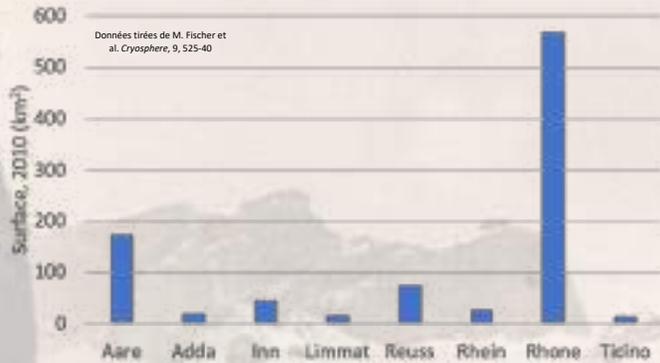


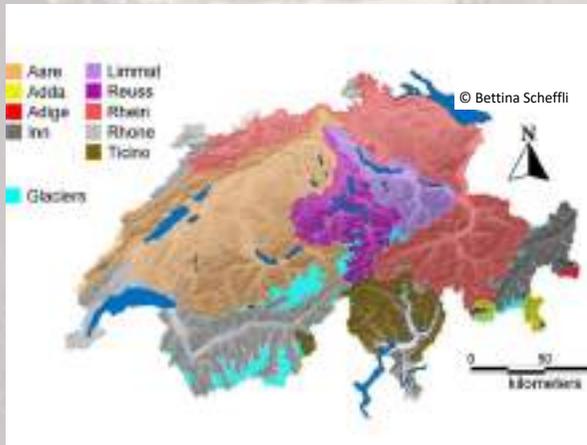


1. La Suisse : un pays de glaciers

Où se trouvent les glaciers suisses ?



La plupart des glaciers de Suisse se trouvent dans les Cantons du Valais et de Berne



Aletsch : le plus grand glacier de Suisse



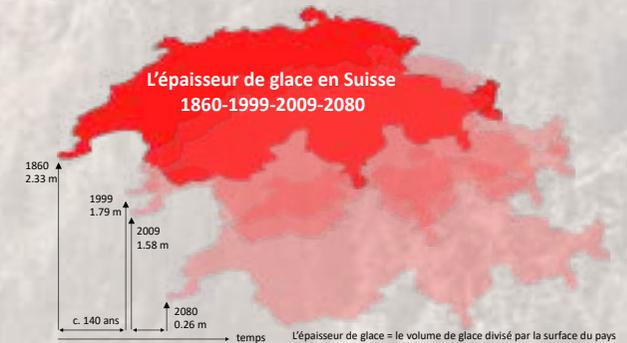
L'Aletsch est le plus grand glacier en Suisse avec une longueur > 20 km

Sa superficie était > 116 km² en 2018, bien plus grande que la superficie de la Commune de Bex (environ 96.6 km²)

En 1999 le volume de glace en Suisse était estimé à environ 74 km³

Au milieu du 19^{ème} siècle, il était estimé à environ 96 km³

Selon les prévisions, le volume va diminuer à environ 11 km³ d'ici aux années 2080s



Si on divise ces volumes par la superficie du pays, on peut calculer l'épaisseur de glace qui pourrait couvrir toute la Suisse

En 1999, cette épaisseur était environ 1.790 m, un petit peu plus que la taille moyenne des hommes en Suisse (1.784 m)

? Quel est le plus grand glacier suisse ?

? Si on répartit sur le territoire de la Suisse la glace de tous les glaciers de notre pays, quelle était l'épaisseur de cette glace en 1860 ? Quelle hauteur était-elle en 2009 ? Quelle hauteur sera-t-elle en 2080 ?

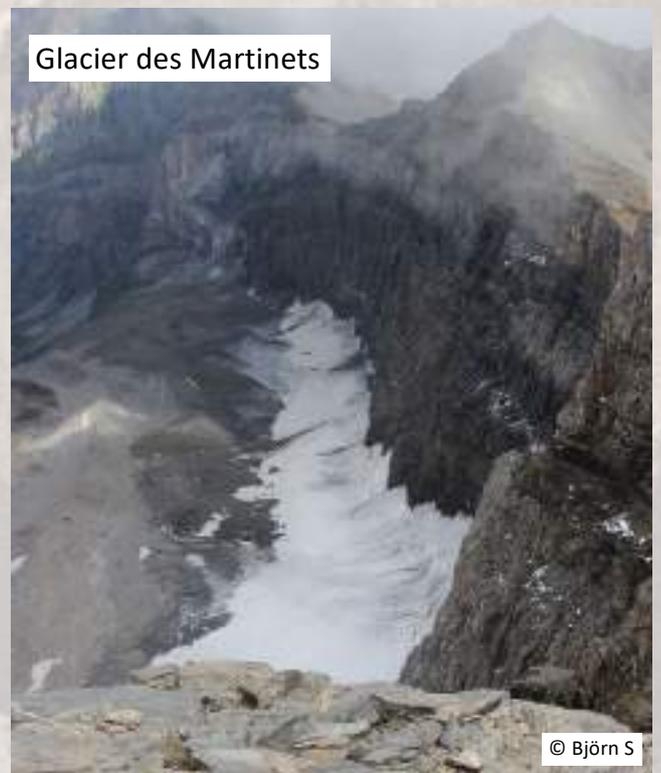
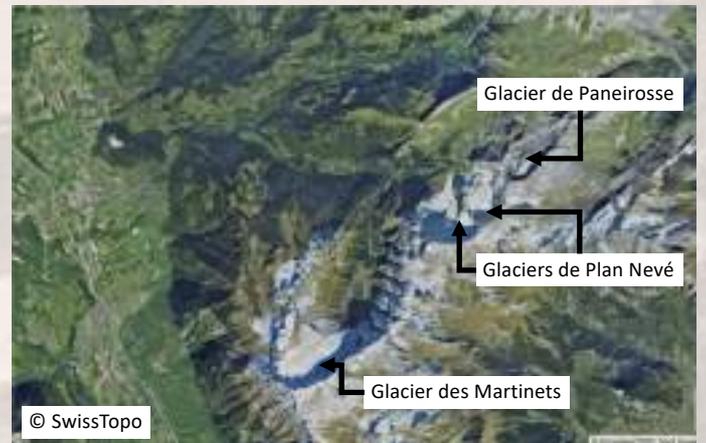
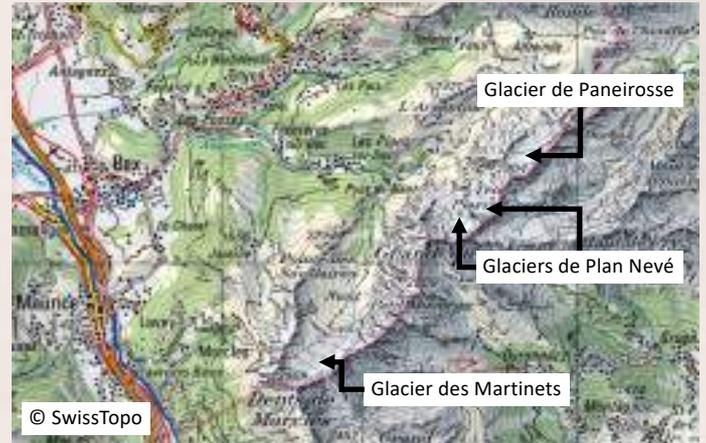


2. Les glaciers de la commune de Bex

Il y a 4 glaciers sur la commune de Bex

Ils sont tous parmi les plus petits en Suisse.

En 2010, 0.78 km² de la commune était couverte par la glace



? Combien de glaciers y a-t-il sur la commune de Bex ?

? En 2010, quelle était la surface totale des glaciers bellerins ? Pourquoi sont-ils sur la face nord des Muverans ?



3. Les Glaciers : des baromètres du climat



Le bilan de masse des glaciers

Zone d'accumulation : lieu où la glace se forme

La zone d'accumulation est la zone où il reste de la neige à la fin de l'été
Cette neige qui s'appelle « névé » va être ...
... recouverte et ensevelie par la neige de l'hiver suivant, et ...
... va progressivement se transformer en glace

Zone d'ablation : lieu où la glace fond

La zone d'ablation est la zone où la neige et puis la glace fondent pendant l'été

Le bilan de masse d'un glacier : la différence entre le volume de l'eau qui reste sous forme de neige à la fin d'été ; et le volume de glace fondu pendant l'été

Tous les glaciers dans la Commune de Bex ont eu un bilan de masse négatif depuis les années 1980 : le taux de fonte de glace est plus élevé que le taux d'accumulation de neige

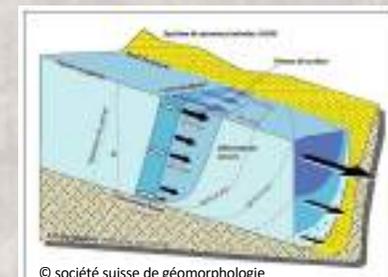
Les glaciers bougent ; la rétroaction « épaisseur »

Il y a un écoulement du glacier entre la zone d'accumulation et la zone d'ablation par

1. La déformation (plastique) interne
2. Le glissement basal

L'écoulement est plus rapide avec

1. une épaisseur de glace plus grande
2. une pente de surface plus élevée



© société suisse de géomorphologie

Avec la fonte de la glace

- les glaciers deviennent moins épais et leur vitesse d'écoulement diminue ;
- donc, le flux de glace depuis la zone d'accumulation vers la zone d'ablation diminue ;
- c'est plus difficile de remplacer la glace perdue dans la zone d'ablation par la glace qui vient de la zone d'accumulation ; et
- le taux de recul du glacier augmente

L'importance du rayonnement solaire et l'effet de l'albédo

Ce n'est pas la température mais le rayonnement solaire (un rayonnement à ondes courtes) qui est responsable en majeure partie de la fonte de glace.

La neige reflète le rayonnement solaire plus facilement (80-90% reflété – ce pourcentage s'appelle l'albédo) que la glace (30-40%) et donc le taux de fonte de glace est plus que le taux de fonte de la neige avec la même intensité du rayonnement solaire



A la fin de l'hiver, le glacier est couvert par la neige et l'albédo est élevée

La neige fond et la glace devient exposée au rayonnement solaire

L'albédo diminue et une plus faible part du rayonnement est reflétée

Le taux de fonte de la glace est plus rapide que le taux de fonte de la neige

La couverture de neige à la fin d'hiver est primordiale car elle peut protéger la glace et ralentir la fonte du glacier

? Les petits glaciers comme ceux de Bex fondent-ils plus vite ou plus lentement que les grands glaciers ?

? Est-ce la température ou le rayonnement solaire qui sont les principaux responsables de la fonte des glaciers ?

Les causes du recul des glaciers

1. Un hiver avec moins de neige car la fonte de la glace commence plus tôt, car l'albédo de la neige est plus élevé que l'albédo de la glace
2. Cet effet doit durer pour plusieurs années pour vraiment faire reculer un glacier – « Le temps de réponse d'un glacier »
3. Le temps de réponse des glaciers plus petits, comme les glaciers de la commune de Bex, est plus court



© RTS

La solution ?? : augmenter l'albédo avec une bâche ! Un essai ici au glacier du Rhône. Mais même si la bâche diminue la fonte de glace, elle prévient la formation de glace quand la neige tombe

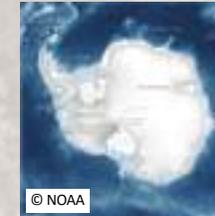
4. Les âges glaciaires

L'ère glaciaire et les âges glaciaires

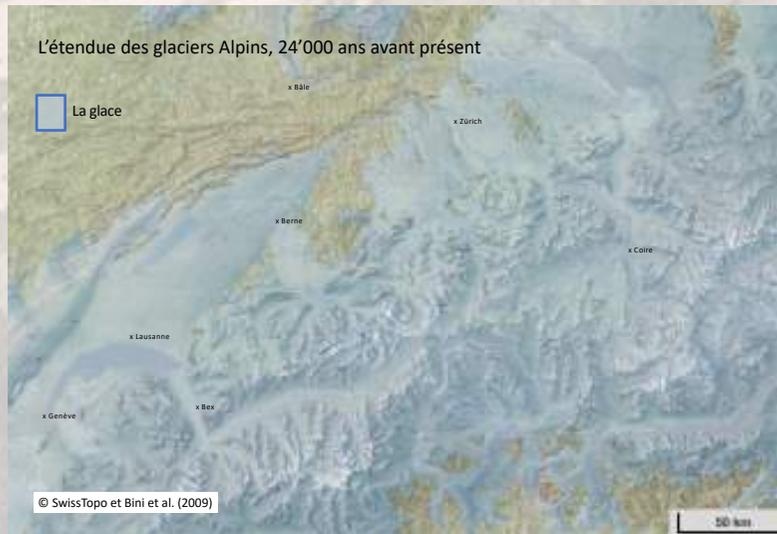
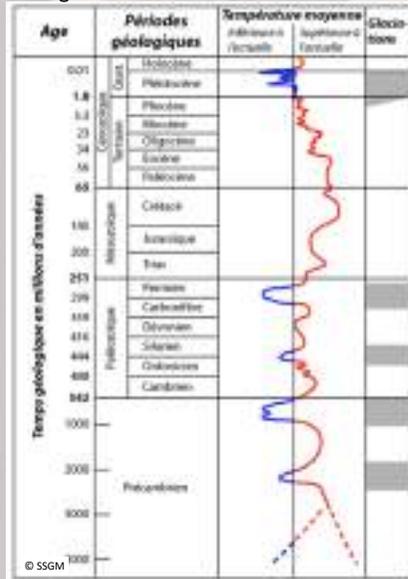
- L'ère glaciaire a commencé il y a environ 2.4 millions d'années avant le présent
- Pendant l'ère glaciaire la température moyenne de la Terre était plus froide que maintenant ...
- ... mais, il y a eu des périodes plus froides et des périodes plus chaudes
- Chaque période froide est connue comme un âge glaciaire avec une augmentation dans la taille des grandes calottes glaciaires (Groenland ; Antarctique) et en Europe

L'origine de l'ère glaciaire

- L'ère glaciaire n'était pas la première période froide dans l'histoire de la Terre
- On sait maintenant que c'est dû à la tectonique des plaques :
 - Il y a environ 40 millions d'années le continent de l'Antarctique arrivait au-dessus du pôle sud



L'ère glaciaire dans l'histoire de la Terre



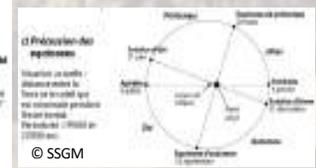
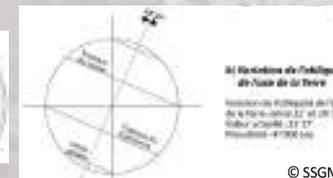
- l'albédo de l'Antarctique a augmenté (le glace reflète plus du rayonnement solaire que le sol) qui a aidé le développement d'une grande calotte glaciaire : **une rétroaction positive**
- Il y a environ 5 millions d'années avant le présent les calottes glaciaires commencent à apparaître dans l'hémisphère Nord et la Terre se refroidit

Les âges glaciaires et les cycles astronomiques de Milutin Milankovitch

- L'ère glaciaire n'a pas été froide tout le temps mais a oscillé entre des périodes plus froides et des périodes plus chaudes
- Cette variabilité est expliquée par la forme de l'orbite de la Terre autour du soleil qui change avec des périodes de
 - 19'000 -24'000 ans (précession des équinoxes)
 - 41'000 ans (l'obliquité de l'axe de la Terre)
 - 95'000 – 100'000 ans (l'excentricité)
- La variabilité change l'énergie solaire mais aussi l'intensité des saisons (un hiver plus chaud et un été moins froid est bon pour les glaciers!)

? A l'époque des dinosaures il y a 65 millions d'années, la température moyenne était-elle la même qu'aujourd'hui ?

? Lors du dernier âge glaciaire, il y a 24'000 ans, le lieu où se trouve actuellement la ville de Berne était-il sous la glace ?





5. Le présent et le futur des glaciers en Suisse

L'actualité des glaciers en Suisse

Le Petit Age Glaciaire: environ 1350-1850

L'avancée la plus importante des glaciers depuis la fin du dernier âge glaciaire il y a environ 11'000 ans

Trois périodes d'avancée des glaciers, environ 1350, 1600 et 1850, bien enregistrées dans l'art, la littérature, les cartes etc.



La vue depuis Gletsch, 1900

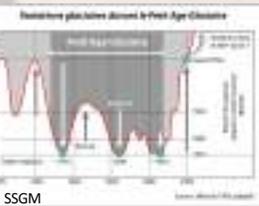


La vue depuis Gletsch, aujourd'hui

Le glacier du Rhône, 1900 et aujourd'hui depuis le village de Gletsch (glacier en français)

Les images expliquent pourquoi le village s'appelle "glacier" même si de nos jours il n'y a plus de glacier visible

© WegWandern.ch

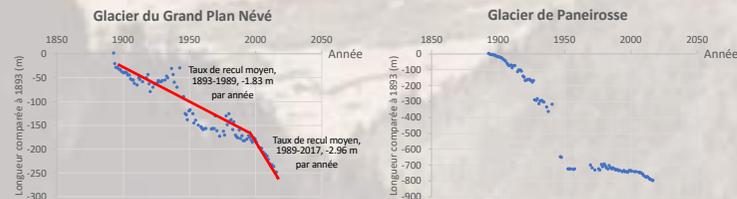


Marché d'hiver sur le Lac de Zürich, 1891

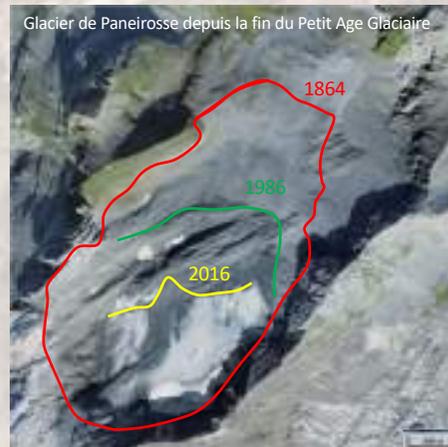
© SSGM

© Zürichstadt

Depuis la fin du petit âge glaciaire, les glaciers ont reculé



Les données sont tirées du GLAMOS, le réseau de monitoring des glaciers en Suisse avec des données qui commencent pendant le 19ème siècle. Depuis la fin des années 80 en Suisse le taux d'augmentation du recul des glaciers a augmenté, bien illustré ici pour le Grand Plan Nèvé (mais moins clair pour Paneirosse pour des raisons spécifiques au glacier)



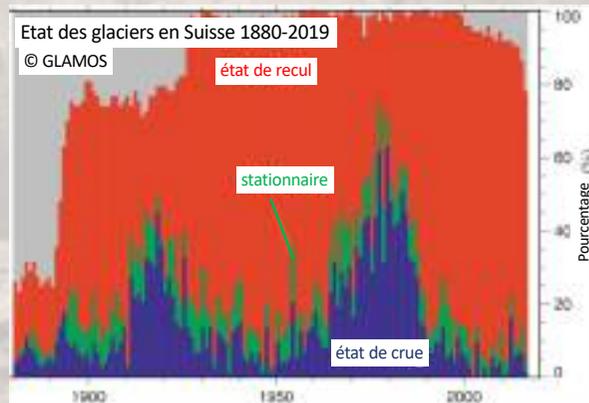
A ce jour, presque tous les glaciers en Suisse sont en recul

Le recul a commencé à la fin des années 1980

Après l'avancé de certains glaciers pendant les années 1970

? Quand est-ce que les glaciers ont commencé à reculer en Suisse ?

? Quand prévoit-on la disparition des glaciers en Suisse?



Etat des glaciers en Suisse 1880-2019

© GLAMOS

état de recul

stationnaire

état de crue

L'avenir des glaciers en Suisse :

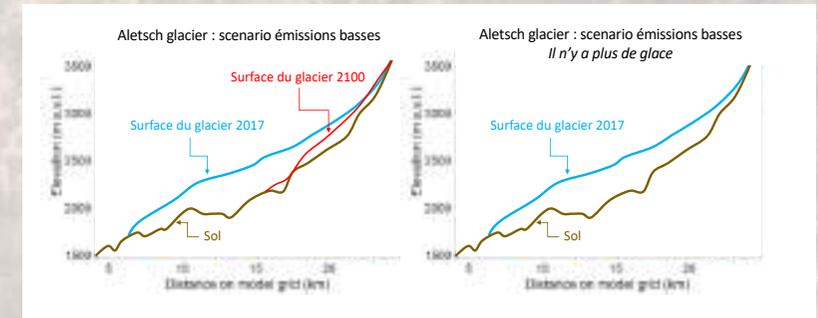
La fin de la Suisse comme un pays des glaciers d'ici à 2100

Pour prévoir l'avenir des glaciers en Suisse nous utilisons des modèles numériques

Les modèles prennent des prévisions du climat à l'avenir (par exemple, la température, les précipitations, le rayonnement solaire)

Puis, les modèles décrivent des processus physiques (par ex., l'accumulation et la fonte de neige et de glace; l'écoulement du glacier vers l'aval)

Ici les prévisions pour le plus grand glacier en Suisse, le glacier d'Aletsch (d'après Zekollari et al., 2019)



Il y a deux scénarios:

- a. le bas scénario – si le taux de production de gaz à effet de serre est au maximum les années 2010-2020 puis diminue grâce à un changement de nos modes de vie, maintenant et rapidement
- b. le haut scénario – si le taux de production augmente continuellement d'ici à 2100

Les implications ?

L'Aletsch va disparaître d'ici à 2100 si on continue à augmenter nos émissions de gaz à effet de serre

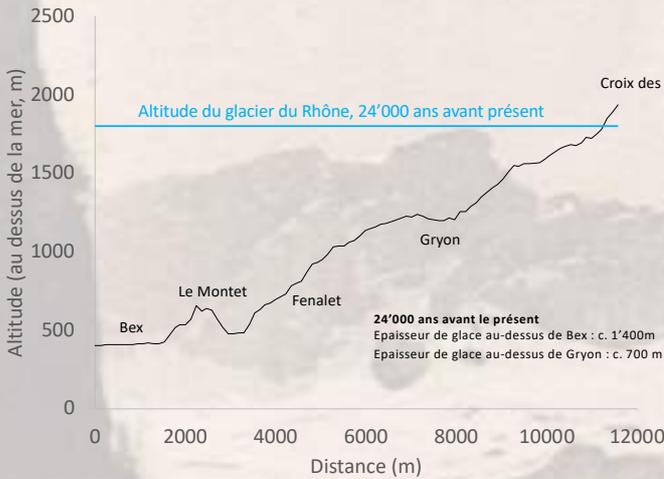
Même si l'on stoppe nos émissions de gaz à effet de serre aujourd'hui, le climat ne va pas se refroidir avant la fin du siècle car les gaz déjà émis se maintiennent longtemps dans l'atmosphère.



6. Bex sous la glace



© Ernst Hodel



La carte des erratiques du bassin du Rhône de Jean de Charpentier



La marmite glacière des Caillettes, Bex



Jean de Charpentier (1786-1855)

- Un Bellerin et un des premiers glaciologues du monde
- Directeur des mines du Canton de Vaud et habitant des Dévins
- Il a publié le livre *Essai sur les glaciers et le terrain erratique du bassin du Rhône*, 1841

Les blocs erratiques et la théorie des âges glaciaires

- A l'époque de Jean de Charpentier, les géologues ont eu de la peine à expliquer l'origine des blocs avec une géologie différente de celle de la zone de dépôt
- Jean de Charpentier les a cartographiés et dans son livre de 1841 il les a associés au transport par des glaciers qui se sont étendus depuis les Alpes jusqu'au Jura pendant les âges glaciaires
- Les géologues de l'époque ne le croyait pas au début mais il a finalement convaincu tout le monde de sa théorie qui s'est révélée toujours largement correcte
- Jean de Charpentier est peu connu dans le monde de glaciologie en comparaison avec Agassiz; une erreur à rectifier

L'hypothèse réfuté par Jean de Charpentier

traces dispersés. L'hypothèse qui a vint le plus d'opposition, et qui, au cours de ces jours, est admise par les plus célèbres géologues, est celle qui suppose que de puissants courants d'eau ont été la cause de ce transport.



L'hypothèse proposé par Jean de Charpentier

L'hypothèse qui cherche à expliquer que le moyen de glaciers le pléistocène géologique qui nous occupe, pose ce fait qu'après le dernier soulèvement des Alpes, le climat chaud qui avait régné jusqu'alors, se changea pour quelque temps en un climat froid et humide; que, durant cette époque, des glaciers se formaient sur le flanc des Alpes et sur les arêtes les plus élevées des massifs de ces montagnes; que ces glaciers prirent un développement si considérable qu'ils descendirent jusqu'au sol des vallées latérales, les comblèrent jusqu'à une certaine hauteur, et atteignirent même la grande vallée correspondante, où ils se réunirent actuelles. Les débris de roches qu'ils ont dû transporter à la manière des glaciers d'aujourd'hui, constituèrent le terrain erratique.

? Quel est le phénomène qui a transporté les blocs erratiques comme le *Bloc-monstre* qui se trouve près de la piste Vita de Bex ?

? Il y a 24'000 ans, quelle était l'épaisseur de glace qu'il y avait au-dessus du village de Bex ?



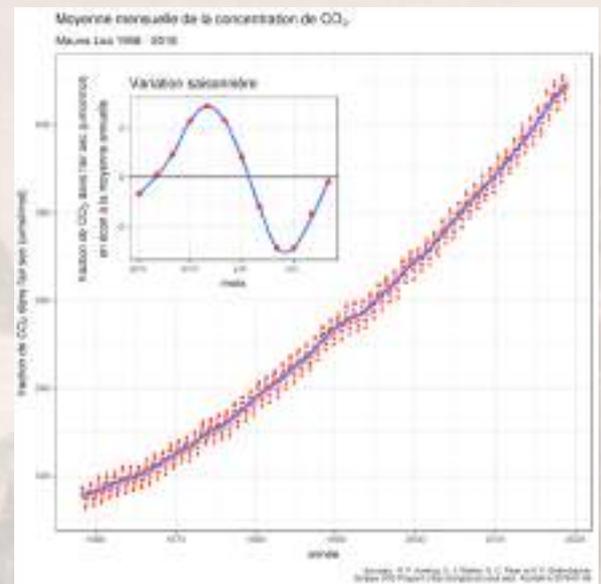
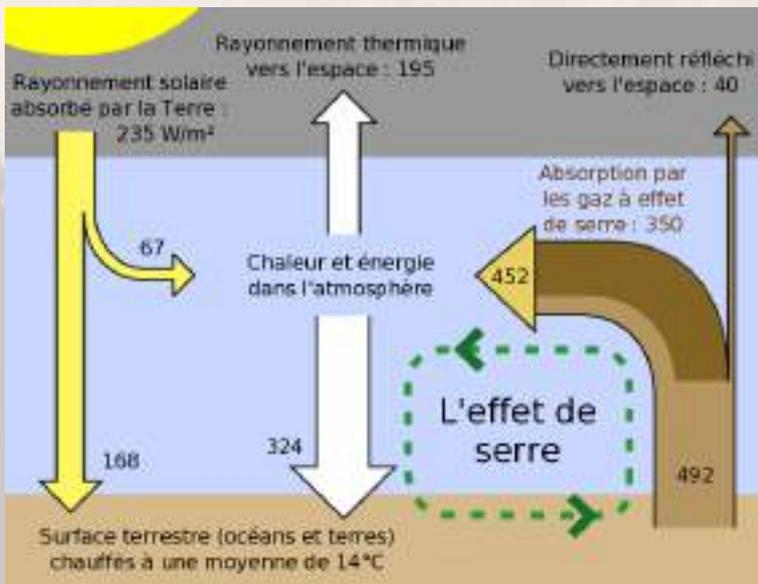
7. Le changement climatique et les gaz à effet de serre

• Le bilan énergétique

Le rayonnement solaire (un rayonnement d'onde courte) chauffe la surface terrestre (océans et terres)

Suite au réchauffement, la surface de la terre émet un rayonnement infrarouge (un rayonnement d'onde longue)

Une partie du rayonnement infrarouge est absorbée par les gaz à effet de serre et donc est retenue dans l'atmosphère. La partie absorbée chauffe l'atmosphère.



• Les gaz à effet de serre

Font partie des gaz à effet de serre : la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et l'ozone (O_3)

Les concentrations « naturelles » de ces gaz sont responsables pour l'habitabilité de la Terre – sans les concentrations naturelles, la température moyenne de la Terre serait de $-18^\circ C$; la température moyenne actuelle est de $+15^\circ C$.

Depuis la fin du 18^{ième} siècle, nous avons développé une société dépendante de la combustion des carburants (charbon, essence). Cette combustion conduit à l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère

La concentration du CO_2 préindustrielle est de 280 ppm; la concentration du CO_2 en avril 2019 est de 413 ppm

Le défi : si la concentration du CO_2 augmente, l'effet de serre augmente et l'atmosphère réchauffera ; souvent notre réponse au réchauffement est **un cercle vicieux** – par ex. l'investissement dans la climatisation qui consomme encore plus d'énergie

? Rouler avec une voiture à essence, est-ce que cela va contribuer à réchauffer le climat ?

? Quels sont les gaz qui font augmenter l'effet de serre ?

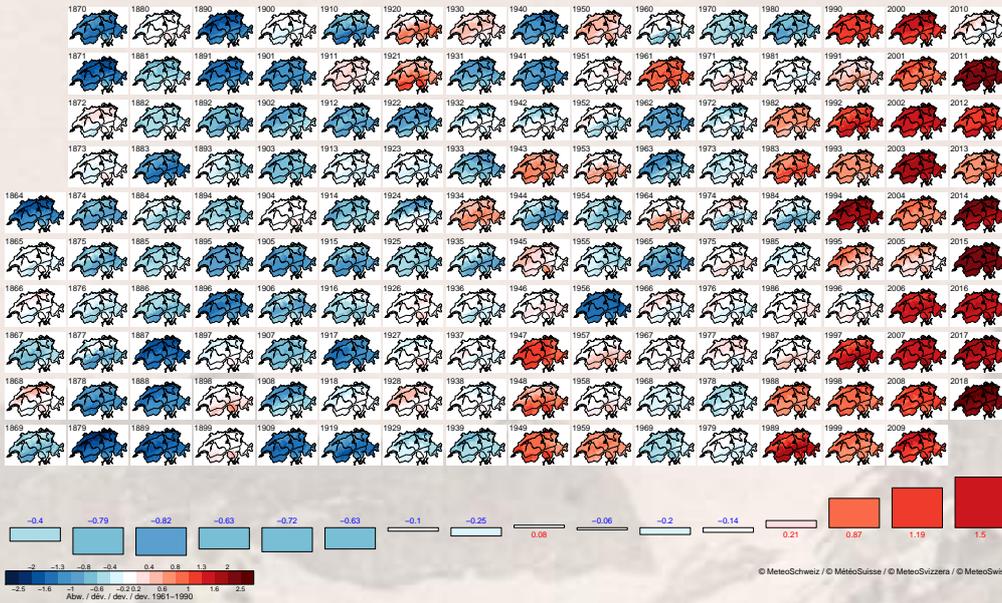




8. Un réchauffement en Suisse: présent et futur

Le réchauffement actuel du climat en Suisse

La température en Suisse depuis 1864 – les déviations de la moyenne annuelle de celle de 1961-1990 (©MeteoSuisse)



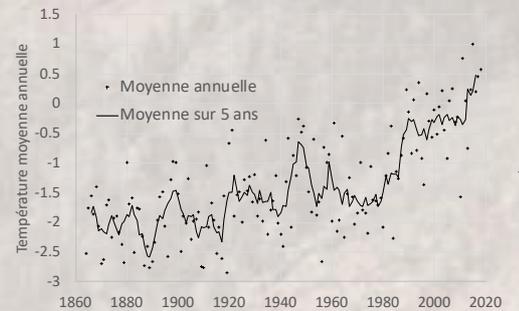
Les données pour le Col du Grand Saint Bernard (©Meteosuisse)

Tant pour la moyenne suisse que pour une station de haute montagne, la température moyenne annuelle a fortement augmenté depuis 1864

On peut distinguer deux périodes : jusqu'à 1986 avec une augmentation de la température moyenne de 0.07 °C par décennie; et depuis 1986 avec une augmentation de 0.29 °C par décennie. Le lien avec l'accélération du recul des glacier est très clair.

Il ne faut pas oublier que ces données sont des **moyennes** : il y a aussi une tendance dans les extrêmes, par exemple, les jours « tropicaux »

La température au col de Saint Grand Bernard

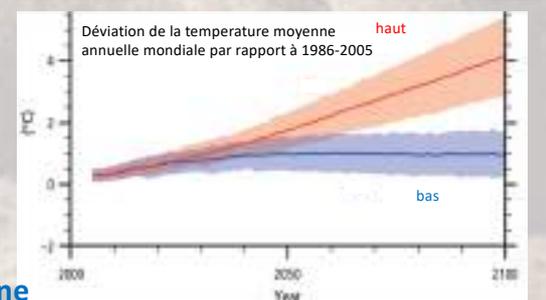
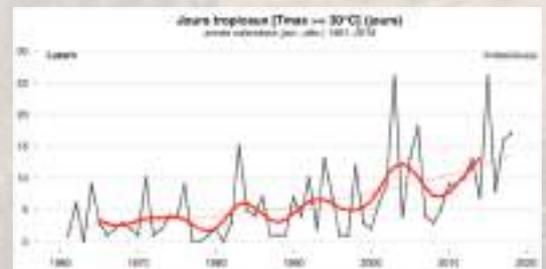


L'avenir du climat en Suisse

L'avenir du climat en Suisse est fait à partir des simulations de 21 modèles informatiques

Chaque modèle est basé sur des lois physiques et validé avec les données historiques

On ne sait pas exactement le taux de production des gaz à effet de serre à l'avenir - ça dépend de nous et pas des lois de la physique. Donc on parle de **scénarios, hautes émissions et basses émissions; le scénario hautes émissions est le plus probable**



? Quel pourcentage des années depuis 1990 la Suisse a-t-elle vécu une température moyenne annuelle > 1961-1990?

? Expliquer ce pourcentage



9. Les réponses aux climato-sceptiques

Inspiré de François-Marie Bréon



• Les arguments des *climato-sceptiques* (en italique) et des réponses

« *Nous avons vécu un printemps bien froid et neigeux – ce n'est pas le réchauffement climatique !* »

- **Réponse** : La météo journalière dépend de la provenance des masses d'air (par ex polaire versus tropical) – c'est variable et c'est normal. A l'échelle des semaines aux mois, il y a souvent des périodes dominées par un certain type de masse d'air. Cela peut produire des hivers chauds, des étés froids, des printemps arrosés ou des automnes secs. Cette variabilité est superposée sur une évolution du climat moyennée sur les dernières décennies, surtout une augmentation de la température et surtout dans les régions alpines. Il y aura toujours des printemps biens froids et neigeux. Ils sont déjà moins fréquents qu'il y a 50 ans et ils vont devenir même moins fréquents à l'avenir.

« *C'est la variabilité dans le rayonnement solaire qui est responsable pour le réchauffement climatique !* »

- **Réponse** : La température a augmenté systématiquement au cours des dernières décennies mais l'intensité du rayonnement solaire a peu changé. L'intensité du rayonnement solaire a même diminué les derniers 10 ans, les années les plus chaudes depuis 1864.

« *On ne sait pas la météo pour la fin de semaine et donc on ne peut pas prédire le climat d'ici une cinquantaine d'années !* »

- **Réponse** : Bien sûr – la météo est difficile à prédire, mais on sait aussi que le mois de janvier sera normalement plus froid que le mois de juillet ; c'est une prévision largement correcte. C'est dans ce sens qu'avec l'aide des modèles informatiques nous pouvons constater que la température moyenne annuelle de 2070-2100 va être bien plus élevée que celle de 1990-2020.

« *La fonte des glaciers et des calottes glaciaires ne va pas augmenter le niveau de la mer – c'est comme un glaçon dans un verre d'eau* »

- **Réponse** : C'est correcte, quand un glaçon fond, il n'y a aucun changement dans le niveau d'eau dans le verre. Mais les glaciers Alpines et les calottes glaciaires sont sur la terre et pas dans la mer. La fonte écoule de la terre à la mer et augmente son niveau. Les prévisions les pires indiquent > 2 m d'augmentation d'ici 2100 avec **une inondation permanente de 187 millions de personnes**

« *La terre va se réchauffer, mais l'homme est parfaitement capable de s'y adapter* »

- **Réponse** : *Peut-être que si on avait l'argent on pourrait s'y adapter mais les coûts économiques de cette adaptation sont estimés comme plus élevés que les coûts des conséquences du réchauffement climatique. En plus, pas tout le monde ne possède l'argent nécessaire. Il ne faut jamais oublier que le taux de changement du climat actuel est plus élevé que jamais connu dans l'histoire de la Terre, et même si nous avons l'argent nécessaire, des catastrophes vont se produire avant que nous ayons pu nous y préparer.*

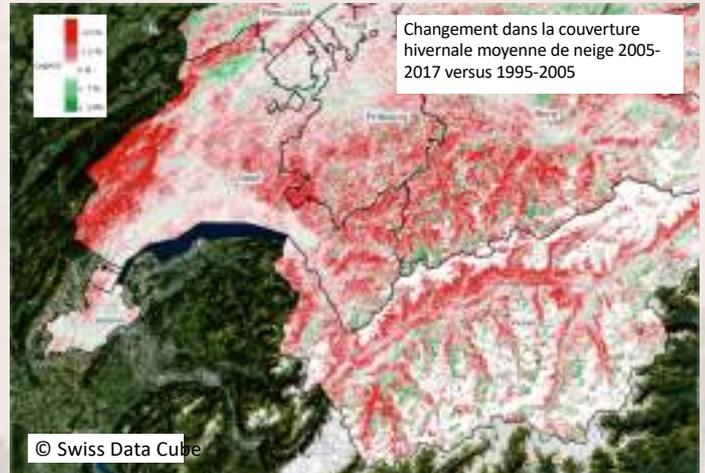
? Si le niveau de la mer augmente de 2 mètres d'ici 2100, combien de personnes sur la Terre seront victimes d'inondations ?

? Est-ce que l'intensité du rayonnement solaire a augmenté ou diminué ces 10 dernières années ?



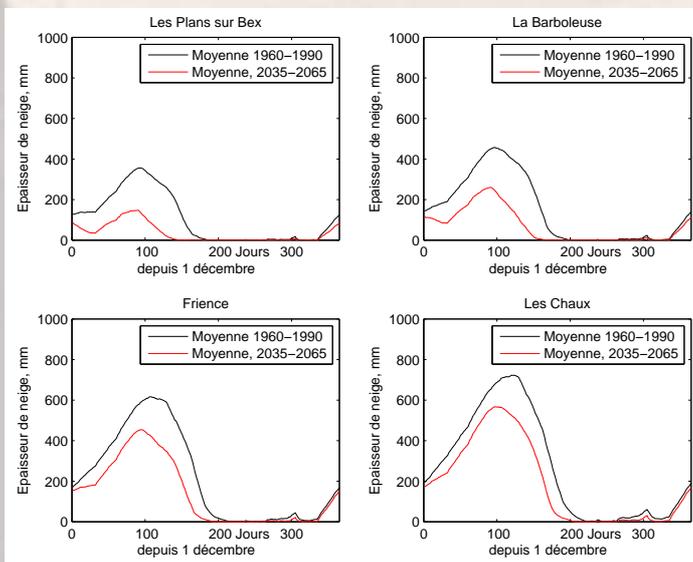
10. Le changement climatique et les sports d'hiver dans la région de Bex

- Les dernières années ont déjà montré une diminution dans la couverture hivernale de neige
- Les prévisions pour l'avenir sont encore pires
- Les graphiques ci-dessous montrent des estimations et des prévisions pour la région Bex-Gryon – l'épaisseur moyenne de neige pour deux périodes – la moyenne 1960-1990 et la moyenne 2035-2065



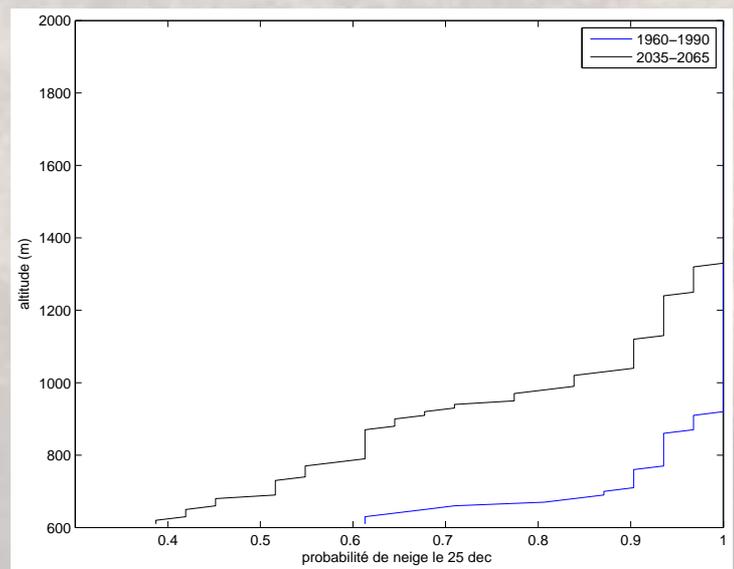
Les graphiques montrent qu'en moyenne il y aura moins de neige, surtout pour les altitudes en dessous de environ 1500 m pendant les hivers des années 2035-2065 avec l'arrivée de la neige plus tard et une fonte plus précoce.

La probabilité de neige à Noël va aussi diminuer (graphique ci-dessous)



Les solutions pour notre région ?

- La neige artificielle – mais attention – la neige artificielle peut résoudre le problème de la pénurie des précipitations seulement s'il ne fait pas trop chaud – la limite va devenir la température et pas les précipitations
- Diversification de l'offre hivernale
- Le tourisme dit « quatre saisons »



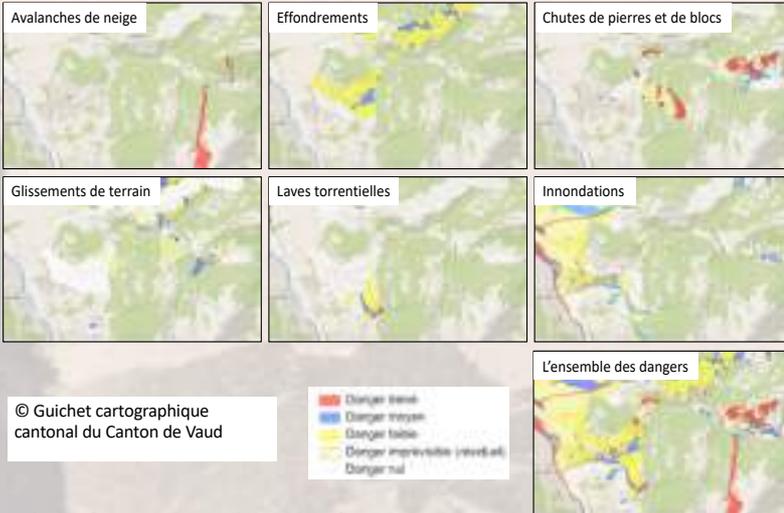
? Selon les scientifiques, les chutes de neige l'hiver vont-elles augmenter, diminuer, ou rester stable ces prochaines années ?

? La production de neige artificielle est-elle une bonne solution pour pallier au manque de couverture hivernale de neige ?



11. Le changement climatique et le défi des dangers naturels

- **Les dangers naturels dans la commune de Bex**
- Comme partout en Suisse, il y a des dangers naturels presque partout et le risque zéro n'existe pas



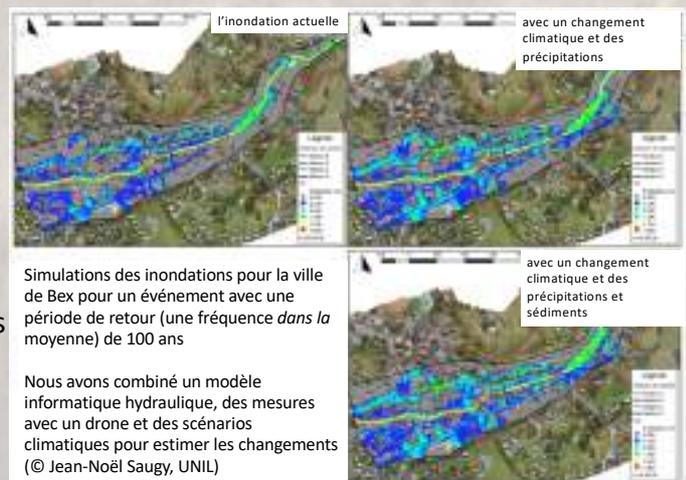
Gestion à la source : la déviation de Bévioux destinée à réduire le taux de livraison des graviers au centre-ville pendant une crue. Les crues peuvent déposer au centre-ville un volume de sédiments élevé ; leur dépôt sur le lit de la rivière peut faire déborder une crue plus facilement. Donc les graviers sont stockés à l'amont. © Jean-Noël Saugy

- Il ne faut pas oublier qu'en Suisse, tant au niveau de la Confédération qu'au niveau des Cantons et des Communes, nous avons des systèmes de gestion des risques bien développés, par exemple la déviation de Bévioux, « gestion à la source »

- **Le changement climatique et les dangers naturels – l'exemple des crues**

- La question se pose – avec le réchauffement climatique, est-ce que la fréquence des crues va augmenter ? Il y a plusieurs dimensions :

1. C'est logique qu'avec un réchauffement les événements extrêmes s'intensifieront, comme les précipitations extrêmes ; les modèles climatiques pour notre région le confirment
2. C'est aussi probable que la livraison des sédiments depuis l'amont augmentera avec la fonte de pergélisol (qui libère plus de sédiments); plus de glissements de terrains; et plus de crues pour transporter les sédiments
3. La ville de Bex est construite sur la plaine du Rhône, un dépôt sédimentaire apporté par l'Avançon ; ce n'est pas seulement le volume de l'eau qui influence les inondations, mais aussi la livraison des sédiments



La zone inondée avec une crue centennale augmentera d'environ 39% à cause des effets du réchauffement climatique d'ici 2050

? Savez-vous s'il y a déjà eu des inondations à Bex ?
Si oui, en quelle année ?

? Quels sont les dangers naturels liés au réchauffement climatique qui peuvent nous toucher ?

Les effets des changements climatiques sur les transferts sédimentaires en haute montagne sont très peu connus – donc l'Université de Lausanne en collaboration avec le WSL et la Commune de Bex ont installé un système de mesure du charriage des sédiments au Pont de Nant



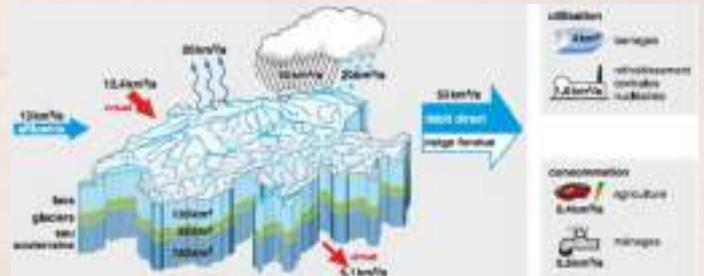


12. Le changement climatique et le défi de l'exploitation hydro-électrique

• La Suisse : un pays « hydraulique »

La Suisse est connue comme le « château d'eau d'Europe » et les Alpes en sont responsables – 40,000,000,000 m³ des précipitations tombent sur la Suisse dans une année moyenne

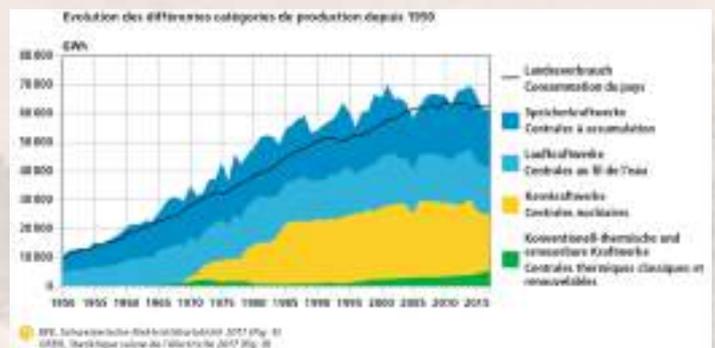
Ces précipitations sont bien utilisées, surtout pour remplir nos besoins énergétiques – **la force hydraulique est responsable pour 57% de nos besoins électriques**



• Le principe et les centrales

1. l'écoulement de l'eau fait tourner les turbines
2. les turbines contiennent des conducteurs électriques. Ils sont soumis à un flux de champ magnétique qui en engendre un courant électrique. L'eau est transformée en électricité

Il y a deux types de centrales hydro-électriques et la production helvétique est divisée moitié-moitié entre les deux



Les centrales à accumulation

l'eau est retenue derrière des barrages. Puis quand il y en a le besoin, l'eau descend aux turbines pour produire l'électricité. Ce système est vraiment intéressant pour des bassins glaciaires car la fonte se passe en été, l'eau peut être stockée derrière le barrage, puis l'eau peut être utilisée en hiver quand la demande en l'électricité augmente.



La subvention glaciaire : entre 20% et 25% de l'hydro-électricité produite par les centrales à accumulation vient de la fonte de glace

Le défi des changements climatiques : pour les centrales à accumulation, le grand défi est le recul des glaciers

- a. avec la sortie progressive du nucléaire (38% de notre production électrique actuelle) la stratégie énergétique 2050 demande une augmentation de la production hydro-électrique d'environ 10%
- b. au même moment que la subvention glaciaire disparaîtra
- c. et qu'il y a eu un durcissement dans la loi qui protège les cours d'eau (il faut prendre moins d'eau pour l'exploitation)
- d. et que le prix payé pour l'électricité rend l'investissement dans l'exploitation hydro-électrique peu rentable



Les centrales au fil de l'eau – l'eau est prise directement de la rivière (à l'amont), l'eau descend, tourne les turbines, et rentre à la rivière – c'est le système actuel dans l'Avançon de Bex

Le défi des changements climatiques : deux effets potentiels sur les centrales au fil de l'eau:

1. Une augmentation de l'évaporation du sol car c'est plus chaud – moins d'eau dans les rivières
2. Une augmentation dans la fréquence et la durée des sécheresses

? **Qu'est ce qui fait tourner les turbines des usines hydroélectriques ?**

? **En Suisse, quel est le pourcentage d'hydroélectricité provenant de la fonte des glaciers ? Quelles sont les implications du réchauffement climatique pour ce pourcentage ?**



Remerciements:
Pascal Vittoz, IDYST, Université de Lausanne, pascal.vittoz@unil.ch

13. Végétation des montagnes et changements climatiques

Les changements climatiques vont influencer la végétation par:

- L'augmentation des températures
- Les variations des précipitations

Quelques exemples des changements déjà observés en Suisse.

Etage subalpin (1500 – 2300 m)

Les conditions plus chaudes permettent aux arbres (aroles, épicéas, mélèzes) de s'installer plus haut, au milieu des pelouses, menaçant ainsi directement les plantes alpines qui ne supportent pas l'ombre.

Jeunes aroles à 2500 m au-dessus de Nax (VS)



Etage nivale (> 3000 m)

Les meilleures conditions permettent aux plantes de monter. Ainsi, les sommets voient leur flore s'enrichir de nouvelles espèces. Certains sommets ont maintenant deux fois plus d'espèces qu'en 1900.

Pissenlit des Alpes, un bon colonisateur des sommets



Etage alpin (2300 – 3000 m)

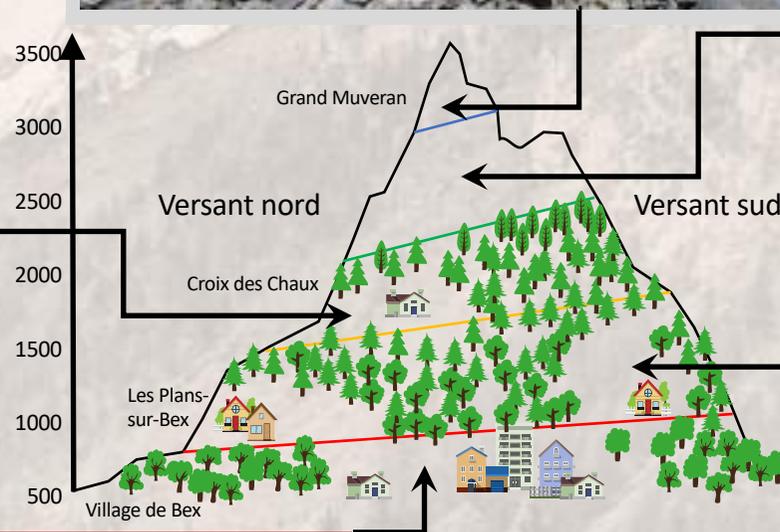
La neige reste moins longtemps et les combes à neige, caractérisées par plus de 9 mois sous la neige, se font envahir par des espèces des pelouses, menaçant ainsi directement la flore très particulière de ces combes.

7-8 mois de neige



9-10 mois de neige

Combe à neige entourée de pelouses alpines



Etage montagnard (700 – 1500 m)

Sous l'effet répété des sécheresses, les pins sylvestres meurent par centaines en Valais, et les mêmes symptômes atteignent maintenant le Chablais. Depuis ce printemps, ce sont les sapins blancs et les hêtres du Jura qui se dessèchent.



Pins sylvestres tués par la sécheresse

Etage collinéen (< 700 m)

Les conditions plus chaudes facilitent l'installation d'espèces envahissantes. L'ailante et le palmier chanvre sont deux espèces chinoises déjà abondantes dans les forêts du Tessin, concurrençant les arbres indigènes, et qui commencent à être bien présentes au nord des Alpes.

Ailante



Palmier chanvre



Risques pour le futur

- Ces déplacements vont se poursuivre à l'avenir.
- Une augmentation de 5°C entre 1850 et 2100 correspondra à **montée des plantes de 900 m** environ.
- Cela présente de nombreux risques pour les plantes, comme la disparition d'espèces à l'étage alpin (déjà proches des sommets, elles ne pourront pas continuer à monter) ou l'arrivée de nouvelles maladies (champignons et insectes montent aussi, et parfois plus vite que les plantes).

? Trouver des exemples d'espèces qui pourraient envahir à l'altitude de Bex

? Quelles espèces risquent de s'installer plus haut, dans l'étage subalpin ?



14. Solutions :

(a) les options dites technologiques

1. Renouvelables et le mix énergétique

- L'objectif est de diminuer le taux de production des gaz à effet de serre par l'utilisation des sources d'énergie renouvelables. Nous avons déjà parlé de la force hydraulique même si ce ne sera pas vraiment « renouvelable » si le subsidie glaciaire continue à diminuer.
- Le peuple a voté une stratégie énergétique qui implique la sortie progressive du nucléaire
- Donc les options qui restent incluent les suivantes



© Les explorateurs de l'énergie



© Alpine Geothermal Power Production



Panneaux solaires
© Solaire1300



Eoliennes, Martigny © RTS



2. La séquestration des gaz à effet de serre (surtout CO₂)

La **séquestration** est le processus qui décrit le stockage à long terme, par exemple du dioxyde de carbone, hors de l'atmosphère.

On distingue la **séquestration naturelle** de la **séquestration artificielle**

a. La séquestration naturelle :

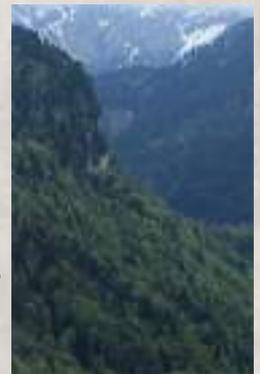
Le processus de photosynthèse transforme le dioxyde de carbone et l'eau en matière organique et oxygène

Le déboisement a contribué à une diminution dans le taux global de photosynthèse; donc le reboisement peut l'augmenter et donc absorber le CO₂

Si toute la surface terrestre du monde (y compris le Pôle sud!) était arborisée (pas de villes, pas de prés, pas d'agriculture), on pourrait soutenir une population deux fois plus grande que la population actuelle si on ne produit plus que deux tonnes par habitant par année

Donc la séquestration naturelle peut contribuer à diminuer les concentrations de CO₂ atmosphériques, mais elle ne sera pas suffisante.

Le déboisement (par exemple de l'Amazonie) reste un grand enjeu



environ 100 m x 100 m du forêt peu absorber environ 30 tonnes de carbone par année , donc les émissions de 2 tonnes par année de 15 habitants

b. La séquestration artificielle :

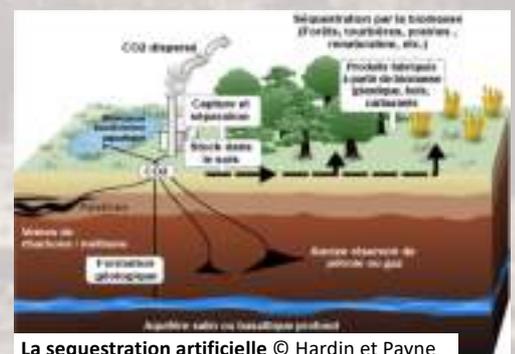
Emprisonnement pour plusieurs millions d'années dans des roches perméables (aquifères) via des puits. Un potentiel important mais ça nécessite de l'énergie et il faut éviter des fuites de gaz

3. La géo-ingénierie : manipulation et modification du climat

- augmenter l'albédo de la Terre avec des miroirs
- rendre le ciel plus nuageux par l'ajout d'aérosols
- fertilisation des océans de sorte à augmenter la photosynthèse

? Citez une source d'énergie renouvelable ?

? Qu'est-ce que la séquestration des gaz à effet de serre ?



15. Qui est responsable de l'émission de gaz à effet de serre ?

La question des responsabilités – une question philosophique

Il y a deux éléments importants :

(1) L'axe du temps

(2) L'axe d'équité et de responsabilité

L'état le plus polluant en 2014 était la Chine mais sa population était 1'364'000'000 et donc la Chine était 42^{ème} par habitant

L'état le plus polluant par habitant en 2014 était le Qatar mais sa population n'était que 2'374'000 et donc le Qatar était 171^{ème} en total

Les Etats-Unis se distinguent des autres pays car son total d'émissions et les émissions par habitants en 2014 les classaient 2ème et 11ème respectivement.

Mais la question des responsabilités est bien plus compliquée

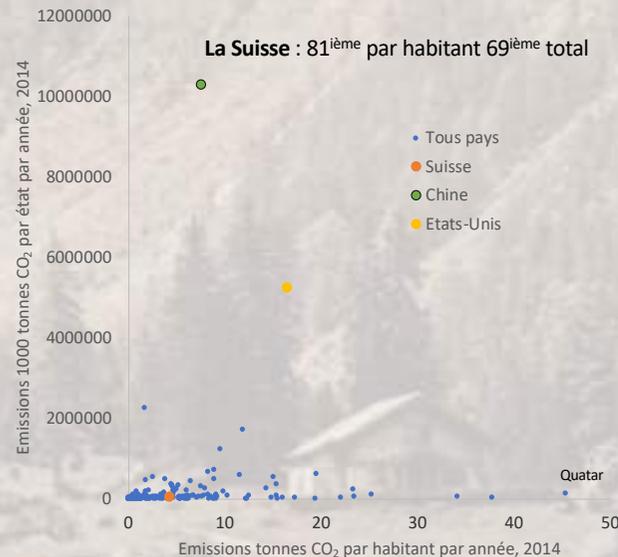
1. Les émissions moyennes par habitant peuvent cacher une variabilité énorme entre les habitants au sein d'un pays
2. On peut imaginer qu'il y a un niveau d'émission par habitant qui est « nécessaire » (par exemple pour se chauffer) et un niveau qu'on peut nommer le niveau « de luxe » ; le niveau dit nécessaire va varier entre pays (par exemple, un pays plus froid aura plus de besoins énergétiques)
3. Il y a d'autres gaz à effet de serre qui compliquent les analyses

Ici il y a un scénario.

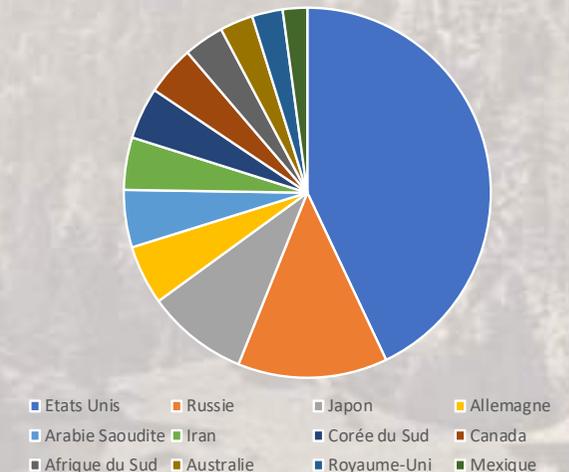
- Imaginer qu'on décide que chaque habitant du monde a le droit d'émettre 2 tonnes de CO₂ par habitant par année. Cette estimation est la quantité acceptable afin de limiter le réchauffement mondial à 2°C.
- Les pays émettant moins que 2 tonnes n'ont rien besoin de faire. Les pays émettant plus que 2 tonnes doivent réduire leurs émissions à 2 tonnes par habitant.
- Nos émissions au niveau mondial diminueront d'environ 43% et 12 pays seront responsable pour environ 75% de cette réduction
- **Une conclusion – on voit avec ces exemples que la question de responsabilité est compliquée et ne peut pas être résolue par les scientifiques**

L'axe du temps : certains pays ont émis des gaz d'effet à serre depuis plus longtemps ; le CO₂ (par exemple) reste dans l'atmosphère pour 10 à 20 ans; notre pollution restera pour plusieurs années et le réchauffement d'aujourd'hui a été dû à nos activités dans le passé

L'axe d'équité et de responsabilité : les émissions « par état » mélangent deux éléments du problème – la taille de la population et la quantité des gaz à effet de serre émis par habitant. C'est une question d'équité et de responsabilité



Scénario: chaque habitant du monde peut émettre 2t de CO₂ par année ; les pays avec plus que 2 t de CO₂ par année par habitant doivent diminuer à 2. Les émissions de CO₂ mondiales diminueront de 43% et voici les 12 pays qui contribueront le plus

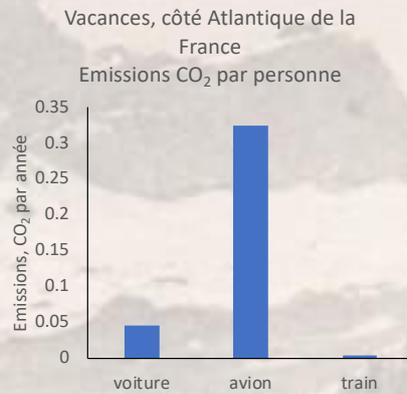
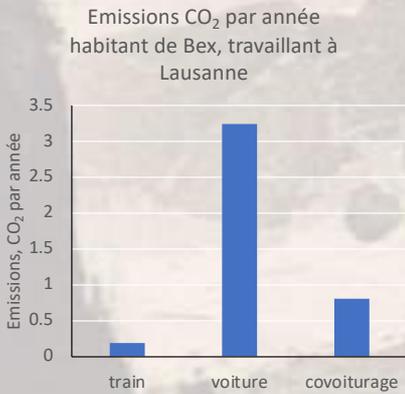




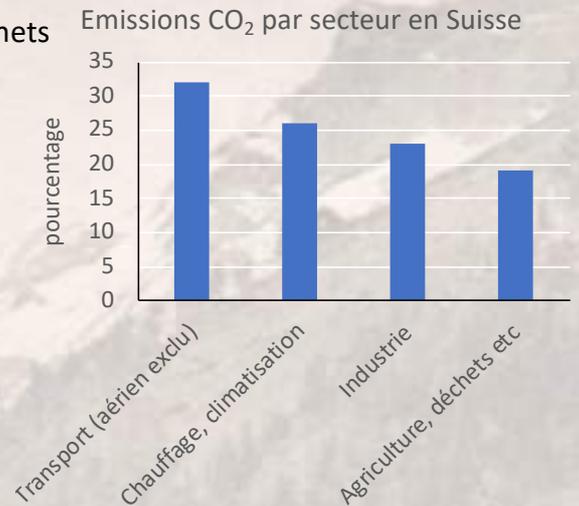
16. Solutions :

(b) diminuer notre consommation

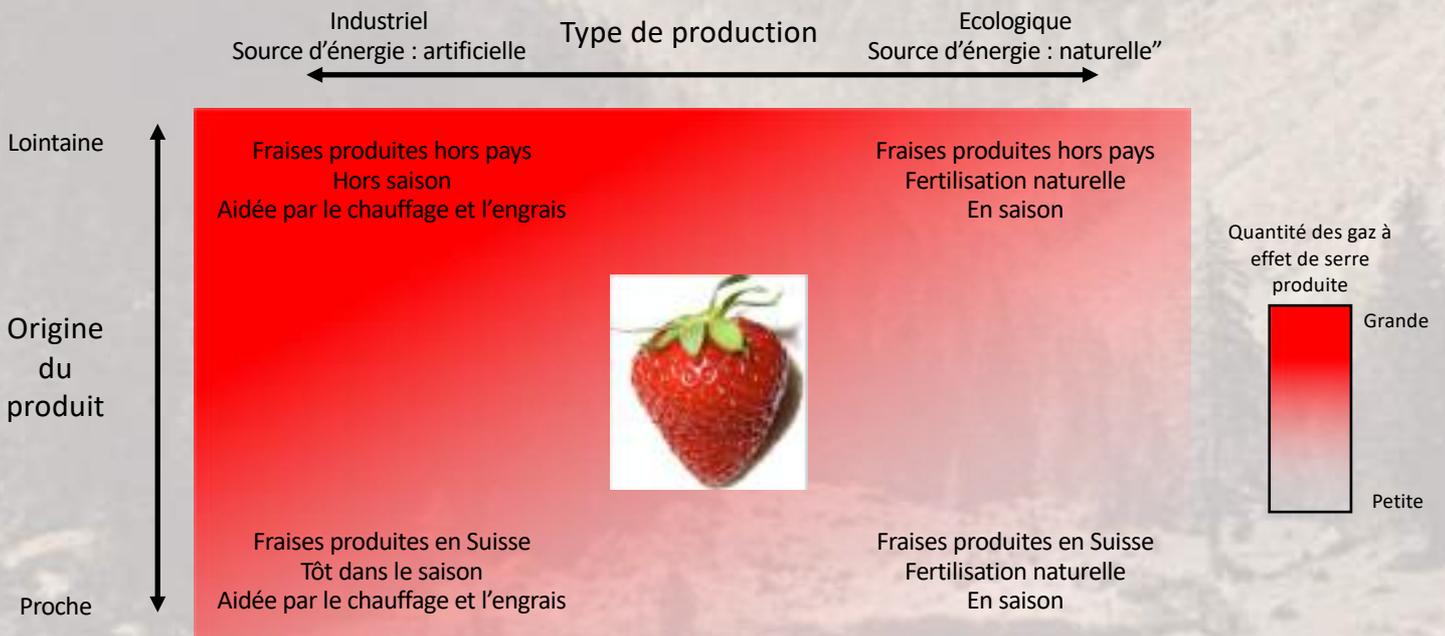
- Confucius (philosophe et politicien chinois, 551-479 avant J.C.) a dit une fois : « **L'homme supérieur, c'est celui qui d'abord met ses paroles en pratique, et ensuite parle conformément à ses actions** »
- Même si la Suisse n'est pas la pire, nos émissions de gaz à effet de serre par habitant par année sont **deux fois** plus élevées que le maximum nécessaire afin de limiter le réchauffement climatique global à 2°C
- L'objectif doit être un **développement durable** – de maintenir notre qualité de vie actuelle sans remettre en cause le potentiel pour les générations futures d'atteindre la même qualité de vie
- **Le grand problème des voyages et du transport**
- Même avec le transport aérien exclu, c'est toujours **les voyages** qui sont les plus responsable pour nos émissions
- Suivi par chauffage/climatisation, industrie, et agriculture/déchets



Voiture : hypothèse 130gCO₂ émit par km
Covoiturage : 4 personnes par voiture
Avion : classe économique



- **Le transport est un problème pour une deuxième raison – ce n'est pas seulement nous qui devons être transportés mais aussi les produits qu'on achète et qu'on utilise**



? **Qu'est-ce que je peux faire pour diminuer mes propres émissions de gaz à effet de serre ?**