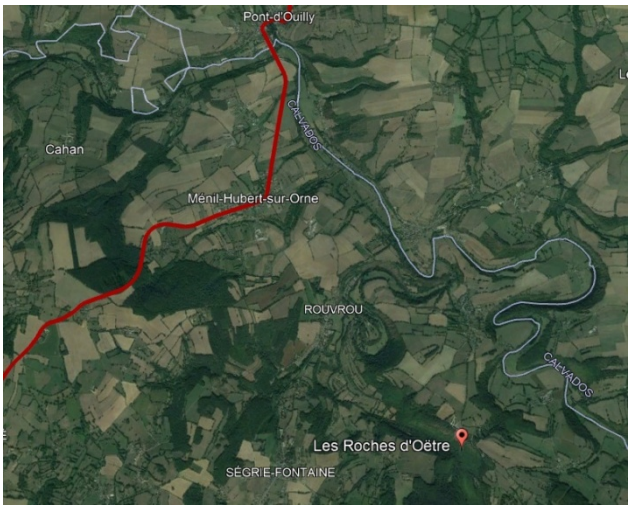
Les changements de direction du cours de l'Orne (en manivelles E-W et N-S) sont dus à des structures tectoniques.Ces calcaires ont été utilisés pour faire de la chaux comme en témoignent les fours monumentaux, très bien conservés, situés à l'entrée de la carrière.



Fours à chaux monumentaux de Clécy © INPG

Le Pont d'Ouilly

La région entre La Ferté et le Pont d'Ouilly , petite suisse normande offre de jolis paysages riches en Méandres de plusieurs rivières (Orne, Rouvre …) dominés par des escarpements de 120m dus à des niveaux de conglomérats, très durs datant de 550 millions d'années.



Saint Michel de Montjoie

Granite bleu de Vire

De Saint-Pois au château de Vire l'itinéraire se trouve dans un gros massif de granite : le granite bleu de Vire » (il s'agit plus exactement d'une grano-diorite) qui s'est formée il y a 550 millions d'années (Cadomien)

Ce granite a été très largement exploité au XX^e^ siècle. Le Bleu de Vire a servi à la réalisation de beaucoup de bordures de trottoir de la capitale, mais aussi dans des bâtiments plus prestigieux : la **tombe du Soldat inconnu** sous l'Arc de Triomphe à Paris, le dallage de l'aéroport de Roissy ou de la place Georges-Pompidou à Paris, la basilique de Lisieux… Il a aussi servi pour la fabrication de "**marbres" de précision dans l'industrie** (socles pour des appareils de très haute précision ou de contrôle de pièces), par exemple pour Avion Dassault (dont un bloc de 90 t), SNECMA, CIT Alcatel Renault, etc.

Ce granite est aussi connu du public pour former des cubes-glaçons



Parc Musée du Bleu de Vire © J. Rouch Normandie



Pavés en « bleu de Vire » © Lithothèquede

Le Parc-musée du Granite de Saint-Michel-de-Montjoie, retrace l'histoire du dernier centre d'extraction du granite **Bleu de Vire**.

7- Vendredi 11 juillet
Saint-Malo - Mûr de Bretagne
194 km accidenté

St Malo St Méloir des ondes Le fougereyChateauneuf d'Ile-et-VilaineDosletPleudihen-sur-Rance La Vicomte –sur-RanceLa Croix du Frêne PlesderLa chappelleTrévinal EvranBetineucCalorguenDinanTrefot Corseul (archéo musée)PalcoetPleuneud-ValAndréLamballe PlanguenoualSaint René YffiniacleRivageSt BrieucPledranStCarreucBerlouzeStGuenMûr de Bretagne

Des roches chiffonnées : les Migmatites de Saint-Malo

Il y a 540 millions d'années, des sables et des argiles provenant de l'érosion d'une chaîne de montagnes sont enfouis au sein de la croûte terrestre, à plusieurs kilomètres sous la surface du sol.Sous l'effet des fortes pressions et de la chaleur qui règnent en profondeur, ces sédiments se déforment et se mettent à fondre pour donner des migmatites : des roches de toute beauté qui montrent de très beaux plis et que l'on peut aujourd'hui admirer sur la plage de Saint-Malo, au pied des remparts.




Plage de Saint-Malo où les migmatites montrent des plis qui rappellent les tripes. © P. Graviou



La vallée de la Rance : une érosion de l'âge de glace

Envahie par la mer à chaque marée, la vallée de la Rance peut être qualifiée de « **ria** », comme on dit en Galice, ou d'«**aber** », terme plutôt utilisé en Bretagne. Mais dans les deux cas, il s'agit d'une **vallée fluviale** dont la morphologie témoigne des conditions climatiques qui régnaient dans la région il y a seulement 20 000 ans. A cette époque, alors que les **calottes glaciaires** recouvraient encore l'Europe du Nord, le niveau de la mer était beaucoup plus bas qu'aujourd'hui, le littoral par conséquent plus éloigné et les cours d'eau dont la pente était plus forte tendaient à s'encaisser dans leur lit. Depuis la fin des temps glaciaires, le niveau marin est remonté et, ici, l'eau de la Rance pénètre chaque jour dans la vallée jusqu'aux portes de Dinan.

L'usine marémotrice de la Rance

Reprenant l'idée des « **moulins à marée** » connus depuis longtemps, il s'agit d'une centrale électrique française tirant son énergie de la force de la marée.

Elle se trouve dans l'estuaire de la Rance. Avec une capacité installée de 240 MW, elle est restée la plus grande usine marémotrice au monde pendant 45 ans, de sa mise en service en 1966 jusqu'au 4 août 2011, détrônée par la centrale marémotrice de Sihwa en Corée du Sud, légèrement plus puissante (254 MW installés).



Vue aérienne du barrage et usine marémotrice de La Rance entre Dinard, à gauche et Saint-Malo, à droite © Tswgb, domaine public

Barrage de la Rance, avec ses pertuis munis de vannes de 15 × 10 m. © User:Dani 7C3 cc-by-sa 2.5

La mer des faluns

Il y a environ 15 millions d'années, la mer envahit le sud de la Bretagne et une grande partie de la Touraine à partir de l'océan Atlantique pour rejoindre la Manche. **La Bretagne est alors une île**, baignée par cette mer tropicale peuplée de requins et de mammifères apparentés aux lamantins (ou sirènes ou dugongs, ou vaches de mer). Aujourd'hui, on retrouve au sud de Dinan les restes fossilisés de ces animaux dans des sables coquilliers qui recouvraient alors le fond de la mer. Connus sous le nom de faluns, ces sables ont donné leur nom au musée qui vous propose de découvrir cette histoire ancienne dans le village de Tréfumel.



La Bretagne est une île il y a 15 millions d'années, elle est habitée par des sirènes (lamantins) © P. Graviou

Saint Brieuc Pledran

Des murs soudés à l'eau !

Les pierres des murs sont fréquemment collées entre elles par un mortier qui consolide la construction. En Bretagne un exemple assez exceptionnel révèle que des pierres ont été soudées par la fusion partielle de leur matériau. Les pierres sont soudées parce qu'une partie a fondu, leur **ciment est vitrifié**[7]. Ces murs font partie de fortifications très anciennes appelées « Camp de Péran » à Pledran, 5 km au SW de Saint-Brieuc

Il s'agit d'une **enceinte fortifiée** qui pourrait dater de l'âge du fer (vers 800 à 700 av. E.C.[8]) et souvent attribué aux Vikings. De forme ellipsoïdale (134 x 110 m), il présente les vestiges d'une double enceinte. Plusieurs portions de murs, sont formées de roches variées **soudées par "vitrification"**. Le verre résulte de la fusion de la périphérie des blocs et/ou d'un amalgame interstitiel.

Il existe plusieurs enceints vitrifiées en Europe occidentale, particulièrement en France et en Écosse. Le fort de Péran est le mieux conservé des forts français.

La vitrification a été obtenue par la combustion de poutres de bois qui armaient les murs, de type de murs gaulois décrits par Jules César (les *murus gallicus)*. Cependant, son caractère intentionnel, ou accidentel par incendie, reste débattu.

Le principe est que la combustion du bois, dégage de l'eau qui aurait fait fondre les roches granitiques. En effet en conditions de surface, un "granite sec" fond vers 950°C et un "granite hydraté" vers 900°C. En refroidissant le matériau fondu forme un verre.

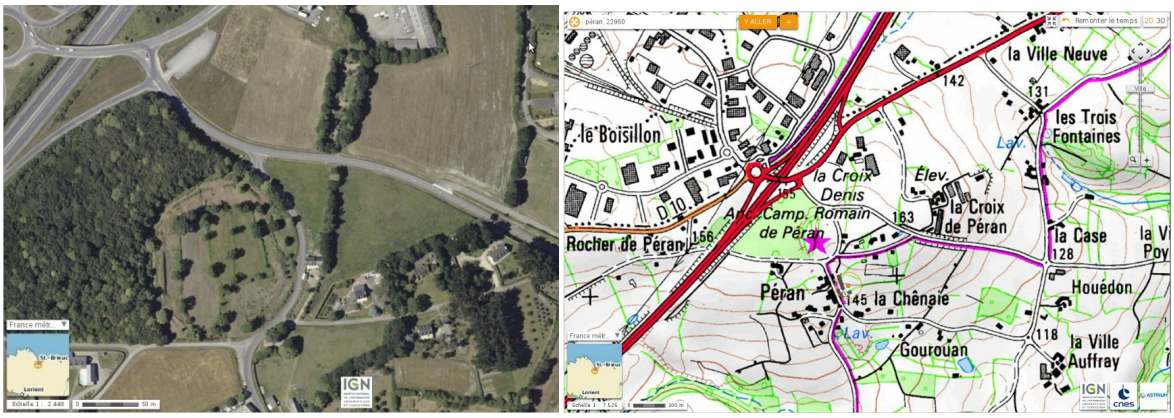
C'est donc la présence d'eau qui aurait permis cette fusion du granité.



Les *murus gallicus*, ou murs gaulois, décrits par Jules César dans la Guerre des Gaules, sont des remparts faits d'un empilement de blocs de roches rigidifié par un entrecroisement de poutres de bois. © 2013 Gilbert Crevola

[7] Inspiré de De Wever P. (collectif sous la direction de) (2003).- *Le volcanisme cause de mort et source de vie*, Vuibert, 328p (p. 21) et de
Crevola G, Dequincey O. & Thomas P. (2013).- Anatexie en conditions de subsurface : les murs vitrifiés du camp de Péran et murs vitrifiés du camp de Péran et autres phénomènes anthropiques ou naturels. Planet Terre : https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/anatexie-surface.xml - Version du 31/10/24

[8] E.C. = Ère commune, ou ère chrétienne, équivalent de « Jésus-Christ)



Le camp de Péran, à 5 km au Sud de Saint Brieuc, à proximité de l'échangeur de la double voie D700 avec la D10

8e- Samedi 12 juillet
Saint-Mée-le Grand - Laval
174 km plat

St Méen-le Grand Bois GerbillyMontauban-de Bretagne + La Chapelledu loup du lacRomiliéGevezéChevaigneSt Sulpice la Foret Liffré La bouexièreMarpiréVitréArgentré du PlessisGennes sur Seiche CuilléGastinesLaubrièresBalloisCraon LaignéMarign,é-Peuton Qeilaines/GaultNuillé/ViconStPierre Le potierLaval

« Vous la mettrez sur l'ardoise »

"Plus que le marbre dur me plaît l'ardoise fine »
Joachim du Bellay "Heureux qui comme Ulysse »

Arrivés à Craon (prononcer Cran), nous ne sommes qu'à quelques kilomètres de Renazé, d'où viennent les frères Marc et Yvon Madiot.
Renazé est aussi connue pour ses ardoisières.

Ces exploitations ont débuté depuis au moins le XVI^{e}siècle et les ardoises locales sont principalement issues de la formation géologique de Riadan-Renazé, datée de l'Ordovicien supérieur (460 à 445 millions d'années environ).
La fin de cette période marque la première des cinq grandes extinctions de masse qu'a connue la biodiversité (période de grande glaciation).



Les ardoises sont d'anciennes argiles très compactées.
Celles de Renazé peu fossilifères ont toutefois livré quelques trilobites : des arthropodes qui vivaient sur les fonds marins.

Phacops, un trilobite Ordovicien. Les trilobites (3 lobes), comme les cloportes s'enroulent pour se protéger

De manière plus générale, les ardoises de la région, notamment de la formation Angers-Traveusot (également de l'Ordovicien), ont été intensément utilisées pour les couvertures des toits et sont caractéristiques des toitures d'une grande partie de l'Ouest de la France. "

Ces ardoisières sont fermées depuis 1975, mais le musée de l'ardoise et de la géologie à Renazé retrace l'histoire de la mine sur un ancien site où le chevalement du puits d'extraction a été conservé.





Affleurement de schistes ardoisiers et chevalement du musée de Rénazé © P. Graviou

A Segré en Anjou, une ancienne mine est ouverte à la visite, et les touristes peuvent descendre à 120 m sous terre (https://www.laminebleue.com/#). Au fond, le travail des anciens mineurs est reconstitué (1ere photo) ; en surface, on peut voir « en vrai » les gestes des tailleurs d'ardoises (2eme photo)
. Je te joins 2 photos personnelles





9e- Dim 13 juillet
Chinon-Châteauroux
170 km plat

Chinon Chapoigny/VeudeRichelieu OrchesThuréChâtellerault Coussay-les-BoisLa Roche PosayPreuilly/ClaiseAzay-le-FerronMézières en Brenne St GemmeBuzençaisSt LactencinVilledieu/IndreVillegongisVineuilChâteauroux

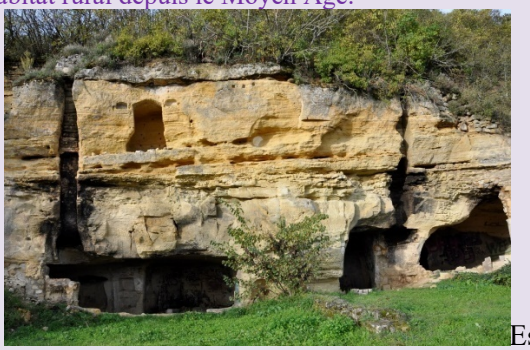
Une architecture marquée par le tuffeau[9]



Le tuffeau blanc du château de Chinon © Tour, dom public

Il y a tuffeau et tuffeau

Célèbres dans le monde entier, les châteaux de la Loire doivent en partie leur réputation au matériau utilisé pour leur construction. Il s'agit du tuffeau blanc, une roche calcaire relativement tendre qui s'est formée sur les fonds d'une mer qui occupait la Touraine il y a 90 millions d'années (Turonien). Durcissant à l'air, cette pierre se prêtait parfaitement à la taille, permettant de façonner les fines sculptures très en vogue à la Renaissance. Mais si le tuffeau blanc gagnait ainsi ses lettres de noblesse, le tuffeau jaune, plus sableux et moins fragile, était parfois mis en œuvre dans les soubassements des monuments et très largement employé dans l'habitat rural depuis le Moyen Âge.



Escarpement constitué de tuffeau jaune (coteau de Sainte-Radegonde, Chinon).©P.Graviou.

Omniprésent dans l'architecture tourangelle, le tuffeau présente cependant l'inconvénient d'être poreux et perméable, ce qui le rend sensible à l'altération. Pour les assises inférieures des constructions ou pour les escaliers, le tuffeau jaune a donc été

[9] Inspiré de De Wever P. et alii (2024).- Construire avec la nature. De la roche au bâti. Ed. Belin, 335 pages

progressivement remplacé par des calcaires lacustres de Touraine ou de Beauce, résistant beaucoup mieux à l'humidité. Quant aux toitures, elles étaient réalisées en ardoises fines qui étaient acheminées par la Loire depuis l'Anjou.





Portail sculpté de l'église romane Saint-Pierre de Parçay-sur-Vienne (Indre-et-Loire) réalisé en tuffeau blanc.© J-J.Macaire.

Caves troglodytiques aménagées dans l'escarpement de tuffeau jaune qui surplombe la ville de Rochecorbon).© P. Graviou.

Maison d'habitation construite en tuffeau blanc, dont le soubassement est réalisé en calcaire lacustre de Beauce, moins perméable (Amboise).© J-J.Macaire.

Des habitations troglodytiques

À la Renaissance, alors que les châteaux de la Loire étaient en pleine construction, l'exploitation du tuffeau blanc devenait une véritable nécessité, le plus souvent à flanc de coteau, dans des galeries et des carrières souterraines. La roche, relativement tendre, était attaquée à l'aide d'un pic. Entreposés sur les quais, ces derniers étaient alors lavés en période de crue, puis chargés dans les gabares pour être transportés jusqu'aux chantiers.

Sur certains sites d'extraction les galeries organisées en réseaux sur différents niveaux pouvaient atteindre au total **plusieurs centaines de kilomètres linéaires** : un espace vacant et abrité des intempéries, rapidement occupé par les villageois pour leur usage domestique. **L'habitat troglodytique** se développait. Aujourd'hui, les nombreuses cavités visibles le long du fleuve royal, depuis le Loir-et-Cher jusqu'au Maine-et-Loire, témoignent encore de cet habitat original qui tend peu à peu à disparaître. À l'exception des plus grandes d'entre elles, aménagées pour le tourisme, en caves à vin ou en champignonnières.





Entrée des anciennes carrières souterraines exploitant le tuffeau blanc à Bourré (Loir-et-Cher).© P.Graviou.

Cave troglodytique de la Sybille, creusée dans les escarpements de tuffeau jaune de Touraine (Panzoult, Indre-et-Loire).© J-J. Macaire.

Intérieur d'une ancienne habitation troglodytique creusée dans le tuffeau (Forges) © P. Graviou.

Vers Orches(zone de ravitaillement)

Amberre : les faluns de la Vienne

Nous avons vu lors de la 7e étape qu'il y a environ 11 à 15 millions d'années (Miocène), la mer avait envahit le sud et le centre de la Bretagne et s'étendait en Poitou-Charentes à partir de l'océan Atlantique pour rejoindre la Manche. Cette mer tropicale était peuplée de requins et de mammifères apparentés aux lamantins (ou sirènes ou dugongs, ou vaches de mer) avec de très nombreux coquillages. Ceux-ci abondaient dans la mer mais très agitée, celle-ci, les cassait après leur mort. Il en résulte un sable coquillier appelé « falun ».

Composés de grainsde quartz et de fragments de coquilles roulés, les faluns, plus ou moins indurés, montrent de très jolies structures sédimentairesen lits obliques, formés dans des chenaux demarées, dunes sous-marines… traduisant un dépôt en mer agitée, peu profonde (10-15 m)



Vue des stratifications obliques du Moulin Pochas © M. Wagner

Et détail du sable coquilliers © F. Sauvion& P. Picard[10]

Il s'agit de l'unique témoignage en Poitou-Charentes de l'extension, il y a 11-15 millions d'années, de la mer des Faluns, dernière transgression marine sur le territoire français.

Ce matériau était utilisé pour fabriquer des parpaings grossiers, comme sable de crépis ou comme amendement agricole sur des terrains lourds afin de les amender et les alléger (d'où le terme de «faluner» son champ avant labour.

Après Azay-le-Ferron, vers Mezières en Bray

Les cuirasses de fer de la Brenne ressortent comme des « buttons »

Dans le département de l'Indre, la Brenne forme une vaste dépression caractérisée par la présence de nombreux **étangs** d'origine anthropique, de prairies et de bois, mais aussi de petits reliefs connus localement sous le nom de **"buttons"**. Le plus élevéd'entreeux domine la région d'une trentaine de mètres et accueille le château du Bouchet, une forteresse

[10] Site : Acad Poitiers SVT, Faluns d'Amberre : https://ww2.ac-poitiers.fr/svt/spip.php?article489&debut_page=3

qui se dressedepuis le XIII^{e} siècle sur un substrat induré rougeâtreémergeant des zones humides.



Vue panoramique d'un button © J-J Macaire)

La Brenne s'est individualiséeil y a env. 50 millions (Eocène), lorsque des sables et des argilesfluviatiles issus de l'érosion du Massif central sont venus s'accumuler dans cette région. Des grès argileux, riches en grain de quartz et de feldspath se sont formés, séparés par des niveaux de paléosolsrougeâtres (correspondants à des arrêts de sédimentation). Ces paléosols se sont formés sous climat tropical.Le dernier d'entre euxs'est développé sous la formed'unesolide cuirasse enrichie en fer et en kaolinite par lessivage différentiel des éléments chimiques. Les buttons sont les témoins résiduels de cette cuirasse aujourd'hui largement érodée.



Mur construit avec des grès ferrugineux qui arment les buttons © J-J. Macaire)



Le château du Bouchet, une forteresse installée sur un button © J-J. Macaire)

10e lundi 14 juillet
Ennezat - Mt Dore Puy Sancy
163 km Montagne

Ennezat (limage)Chatel Guyon (colde Loubeyrat 2°cat)VolvicArgnatChanal-la –MouteyreClermont FerrandCte de l Baraque RoyatCte de la CharadeCeyratBerzet St Genès ChampanelleThèdesMansonRochefort-MonatgneCol du GueryCol de la Croix-Morand Chambon/Lac Murol

Commençons par 2 points d'histoire

Le Tour de France doit quelque chose au volcanisme !

Le vélo, enfant du volcanisme

Toute difficulté est une opportunité

Depuis Platon (La République) il est connu que « la nécessité est la mère de l'innovation »

L'éruption du **volcan Tambora**, survenue en avril **1815** sur l'île de Sumbawa, en Indonésie, a entraîné un changement climatique important ressenti partout dans le monde



Karl Drais sur sa draisienne, inventée en 1817.

En 1816 cette altération a été appelée « l'année sans été ». Elle a entraîné une baisse du rendement des récoltes. Les chevaux, principaux moyens de locomotion, à l'époque, manquant de nourriture ont été abattus ou sont morts de faim.

Pour pallier cette difficulté des moyens de transport Von Drais propose sa « *Laufmaschine* » en 1817 : la **draisienne**.

La machine est expérimentée à Paris en avril 1818 au carrefour de l'Observatoire, non loin du jardin du Luxembourg. Après des améliorations nécessaires, l'invention fut commercialisée en France sous le nom de **vélocipède** et en Angleterre sous le nom de *hobby horse* (cheval de loisir).

Après une courte période de succès, la draisienne, ancêtre du vélo,fut remplacée par le vélocipède à pédales sur la roue avant, généralement considéré comme inventé en 1861 à Paris par le serrurier Pierre Michaux et son fils Ernest.



Figure de P. Thomas résumant cette affaire

ÀVolvic, le naturaliste Guettard (1715-86) comprend que ces « gros tas » sont des scories romaines

La chaîne des Puys (45 km de long) forme un alignement nord-sud de près de 80 volcans, tous âgés de moins de 100 000 ans, la plupart fonctionnaient au Paléolithique, et au Néolithique, ce qui explique qu'ils soient si bien conservés. Ils longent la grande faille de Limagne. Cet ensemble est inscrit récemment (2018) au Patrimoine mondial de l'hmanité par l »UNESCO

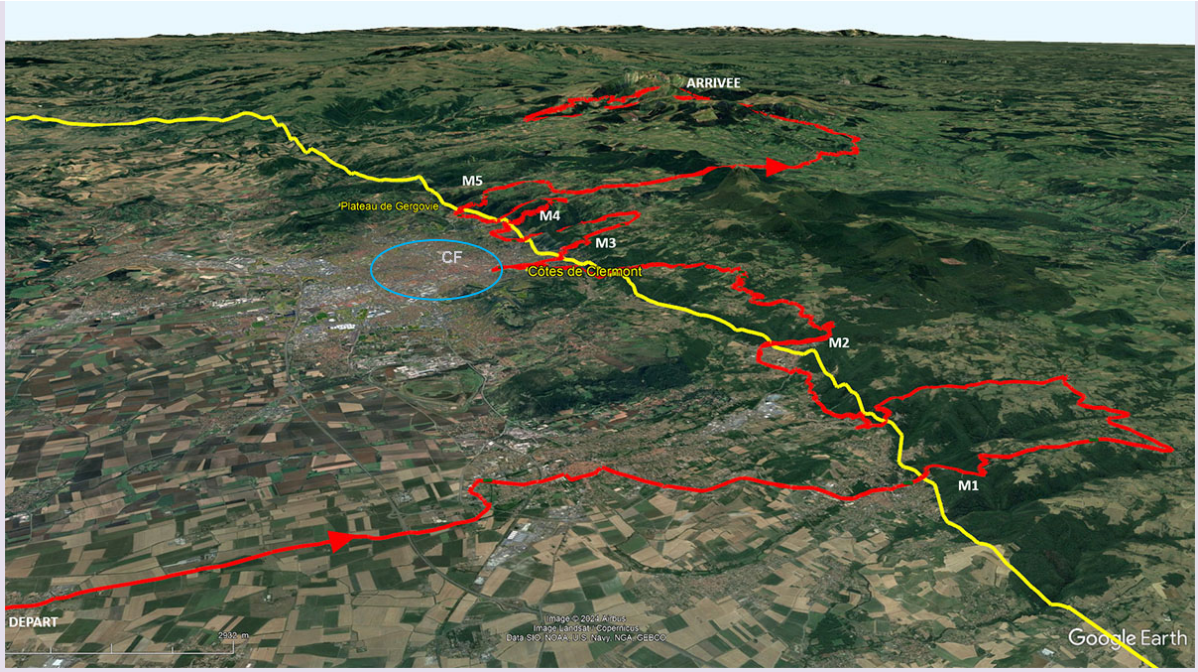
On a longtemps cru que ces gros tas étaient d'immenses **cônes de scories romaines**. Ce n'est qu'au XVIII[e] siècle que Jean-Etienne Guettard, naturaliste du Duc d'Orléans, a compris en passant à Volvic qu'il s'agissait de volcans. Il l'avait déduit sans voir les volcans en traversant Vichy où il a reconnu dans des pierres de construction des roches très semblables à celles que crachait l'Etna en Sicile. Et en arrivant à Volvic, il a reconnu la forme des volcans.



La Chaine des Puys, au fond le Puy de Dôme © Dept Puy-de-Dôme

La chaine des Puys

L'histoire de cet ensemble est complexe. La faille de Limagne qui correspond maintenant à un escarpement d'environ 500 m de dénivelé date de 25 à 15 millions d'années, escarpement séparant le plateau des Dômes et la plaine de Limagne. Les volcans de la chaîne des Puys se sont installés parallèlement à cette faille beaucoup plus récemment (de -100 000 à – 7000 ans), sur le plateau du même nom. De nombreuses **sources thermales** (chaudes) sortent le long de cette faille ; deux sont captées et donnent lieu à un thermalisme actif dans 2 villes traversées par cette étape : Chatel Guyon et Royat. Les eaux de Volvic, les plus connues des eaux minérales d'Auvergnes, sont froides, et n'ont pas de rapports avec la faille. Elles sont filtrées et purifiées par les cendres des volcans de la Chaîne des Puys.



Vue générale de l'étape, d'Ennezat au Puy de Sancy.
L'agglomération de Clermont-Ferrand (CF), est entourée de 2 plateaux basaltiques (Cotes de Clermont et Plateau de Gergovie). C'est sur l'un de ces plateaux qu'a eu lieu la célèbre bataille de Gergovie

Le début de cette 10ᵉétape du Tour « brode » autour de la faille de Limagne (trait jaune). La plaine de la Limagne est une des régions agricoles les plus riches de France. La course escalade 5 fois les 300 à 500 m de dénivelé de cette faille numéroté M1 à M5 sur la figure, et les descend 4 fois. Le trait jaune localise la faille, au pied de l'escarpement escaladé 5 fois

La première ascension (la cote de Loubeyrat), débute au niveau de la station thermale de Chatel-Guyon dont le parc thermal abrite les différentes sources répondant au nom de Marguerite, Germaine, Yvonne, Louise. Les eaux de Châtel-Guyon sont uniques en Europe pour leur teneur en magnésium. La station est spécialisée dans les soins de l'appareil digestif et urinaire,des maladies métaboliques, et aussipour le suivi des cures en rhumatologie.

Après l'ascension de la côte de Loubeyrat et avoir serpenté sur le plateau, l'étape redescend sur l'agglomération d'Enval-Volvic en longeant et dominant une vallée encaissée creusées dans un « granite rose », les gorges d'Enval. Dans la descente, on peut voir en bas dans la plaine les installations d'embouteillage des eaux de Volvic et autres boissons aux fruits qui en dérivent. Volvic est connue pour ses eaux, et aussi pour sa pierre. Cette pierre, la pierre de Volvic (un trachy-andésite) est extraite de carrières exploitant une coulée de lave vieille de 11 000 ans s'échappant du volcan de la Nugère et atteignant la ville de Volvic. Un musée de la Pierre (la Grotte de la Pierre de Volvic) raconte l'histoire géologique de cette pierre, et aussi l'histoire de son exploitation.

Après Volvic, le parcours retraverse la faille, remonte sur le plateau, (250 m de dénivelé, côte non classée), puis redescend sur Durtol et Clermont-Ferrand.

Clermont et sa cathédrale en lave sombre.

L'originalité de la cathédrale de Clermont est le matériau utilisé : la **pierre de Volvic** (lave de type trachy-andésitique) qui donne une couleur sombre et dont la résistance permit d'élever des piliers d'une grande sveltesse. Cette particularité lui valut le surnom de « **Cathédrale des charbonniers** » par les frères Goncourt. Cette cathédrale, comme Notre Dame de Paris a été fortement « remaniée » par Viollet-le-Duc. À Paris, Viollet le Duc a rajouté la flèche ; à Clermont, il a rajouté les deux tours de la façade



© Fabien1309, CC BY-SA 4.0

Clermont : entre 2 plateaux, le Conseil d'État a évité d'imiter l'Âne de Buridan

La ville de Clermont-Ferrand est située entre 2 plateaux constitués chacun par deux coulées volcaniques vieilles de 20 millions d'années, plateaux très célèbres dans toute la France car c'est sur l'un d'eux que Vercingétorix a infligé à Jule César sa plus importante défaite lors de la bataille de **Gergovie** (en 52 avant notre ère). On a retrouvé des restes d'Oppidum sur ces deux plateaux, les Côtes de Clermont au nord, (au pied duquel passe le trajet du Tour) et le plateau de Merdogne (rebaptisé Gergovie sous Napoléon 3) qui ferme l'horizon au sud de Clermont. Pendant tout le XX^{e}siècle, les historiens et l'intelligentsia clermontoise se sont disputés pour savoir sur lequel des deux plateaux a eu lieu la célèbre bataille. Les descriptions de César dans sa célèbre « **Guerre des Gaules** » ne donnent en effet pas de descriptions suffisamment précises pour trancher formellement, et les fouilles n'étaient pas concluantes. Les hommes politiques et des intérêts locaux (tourisme …) s'en sont mêlés, et comme il fallait bâtir quelque part un musée (inauguré en 2019) célébrant cette bataille, c'est le **Conseil d'État qui a tranché (au printemps 2024)** en attribuant le site de la bataille au plateau sud, là où la majorité des historiens (mais pas l'unanimité) la situait.



Le site de l'agglomération de Clermont-Ferrand, entre le plateau de Gergovie, où a sans doute eu lieu la célèbre bataille et le plateau des Côtes de Clermont sur lequel se situe la route au 1er plan. On voit, de gauche à droite la plaine de Limagne, l'escarpement de faille de Limagne, le plateau des Dômes portant le Puy de Dôme (image Google earth Street View).

Des orgues en hommage aux martyrs

Après Clermont-Ferrand, l'étape remonte sur le plateau des Dôme en escaladant la « côte de la Baraque ». 1200 m avant le sommet de cette côte, la route passe devant une ancienne carrière où est maintenant installé un monument en l'honneur de 24 **résistants fusillés** par les Allemands le 13 juillet 1944. Le fond de cette carrière est constitué de prismes (également appelés **orgues**) volcaniques, ici constituées en

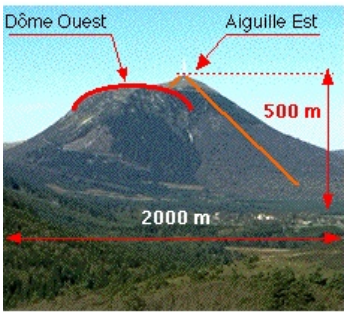
basalte. Il s'agit d'une vieille coulée de laves (environ 5 millions d'années), beaucoup plus vieilles que le Puy de Dôme qu'on voit au bout de la route, qui n'a « que » 11 000 ans. Ce débit en prisme fréquent dans les coulées de lave est dû à la rétraction de la roche au cours de son refroidissement. On reverra de tels prismes plusieurs fois le long de l'étape, en particulier au niveau des Roches Tuilière et Sanadoire.



Le champ des martyrs, 1200 m avant le sommet de la cote de la Baraque (Google Earth)

Le Puy de Dôme

Cette année, le Tour ne monte pas au sommet, mais se contente de passer à son pied. Le Puy de Dôme un dôme de lave très visqueuse : sorte de dôme de magma qui solidifie en sortant de terre, et qui n'a pas explosé



Un temple construit avec une pierre locale, mais pas locale. ?!!?

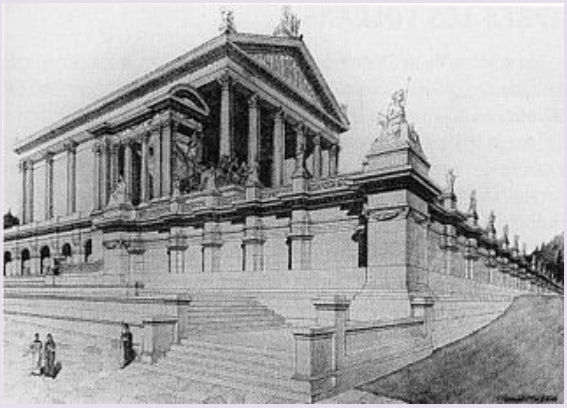


Le puy de Dôme est fait d'une lave particulière appelée **domite**.

Un temple à Mercure a été construit au sommet du Puy de Dôme, il est fait avec de la domite. Pierre locale donc ? Oui et non !

La domite du Puy de Dôme résiste mal au gel. Les Romains sont donc allés chercher une autre domite, bien résistante, sur un autre puy : le Clierzou. Il faut imaginer les convois de mules et de muletiers descendant du Clierzou et remontant au sommet du Puy de Dôme. Le sentier pédestre qui monte au sommet du Puy de Dôme s'appelle d'ailleurs le Sentier des Muletiers

Voilà donc bien longtemps que de la sueur coule pour monter au Puy de Dôme

Vue des ruines du Temple de Mercure situation au sommet du Puy-de-Dôme © Fabien1309, cc-by-sa2.0
Essai de reconstitution du temple de Mercure (Puy-de-Dôme). Musée Bargoin de Clermont-Ferrand © T. Désarménien, dom public




Le Clierzou et ses carrières romaines d'où ont été extraites les pierres ayant servi à bâtir le temple de Mercure du Puy de Dôme (source Wikipédia)

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

La station thermale de Royat

L'étape redescend pour la 3ᵉfois en direction de la Limagne, et recoupe une fois de plus la Faille de Limagne au niveau de la **station thermale de Royat**. Ses eaux, parfois chaudes (jusqu'à 35,5°C), connues depuis l'installation de bains romains, furent utilisées notamment par **Napoléon III** et sa femme Eugénie. Les eaux de Royat sont « thermales, carbo-gazeuses, chargées de bicarbonates alcalins et ferrugineux » et contiennent une proportion importante de lithium et d'arsenic. Cinq sources furent exploitées au début du XXᵉ siècle, on y soigne les affections cardiaques et circulatoires.

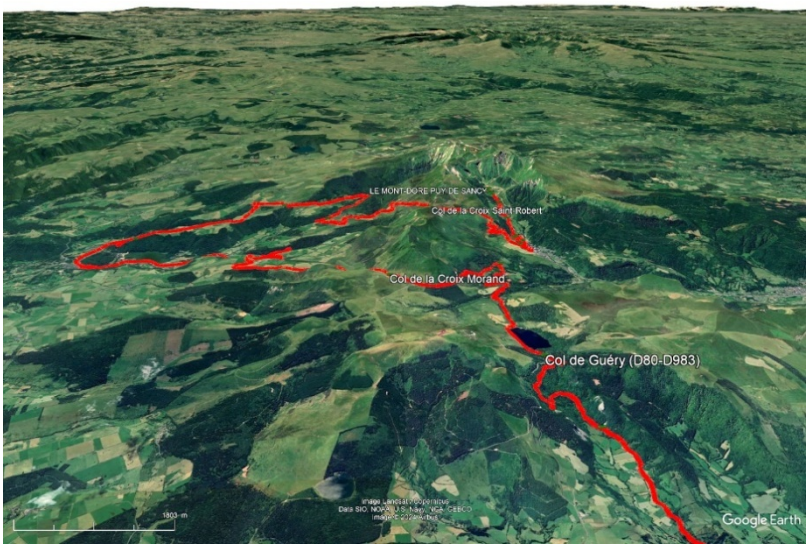
Juste après Royat, on remonte pour la 4ᵉ fois sur le plateau de Dômes par la côte de Charade, en franchissant encore la faille de Limagne. Pendant la montée, le Tour emprunte une partie d'un ancien circuit automobile utilisé par les Formules 1 (notamment les Grands Prix de France) entre 1958 et 1974. Cet ancien circuit a été abandonné pour des raisons de sécurité et remplacé par un circuit plus court, ouvert en 1989, mais n'accueillant plus de courses prestigieuses. Cet ancien circuit recoupait un ancien volcan (le Puy de Gravenoire) au pied d'une ancienne carrière dont on voit encore le front de taille à travers les arbres qui ont repoussé.



L'intérieur du volcan de Gravenoire vu depuis l'ancien circuit de Charade (Google Earth)

Au niveau du nouveau circuit, le Tour redescend pour la dernière fois l'escarpement, recoupe la faille pour l'avant dernière fois, traverse la ville de Ceyrat, puis remonte, définitivement cette fois sur le plateau des Dômes (côte de Berzet) en recoupant la Faille de Limagne pour la 9e et dernière fois.

Une fois sur le plateau, on voit bien le puy de Dôme et d'autres volcans de la Chaine des Puys. On traverse cette chaîne des Puys au col de la Moréno (1062 m) situé entres les puys de Laschamps et de Monchier, puis on roule des kilomètres sur le plateau, assez vallonné.
On aborde ensuite le massif des Mont-Dore / Sancy. Il s'agit d'un ensemble volcanique très complexe dont les multiples éruptions ont eu lieu de -3 millions d'années à -200 000 ans en de très nombreux points de sorties répartis sur une surface de plus de 600 km^2. La nature des laves a été très variée : de laves très fluides à des laves très visqueuses et à des produits résultant d'explosions violentes. Et ce volcan géant a été recouvert de glaciers pendant le dernier million d'années, glaciers qui l'ont profondément érodé, érosion poursuivie par les torrents « modernes ».



Vue globale du massif des Mont-Dore / Sancy et le trajet de la 10e étape

Deux pitons de roches sonores

Peu après Rochefort-Montagne, dans la montée du col de Guéry, le Tour passe entre deux pitons volcaniques faits d'une roche sonore[11]: la phonolite. À gauche, la roche Sanadoire, à droite la roche Tuilière. Depuis la route, se voient bien leur structure en prismes (à la géométrie parfois complexe).


Les roches Tuillière(à gauche) et Sanadoire (à droite), intrusions de phonolite séparées par une ancienne vallée glaciaire.
La roche Sanadoire, piton de phonolite, vue prise sur la gauche, depuis le bord de la route D80

[11] Surtout quand elle forme des dalles




Les prismes verticaux de la roche Tuilière, vue sur la droite depuis le bord de la D 80
Prismes en rosace dans la paroi de la roche Sanadoire

Le lac glaciaire du Guery

Juste après le col du Guéry, le Tour longe le lac du Guéry, lac creusé par les glaciers à l'époque où tout le massif des Mont-Dore / Sancy était recouvert de glaciers.



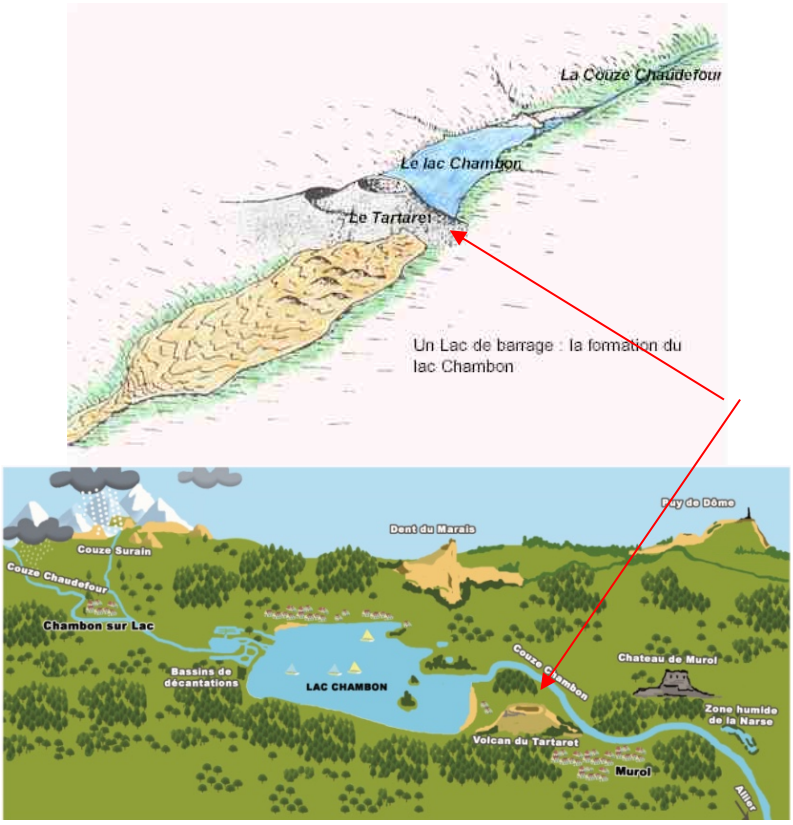
Le lac de Guéry, juste après le col du même nom. Au fond, le Puy de Sancy (sommet du Massif Central, 1886 m)

Avant d'arriver à la ville du Mont-Dore, leTour tourne à gauche et escalade le Col de la Croix Morand, col qui a inspiré les paroles d'une chanson de Jean-Louis Murat (en 1981)
On entre alors au cœur du pays du Saint-Nectaire (village distant de 10 km), un des plus fameux fromages d'Auvergne.

En bas de la descente du col, le Tour longe le Lac Chambon

Lac Chambon ; un lac de barrage formé par une coulée

Le lac Chambon a été formé par le volcan le *Tartaret* qui a obstrué le lit de la *Couze Chambon*. Peu profond (4 m), mais assez vaste (60 ha).



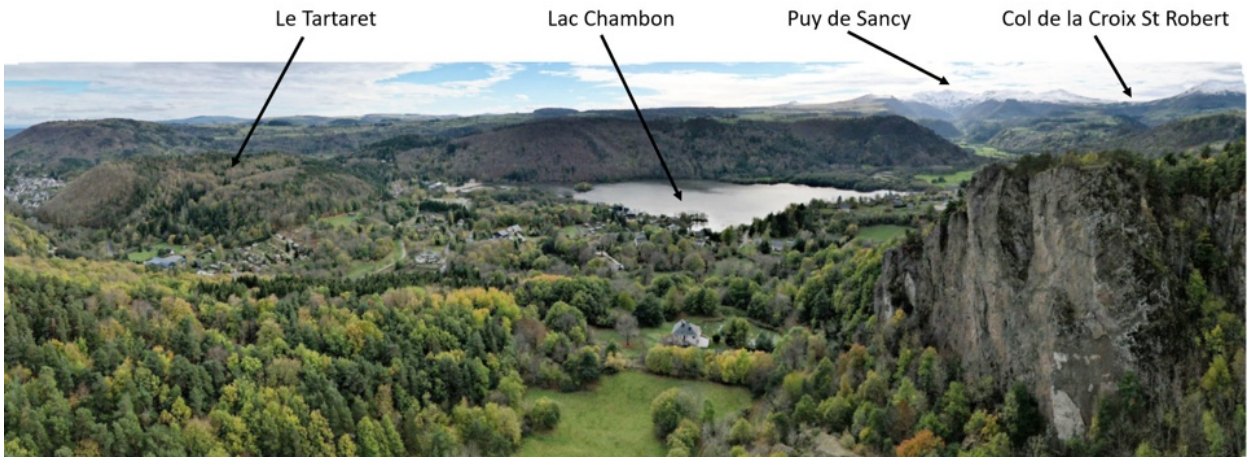
Positions relatives du lac et du volcan (Tartaret) qui a barré la vallée.

Le lac Chambon est un lac de barrage naturel, formé lors de l'éruption d'un volcan, le Tartaret, qui a bloqué le cours de la Couze- de Chaudefour. La rivière ne pouvant plus s'écouler, le niveau de l'eau est monté jusqu'à ce que le Tartaret soit contourné.

Le Lac Chambon © Arnaud Jacquemin, cc-by-sa 2.0

Le Saut de la Pucelle : l'amour de la vertu l'a préservée, l'orgueil l'a perdue !

Le lac Chambon est dominé par une montagne avec une belle falaise :la Dent du Marais, également appelée « **Saut de la Pucelle** ». Ce nom vient d'une légende : une jeune bergère aussi belle que sage, fût harcelée par un jeune seigneur. Elle s'enfuit mais arriva au bord de la falaise. Et plutôt que de subir les assauts de son poursuivant, elle pria la Vierge et se jeta du haut de la falaise. Mais la Vierge ralentit sa chute et elle arriva saine et sauve en bas. En revenant au village, elle raconta son histoire, mais personne ne la crut. Pour montrer à tous qu'elle était protégée par la Vierge, elle remonta sur la falaise avec tous les habitants du village qui la suivaient. Elle refit sa prière, se jeta de nouveau du haut de la falaise mais s'écrasa lamentablement en bas. La morale conclue : L'amour de la vertu l'a préservée, l'orgueil l'a perdue !



Le lac Chambon, et le Tartaret qui barre la vallée. Au 1er plan à droite, la falaise du Saut de la Pucelle

Le château de Murol, et un d'Estaing particulier

Le Tour traverse le bourg de Murol au pied d'un superbe château fort.
Le château a été bâti du Xe au XVe siècle. À la fin du XVe siècle, le château devient la propriété de la famille d'Estaing après le mariage de Jehanne de Murol avec Gaspard d'Estaing. Il est quasiment abandonné au XVIIIe siècle et devient, comme beaucoup d'autres bâtiments « une carrière de pierres » sous la Révolution.

Le nom de d'Estaing est devenu célèbre à partir des années 1970. En effet, en 1922, un certain Edmond Giscard, haut fonctionnaire et homme d'affaire auvergnat, obtint du conseil d'état le droit de rajouter à son nom de Giscard le nom de sa trisaïeule : Lucie-Madeleine d'Estaing de Réquistat Dubuisson (1769-1844) et dernière à porter le nom de d'Estaing. Il devint donc Edmond Giscardd'Estaing. Quatre ans plus tard naissait son fils Valéry, qui fut président de la république de 1974 à 1981.



Le château de Murol, bien visible depuis le bourg de Murol (Wikipédia)

Réserve naturelle nationale de la vallée de Chaudefour

Après Murol : direction du massif des Mont-Dore / Sancy, par le col de la Croix-Saint-Robert, sommet de cette étape (1461 m).

Avant d'atteindre le pied de ce col, le Tour pénètre un peu dans la Vallée de Chaudefour : une Réserve naturelle nationale (RNN105).

Créée en 1991 dans le **Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne,** elle s'étend sur 820 ha (8,2 km^2). Cette ancienne vallée glaciaire abrite une très riche biodiversité et une trentaine d'appareils volcaniques (maintenant bien érodés) qui constituent l'ossature des crêtes actuelles




La vallée de Chaudefour vue depuis la route empruntée par le Tour © Google Earth
La dent de la Rancune, un mur de lave (un dyke) au cœur de la réserve de Chaudefour© wikipédia)

Mont Dore : ville thermale et nivale

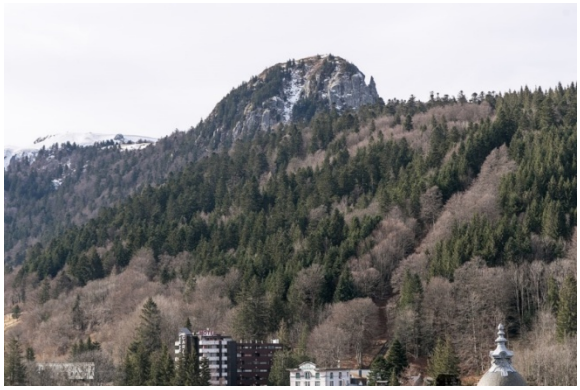
Après le col de la Croix-Saint-Robert, la route descend vers la ville du Mont-Dore : station thermale l'été, de ski l'hiver.
Les eaux thermales, exploitées depuis les Romains, sont les plus siliceuses de France. Elles sont aussi chargées de gaz carbonique. Leur température va de 38°à 44°C.
Elles soignent surtout l'asthmeet les affections respiratoires. À l'époque des mines de charbon du Nord, de très nombreux mineurs venaient y soigner leur silicose. On y traite aussi les rhumatismes.



L'établissement thermal du Mont-Dore, construit à l'emplacement de thermes romains

Le Mont Dore : la Dore + la Dogne = la Dordogne

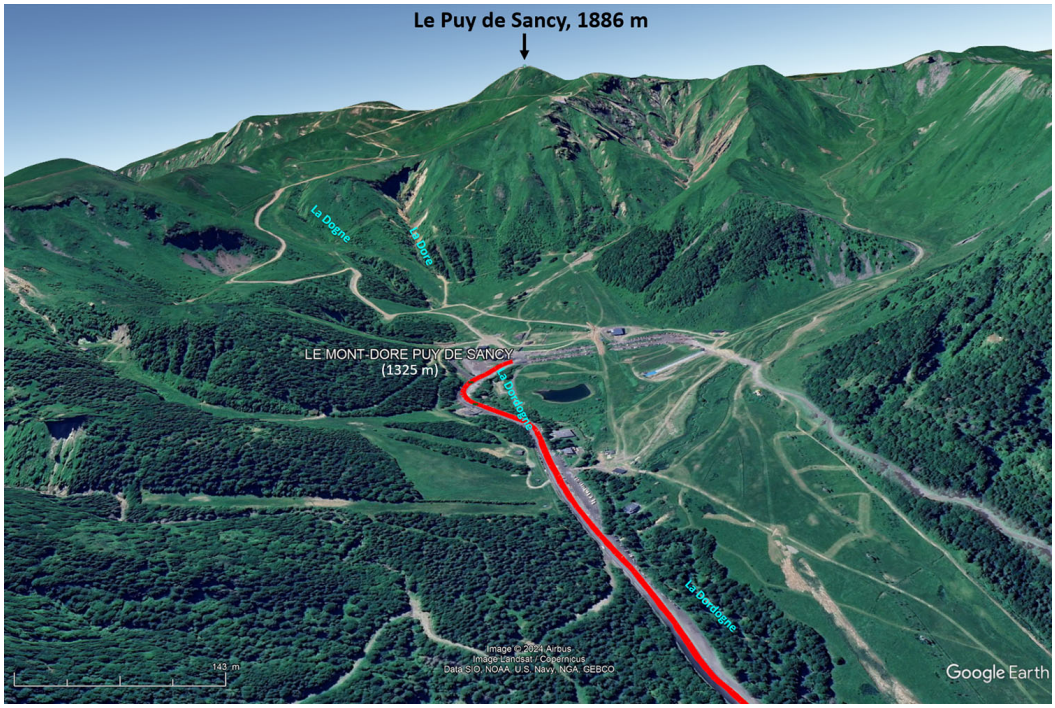
La ville du Mont-Dore est située dans une **vallée glaciaire** où coule maintenant une rivière célèbre mais qui n'est ici qu'un modeste torrent : la Dordogne qui prend sa source à 5 km de là, quasiment au niveau de l'arrivée de cette étape.

La Dordogne prend sa source au pied du Puy de Sancy. Au milieu de la photo, la ville du Mont-Dore
Le dôme du Capucin qui domine la ville du Mont-Dore. Le trajet du funiculaire se voit à travers la forêt à droite de la photo © Wikipedia

Après la ville du Mont-Dore, les derniers kilomètres remontent la vallée de la Dordogne jusqu'au pied du **Sancy**, une station de ski (alpin et nordique). En remontant cette vallée, on voit sur la droite le dôme volcanique du Capucin. Un **funiculaire** part de la ville du Mont-Dore et monte jusqu'au pied du Capucin. C'est le premier funiculaire électrique construit en France (1898) ; il est inscrit à ce titre aux**monuments historiques.**

Le Tour arrive au pied du Sancy, cirque glaciaire où coulent de nombreux torrents dont la **Dore** et la **Dogne** qui se réunissent juste au-dessus de l'arrivée pour devenir la Dordogne !



Le cirque glaciaire du pied du Sancy, la Dore, la Dogne et la Dordogne

mardi 15 juillet repos Toulouse

11- mercredi 16 juillet
Toulouse - Toulouse
154 km plat

Stade Toulouse, vers le NordPlace du Capitole (on suit en, gros la Garonne) vers la ZAC d'AndromedeAussoneSeilh MervilleGrenade traverse la Garonne à Ondes (zones d'exploitation de gravières –sablières ?) cote 4e cat CastelauFronton Clos Mignon, CepetLaBastideStSernin,CastelnaurouLanta SteFoyd'aigrefeuillePreserville FourqevauxLa Bastide Beauvoir Baziegue Montgiscard Catenet-TolosanTouluse-ville

La « Ville rose »
parce que l'argile est la principale ressource minérale

Toulouse est « la ville rose », parce qu'elle est essentiellement constituée de briques. Le choix n'est pas esthétique, mais économique : la roche est rare dans les environs, mais l'argile est reine avec toutes les alluvions.

Les carrières d'argile et les briqueteries sont nombreuses dans la région.



Place du Capitole © F. Neupont cc0



La brique domine aussi à l'intérieur du Muséum de Toulouse © P. De Wever

Encadré - Tout est cycle / de l'argile pour les ardoises ou les briques

Une argile qui est cuite donne des poteries, des assiettes ou des briques et des tuiles. L'homme utilise cette propriété depuis le fond des âges.

Une argile qui se trouve enfoncée en profondeur, soumise à de très fortes pressions perd toute son eau puis devient de l'ardoise.

Abandonnons maintenant une brique, une tuile ou une ardoise aux intempéries pendant quelques décennies ou siècles … elles se désagrègent très lentement et donnent des argiles .



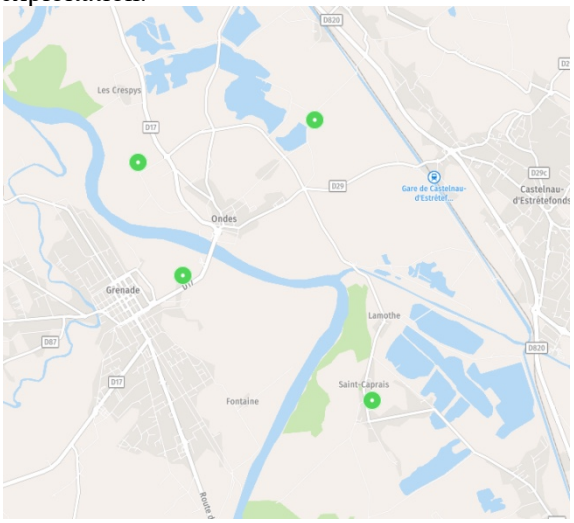
Briques altérées d'un mur du XVII^e siècle, Muséum de Toulouse. Les briques altérées se désagrègent. L'une d'elle, au centre de la photo, forme une dépression orange dont le matériau tache les doigts : mélange d'argile et de rouille (oxydes et hydroxydes de fer). © P. De Wever

Les sablières de la Garonne

Le Tour traverse la Garonne à Ondes : le paysage est marqué par les plans d'eau et les carrières d'exploitation



Toutes les zones bleu-vert sont d'anciennes exploitations, les zones blanches sont des sablières en exploitation.





Même zone avec le détail des zones en eau Sablières gravières à Ondes

Le Muséum de Toulouse

Le circuit passe devant le Muséum de Toulouse, qui est exceptionnel à bien des égards.

Fondé en 1796, par Philippe Picot de Lapeyrouse, minéralogiste réputé à son époque, ce musée est aujourd'hui le plus petit des grands musées européens. Entièrement rénové entre 1998 et 2008, il gère plus de 2,5 millions d'objets, présentés dans une muséographie contemporaine et interactive. Signature de cette rénovation, **le mur des squelettes** où 78 espèces sont illustrées par des **montages dynamiques**, l'une des grandes spécialités de ce musée.



Au muséum de Toulouse les squelettes sont montrés en position de vie, ce qui change le ressenti © F. Ripoll, MT



L'homme et un cheval en course © P. Nin , MT

Recherche paléontologique sur site propriété du Musée

Un gisement paléontologique, **un des sites majeurs d'Europe,** daté d'environ 17 millions d'années, appartient **au Muséum de Toulouse** qui y conduit des fouilles depuis des décennies. Situé **à Montréal-du-Gers,** une riche faune fossile y a été trouvée. Depuis sa découverte, des milliers d'os ont été dégagés ; **près de 90 espèces ont été répertoriées, dont environ 50 espèces de mammifères, de reptiles, d'amphibiens et d'oiseaux**. Parmi les espèces trouvées, quatre espèces nouvelles pour la science ont été décrites à ce jour : *Ampelomeryxginsburgi*, le cerf-girafe, *Hispanotheriumbeonense*, un rhinocéros et *Hyotheriumlacaillei* et *Eurolistriodontenarezensis*, deux « sangliers »



Le « cerf-girafe'

Des fouilles ET ateliers de réinsertion sociale

Ce site paléontologique de Montréal-du-Gers a quelques particularités remarquables :
-il est protégé, mis en valeur et sa visite est ouverte aux touristes,
- on peut y voir des fossiles en place non complètement dégagés et comment travaillent des paléontologues.
- parmi les fouilleurs sont quelques jeunes en formation et quelques « citadins » en déshérence : un travail physique, en extérieur, en groupe, nécessitant une certaine discipline et méticulosité.





Os de mammifères en cours de dégagement

Défense de deinothère (un « ancêtre » de l'éléphant en cours de dégagement). © P. Thomas

12- jeudi 17 juillet
Auch- Hautacam
181 km montagne

Auch (plateau de Lanmezan)Mirande Milena Vic-en-BigorreGerPontacqBenejacqAssonvallée vers Pont de l'Aressec Ferrières ArbeostCol; du SoulorArrens–Marsous (vallée876m)Col de Bordières (1156m)Estaing vers le N vers ArcizansArgelezCazost (vallée au S de Lourdes)Est : montée vers Hautacam (1520m)l

Un paléosite avec des « premières »

Peu après le départ, vers Lasseran Saint-Jean-le-Comtat, le parcours passe à proximité de Sansan (moins de 8 km)

Une colline gersoise renferme un gisement paléontologique hors-normes, un des plus importants à l'échelle mondiale. Le gisement de Sansan a livré une collection unique de fossiles, datés de 14 millions d'années (Miocène), qui ont contribué à révolutionner la paléontologie et la compréhension de l'évolution.
On y a en effet effectué des « premières ».

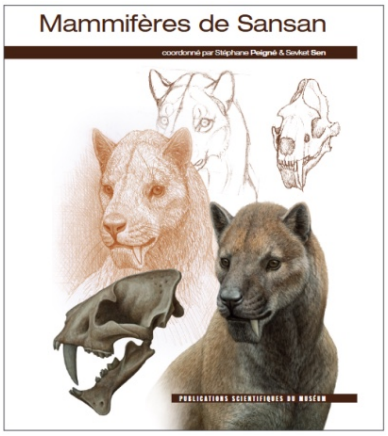
En 1837 la découverte du premier singe fossile trouvé dans le monde : P*liopithecusantiquus.* Cette trouvaille fait grand bruit car à l'époque, le grand Georges Cuvier avait prédit que l'on ne trouverait jamais de singes fossiles, qui étaient **incompatibles avec sa vision créationniste** de l'histoire de la vie sur Terre. Révolution ! Il faut tout repenser : et si l'évolution concernait aussi les singes ? Et les humains ?

Quinze ans plus tard (1852) y est découvert un autre spécimen remarquable, le mastodonte *Archaeobelodonfilholi*. Le tout premier mastodonte reconstitué en Europe

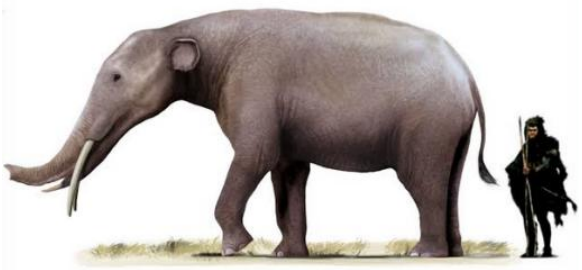
Les découvertes s'y sont enchaînées :

- Anisodon, un invraisemblable cheval-gorille avec des griffes de paresseux géant,
- Sansanosmilus le prototype des félins à dents de sabre,

Et aussi des rhinocéros, des ruminants, des dizaines d'oiseaux, des chauves-souris, des rongeurs, des salamandres… Au total largement plus d'une centaine d'espèces, de toutes tailles, qui dessinent un écosystème complet.







L'archaeobelodon trouvé à Sansan

Le gisement a été étudié par les chercheurs du monde entier, depuis deux siècles ; des dizaines de milliers de fossiles en ont été extraits. Ce paléosite, a été aménagé par la communauté de communes du Val de Gers pour le public. Des reconstitutions à taille réelle (du mastodonte, du chalicothère, de l'Amphicyon…) peuvent désormais y être admirées.

Et … bientôt ….certains seront visibles, de nouveau, à **Sansan** : au pied de la colline où ils ont été extraits, un **musée** présentant une partie de ces fossiles devrait voir le jour l'année prochaine.



Des mines pour des LED et les thermes

La région est constituée d'un socle métamorphique, riche en **mines d'or et d'argent, de plomb et de zinc**. Par ailleurs, des remontées d'eaux chaudes ont permis l'installation de **thermes** (ex. Argelès-Gazost, Luz-Saint-Sauveur…).

Parmi les mines sont connues depuis longtemps les mines de **plomb,** toutes abandonnées, mais on en a découvert plus récemment qui contiennent du **gallium**et autres métaux rares(identifié pour la 1ere fois dans cette vallée (utilisé pour construire les LED et autres applications « modernes »). Les Pyrénées permettront-elles à l'Europe d'acquérir son indépendance technologique vis-à-vis de la Chine ?





Des LED et les Thermes d'Argeles –Gazost. On y soigne entre autres les maladies des voies respiratoires et les affections veino-lymphatiques.

Cette région, fracturée notamment lors de la formation des Pyrénées, explique la présence de **thermes**(remontées d'eau chaude), de **mines** (circulations de fluides minéralisés) et les nombreux **séismes** (généralement faibles).



Entrée d'une ancienne mine et une galerie © PlanetTerre

Cette région a subi deux évènements majeurs qui ont intensément déformé, plissé et cassé les roches. Le 1er évènement, il y a environ 300 millions d'années, le deuxième 60 millions.

Par les **fractures**, et en profondeur, des eaux chaudes circulent. Certaines des roches régionales sont (relativement) riches en soufre et en métaux lourds. Ces eaux chargées en soufre et métaux les redéposent ailleurs, d'où les nombreuses « petites » mines abandonnées. Ces mines abandonnées font le bonheur des géologues et des minéralogistes amateurs (avant, peut-être, de faire le bonheur des fabricants et utilisateurs d'appareils informatiques). Elles sont nombreuses (mais peu visibles aux alentours de la route de descente entre le col des Bordères et Argelès-Gazost.

Cette **circulation** d'eau chaude continue de nos jours, et de nombreuses stations thermales captent et utilisent ces eaux riches en minéraux et en soufre pour soigner différentes affections (Argelès-Gazost, Cauterets…).

13- vend 18 juillet

Loudenvielle –Peyragudes

11 km clm

Loudenvielle (vallée du Louron 941m) Lac de GgérosEstarvielle début de la montée, 924m La Sapinière 1364m,Peyragudes 1580m

Des pentes glaciaires instables

L'étape se déroule majoritairement sur des sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires dont la stabilité est médiocre en certaines années ce qui induit des dégâts possibles aux constructions dus aux mouvements du sol comme on en a connu dans les années 70 notamment.

Du manganèse prisé par l'industrie et les vaisselles chics

La vallée du Louron, avec celle d'Aure (à l'ouest) ont été desrégions très productrices en manganèse

Les anciennes exploitations de ces vallées ont produits entre le milieu du XIX^{e} et du XX^{e} siècle 100 000 t de minerai de manganèse, les plaçant au troisième rang des producteurs nationaux. Les mines employaient des centaines de personnes. Des teneurs de 80 % d'oxyde de manganèse ($Mn0_2$) ont été mesurées dans les parties les plus riches.

L'oxyde de manganèse, est un minerai généralement noir utilisé pour les peintures pariétales (grottes) mais il offre aussi de jolies couleurs roses illustrées par l'échantillon exposé à la galerie de minéralogie du Muséum National d'Histoire naturelle à Paris :





Peinture noire à l'oxyde de manganèse (Bisons de Niaux)© . Desmoulins cc-by-sa 3.2

Cristaux de rhodocrosite (carbonate de manganèse) (galerie géologie & minéralogie MNHN)

Le manganèse était utilisé pour la peinture, en verrerie et la coloration des faïences qui ont été très prisées (et le sont encore).



Carreau en Delft Manganèse, Vase côtelé en faïence manganèse et assiette du XVIII^{e} S.



Céramique de Delft à la poudre de manganèse

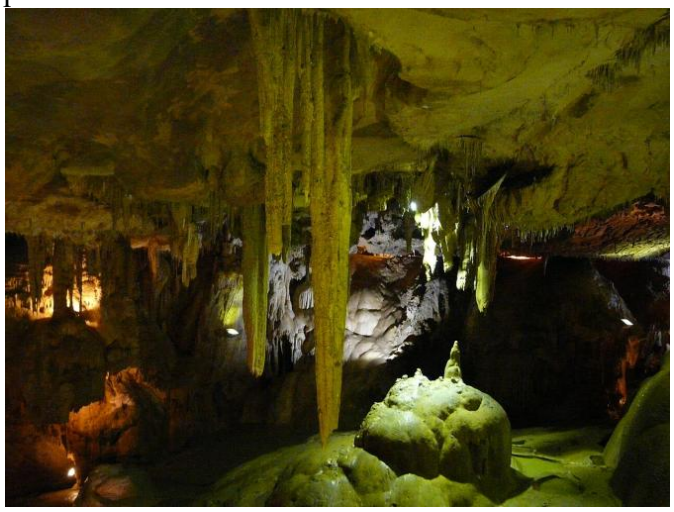
14- san 19 juill
Pau –Luchon Super Bagnères
183 km montagne

2Pau Jurançon Gr Betharammvallée vers Lourdes (on croise une étape précédente) S Lourdes : gdes carrières du Lavedan (J8)ArgelezGazostLuz St SauveurTourmalet PayolleAspin Arreau LoudenviellePyeragudesSuperbagnères

Env. 30 km après départ à Montaut (à 11 km W de Lourdes) : Sanctuaire et Grottes de Bétharram

Grottes de Bétharram

Dans le nord du massif de Saint-Pé-de-Bigorre, le calcaire du Crétacé présente des poches de dissolution de grande ampleur : les Grottes de Bétharram. Il s'agit d'un ensemble de grottes situées en limite des départements des Pyrénées-Atlantiques (région Nouvelle-Aquitaine) et des Hautes-Pyrénées (région Occitanie). Leur visite à pied, en barque, puis en petit train, permet de découvrir les caractéristiques de la formation de ces cavités associées à un réseau hydrologique souterrain.



Grottes de Betharram © Père IgorCC BY-SA 3.0

On remonte ensuite la vallée vers Argelès-Gazost.

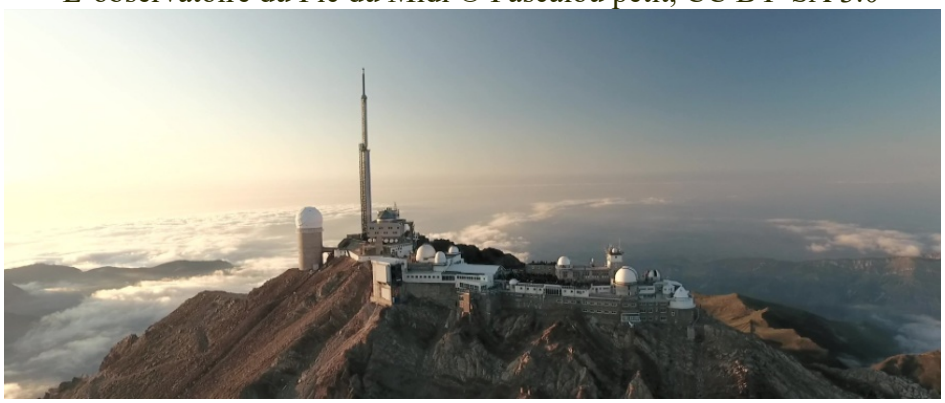
Après Tourmalet

La Mongie Pic du Midi

Au Tourmalet, on est au pied du Pic du Midi de Bigorre, site où le ciel est un des plus purs de France et où est installé un important observatoire.



L’observatoire du Pic du Midi © Pascalou petit, CC BY-SA 3.0



Payolle marbres Campan

Les marbres de Campan et de Payolle

Depuis l'Antiquité les carrières du site de Campan, produisent plusieurs variétés de marbre: le Campan rubané, le Campan Vert, le Campan Rose et Vert et le Campan grand mélange, auxquels il faut ajouter une variété de Griotte rouge. Tous les Campans sont caractérisés par la présence de veines vertes, très sombres et marquées. Ils ont été énormément utilisés dans les grands appartements de Versailles sous le règne de Louis XIV, pour des cheminées, mais également pour beaucoup de décors de panneaux muraux, en raison des très grandes qualités picturales de ses motifs. Ainsi, l’Escalier de la Reine est principalement décoré de placages de Campan vert et de Campan grand mélange.



Marbre Campan rubané du Trianon (Versailles) Campan rose et vert



Escalier de la Reine, Versailles. Placage des Campan vert et Campan grand mélange

Dans la remontée le circuit passe devant Payolle, connu aussi pour ses marbres (de même type que Campan).



Les carrières royales de Payolle –L'Espiadet



Le marbre de Payolle

La marbrière de l'Espiadet à Payolle est réputée depuis l'époque romaine. Le marbre y était extrait pour réaliser des dallages, des baignoires pour les thermes, des décors pour les riches demeures, ou même des sarcophages. Devenu « marbre royal » du temps de Louis XIV, le marbre de Campan se retrouve aujourd'hui un peu partout en France…et dans le monde !
Depuis 2004, une association « **les Marbrés de l'Espiadet** » veille à la préservation et à la reconnaissance de ce patrimoine.

15- dim 20
Muret –Carcassonne
169 km plat

Muret (swToulouse) Villefranche-de-LauragaisRevel

Juste après Gardouch, le Tour franchit le Canal du Midi





Le Canal du Midi joint la Méditerranée à l'Atlantique

La construction a eu lieu sous Louis XIV (entre 1666 et 1681 par Pierre-Paul Riquet). Il franchit un « col » (le seuil de Naurouze), ligne de partage des eaux entre Méditerranée et Atlantique. **Le problème était d'amener de l'eau jusqu'à ce point haut**. Pour cela, c'est l'eau de la Montagne noire qui a été captée en montagne, et amenée jusqu'au niveau du barrage de St Ferréol par ce qu'on appelle « la Rigole ». Le barrage de St Ferréol fut le plus grand barrage poids du monde pendant plus de 2 siècles.

Canal du midi, barrage de St Ferréol, Rigole… sont classés au patrimoine mondial de l'humanité par l'Unesco

Montagne noire

Après la plaine cultivée la Montagne noire qui doit son nom à son couvert forestier imposé par un sous-sol ingrat pour l'agriculture (gneiss et granites).

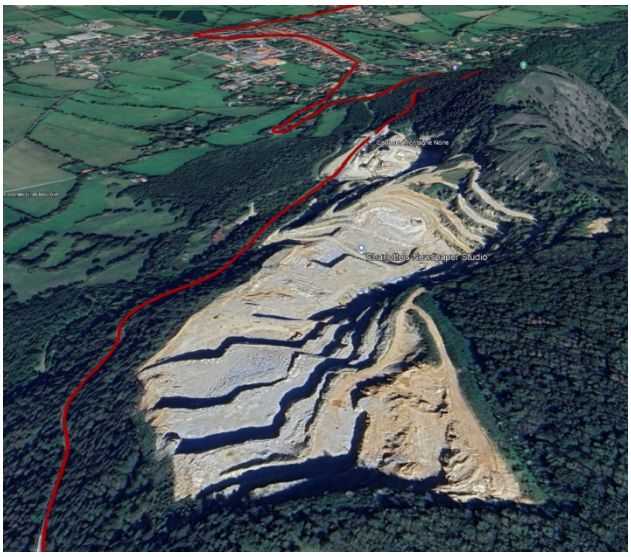
Montée et descente sur le socle calcaire : Grandes carrière de calcaire SOMEX pour granulats.





Carrières de granulat calcaire dans la montée

Descente : carrière Montagne Noire



La descente s'effectue aussi en longeant de grandes carrières de la même couche de calcaire que celui vu à la montée.

Après quelques km dans la vallée les cyclistes remontent sur la Montagne noire, flanc nord à partir d'Escoussens.

Une côte 2e catégorie (de 300m de dénivelé) vers le pas du Sant

Une épingle à cheveux au hameau d'Escudié, qui fut connu comme Camp de Harkis

Puis après les Bassins de Roudille passage devant une stèle commémorative de Combattant des corps Frances (maquis de la montagne noire)

Barrage de La Prade Basse :

Construit en 1984, ce barrage constitué d'une digue de 27 mètres de hauteur sur 117 mètres de large, d'une capacité de 9 millions de m^3 est au centre d'un massif granitique de 10km x 3 km.



Le barrage poids de Laparde-Basse

On entame ensuite la descente vers Carcassonne

L'or de Salsigne… et son arsenic

Douze km avant Carcassonne, le Tour passe près du village de **Salsigne**



Salsigne fut la mine d'or la plus importante de France et même d'Europe occidentale pendant tout le XX^e^siècle (de 1892 à 2004). 120 tonnes **d'or** y ont été produites, ainsi que de **l'arsenic** en sous-produit. Or et arsenic ont des propriétés géologiques voisines. Ils se sont déposés dans des fractures par des eaux chaudes qui circulaient dans des grès et des calcaires dolomitiques, il y a environ 320 Ma (Carbonifère).

Cette exploitation a été l'objet de nombreux débats.

En effet les résidus miniers contiennent beaucoup d'arsenic et jusque dans les années 80, les compagnies minières entassaient ces résidussans traitement et à l'air librepour minimiser le coût de revient. Il s'en est suivi une pollution par l'arsenic de toute la vallée de l'Orbiel (jusqu'à son confluent avec l'Aude). Ce n'est qu'à partir de 1998 que les pouvoirs publics ont entamé des mesures de dépollution et de réhabilitation, et même de remise en valeur du patrimoine. Mais le mal était fait. Cette attitude désinvolte des anciennes compagnies minières fait que maintenant les populations s'opposent à l'ouverture de nouvelles mines. Ces compagnies minières sont responsables de leur rejet par les populations, même si la réglementation du XXI^e^siècle ne permet plus de faire ce qui se faisait au XX^e^. Chat échaudé craint l'eau froide



Les mines d'or de Salsigne en 2024



Le « musée de la mine » à Salsigne Google Earth)



Le mémorial des mineurs et métallos de la Montagne Noire

/ lundi 21 Montpellier repos

16- mardi 22
Montpellier –Ventoux 172km montagne

Montpellier (N., dans Secondaire), entre Nîmes et Alès vers Uzès, (alluvions V. du Rhône) Chateauneuf-du-Pape (s de Beaumes-de-Venise), (secondaire puis) Bédoin (ocres), Ste Colombe puis grimpe sur Ventoux par le Sud Est

Uzès : la Pierre du Gard

A env. 100 km du départ : Uzès

Toute la vieille ville est bâtieavec la « **Pierre du Gard** », abonnement utilisée dans tous les monuments de la région, du Pont du Gard au palais des papes d'Avignon, mais aussi bien rependue en France comme pierre ornementale.

Il s'agit d'un **calcaire** clair déposé dans une mer peu profonde (il y a 20 Millions d'années), constitué de milliards de micro fragments de coquilles. Il ressemble aux faluns déjà vu lors de l'étape 7.

Le trajet dans Uzes passe juste au pied de l'Eglise St Etienne faite de cette « pierre du Gard », ce qui donne à cette ville son cachet.





L'église St Etienne d'Uzes ; bâtie en « pierre du Gard »

Gros plan sur un mur de l'église St Etienne avec des taffonis

Parfois, les débris de coquilles sont un peu moins bien soudés que d'habitude. La pierre est alors plus érodable et forme des alvéoles en creux dans les falaises naturelles ou dans les constructions, alvéoles appelées **taffonis**



Détail de la pierre du Gard. Cette pierre est faite d'une accumulation de petits et de micro-fragments de coquilles.

Bedoin

L'ocre du Ventoux [12]

L'ocre naturelle est utilisée comme pigment colorant depuis la Préhistoire, comme en atteste la grotte Chauvet ou celle de Lascaux



Cheval peint à l'ocre jaune et au dioxyde de manganèse (grotte de Lascaux) © dom public

Elle a aussi été utilisée depuis l'Antiquité, pour ses propriétés antiseptiques, raison pour laquelle on la retrouve sur les momies égyptiennes, jusque dans la tombe de Toutankhamon comme khôl (pour les yeux).

De quoi parle-t-on ?

L'ocre est une roche ferrique composée d'argile pure (kaolinite) colorée par un pigment d'origine minérale, un hydroxyde de fer : l'hématite pour l'ocre rouge, la limonite pour la brune et la goethite pour la jaune. L'argile est amalgamée avec des grains de sable (quartz) et les ocres se trouvent dans le sol sous forme de sables ocreux composés à plus de 80 % de quartz. Ailleurs c'est le sable qui domine, et parfois le sédiment est consolidé en roche, il devient alors un grès : tels le grès ocreux de Puisaye (qui est exploité pour construire le château de Guédelon).

Encadré : Le château de Guédelon : des grès ocreux

En Puisaye, à Treigny, près de Saint-Fargeau (Yonne), le chantier de Guédelon est un chantier de construction d'un château fort. Les travaux sont délibérément effectués avec les techniques et les matériaux utilisés au Moyen Âge. Tout (ou presque) est fait sur place, en vraie économie locale. Ainsi la pierre est extraite d'une petite carrière juste à côté du château. La pierre locale est un grès ferrugineux ocreux, la teinte dominante est donc le jaune de l'ocre Selon les bancs, le grès contient de 30 à 40 % de minerai de fer (fig.165). En fonction de sa teneur en pigments d'ocre ou en minerai de fer, sa couleur varie entre le miel (ce qui donne une pierre assez friable et de qualité moindre) et le pain brûlé (qui donne une pierre très dure utilisée pour les linteaux, les voussoirs, fig. 165). Les travaux ont commencé en 1997 et étaient prévus pour durer 25 années. Ce projet architectural, mené dans une ancienne carrière désaffectée au centre d'une forêt et proche d'un étang, vise à améliorer les connaissances en archéologie expérimentale, il est donc mené en coopération avec les services de l'État concernés (INRAP, Monuments historiques, CNRS …).







Le château de Guédelon en construction (Yonne) en 2017. Les bâtiments du château sont construits en grès ocreux, qui est la pierre du lieu et qui donne sa teinte à tout l'environnement© Patrick De Wever).

Peinture en ocre du logis. Certaines inclusions dans la masse des grès livrent de la fine "poussière" de pure ocre jaune ou ocre rouge sombre utilisée pour les peintures intérieures du château.© Sylvie Plantier.

Le grès roux sombre utilisé pour le linteau des fenêtres. La roche contient parfois tellement de fer, qu'elle en devient sombre. Échantillon de la carrière en exploitation à Guédelon pour construire le château © P. De Wever

Utilisations

[12] Inspiré de : De Wever P. &Ruchy JM (2018).- Peinture secrète et sacrée : l'ocre. EDP Sciences, 88 pages. De Wever & Cornée A. (2020).- Roches à tout faire. Edp Science (Préface de Franck Ferrand), 335 pages

L'ocre est toujours appréciée pour sa non-toxicité et sa grande longévité en décoration, beaux-arts et maçonnerie. Les célèbres **tadelakts** marocains sont faits à base de chaux et d'ocre lissée. Plus près de nous les nombreuses peintures dans les bâtiments anciens prouvent l'abondance de ses usages. En effet beaucoup d'édifices romans par exemple procurent une émotion particulière par la simplicité des traits, des formes épurées, et l'austérité de leur décoration. Nous oublions alors la réalité : ces édifices étaient initialement peints avec des couleurs vives et, parmi elles, l'ocre était omniprésente et largement dominante. En effet, les très célèbres peintures de l'église abbatiale de **Saint-Savin-sur-Gartempe** (Vienne) attestent de la stabilité de la peinture à l'ocre. Seules les parties en noir ont changé de couleur. Elles étaient initialement en rouge sombre, et à base de plomb (minium), cette peinture étant moins stable que la peinture à base de fer.



Les célèbres fresques du plafond de l'église abbatiale de Saint-Savin-sur-Gartempe. Vue générale de la nef. L'abbaye de Saint-Savin abrite le plus grand ensemble de peintures murales romanes d'Europe. Elle est inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco depuis 1983. © B. Gonzalez

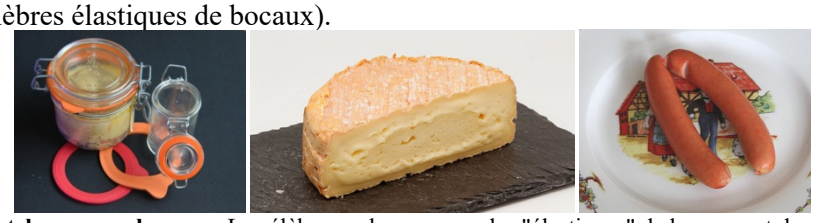
L'ocre fut longtemps utilisée par les peuples pour se protéger la peau : les Aborigènes d'Australie, les Amérindiens (d'où leur nom de "peaux rouges"), les Africains. Des femmes de Namibie réputées ne jamais se laver protègent leur peau en l'enduisant de graisse et d'ocre.



Femmes parées avec de l'ocre rouge(Namibie). Pour se protéger des vermines et du soleil, les femmes Himbas, se lavant très peu, voire jamais, se couvrent le corps de graisse mélangée à de l'ocre. © Yves Picq CC BY SA3.0

La vertu antiseptique de l'ocre est due au fer qui, comme d'autres métaux, empêche, ou limite le développement de bactéries. L'ocre entre donc dans la pharmacopée des peuples depuis des temps immémoriaux. C'est aussi ce qui justifie son emploi pour conserver les peaux et cuirs. L'ocre a aussi été utilisée pour enduire les voiles de bateaux (après le tan) car elle empêchait les toiles de se décomposer quand elles étaient enroulées humides.

Plus récemment l'ocre a été utilisé avec le caoutchouc comme charge minérale, pour les pneus ou les célèbres élastiques de bocaux).



Rondelles en caoutchouc pour bocaux. La célèbre couleur orange des "élastiques" de bocaux est due à l'ocre intégrée au caoutchouc © P. De Wever

Fromage de Livarot . La couleur orangée de la croûte est due à l'ocre, au moins en partie[13], qui limite le développement des bactéries en surface © Coyau CC BY SA 3.0

Saucisse de Strasbourg (ou knacks) sur une assiette … alsacienne © Boba67 (CC BY-SA 3.0)

Pourquoi certains fromages sentent les pieds (ou l'inverse) ?

Une allusion aux odeurs de pieds pas très propres est parfois faite pour certains fromages (munster, maroilles, époisse…). Cette évocation n'est pas le fruit de l'imagination ; mais au contraire très justifiée car elle est due, aux mêmes bactéries : *Brevibacteriumlinens*, responsable du dégagement de méthanethiol à l'origine de « l'odeur des pieds » (dégradation de la méthionine des cellules de peau morte en méthane-thiol).

[13] La couleur de certains fromages est aussi due à une bactérie (de la couleurs et de l'odeur).

L'explosion de l'exploitation de l'ocre au XIX^{e} siècle est due à son utilisation comme charge minérale. Elle présentait ainsi un double intérêt : mécanique, comme épaississant, notamment pour les produits à base de caoutchouc, et esthétique, comme colorant. En outre elle est à la fois de faible coût pour beaucoup de produits comme les composants à base de papier et de carton. C'est ainsi que le papier qui entoure le filtre des cigarettes est encore orange aujourd'hui ou certaines croûtes de fromages ont cette teinte ensoleillée, et les peaux des saucisses de Strasbourg... Il en est ainsi de nombreux produits, même si l'ocre n'entre plus dans leur composition, la couleur perdure, sans que l'on se souvienne des motivations d'origine.

Aujourd'hui l'ocre sert, surtout, pour colorer les peintures, notamment celles de bâtiments dans le monde entier. Mêlée avec du mortier, non seulement elle colore, mais durcit le crépis et l'attache plus fortement à la muraille.

Les ocres de Bédouin



Les ocres de Bédoin. De petits niveaux indurés protègent de l'érosion les ocres qui apparaissent ainsi en relief. Les « demoiselles coiffées ocreuses de Bédoin ©G. Hocquel cc-by-sa 3.1

Parfois discrètes sur le terrain, les ocres marquentla paysage vu d'avion (Ouest de Bédoin) :



NW de Bédoin, vue de satellite 2023 © Google Earth

Origine des ocres de Provence

Il s'agit d'anciens sables plus ou moins argileux contenant des traces de fer, sable déposé en milieu côtier déposé à l'Albien. (100 Ma). Vingt millions d'années après leur dépôt, ces sables argileux ont étés altérés. Une altération comme il s'en fait aujourd'hui dans le Sahel (climat régnant alors en France), avec concentration du fer et acquisition de la teinte rouge. Si la proportion argile/sable/fer étai juste ce qu'il fallait, on a obtenu des ocres. Parfois il n'y avait que du sable qui est aujourd'hui exploité (pour la verrerie).

Ocres au NW de Bedoin



Environs de Bédoin, : ocres à 1 km à l'ouest de Bédoin, et carrières de sables blanc à 2 km au SE

Les ocres sont encore exploitées en Provence par la Société des Ocres de France dans la région de Gargas à une trentaine de km de Bédoin ;

Pourquoi le Ventoux ?

Quelle est l'origine du Mont Ventoux, ce « géant de Provence ?

Pendant la première moitié du Crétacé (entre -140 et -100 Ma), le nord du département Vaucluse et le sud de la Drome étaient occupés par une mer profonde où se déposaient des roches argileuses, assez « plastiques » et déformables. Pendant la même période, le sud du Vaucluse et les Bouches du Rhône étaient occupés par une mer peu profonde et chaude où se sont déposés plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de coraux, qui ont formé une couche de calcaire très résistant et difficile à déformer.

Au début du Tertiaire (entre -65 et – 25 Ma, l'Europe et l'Afrique se sont rapprochées, leurs bordures se sont comprimées et déformées. Les Alpes, les Pyrénées et les chaines provençales sont la conséquence de ce rapprochement. Au niveau du Vaucluse, l'épaisse barre calcaire du sud est montée et passée par-dessus les couches argileuses du nord, un peu comme un camion qui rentrerait doucement dans une file de voiture, en faisant se rentrer les voitures les unes dans les autres, et en chevauchant la dernière des voitures. Voila pourquoi le versant sud, où monte le Tour en 2025, est (relativement) moins raide que la face nord.



17 – mercredi 23
Bollène - Valence
161 km plat

Bollene MontdragonRochegudeSuze-la-Rousse La Beaume-de TransitChamaretGrignanTaulignanRoche-St-Secret Montjoux(20 km Est GSSP Val-Hauteriv ; cf ENS) Dieulefit **Col du Pertuis**BourdeauxSaouSuzetMarsanneCol de TartaiguilleLa R. sur GraneGrâne**Allex**MontmeyranMonvendreValence

Peu après le Col du Pertuis , vers Bourdeaux :

Des souffleurs froids dans un bassin profond ontpermis une explosion de vies

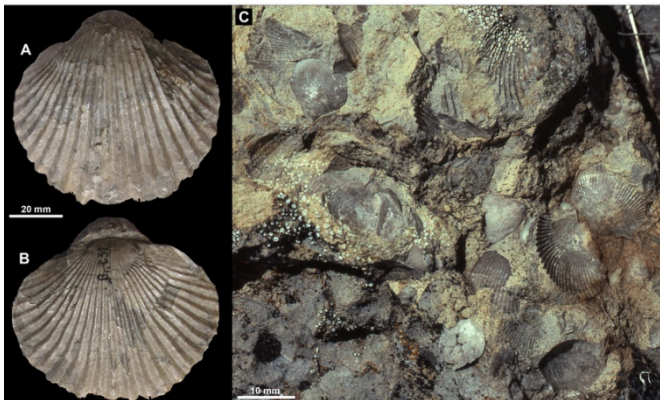
Il y a environ 130 millions d'années, au début du Crétacé, le Sud-Est de la France correspondait à un bassin sédimentaire profond. À près de 1000 m de profondeur, dans l'obscurité des abysses, des **sources sous-marines de méthane** appelées aussi "souffleurs froids" ont permis l'installation d'organismes très particuliers : les pérégrinelles.

Il s'agit de coquillages géants qui ressemblent extérieurement à des mollusques comme nos huîtres et nos moules; ce sont des brachiopodes.

Dans certains secteurs de la Drôme provençale, il est possible de trouver de grandes accumulations de pérégrinelles qui sont le témoin fossile de ces fameuses sources sous-marines riches en méthane(Sud de Chatillon en Diois, Rottier…à une vingtaine de km à vol d'oiseau).

Autour de ces « souffleurs froids », ce n'est pas la photosynthèse qui fonctionnait (il n'y avait pas de lumière !), c'est la **chimiosynthèse dans laquelle** le **méthane était source de vie** pour les bactéries et micro-organismes qui, à leur tour, alimentaient les pérégrinelles.

Il s'agit donc un paléoenvironnement très rare et très curieux, qui a encore des équivalents dans la nature actuelle, à grandes profondeurs, dans le Golfe du Mexique par exemple.



Pérégrinellamulticarinata (env. 10 cm) de Rottier, et telles qu'elles apparaissent dans la roche © Kiel et al ; 2014, cc-sa-by 4.0

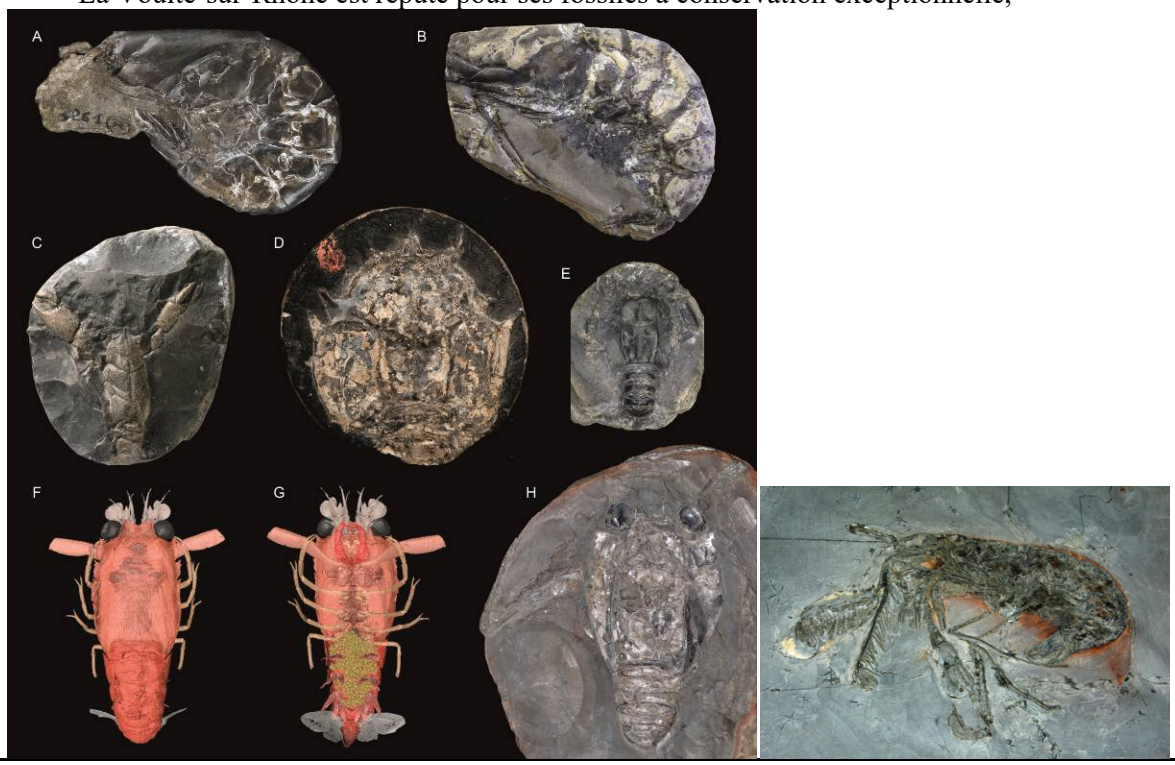
Les fumeurs de La Voulte[14]

Il y a 160 millions d'années (Jurassique moyen), le long de grandes fractures qui longent la plaine du Rhône, au plus profond des mers, un étrange phénomène se déroulait dans les ténèbres… Une eau bouillante chargée en sels minéraux dissous s'échappait des

[14] Inspiré de Charbonnier S. & De Wever P (coord) (2022).- Paléontologie d'aujourd'hui. Edp Science, 270 pages

entrailles de la Terre à travers des cheminées appelées « fumeurs ». On parle de **source hydrothermale** pour désigner cet environnement où vivent des organismes étonnants : crustacés aux grands yeux et longues pattes, poulpes à oreilles, calmars vampires, étoiles de mer multi-bras… On en retrouve à La Voulte-sur-Rhône en Ardèche, un site réputé pour ses fossiles dont même les parties molles ont parfois été conservées.

La Voulte-sur-Rhône est réputé pour ses fossiles à conservation exceptionnelle,



Des organismes fossilisés en trois-dimensions dans des concrétions carbonatées formées autour des carcasses. Conservation remarquable car les appendices (pattes, antennes) sont fossilisés en connexion avec la carapace ET le volume original des crustacés est aussi conservé. Même certaines structures internes (ex. ovaires)! Tels que le révèlent les analyses au scanner à rayons X.
Crustacés fossilisés dans les concrétions. A-Crevette *Aegerbrevirostris* (Longueur : 7 cm). B-Crevette *Archeosolenocerasraeleni*(Longueur : 6 cm). C- Homard*Erymaventrosum*(Longueur : 3 cm). D-Langoustine*Eryonellipticus*(Longueur : 5 cm). E-*Voulteryonparvulus*(Longueur : 1,5 cm). F-G-Langoustine*Palaeopolychelesnantosueltae*(Longueur : 4 cm). H. Langoustine *Willemoesiocarisovalis*(Longueur : 8 cm)© P. Loubry (A), N. Podevigne (B, C), D. Audo (D, E, H), N. Poulet (F, G).
Les « soies » de ce petit crustacé montre la finesse de la conservation © P. De Wever



La pieuvre de La Voulte : fossile célèbre décrit au début des années 1980.© P. De Wever

18- jeudi 24 juill

Vif-Courchevel (Col de la Loze)

174 km Montagne

(surtout le Belledone)

Vif (vallée du Drac) Vallée de la Romanche, Séchilienne, Riouperoux, LivetLe VerneyLeMolard, Le Rivier d'AllemontLac Vaujany, Lac de Gd Maison,Col du Glandon, St Colombande Villard, Vallée de l'Arc avec St Etienne de Cuines, montée vers le Col de La Madeleine (de 520 à 2000 m) vallée de l'Isère (ND de Briançon),Moutiers et Salins-les Thermes, Brides-les-Bains, Courchevel (Col de la Loze de 900 à 2304m)

Vizille, Séchilienne Éboulements récurrents

Les Ruines de Séchilienne

Plus les reliefs sont élevés et escarpés, plus l'érosion est active

Peu après Séchilienne, extrémité sud-ouest du massif de Belledonne (Isère), une **zone instable** du versant de la rive droite de la Romanche **s'éboule** régulièrement, en particulier sur la route nationale qu'il a fallu dévier.

Ces éboulements chroniques "modestes" pourraient se transformer en un éboulement de plusieurs millions de m^3 qui viendrait barrer la vallée de la Romanche, occasionnerait un **lac temporaire**, dont la rupture menacerait la ville de Vizille, puis celle de Grenoble.

Ce site est en permanence surveillé automatiquement (réflecteurs laser …) pour diagnostiquer une éventuelle accélération des éboulements. Un **tunnel de dérivation** de la Romanche a été percé pour éviter la formation d'un lac en cas d'éboulement majeur.

Cette catastrophe potentielle a été **à l'origine de la Loi Barnier** (1995) qui permet l'expropriation et l'indemnisation des propriétaires et des occupants soumis à un risque important avant que celui-ci n'arrive.

Pour l'instant (décembre 2021février 2025) rien n'indique un éboulement majeur dans un avenir immédiat.

Vizille Séchilienne



Localisation des « Ruines de Séchilienne » le long du parcours

Des « Ruines », un terme qui illustre le souvenir d'éboulements.

De mémoire d'homme et d'après les archives, les Ruines de Séchilienne semblent avoir toujours été le théâtre de chutes de blocs et d'éboulements. L'événement du 23 novembre 2006 est venu rappeler la fragilité de ce massif. Ce n'est pourtant pas ce type d'épisodes qui inquiète les pouvoirs publics et a conduit les scientifiques à faire de ce site l'un des plus importants terrains d'étude des phénomènes d'éboulement gravitaires en

Europe. Ce qui a toujours été le plus redouté, c'est un **éboulement de plusieurs millions de m³(entre** 5 et 25 millions de m³), qui viendrait **barrer le cours de la Romanche** s'écoulant en contrebas, entraînant la formation d'un **lac** susceptible de se déverser brusquement en cas de rupture du barrage, et de déferler dans toute la vallée (occupée en contrebas par des villes importantes : Vizille, Champ-sur-Drac, puis l'agglomération de Grenoble) et sensible (présence de pôles chimiques à Jarrie, Pont-de-Claix et Échirolles, d'un gazoduc…).



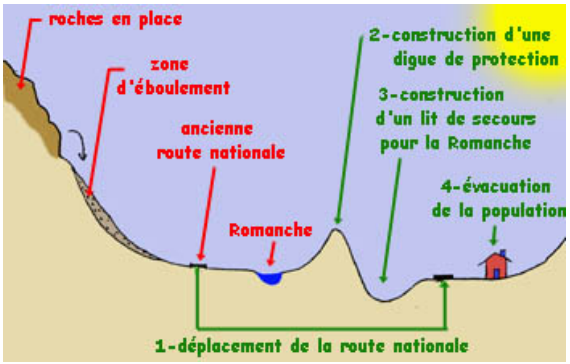




Localisation des « ruines" de Séchilienne

Pour contrer ce risque, plusieurs phases de travaux :
1- (années 1985) construction d'une digue pour freiner la chute de rochers dangereux, et qui offre un deuxième tracé pour l'eau et devrait ainsi éviter que les roches forment le barrage et ainsi un lac.
2- (année 1997) Dans la montagne en face, un tunnel a été creusé pour faire une dérivation (pour que l'eau s'y engouffre si l'effet de barrage survenait et que le niveau venait à monter). Ce tunnel, long de 2000 mètres, permet d'évacuer un débit d'eau jusqu'à 50m³/s.
3- (année 2015) le tracé de la route a été modifié, sur 1,5 km, il passe désormais de l'autre côté de la vallée,
4- Cette zone à risque est aussi surveillée en permanence par des capteurs.





0
Aménagements routier : on note la digue (boisée) élevée à la base des éboulis pour faire rempart

Une catastrophe historique à Grenoble

La crainte d'un éboulement pouvant barrer la vallée, et ainsi créer un lac dont la vidange brutale provoquerait une catastrophe est justifiée par le fait que cela est déjà arrivé, en 1219. Les chroniques historiques indiquent que plusieurs éboulements se seraient produits en 1191, auraient barré la vallée au niveau de l'actuel monument à la Résistance de l'Oisans.

Un grand lac (le lac St Laurent) s'est alors formé derrière le barrage formé par les éboulements. Ce barrage s'est rompu le 15 septembre 1219. Une énorme vague s'écoula dans la vallée et inonda Vizille, puis Grenoble. Un vieux texte dit « *Le Lac de Saint-Laurent*

doysans se déboucha avec tant de fureur, d'abondance et d'impétuosité au fort de la nuit que Grenoble et tous ses environs en furent fort inondez ».

Le nombre de morts, très incertain, est estimé à environ 5000.



Gravure du Moyen âge illustrant la situation dans les rues de Grenoble la nuit du 15 septembre 2019 (source https://freneydoisans.com/freneytique/mandement-de-jean-de-sassenage-1219/)

Tous les éboulements ne sont pas aussi catastrophiques, et donnent lieu parfois à des curiosités. Un **gros bloc** éboulé de la montagne au sud de la vallée est visible juste à la sortie de Rioupéroux. Par un curieux hasard, ce bloc ressemble au profil de Louis XVI, ce qu'indique un panneau devant lequel passe le Tour



Le bloc erratique au profil de Louis XVI

Vernay : Des mines de cuivre et d'argent riches d'espoirs (mais seulement d'espoirs)

Juste avant le barrage du Vernay, le Tour traverse le bourg d'Allemont, qui fut connu du XVIIe au XIX^{e} pour ses mines de cuivre, de plomb, d'argent et d'or. De grands espoirs de fortune furent hélas déçus. Les collections du Louvre possèdent des médailles de cuivre, d'argent et d'or extraits de la région d'Allemont, dont une offerte par Monsieur à son frère Louis XVI en 1786. En 1791, monsieur emporta dans sa fuite à l'étranger toutes les liquidités des mines et des fonderies d'Allemont.



Médaille frappée en 1786 pour « annoncer » au roi Louis XVI l'arrivée d'or et d'argent venus de l'Oisans dans le trésor royal © https://collections.louvre.fr/ark:/53355/cl010449096)

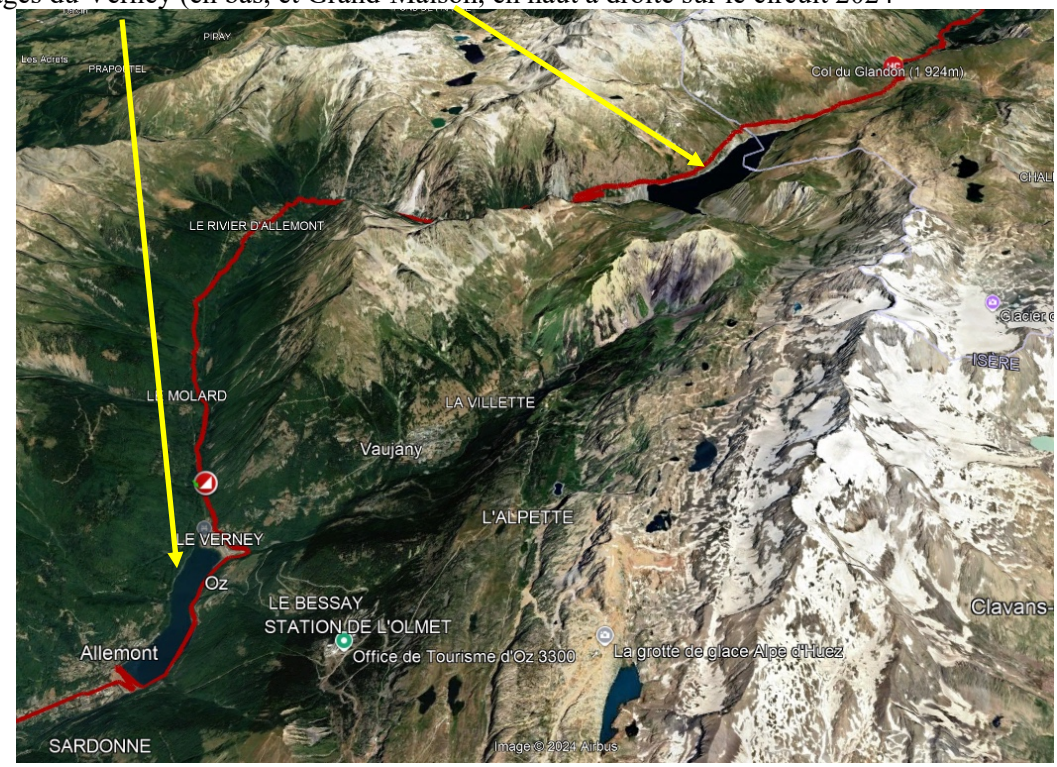
Grandmaison

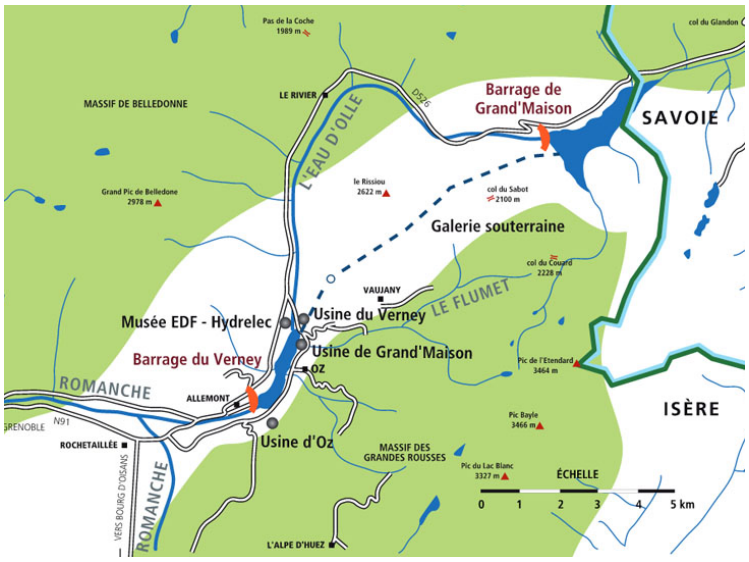
Stocker de l'énergie électrique par transfert d'eau entre 2 barrages Les 2 barrages de Grand-Maison / Verney :

Les 2 barrages du jour sont reliés par des conduits pour stocker de l'énergie, ce qui va devenir indispensable avec le développement des énergies renouvelables intermittentes.

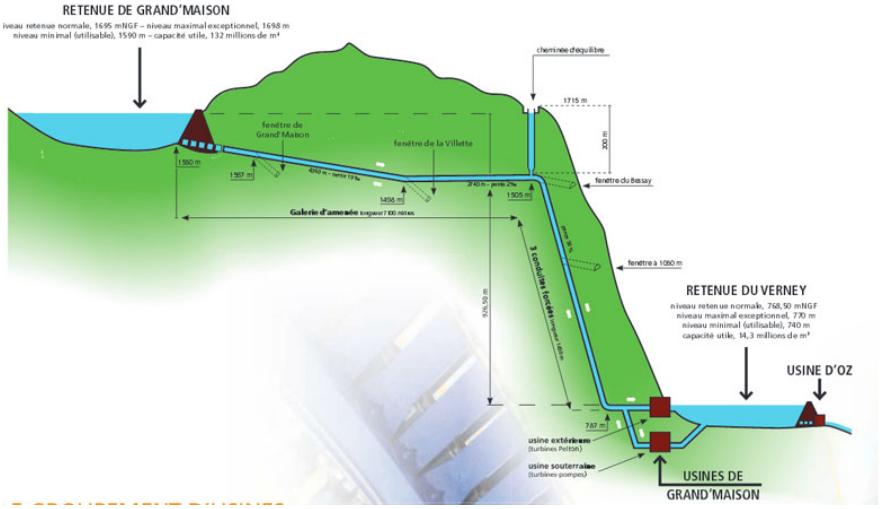
Les deux retenues de Grand'Maison (en amont) et du Verney (en aval) constituent une station de **transfert d'énergie par pompage**, selon la quantité d'eau disponible et les besoins en électricité.

Barrages du Verney (en bas, et Grand'Maison, en haut à droite sur le circuit 2024





Carte de la conduite d'eau (tireté bleu) entre les 2 barrages Grand'Maison et Verney.



Relations entre barrage amont (Grand'Maison) et barrage aval (Verney)

L'usine du Verney, est utilisée

soit pour **produire** de l'électricité (en turbinant l'eau comme une usine hydroélectrique classique),

soit pour **stocker** de l'énergie potentielle en inversant le fonctionnement des turbines, l'eau de la retenue inférieure étant alors pompée et remontée vers la retenue supérieure.
L'énergie utilisée pour monter l'eau dans la retenue de Grand'Maison correspondant à la surproduction d'électricité en période de basse consommation.

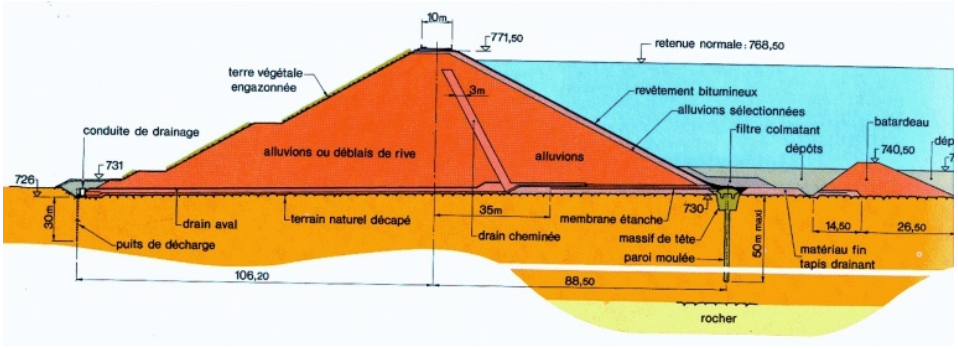
Barrage de Grand'Maison : un "barrage poids", constitué de remblai

Il forme le réservoir supérieur d'un ensemble de 2 barrages pour stocker de l'énergie
Cet ensemble représente la **centrale hydroélectrique la plus puissante de France** : puissance : 1 800 MW, soit 9% du parc hydroélectrique exploité par EDF en France.

En chiffres : 550 m de long, 140 m de haut, contient 137 millions de m^3 d'eau, épaisseur : plus de 100 mètres à la base

Barrage du Vernay: "barrage poids" , constitué en remblai de terre.

En chiffres : 430 m de long, 44 m de haut. Épaisseur 195 m à la base et 10 m au sommet. Volume total de 1,55 million de m^3.



Barrage du Verney

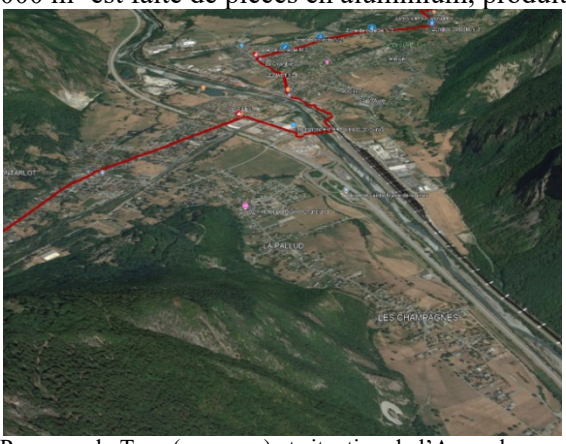


Barrage du Verney © Adrien Mortini

Symbole de solidarité : L'aura de la Maurienne

Vallée de la Maurienne, au-dessus de l'Arc et de l'autoroute (un peu à l'Est du parcours

Àflanc de montagne sur une pente abrupte, cette auréole non fermée est constituée de 42 000 pièces (autant que de Mauriennais à l'époque de sa création) portant **chacune un message gravé** par les habitants de la vallée et des célébrités (César, Jacques Chirac, Michel Drucker, Bernard Hinault, Nicoletta.). L'aura est visible depuis l'autoroute de la Maurienne. Cette œuvre monumentale de 5 000 m^2 est faite de pièces en aluminium, produites dans la vallée, et rivetées entre elles.





Parcours du Tour (en rouge) et situation de l'Aura plus au sud. L'Aura (ou Laura) est la plus grande création collective du monde !

Salins les Thermes et Brides les Bains.

Cette partie des Alpes est constituée de différentes unités entremêlées, qui se chevauchent. Les contacts entre les unités sont parcourus d'eaux qui se minéralisent notamment en sulfates liés à la présence de gypse (sulfate de calcium) au contact entre la zone subbriançonnaise et le Houiller briançonnais. Cette eau contient des sulfates et des chlorures de magnésium, sodium et potassium.

A Brides-les-Bains, tout comme à Salins-les-Thermes (distant de quelques km), villages de fond de vallée, différentes sources sont reconnues depuis plus d'un siècle pour leurs capacités à lutter contre le surpoids.

Leur forte teneur en sel (proche de l'eau de mer) et en fer assure une portance dans l'eau.Les Thermes de Brides-les-Bains bénéficient de sources thermales aux propriétés thérapeutiques réputées à Brides-les-Bains et à Salins-les-Thermes pour maigrir et soigner les rhumatismes.

En 1818, une catastrophe naturelle en amont de la vallée, vers Champagny-en-Vanoise, libère une énorme masse d'eau avec pour conséquence la mise au jour d'un massif rocheux d'où se mit à jaillir la source thermale actuelle, permettant la création de la station moderne.Dans les années 1990, Brides-les-Bains devient la station thermale leader en France pour le traitement de l'obésité.



Commune tournée vers le thermalisme dès le XIX^{e} siècle

19- vend 25 juillet
Albertville - La Plagne
130 km

Albertville Ugine Côte d'Héry/Ugine (2e Cat.)Gorges de l'Arly Les SaisiesHauteluceBeaufort ArèchesBoudin Col du Pré Barrage RoselendCormet de RoslendBourg St-Maurice Landry, Ayme, La Plagne-Tarentaise

À Beaufort on retrouve les roches du socle.

Beaufort, le "Prince des Gruyères" selon Brillat-Savarin



Du col des Saisies, descente vers **Beaufort** et ses terres schisteuses et argileuses qui permettent de grasses prairies qui donnent le fromage

Il est aujourd'hui un des représentants de la cuisine savoyarde : de la **fondue.**

Dans la montée vers le barrage, certaines vallées un peu encaissées montrent des roches d'un jaune clair : des gypses du Trias.

Col du Pré (HC) :tout en haut : poches de gypse au dessus de Boudin

Des garde-manger pour les habitants : les poches de dissolution du gypse

Au- dessus du village de Boudin, au col (1740 m) s'observent des dépressions dans le gypse, qui sont des poches de dissolution. Elles ont longtemps servi de garde-manger pour les habitants de Boudin. Comme la neige s'y accumulait et y restait longtemps, ces cavités étaient des réfrigérateurs naturels. L'une de ces dépressions a un nom qui suscite nombre de commentaires : le "trou de la femme" ("le trou de la fen" en parler local).



Col du Pré : localisation du garde-manger du "creu de la fen" © IGN, Geoportail



Vue du garde-manger du "creu de la fen"t © Google Street View

Descente vers le barrage de Roselend

Après le col du Pré, en arrivant au-dessus le lac de Roselend et en le longeant par la rive nord-est, se voit une curieuse « dent rocheuse » fermant l'horizon : la PierraMenta. Cette aiguille est constituée d'un matériel plus résistant que les roches environnantes : des grès et des conglomérats connus sous le nom local de « Flysch de Tarentaise ».



La PierraMentaau dessus du lac de Roselend(Google Earth Street View)

La **PierraMenta** est aussi le nom d'une compétition internationale de ski alpinisme qui se déroule chaque année au mois de mars depuis 1986 en France, au cœur du Beaufortin sur les pentes au départ du pic rocheux de la PierraMenta. Cette course comprend un total de 10 000 mètres de dénivelé positif, sur quatre jours, quinze sommets de 2 000 à 2 687 mètreset des descentes. Des milliers de skieurs/spectateurs assistent à la course tout le long du trajet

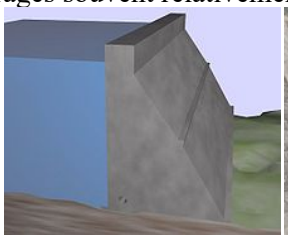
Le barrage de Roselend

La voûte du barrage est particulière.

Il existe différents types de barrages selon l'objectif. Pour des barrages hydroélectriques on distingue généralement 2 grands types de barrage : les barrages-poids et les barrages-voûtes.

Barrage-poids

Un barrage-poids est un barrage dont la propre masse suffit à s'opposer à la pression exercée par l'eau. Ce sont des barrages souvent relativement épais, dont la forme est généralement simple.

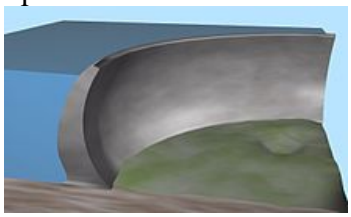

Barrage poids


barrage-poids évidé : le barrage amont d'Aussois en Savoie

Barrage-voûte

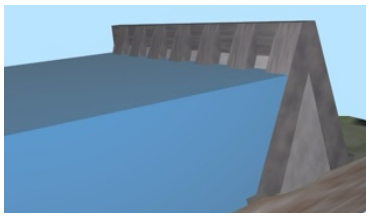
Dans un barrage-voûte, la poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée au moyen d'un mur de béton arqué horizontalement, et parfois verticalement (on la qualifie alors de voûte à *double courbure*).

La technique de barrage-voûte nécessite une vallée plutôt étroite et un bon rocher de fondation. En raison du relativement faible volume de matériaux nécessaires, c'est évidemment une technique très satisfaisante économiquement.


Barrage voûte


Un barrage-voûte : le barrage de Monteynard.

Il existe toute une variété de constructions (Barrage à contreforts ou multivoûtes…)




Barrage à contreforts : le mur du barrage est conforté par tout un ensemble de structures, en contrefort.

Le barrage de Roselendprésente une singularité, car il associe différents types de structures : il s'agit d'un barrage voûte à contreforts pour la plus grande partie, mais une partie du barrage est une voûte tournée de 90° !!


Vue générale du barrage de Roselend : des contreforts soutiennent le mur principal. Au loin (flèche jaune) se voit une structure très différente © P. Leroux,2019.

Pourquoi cette particularité ? À **cause d'une profonde entaille, très localisée.**



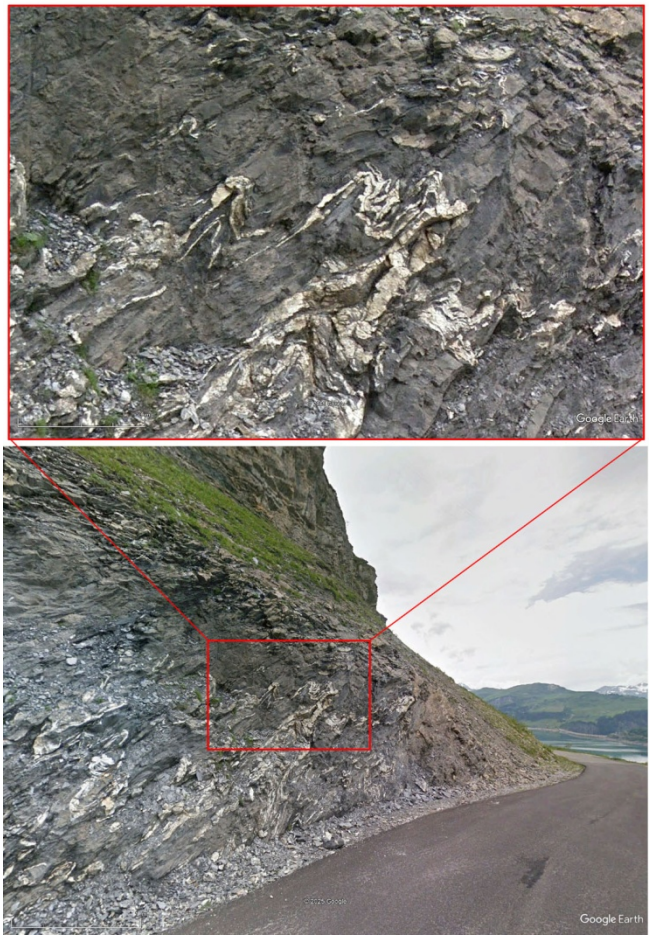
Coupe topographique le long du barrage : la gorge posait un problème particulier pour la structure à contreforts.
Ouvrage d'art conçu et calculé **comme un Viaduc** pour appuyer les contreforts sur la voûte !

Pour aller plus loin

Quelles forces pour chiffonner ces roches !

En montant depuis les bords du lac jusqu'au au Cormet de Roselend, il est possible de prendre conscience des forces tectoniques qui ont bâti les Alpes. Dans le paysage, des couches - initialement déposées à l'horizontale au fond d'une mer jurassique (160 Ma)- ont été basculées et sont maintenant inclinées, et portées à plus de 2000 m d'altitude.

Et sur certains talus on remarque localement, qu'en plus d'être inclinées, descouches ont été tordues, plissées, plissotées… dans leur masse. Surtout visibles quand des roches sombres alternent avec des roches claires.





Un lacet sur la montée au Cormet de Roselend. Au fond, des couches inclinées, basculées … (Google Earth Street View)

Exemple de micro-plis visibles sur le bord de la route montant au Cormet de Roselend, juste au-dessus du lac (Google Earth Street View)

Les cristalliers de Bourg Saint-Maurice

Après la descente du Cormet de Roselend, et avant d'attaquer la montée vers La Plagne, le Tour Traverse Bourg-saint-Maurice.

Cette ville possède un musée, le **musée des minéraux et de la faune**. Joseph Canova l'a créé en 1986. Chercheur de cristaux, collectionneur, écrivain et peintre, c'est dans les hautes montagnes de Tarentaise, du massif du Mont-Blanc et du Val d'Aoste qu'il découvre les cristaux de sa collection hors normes, en particulier en explorant les zones découvertes par le recul des glaciers, recul du au réchauffement climatique. Il décide de partager ses trouvailles et celles de son frère en les mettant à la disposition du public. Ce musée, outre de splendides échantillons (dont une superbe croix naturelle en quartz), raconte l'histoire d'un vieux métier alpin : le métier de cristallier.

Les chercheurs de « cristal de roche » (nom usuel du quartz) qui parcouraient les montagnes étaient appelés « **cristalliers** ». Le plus célèbre d'entre eux est Jacques Balmat (1762-1834). C'est lui, avec le docteur Michel Paccard (1757-1827), sous l'impulsion du physicien et géologue genevois Horace Benedict de Saussure (1740-1799) et grâce à son habitude de gravir les montagnes à la recherche de cristaux, qui fit la **première ascension du Mont-Blanc le 8 août 1786**.

Autrefois, les cristaux de quartz des Alpes étaient très recherchés pour faires des bijoux, des lustres… Les **lustres d'apparat du château de Versailles** sont faits avec des quartz des Alpes.

L'exploitation "utilitaire" des cristaux de roche diminua fortement avec l'invention du "cristal", un verre dopé à l'oxyde de plomb (voir plus bas : verre en cristal : un oxymore).



La croix naturelle de quartz du musée des minéraux et de la faune de Bourg-St-Maurice (Planet terre)

La découverte de gisements de quartz à Madagascar, au Brésil, aux USA… accentua la fin de l'intérêt économique de la recherche des quartz alpins. S'il reste quelques chercheurs de cristaux professionnels (profession très réglementée, dont les effectifs sont en forte diminution), c'est pour fournir les amateurs et autres collectionneurs de beaux minéraux. Il existe aussi des "cristalliers amateurs", ce qui est légal mais très contrôlé, et aussi des cristalliers "sauvages" qui pillent sans vergogne "nos" richesses naturelles. Le comble du pillage (au moins du pillage connu) fut atteint en 1979 lorsque des Suisses sont venus en hélicoptère ramasser à l'explosif et au marteau piqueur 700 kg de minéraux dans la face Nord des Grandes Jorasses. Les tribunaux ont traité beaucoup de ces affaires

Le verre en cristal : un oxymore ![15]

Le verre industriel est obtenu par fusion d'une roche siliceuse, généralement du sable. Des éléments sont souvent ajoutés pour en modifier les propriétés : le pyrex, par exemple,plus résistant aux chocs thermiques qu'un verre ordinaire, est enrichi en bore.

Les princes du monde ont longtemps possédé des objets d'une grande rareté et donc précieux. Parmi ces objets, on trouvait des coupes, ou des verres, en « cristal de roche », c'est-à-dire en quartz (un oxyde de silicium cristallisé). Ces objets avaient un magnifique éclat lumineux et un son … cristallin ! On a donc tenté d'imiter ces objets de faste, ne serait-ce que pour … l'apparat. Et on a trouvé ! Pour avoir un verre en « cristal » (cristal de Bohême ou de Sèvres, …) on ajoute un oxyde de plomb (PbO) qui apporte l'éclat et le son … cristallin (fig. 10)

[15] Extrait de De Wever P. & Cornée A. (2020).- Roches à tout faire ? EDP Sciences, 304 pages




Deux objets en « cristal »

A gauche : coupe en cristal de roche (en quartz). Trésor du MNHN © DR

A droite : Verre en cristal. Ce verre (objet) est un vrai verre (matière) : les faces taillées permettent mieux de jouer avec la lumière © L. Carpentier

Plus il y a de plomb plus le verre semble cristallin. Dans sa définition moderne le cristal comporte au moins 25% de plomb, mais il va jusqu'à 30%. La densité s'en ressent : elle passe de 2,5 pour le verre à 3 pour le cristal. Et c'est justement la forte densité apportée par le plomb qui offre au cristal son éclat. En effet, la vitesse de la lumière est fonction du milieu dans lequel elle se propage. Plus le milieu est dense, plus la vitesse sera faible. Ainsi la lumière, est fortement déviée, elle peut aller jusqu'à la réflexion complète si le cristal est taillé en facettes, qui jouent alors le rôle de miroirs.

Les géologues connaissent généralement la composition de ces verres « en cristal », ils savent aussi que le plomb passe dans le liquide qui y séjourne trop longtemps… voilà pourquoi ils ont tendance à rapidement vider leur verre de vin !

Un verre n'a donc aucune structure à la différence du cristal. Voilà pourquoi un verre (objet) en cristal, peut sembler une contradiction.



Jacques Balmat, le plus célèbre des cristalliers, le 1er à avoir atteint le sommet du Mont-Blanc (planet terre, et https://www.mountainmuseums.org/items/jacques-balmat-de-chamonix-dit-mont-blanc-2/)

Promeneurs, si vous faites des randonnées le long des chemins des Alpes, et même en restant sur ces chemins, vous ne pouvez pas ne pas passer à coté de filons de quartz. Pas des filons exceptionnels certes, mais des filons où, en regardant de près, vous verrez des cristaux. Admirez-les, photographies les, mais laissez-les pour les promeneurs suivants.



Réseaux de filons de quartz juste au-dessus d'Aime et détail d'un de ces filons avec des cristaux de quartz jusqu'à 1 cm de long (©Planet terre)

Les mines de La Plagne

Avant d'être des stations de sport d'hiver, Aime, Macot et la Plagne étaient des citées minières ; on y exploitait des mines de **charbon**, et surtout de **plomb argentifère**. L'entrée principale des mines de plomb était située au niveau de l'actuelle station Plagne 1800. Le ski et le tourisme ont permis de maintenir et d'augmenter l'activité économique de la Plagne à la fermeture des mines de plomb (fermeture définitive en 1973). Ce patrimoine minier est maintenant mis en valeur au centre de la Plagne dans la **Maison du Patrimoine**

https://patrimoine.laplagne-tarentaise.fr/maison-du-patrimoine/ et par un **sentier de la mine** (https://patrimoine.laplagne-tarentaise.fr/wp-content/uploads/2021/06/roadbook-inverse.pdf .



Une salle de la Maison du Patrimoine évoquant le passé minier de la Plagne
https://patrimoine.laplagne-tarentaise.fr/maison-du-patrimoine/

Reconstitution d'une galerie des mines de plomb dans la maison du patrimoine
https://patrimoine.laplagne-tarentaise.fr/maison-du-patrimoine/



L'entrée principale des mines aujourd'hui, d'où part le sentier de la mine
https://patrimoine.laplagne-tarentaise.fr/mines-de-montagne/lentree-charles-albert-plagne-1800/

20 Samedi 26 juillet
Nantua –Pontarlier 185 km

Nantua La Voûte, Col de la Croix de Serre, St Claude Cote de ValfinleschèresLezatChateau des prés Les Bouviers (lac de l'Abbaye), Les Dardonnins La Chaux du Dombief Lac de la Motte, Frasnois, Le pont de la Chaux, Le Vaudioux, (Loulle), Champagnole, Salins les Bains, Geverzin, Deservilliers, Longeville, Pontarlier.

Le Jura, un massif de calcaire du… Jurassique, qui a coulé sur du sel. Ces deux matériaux marquent les paysages et l'économie. Mais ce sont les gigantesques traces de fossiles qui en font une rareté.

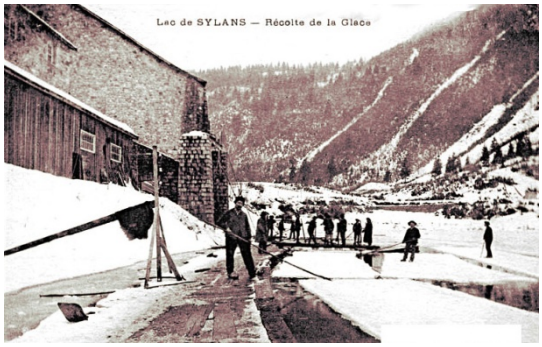
Le Jura a donné son nom à une époque géologique : le Jurassique. L'époque des dinosaures.





Les glacières du lac de Sylans

Cinq kilomètres après le départ, le Tour longe le lac de Sylans. Ce lac est connu pour ses glacières, bien visibles depuis le bord de la route. Au XIX^{e} siècle, avant l'invention des réfrigérateurs, la population récoltait et stockait la glace qui se formait en hiver dans des bâtiments spéciaux aux murs très épais et isolés à l'intérieur par des bottes de pailles. Il était ainsi possible d'avoir de froid même en plein été.



La récolte de la glace à la surface du lac de Sylans (photo wikipedia)

Ce site, abandonné et partiellement en ruine, est aménagé pour la visite





Les ruines des glacières de Sylans vues depuis la route empruntée par le Tour

Un panneau explicatif pour visiter les ruines des anciennes glacières

À 10-15 km du départ

Dinoplagne ; un record mondial[16]

A une dizaine de km après Nantua

Dinoplagne, un site paléontologique découvert en 2009 à Plagne, montre la plus longue piste d'empreintes de dinosaures sauropodes au monde, protégée et mise en valeur depuis 2021. La piste s'étend sur 155 m

Elles correspondent à des dinosaures herbivores (sauropodes) d'un poids estimé à 35 à 40 tonnes pour plus de 35m de longueur !

Ces traces (plus de 110 empreintes) ont été laissées, il y a 150 millions d'années (Tithonien inférieur) par des organismes qui se déplaçaient sur une plage, en bordure d'une mer tropicale. Les sauropodes partageaient ces plages avec d'autres dinosaures carnassiers (théropodes), des tortues et des crustacés… La mer était très peu profonde et même parfois en émersion comme en attestent des fentes de dessiccation de la boue calcaire. Étant émergée à un moment la boue a durci, ce qui explique que les géants ne se soient pas enfoncés davantage.

Les empreintes de théropode se résument à une piste de 38 m de long comportant 18 pas. Elles atteignent 30 cm de longueur et l'espacement des empreintes suggère une vitesse de 13 km/h. Elles appartiendraient à l'ichnogenre*Megalosauripus*.





Empreinte de théropode. A droite : Empreinte tridactyle d'un dinosaure carnassier (théropode), soulignée à la carie, au milieu de fentes de dessiccation. © Mfrays / CC BY-SA 3.0

Le site de Plagne l'un des plus vastes au monde, a été aménagé pour être à la fois protégé des intempéries et des visiteurs © D.L.





La grande piste de sauropode *Brontopodusplagnensis.* Sur la première empreinte en bas à gauche on distingue bien le couple main/pied. Vue de l'amont. © C. Gaillard

[16] Inspiré de De Wever P. (2021).- Histoires secrètes de cailloux. Belin, 256 pages

Si le sauropode de Plagne marchait dans ses empreintes… Dessin surimposé à une équipe actuelle de paléontologues en trains d'étudier les empreintes (ils ne sont là que pour l'échelle car les humains étaient encore loin d'exister à l'époque) © Dessin A. Bénéteau, photographie Dinojura



Complément d'informations sur des empreintes
A gauche : Certaines dépressions circulaires sont entourées d'un bourrelet de sédiment calcaire prouvant que le sédiment était encore bien meuble. © Mfrays / CC BY-SA 3.0



Empreintes tridactyles d'un dinosaure théropode carnassier (*Megalosauripus*). les traces soulignées à la peinture sont parfaitement conservées © Ch. Gaillard

Saint-Claude, capitale :
➢ de la taille de pierres précieuses
➢ de la pipe

En 1550, Saint-Claude devient la capitale française de la **taille de pierres précieuses** et de diamants. Et bien qu'il n'y ait ni diamant ni autres pierres précieuses dans le Jura, cette tradition et ce **savoir-faire** est venu d'**horlogers** suisses qui s'étaient exilés dans le Haut-Jura au XVI^{e} siècle pour des raisons religieuses. Et cet art de la taille du diamant continue jusqu'à nos jours.

St Claude est également connu pour la **taille des pipes**. Cette activité a profité de l'abondance du bois dans les forêts du Jura, même si de nos jours la majorité des pipes en bois sont faites en bois de bruyère importé, car la bruyère ne pousse pas sur les sols calcaires du Jura.

Lors de sa traversée de la ville de St-Claude, le Tour passe juste devant le Musée de la pipe et du diamant, et, quelques centaines de mètres plus loin devant une pipe géante et un énorme diamant (...en acier).





Le musée de la pipe et du diamant

Le plus gros diamant du monde (en acier) et la plus grosse pipe du monde (attention, elle évoque un dinosaure, de loin, mais il ne faut pas confondre

Un lac aux camaïeux de bleu et vert

Une cinquantaine de mètre après St Claude, le Tour longe le Lac de la Motte (ou d'Ilay). Le centre du lac, profond, est d'un bleu intense. Par contre, ses bords sont d'un beau bleu-vert clair (selon les conditions d'éclairages). Cette couleur atypique est due à la richesse des eaux du lac en « calcaire dissout ». Ce calcaire précipite sous l'action d'algues unicellulaires qui tapissent le fond du lac. Les eaux peu profondes laissent passer la lumière. Si la météo est adéquate, longer le lac, comme le fait le Tour est un beau spectacle.



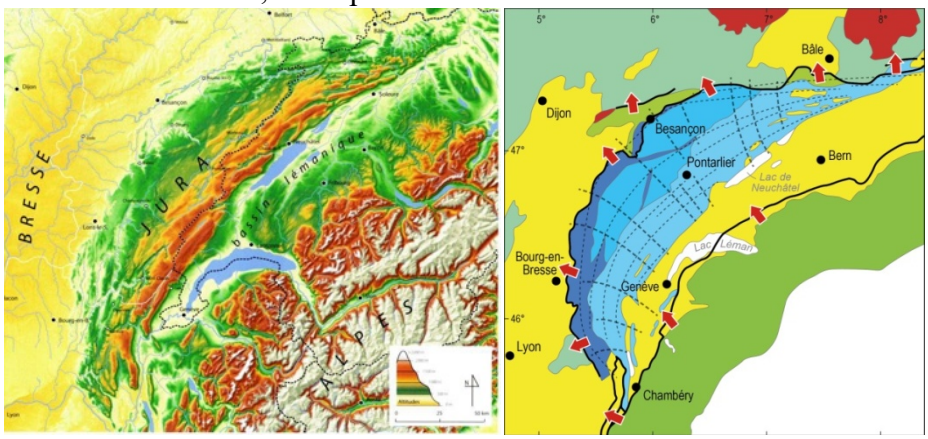

Image googleearth et Google Street View du lac de la Motte (ou d'Ilay)

Salins les Bains, marqué par le sel

Le Jura forme un croissant montagneux, dont la convexité est face au nord-ouest. Sa carte et sa structure illustrent parfaitement ce qu'il est : une langue d'écoulement qui a davantage avancé en son centre que sur ses extrémités. Tout comme le fait une crème caramel ou une pâte molle. Il s'agit effectivement d'un **coulis de calcaire** qui s'est installé quand le Massif alpin s'est élevé, en contrecoup.

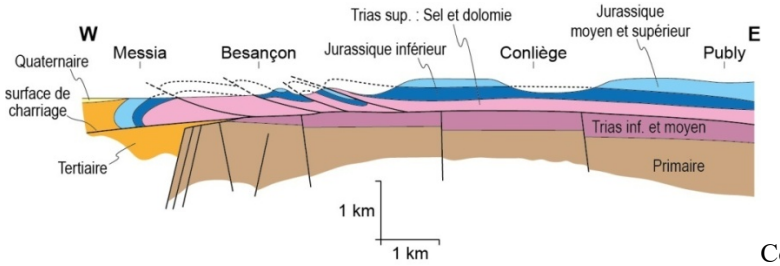
Exemple magnifique de ce que sont les phénomènes géologiques : des structures très plastiques quand on prend en compte la durée de ces phénomènes. Le Jura a commencé à se déplacer il y a 11 millions d'années, jusqu'il y a 3 millions d'années pour ses mouvements les plus importants, mais **il continue toujours à se déplacer** comme en attestent le cours

de rivières, les séismes etc. Déplacement horizontal d'environ 1 mm/an (soit 1 km/million d'années) et une élévation de 0,3 mm pour la haute chaîne.



Le croissant du Jura doit sa forme à son écoulement.
Àgauche : Topographie. Son front domine la dépression de la plaine de Bresse (de Bourg-en-Bresse à Belfort).
À droite : la structure du Jura révèle son origine : celle d'un glissement en masse vers le nord-ouest. Les flèches rouges indiquent le sens du transport.

La forme en carte est évocatrice en elle-même, et une coupe de ce massif révèle que ce coulis déborde sur les sédiments récents du bassin d'effondrement de la Saône (fig. suivante). L'ensemble s'est déplacé de plus de 25 kilomètres dans les parties les plus mobiles, au centre.

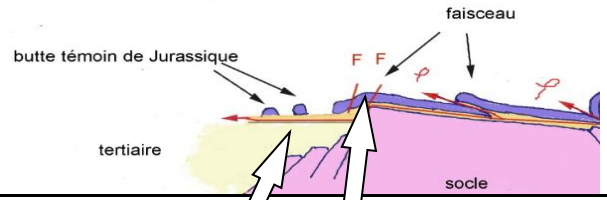


Coupe du Jura-

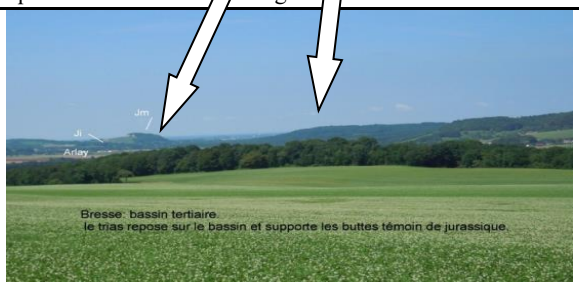
En glissant, en coulant, les terrains se sont plissés ici et là, et le front (de roches du Jurassique, Secondaire, en bleu) déborde sur les sédiments récents de la plaine de la Bresse (en jaune).

La durée des phénomènes géologiques et ses conséquences sont difficiles à appréhender par notre ressenti d'humains pour lesquels un siècle semble une éternité. Une pente de 1 ou 2%, est un "faux-plat" pour le cycliste, et pourtant une pente de 0,5 à 1 % a suffi pour que le massif montagneux du Jura s'écoule…

OUEST EST



Plaine de Bresse, à gauche
En bleu :la « nappe » de calcaire qui a coulé vers l'oue[illegible] en glissa[illegible]t sur une couche savon » : du sel

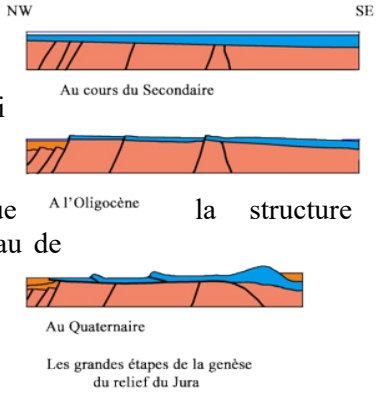


Vue du front du Jura et de quelques buttes témoins

Un « nouveau » sel gastronomique

En 1962, la dernière saline de Salins-les-Bains fermait ses portes. Soixante ans plus tard, Fabrice Piguet a décidé de relancer une production de sel à forte valeur gastronomique, l'or blanc du Jura. La **fleur de sel** de Salins-les-Bains, figure déjà sur la carte de quelques **chefs étoilés** de la région et dans les cancoillottes.

Les monts du Jura ? un coulis de calcaire !



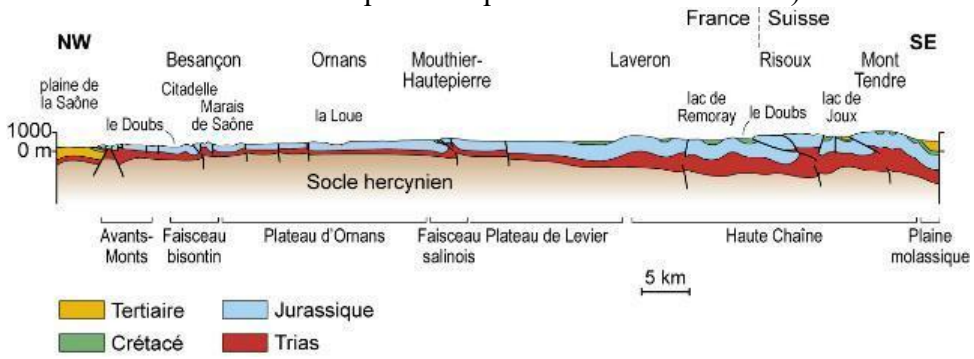
Les grandes étapes de la genèse du relief du Jura

Le Jura représente de belles montagnes. On a du mal à imaginer que tout cet ensemble n'est qu'un coulis. Oui une structure qui a coulé, qui a glissé vers l'ouest quand le plissement alpin a légèrement soulevé l'Est. Une très légère pente a suffi à faire glisser la structure vers l'Ouest ces monts. C'est d'ailleurs cette mise en place qui explique du Jura : de grands plateaux non déformés (ou presque) tel le plateau de Champagnole, et des zones très plissées cassées, ici et là (ex. Besançon, Salins …).

Les responsables de cette mise en place : les sels (sel gemme et gypse).

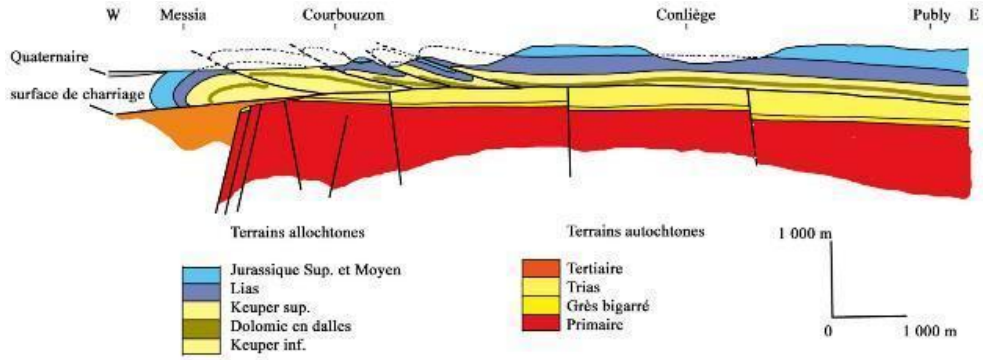
La faible viscosité du sel confère à ses couches une grande plasticité. Le sel tient lieu de lubrifiant (de couche savon) dans les déformations associées à la formation des chaînes de montagne. Il favorise le décollement et le glissement de grandes unités tectoniques, comme les nappes de charriage, leur déplacement et leur déformation. C'est le cas du Jura qui a glissé sur les couches salifères (qui ont un peu plus de 200 millions d'années –Trias-). Il en est de même dans les Alpes. Une coupe du Jura montre bien son aspect pelliculaire qui résulte du glissement en masse des couches vers le Nord-Ouest.

Vers l'Ouest ces calcaires de l'époque secondaire ont même glissé, sur plusieurs kilomètres, sur des couches très récentes (du bleu repose sur du jaune, des roches de 200 millions d'années sur des sédiments qui n'ont que 20 millions d'années).



Le Trias (250-200 millions d'années) comprend des niveaux salifères.

Les calcaires, en bleu et vert, ont glissé sur les couches salifères, en rouge



Coupe du chevauchement de la bordure occidentale du Jura sur la Bresse (d'après G. Lienhardt)

Tu as déjà mis 2 pages plus haut une coupe similaire, mais pas avec les mêmes couleurs. Une seule suffirait

Le sel pour le stockage de gaz

Des couches de sel existent en profondeur. Ce sel est exploité (**Salins les-Bains**), des cavités se créent alors. Elles sont utilisées pour stocker différents produits, car le sel est imperméable. On y stocke en particulier du gaz.

Les routes du sel

Lons-le-Saulnier, Salins les Bains … ces noms traduisent l'importance du sel.

En effet, au front des monts du Jura on trouve du sel à la base de la série jurassique. Ce sel s'est déposé il y a un peu plus de 200 millions d'années dans une mer qui recouvrait alors toute l'Europe du nord. Il est exploité en divers lieux du Jura, surtout dans la partie occidentale : vers Lons-le-Saulnier, Poligny, Salins les bains.

Exploitation par dissolution (ex. Poligny)

Le sel conservé en quantité sous terre est très soluble. Il a donc parfois été exploité en le dissolvant, ce qui facilite le transport, puis en faisant évaporer la saumure. La technique est simple : à partir d'un forage de l'eau est injectée pour dissoudre le sel. Lors de sa circulation dans le niveau de sel, elle le solubilise. La saumure est conduite vers des installations industrielles où le sel est récupéré.

Une telle exploitation est visible de haut[17]. Dans la forêt, à moins d'un kilomètre au sud-ouest du bourg de Poligny (arrondissement de Lons-le-Saunier), un réseau de drains subparallèles a été installé. Le long de ces circulations des cavités se forment et des effondrements se manifestent jusqu'en surface, soit sous forme de simples dépressions longitudinales, parfois occupées par de l'eau, soit sous forme de puits profonds visibles dans la forêt.

Arc et Senanfaire qlq chose ?????
à 15 km de Salins
C'est certes un beau monument ; et on peut parler du Saumauduc. Je n'en ai pas de photos

Le saviez-vous ?
La moitié de nos plastiques sont faits avec … du sel !

Le sel est parfois utilisé à l'état brut pour être déversé sur les routes en hiver, affiné il est utilisé pour la cuisine, mais la plupart du sel des monts du Jura est utilisé par l'industrie chimique pour faire

[17]Extrait de De Wever et Rouchy, 2016, Le sel de la Terre. EDP Science, 93 pages

des plastiques. Effectivement, **beaucoup de nos plastiques ne viennent pas que du pétrole mais du sel**, c'est le cas de tous les PVC (les tuyaux, les flacons etc …).

(PVC = Poly chlorure vinyl, le chlore est tiré du sel. Dans1 kg de PVC, il y a 560 g qui viennent du sel !(

Arbois : riche d'intérêts

La ville d'Arbois possède des intérêts divers, nous en retenons 3 :

1- La ville de Louis Pasteur
2- Un vin particulier : l'Arbois, qui fut la première AOC de France (en 1936)
3- Un relief particulier : les reculées

Une reculée

Certaines vallées sont entaillées dans les calcaires d'âge jurassique. Elles sont bordées d'escarpements. Vers le bas de la vallée la pente est plus douce car ce sont des niveaux marneux qui sont recoupés. Plusieurs de ces vallées se terminent en cul de sac. Une rivière coule parfois au fond de cette vallée.

De telles vallées en cul de sac sont appelées « reculées » dans le Jura[18].

Il existe une reculée, la Reculée des Planches à Arbois, comme celle de Poligny

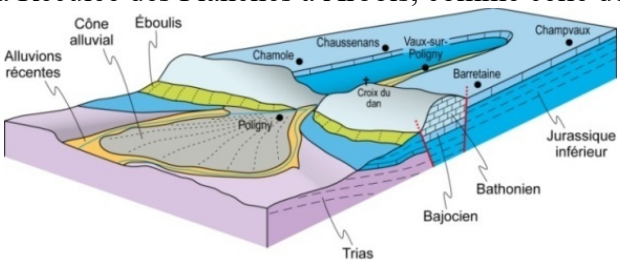


Schéma de la Reculée de Poligny

Loulle
Déambulation de dinosaures

Env 10 km avant Champagnolle :

Plateau calcaire

Loulle est situé sur le plateau de Champagnole, constitué de calcaires et marno-calcaires de la fin du Jurassique (-148 millions d'années), et séparé des plis de la région de Lons-le-Saunier, à l'ouest, par une vaste dépression : la combe.

A **Loulle** ont été trouvées en 2004 les plus vieilles traces de dinosaures (155 millions d'années), 1500 empreintes et une trentaine de pistes différentes. Sur des niveaux légèrement différents.

Faire connaitre et protéger

Le site des pistes à dinosaures de Loulle, de 3800 m^2, est révélé au public en automne 2006 et fait l'objet de relevés pendant 3 années. Depuis 2014, le site est à la fois partiellement protégé et aménagé (passerelle, panneaux didactiques) pour le public.

[18]https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Img515-2015-12-07.xml



Panneau de signalisation sur le site © P. De Wever


Traces de sauropodes © P. De Wever 2009


Traces peintes de sauropodes © P. De Wever 2009


Traces tridactyle de théropode © P. De Wever, 2009





Gauche : Différentes pistes sont soulignées par des peintures. Les tailles différentes correspondent à des animaux de tailles différentes (plusieurs espèces d'herbivores et / ou des individus plus ou moins âgés). © Dinojura

Droite : Aménagement de l'ensemble de l'affleurement principal de Loulle (Jura) © 2015 M. Schultz 2015. Le site est aménagé pour éviter le piétinement (barrières, passerelle), et équipé de panneaux pédagogiques. Devant le front de taille, et sur les côtés, les bourrelets herbeux correspondent aux espaces recouverts pour leur conservation.

Une région riche en traces

A Loulle (près de Lons-le-Saunier), à Coisia (près de Oyonnax) et à Couredou (Jura suisse)et n'oublions pas dinoplagne. Des dizaines d'animaux ont laissé des traces de leur passage à diverses périodes entre 155 et 145 millions d'anénes. La présence des pistes des sauropodes (herbivores) atteste que la mer à ce moment était parsemée d'îlots sur lesquels la végétation pouvait se développer suffisamment pour nourrir des animaux de cette taille.

Comment de telles pistes se sont conservées

Après qu'une empreinte soit faite, plus rien ne se passe, que du temps… Avec le temps se développent des tapis microbiens, qui s'empilent, durcissent et constituent ainsi une sorte de vernis protecteur. Alors de la boue calcaire peut de nouveau se déposer le moulage est fait.

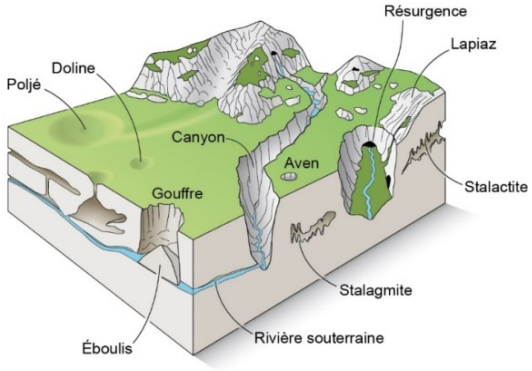
Pontarlier
L'eau et le pastis, une association fructueuse[19] pour les géologues

L'absinthe a, semble-t-il, beaucoup inspiré les artistes (Manet, Degas, Picasso, Zola, Hemingway, Verlaine …) à la recherche de paradis artificiels. Elle a aussi inspiré les géologues… pour des raisons bien différentes.

Les calcaires sont très sensibles à la dissolution par l'eau. Les régions où ce calcaire est seul, ou largement dominant, présentent donc un relief très "carié" : des bosses des creux, voire des gouffres. Un tel relief a été décrit initialement en Slovénie du sud, dans la région de Kras, germanisé en **Karst**, quand la région appartenait à l'empire d'Autriche-Hongrie, d'où le nom de relief karstique.

Dans un relief karstique de l'eau disparait par endroits, dans des fissures ou des poches de dissolution. Ailleurs de l'eau sort en abondance, ce sont souvent des résurgences : une eau disparue quelque part réapparait.

Certaines ouvertures, peu larges en surface, donnent souvent accès à un vaste réseau de galeries souterraines le long desquelles tout un ensemble de structures de dissolution et de précipitation sont connues : les stalactites, stalagmites, colonnes, et autres draperies font la joie des touristes dans les grandes galeries ouvertes aux visiteurs.



Formes et modelés d'un relief karstique.

Le Jura est un massif calcaire, il est donc sujet à une altération de types karstique, avec des dizaines de kilomètres de galeries et l'eau ressort plus au nord pour former la **Résurgence de la Loue.** ,

Mais comment sait-on cela ?

L'eau et le pastis forment une association appréciée de beaucoup de français. Elle l'est aussi des géologues… pour des raisons bien particulières et d'ailleurs plutôt liées à l'absinthe qu'à la boisson anisée[20].

En effet le 11 aout 1901 la foudre provoque un incendie important qui ravage la ville de Pontarlier, dont une usine d'absinthe de la maison Pernod. Si les flammes touchent le stock d'alcool qui fait environ un millions de tonnes, une explosion catastrophique va se produire. Le maire de la ville ordonne alors aux pompiers de vider les cuves dans un puits perdu. Deux jours plus tard, vers le nord, la source de la Loue semble teintée d'un jaune doré

[19] Inspiré de : De Wever P. (2021).- Histoires secrètes de cailloux. Belin, 265 pages

[20] La Société Pernod, s'est tournée et consacrée à la boisson anisée après l'interdiction de la vente d'absinthe en 1915.

aux reflets verts. André Berthelot, fils du célèbre chimiste, présent sur les lieux, constate que l'eau avait bien le gout de l'absinthe. Trois jours plus tard il fut constaté à Mouthier, à la "source" de la Loue que l'odeur de la Loue "*était aussi forte que celle d'un verre d'absinthe pris sur la table d'un café*". Les connaisseurs ne s'y trompèrent pas. Ainsi **la Loue n'était pas une source, mais une résurgence** : le ré-apparition à l'air libre des eaux d'une rivière infiltrée en amont.

La preuve en a été apportée quelques années plus tard quand, en 1910 Édouard Martel et Émile Fournier, géologues et spéléologues, ont déversé un colorant jaune-vert, la fluorescéine, puissant colorant mais neutre, dans une crevasse du lit du Doubs un peu en amont de Pontarlier (au pied du Fort de Joux). Le colorant apparu à la source de la Loue deux jours et demi (64 heures pour être précis) plus tard. Il y avait donc bien communication et une partie des eaux du Doubs réapparait aux "sources" de la Loue.



La résurgence de la Loue à Mouthier avec un débit de 3m^3/s (Jura) © Lafigue, CC-by-SA 3.0

21- Dim 27 juillet
Mantes-la-Ville -Paris 120 km

Mantes-la-Ville, Epône, Côte de Bazemont, Les Aluets-la-Roi, St Cyr-l'Ecole Versailles , Viroflay Chaville Cote des Gardes (forêt de Meudon), suite .. (non arrêtée à ce jour, 1fevrier)

Versailles :
une orientation choisie pour un regard lointain

L'orientation du château, tient compte de la géologie de ce secteur du Bassin Parisien.

La façade est orientée vers l'ouest-nord-ouest, direction face aux fenêtres de la Galerie de Glaces, direction des principales allées, du Tapis Vert, du Grand Canal… Le choix de cette orientation correspond à celle du soleil couchant, la vue y est dégagée et le regard porte au loin, ce que doit faire le regard d'un roi. Dans les autres directions, le regard est vite arrêté par des collines.



Vue du château et des jardins de Versailles dans leur état de 1668 (il manque les deux ailes latérales)peint par Pierre Patel en 1668.
Cette vue ressemble à une vue aérienne (on était pourtant 115 ans avant le 1er vol en montgolfière). Elle montre voit très bien que la vue n'est dégagé que dans une direction (source)
https://fr.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A2teau_de_Versailles

Dans son tableau, Pierre Patel a exagéré l'ampleur des reliefs qui semblent plus importants quand on est au sol, ce que Pierre Patel ne pouvait pas faireau XVIIe siècle)

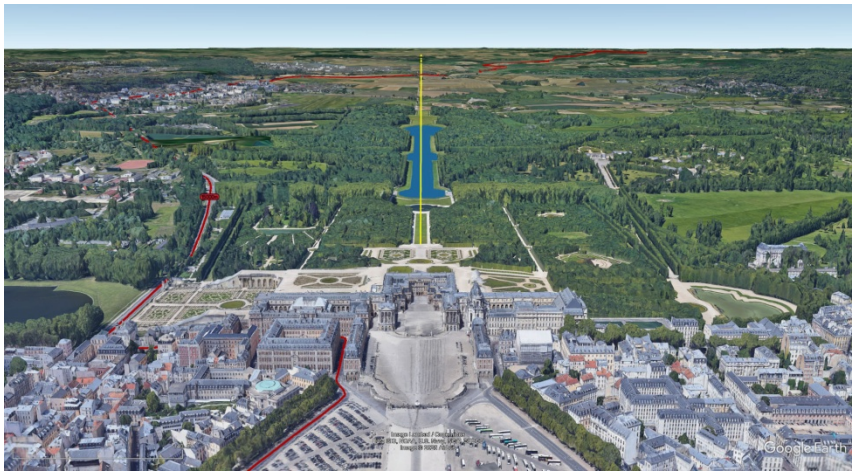


Image Google Earth (du XXIe siècle donc) correspondant approximativement au point de vue virtuel du tableau de Pierre Patel. La direction orientée vers l'ouest-nord-ouest, celle où la vue est dégagée, est matérialisée par le trait jaune. On remarque que le Château, en particulier la Galerie des Glaces est perpendiculaire à cette direction, mais que le Grand canal la suit. Le trajet du Tour est indiqué en rouge.

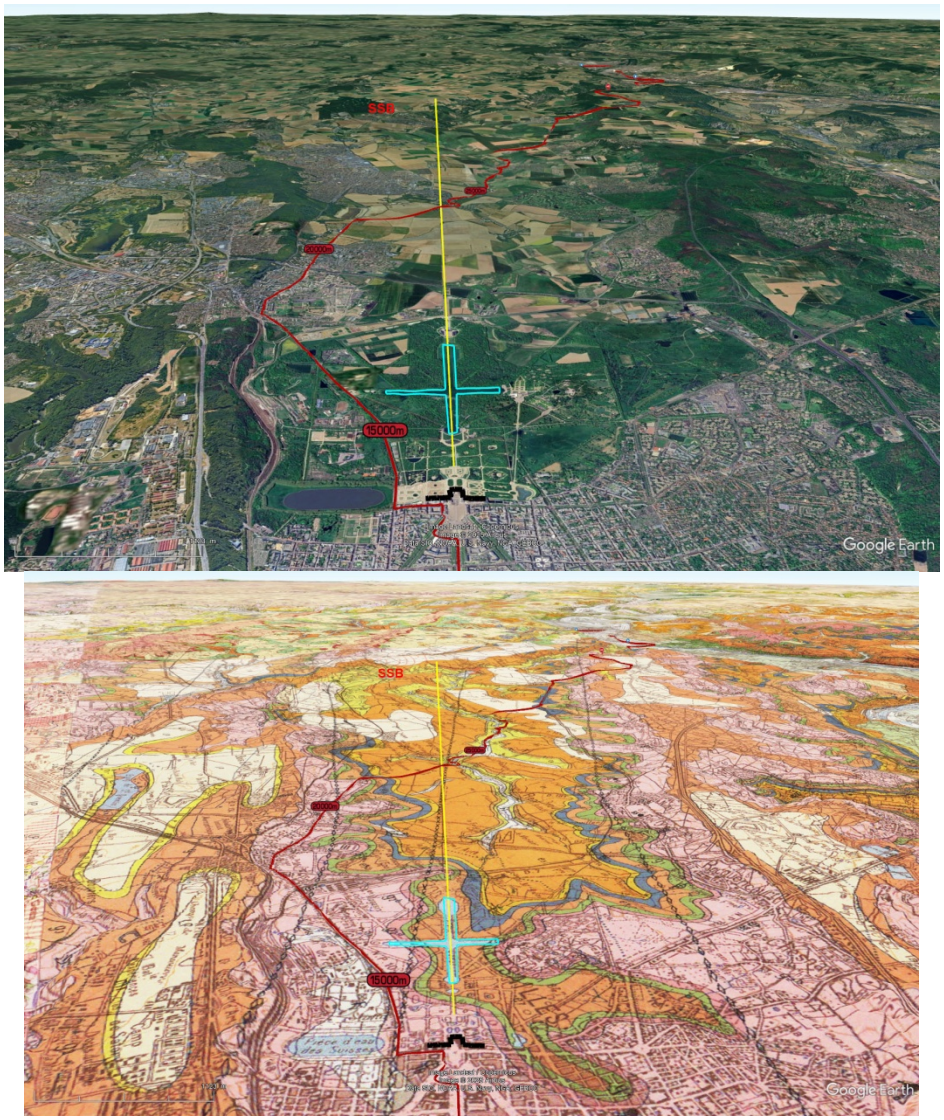
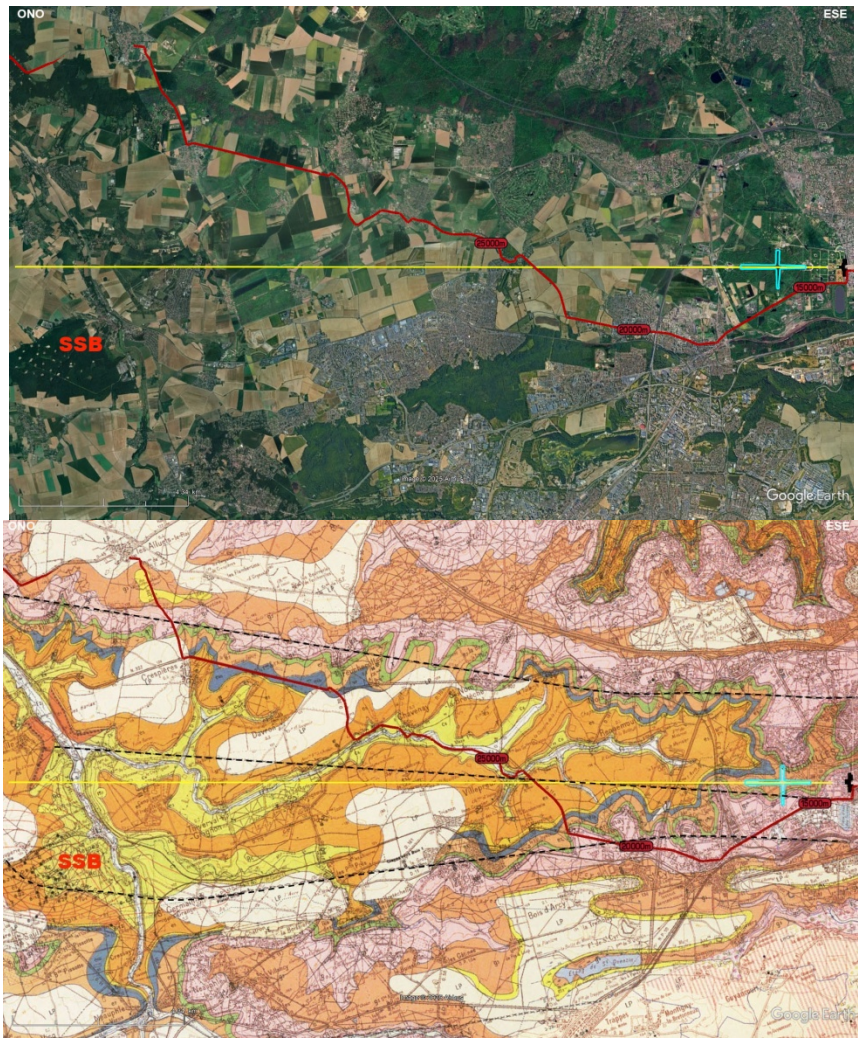


Image Google Earth vue de plus haut et de plus loin et carte géologique correspondante avec la même orientation et la même échelle.

Le château est ses 2 ailes est figuré en noir, le grand canal en bleu, et la direction vers l'ONO en jaune. On voit que cette direction ONO est approximativement parallèle à une « patate » allongée. Cette « patate » correspond à un affleurement allongé de calcaire lutétien (datant d'environ 40 Ma)

Vers Versailles,
Beynes : une ondulation pour stocker du gaz



Vue aérienne Google Earth et carte géologique correspondante.

On voit bien la direction du château et de ses ailes (en noir) perpendiculairesà la direction du Grand Canal (en bleu, vers la droite), à la direction ONO (en jaune) et à la « patate » orange de Lutétien. Les axes des légères ondulations des couches géologiques découvertes par géologues de la 2ème moitié du 20ème siècle sont notés par des lignes pointillées noires approximativement parallèles à la direction du Grand Canal (en bleu), à la direction ONO (en jaune), à la « patate » orange de Lutétien et perpendiculaire à la direction du château

Lors d'études de surface, puis de recherches pétrolières, les géologues avaient compris que des mouvements tectoniques du bassin parisien avaient légèrement déformé et ondulé (avec des très faibles pentes inférieures à 1°) les couches. Ces ondulations dont la direction moyenne est ESE/ONO se sont majoritairement produites entre -40 et -20 Ma. Elles ont guidé leur érosion… et sont à la base du paysage versaillais, qui a lui-même guidé les architectes du château et des jardins.

Un peu au sud de l'axe jaune des 4 figures précédentes, est indiqué (en rouge) SSB, ce qui signifie Stockage Souterrain de Beynes. En recherchant du pétrole dans les années 1950-1960, les géologues ont trouvé une « ondulation » des couches plus prononcée qu'ailleurs. Elle aurait pu contenir du pétrole. Elle n'en contient pas, mais peut contenir et

donc stocker du gaz si on l'injecte, et donc le récupérer en cas de besoin, pendant les hivers en particulier. Beynes est chronologiquement le premier stockage souterrain de gaz (mis en service en 1956, et profond de plus de 400m) et stocke1,2 milliards de m^3 de gaz.

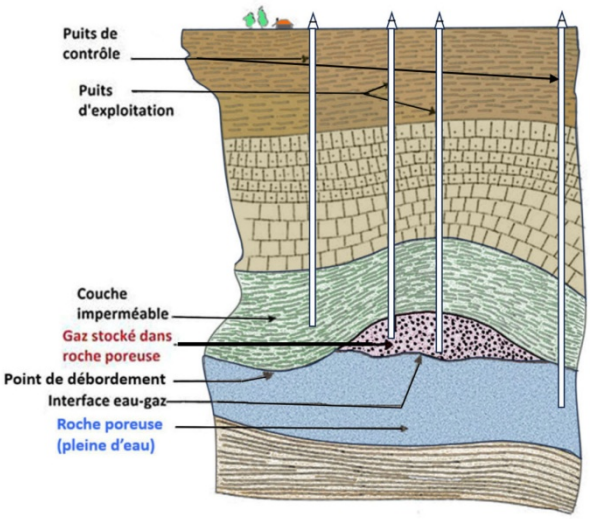
Les légers mouvements tectoniques qui ont affecté la région de Versailles ont fait en sorte (1) que château et jardin de Versailles sont ce qu'ils sont, et (2) que les parisiens peuvent se chauffer l'hiver. La géologie, décidément, est partout !



Vue aérienne Google Earth de la forêt de Beynes, à 6 km au sud du parcours du Tour. Chaque tache blanche (sans arbre) dans la forêt correspond à une zone oùest implanté un forage pour injecter et/ou soutirer du gaz



Image Google EarthSteetView d'une tête de forage en pleine forêt de Beynes utilisée pour injecter et/ou soutirer du gaz.

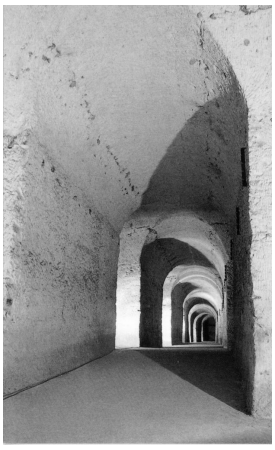


Coupe d'une ondulation des terrains (anticlinal) permettant de stocker du gaz du fait de la présence d'une couche poreuse recouverte d'une couche d'argile parfaitement imperméable,
Inspiré de https://toutelaterre.weebly.com/stockage-souterrain.html

Le blanc de Meudon

Les terrains de la région parisienne concernent surtout la période Tertiaire. Pourtant ici et là se trouvent des terrains de l'ère secondaire. C'est le cas à Meudon, où à l'occasion d'un léger pli des couches, des terrains du Crétacé supérieur sont visibles. Ils sont constitués de craie.

Cette roche blanche a été largement exploitée dans des carrières souterraines. De cette roche étaient issus des produits connus dans le monde entier, en particulier le "blanc de Meudon"



Carrières souterraines de la colline Rodin à Meudon, classées en tant que site scientifique et artistique par décret du 7 mars 1986

Le blanc de Meudon peut être utilisé :
- en peinture, fréquemment utilisé dans la fabrication des gouaches
- en gravure, pour polir les plaques de zinc ou de cuivre, avant de les graver ou de les enduire de vernis (eau-forte) ou de résine (aquatinte),
- en dorure à l'eau, aussi dite "à la détrempe", le blanc de Meudon est la charge principale pour la réalisation d'apprêts sur un support bois. Il est mélangé avec de la colle de peau de lapin (sous forme liquide).



Atelier du brunissage de la manufacture nationale de Sèvres. Sable, « Blanc de Meudon » et outils © Coyau, cc-by-sa 3.0

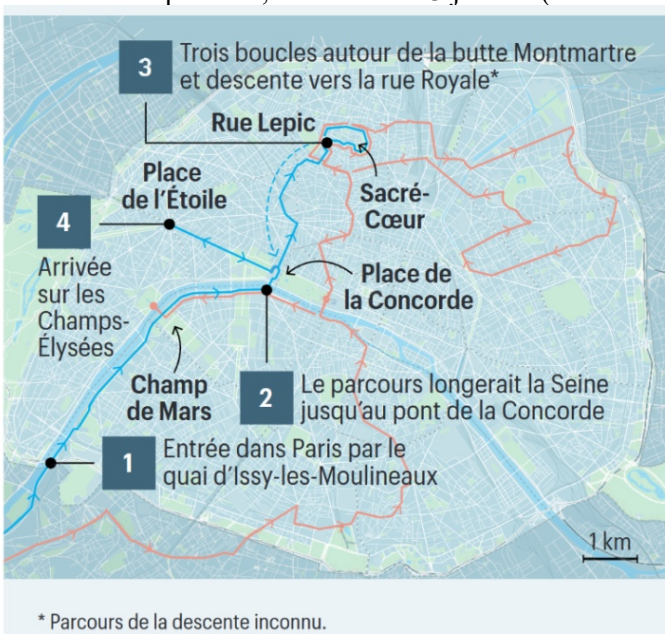


Vitrine de Noël décorée au Blanc de Meudon © Zélie, DR

- comme produit d'entretien : pour faire briller des surfaces (cuivre, étain, argenterie, laiton, verre, faïence, plastique et plaques vitrocéramiques…).
- à blanchir intégralement les vitrines pendant une période de travaux, mais aussi les décorer pendant les fêtes de Noël par exemple.

DANS PARIS iti possible, non arrêté le 3 janvier (dixite Karine Bzzacchi)

….



*

* *