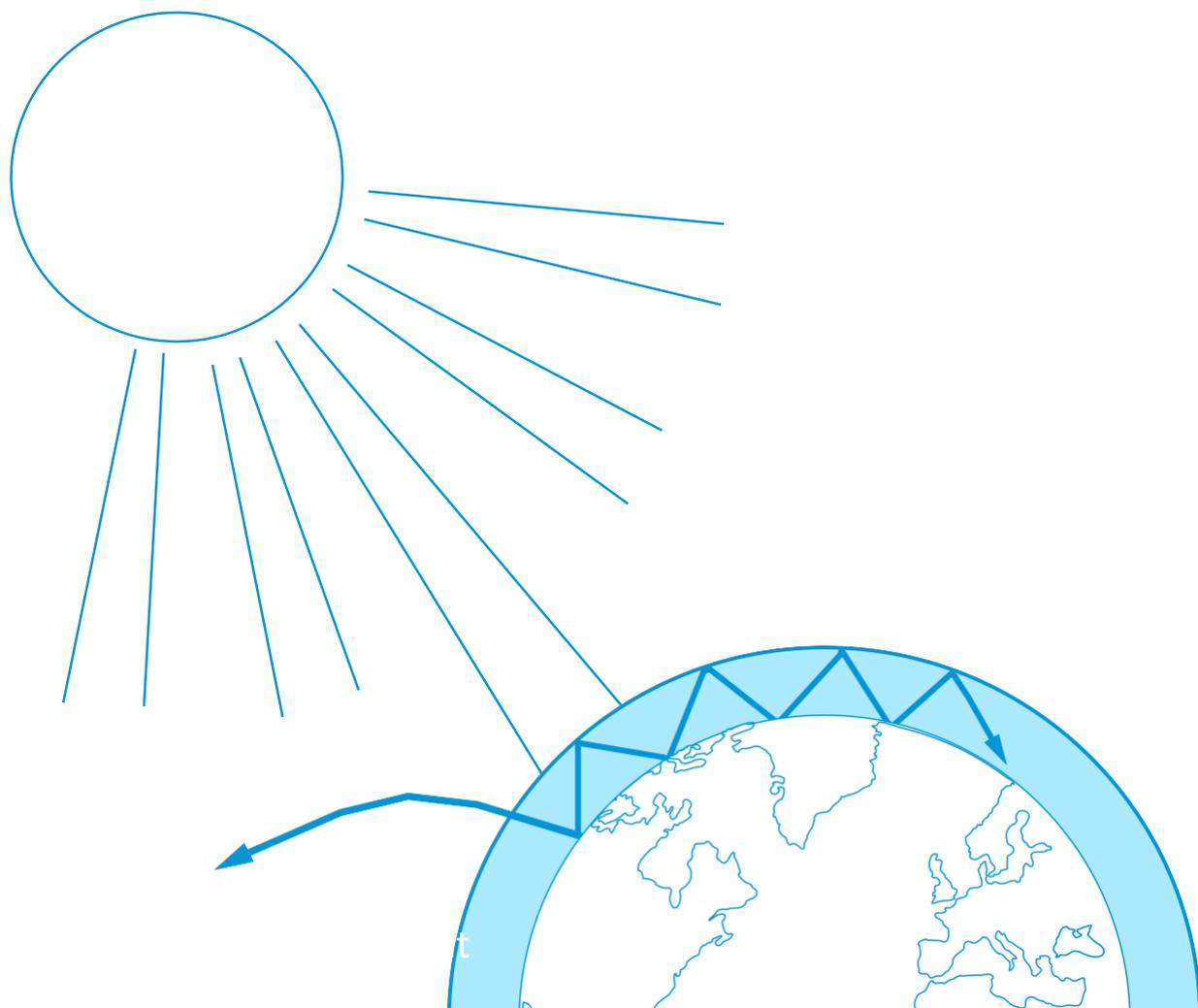


Enseigner avec l'espace

→ IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE LUXEMBOURG, À L'AIDE DE DONNÉES SATELLITAIRES

Causes et conséquences au Luxembourg



Enseigner avec l'espace - Impact du changement climatique sur le Luxembourg, à l'aide de données satellitaires | G04

www.esero.lu

ESERO Luxembourg se réjouit des réactions et des commentaires

contact@esero.lu

Une production de l'ESA Education en collaboration avec ESERO Danemark

Copyright 2021 © ESERO Luxembourg

→ IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE LUXEMBOURG, À L'AIDE DE DONNÉES SATELLITES

Enquête sur le réchauffement climatique au Luxembourg

En bref

Sujet : Géographie, Physique, Sciences

Tranche d'âge : 15-19 ans

Type : activité pratique de l'élève

Complexité : facile

Temps de cours requis : 45 minutes par activité

Coût : faible

Comprend l'utilisation de : ordinateur, internet

Mots-clés : Effet de serre, Réchauffement climatique, images satellites, Climat, Géographie, Physique, Science

Brève description

En utilisant le contexte luxembourgeois, cet ensemble d'activités comprend des activités sur l'interprétation d'images satellites pour mieux comprendre les effets globaux du réchauffement climatique dans, les principales sources de gaz à effet de serre du pays.

Objectifs d'apprentissage

- Proposer des activités en classe pour étudier les questions liées au climat au Luxembourg en utilisant les données du satellite Sentinel.
- Expliquer les principales contributions actuelles du Luxembourg au changement climatique.
- Expliquer les actions actuelles du Luxembourg pour réduire les émissions de gaz à effet de serre

→ Introduction

2019 a été la deuxième année la plus chaude jamais enregistrée et la fin de la décennie (2010- 2019) la plus chaude jamais enregistrée.

Les niveaux de dioxyde de carbone (CO2) et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère ont atteint de nouveaux records en 2019.

Le changement climatique touche tous les pays et tous les continents. Il perturbe les économies nationales et affecte les vies. Les régimes climatiques changent, le niveau des mers s'élève et les phénomènes météorologiques deviennent plus extrêmes.

En outre, il a un impact sur la santé mentale de nos enfants : l'anxiété climatique chez les jeunes et leurs croyances sur les réponses des gouvernements au changement climatique est un sujet de plus en plus étudié.

Une étude [publiée](#) en décembre 2021 [dans The Lancet Planetary Health](#) a interrogé 10 000 jeunes âgés de 16 à 25 ans dans dix pays.

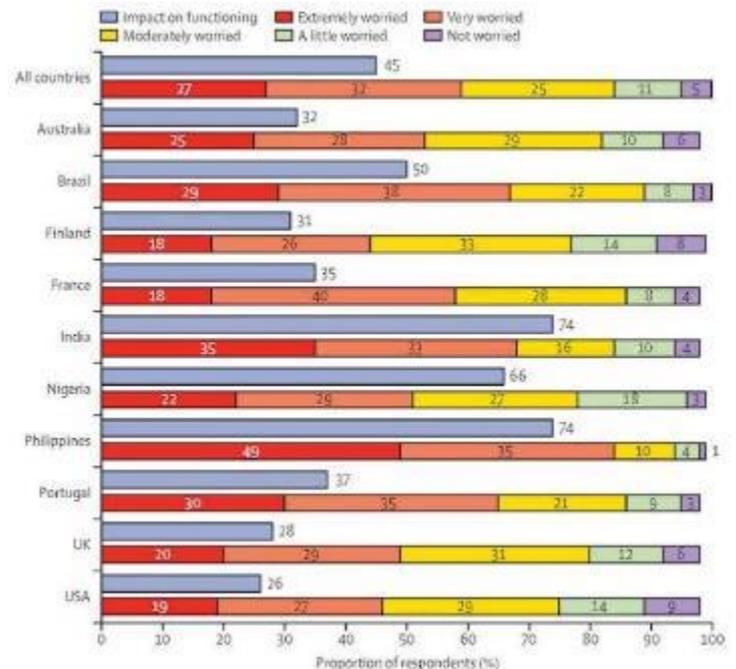
L'étude a recueilli les pensées et les sentiments des participants sur le changement climatique, ainsi que sur les réponses des gouvernements au changement climatique.

Les personnes interrogées dans tous les pays étaient préoccupées par le changement climatique : 59 % étaient très ou extrêmement préoccupés et 84 % étaient au moins modérément préoccupés.

Plus de 50 % d'entre eux ont fait état de chacune des émotions suivantes : tristesse, anxiété, colère, impuissance, impuissance et culpabilité.

Plus de 45 % des personnes interrogées ont déclaré que leurs sentiments à l'égard du changement climatique avaient un impact négatif sur leur vie quotidienne et leur fonctionnement, et beaucoup ont fait état d'un nombre élevé de pensées négatives à propos du changement climatique.

Il est de la responsabilité de la communauté éducative de parler objectivement du changement climatique avec la nouvelle génération, d'accroître ses connaissances sur le problème lui-même et de mieux comprendre les solutions les plus efficaces pour arrêter le réchauffement de la planète.



→ Perspective mondiale

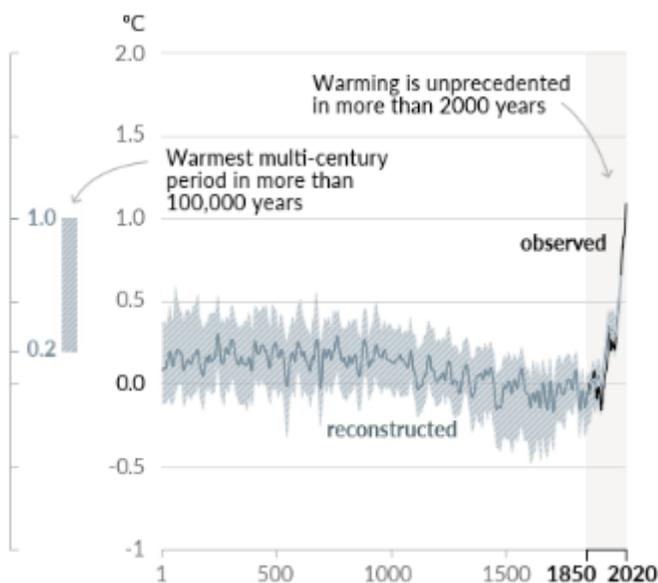
Climat passé et actuel

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) est une organisation de 195 États membres des Nations unies dont l'objectif est d'évaluer régulièrement et sans parti pris les connaissances scientifiques les plus avancées sur le climat. Il réunit des milliers d'experts bénévoles du monde entier pour évaluer, analyser et synthétiser les nombreuses études scientifiques sur le sujet.

Le dernier rapport du GIEC décrit nos meilleures connaissances sur l'évolution passée et future du climat.

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)

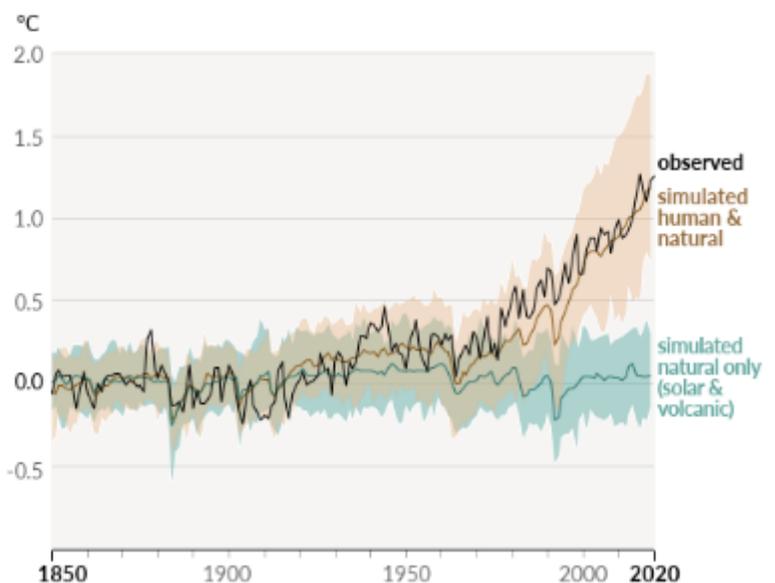


Figure 1 - Température de surface comparée à la moyenne pour la période 1850-1900.

L'influence de l'homme sur le réchauffement de l'atmosphère, des océans et des continents est sans ambiguïté. En émettant des gaz à effet de serre (GES), l'humanité a provoqué des changements rapides et généralisés dans l'atmosphère, la cryosphère (terre et glace de mer), la biosphère (êtres vivants) et les océans.

Les principaux GES émis par l'homme sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O). Une partie des émissions humaines est captée par l'océan et à la surface des continents. Le reste est stocké dans l'atmosphère, augmentant sa concentration. Cette concentration est exprimée en parties par million (ppm) ou en parties par milliard (ppb).

De 1750 à 2019, les concentrations atmosphériques ont augmenté pour chaque gaz à effet de serre :

Gaz	Concentration atmosphérique (1750)	Concentration atmosphérique (2019)
CO_2	280	410
CH_4	800	1866
N_2O	270	322

Bien que la concentration atmosphérique de CH_4 soit environ 220 fois plus faible que celle de CO_2 , CH_4 est responsable de plus d'un quart du réchauffement en raison de son plus grand pouvoir de réchauffement. L'ampleur de ces variations

pour CO₂ et CH₄ dépasse de loin les variations naturelles entre les périodes glaciaires et interglaciaires des 800 000 dernières années. La concentration actuelle de CO₂ est la plus élevée depuis au moins 2 millions d'années.

Cette augmentation de la concentration des GES provoque une accumulation importante d'énergie sous forme de chaleur à la surface du globe. De cette énergie, 91% se trouve dans les océans, 5% sur les surfaces continentales, 3% dans la glace (provoquant sa fonte), et seulement 1% dans l'atmosphère.

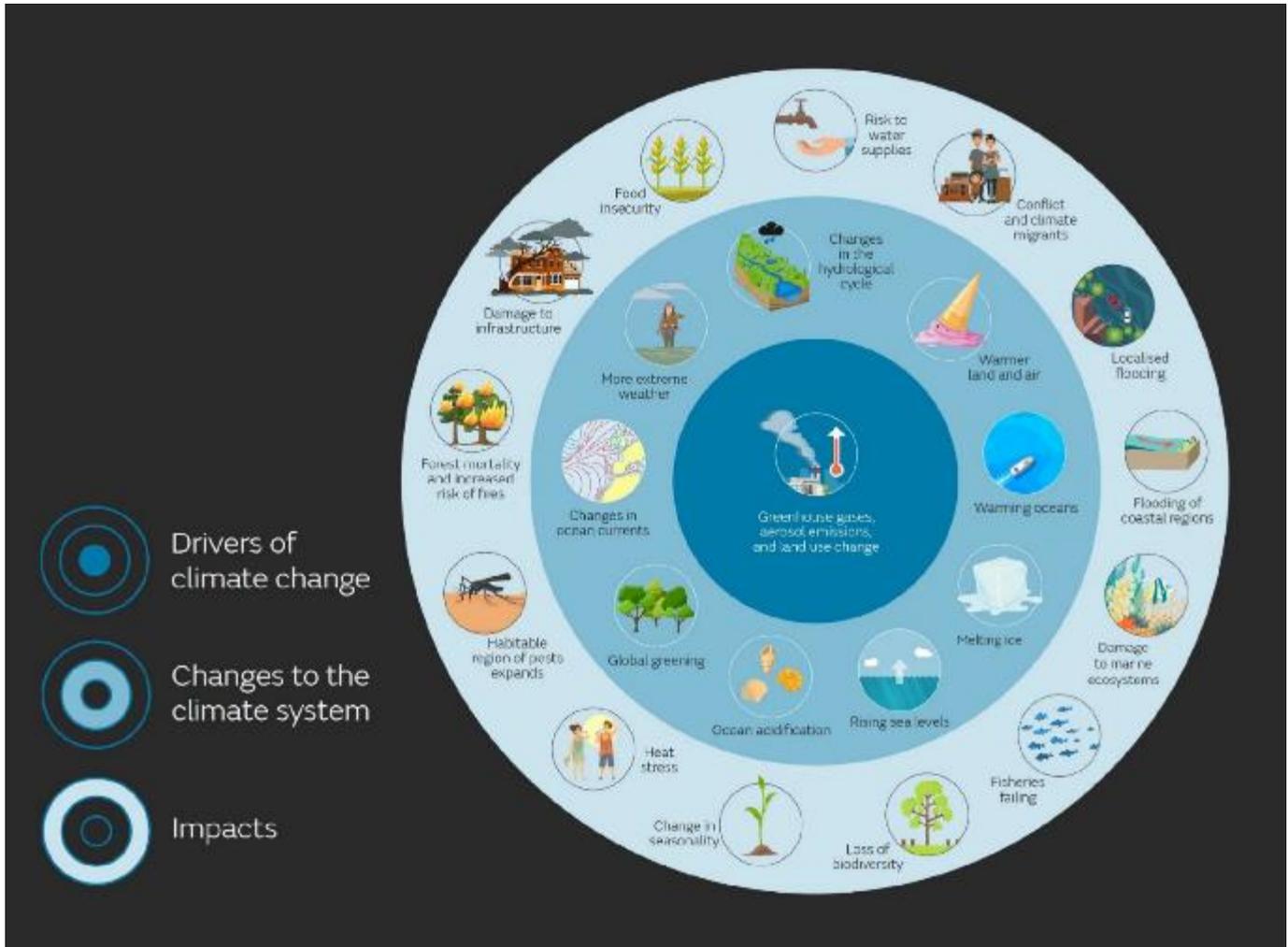


Figure 3 - moteurs et effets du changement climatique

Cependant, cette infime partie (1 %) de la chaleur piégée dans l'atmosphère est la principale cause du réchauffement : la température à la surface du globe sur la période 2011-2020 a été supérieure de 1,09 °C à celle de la période 1850-1900, avec un réchauffement plus important sur les continents (+1,59 °C) que sur les océans (+0,88 °C).

Le rythme du réchauffement au cours des 50 dernières années est sans précédent depuis au moins 2000 ans. Les températures actuelles dépassent le maximum de la dernière période chaude, il y a 6500 ans, et sont susceptibles de dépasser le maximum précédent, il y a 125 000 ans (FIGURE 1).

L'accumulation de chaleur dans la glace a, à son tour, entraîné un recul des glaciers et de la banquise arctique. Entre les périodes 1979-1988 et 2010-2019, la surface de la banquise arctique a diminué de 40 % à la fin de l'été, sa plus faible valeur depuis au moins 1850. Le recul quasi-simultané de la plupart des glaciers de la planète est également sans précédent depuis au moins les 1000 dernières années. De même, l'influence de l'homme sur le climat est très probablement responsable de la fonte de la calotte glaciaire du Groenland au cours des deux dernières décennies, qui a été 4 fois plus rapide sur la décennie 2010-2019 que sur la période 1992-1999.

La fonte des glaces continentales (glaciers de montagne, calotte glaciaire du Groenland) est également responsable de 42% de l'augmentation du niveau de la mer sur la période 1971-2018. À cela s'ajoute l'effet de dilatation thermique : le volume d'une masse d'eau donnée augmente lorsque sa température s'élève. Cet effet est responsable de la moitié de l'élévation du niveau de la mer.

Le niveau de la mer a augmenté de 20 cm entre 1901 et 2018. D'un taux de 1,3 mm/an entre 1901 et 1971, la hausse s'est accélérée pour atteindre +3,7 mm/an sur la période 2006- 2018. Par conséquent, le niveau de la mer a augmenté plus rapidement depuis 1900 qu'au cours de tout autre siècle des 3 000 dernières années. Sur la même période, l'océan s'est également réchauffé plus rapidement que depuis la fin de la dernière déglaciation, il y a environ 11 000 ans. En plus d'affecter la température et le niveau des mers, la dissolution d'une partie du CO₂ d'origine humaine dans les eaux de surface augmente l'acidité des océans.

En perturbant le climat, l'humanité a également provoqué des changements dans la fréquence des événements météorologiques et climatiques extrêmes, qui sont devenus globalement plus fréquents et plus intenses depuis 1950. C'est le cas des chaleurs extrêmes, dont la fréquence a doublé depuis les années 1980, des fortes précipitations (notamment en Europe du Nord), des incendies de forêt et des inondations. À cela s'ajoutent les sécheresses du sol dans certaines régions, notamment autour du bassin méditerranéen, en Afrique australe et occidentale, et dans l'ouest de l'Amérique du Nord.

Selon l'[indice de réchauffement global](#) de l'Université d'Oxford, le réchauffement global actuel depuis 1860 est de +1,24°C.

La température annuelle mondiale a augmenté à un taux moyen de 0,08°C par décennie depuis 1880, mais ce taux a doublé depuis 1981, à +0,18°C par décennie. En 2020, la température de surface des terres et des océans dans l'hémisphère nord a été la plus élevée des 141 années d'enregistrement, soit +1,28°C au-dessus de la moyenne.

Climat futur possible

En raison des émissions de GES passées et futures, les changements du système climatique observés au cours des dernières décennies se poursuivront tout au long du XXI^e siècle et au-delà. Mais **l'ampleur de ces changements dépend principalement des émissions futures de GES.**

Si nous continuons à ce rythme d'émissions de GES, les températures continueront à augmenter à l'échelle mondiale - en moyenne de 1,4 à 1,7 fois plus sur terre que sur mer, et au moins deux fois plus au pôle Nord qu'ailleurs (FIGURE 2). L'élévation du niveau de la mer et l'acidification des océans se poursuivront. Les vagues de chaleur, les précipitations extrêmes et les ouragans violents deviendront plus fréquents et plus intenses, tandis que les vagues de froid seront moins fréquentes. Des événements extrêmes d'une ampleur sans précédent vont certainement se produire. La glace terrestre et le pergélisol continueront de fondre, et la glace de mer arctique reculera, en particulier en été. Un été presque sans glace dans l'Arctique est probable avant 2050, quoi que nous fassions.

Les précipitations seront généralement plus abondantes, en particulier dans les hautes latitudes, les tropiques et la plupart des régions de mousson, mais plus variables, tant au cours d'une saison que d'une année à l'autre. Certaines régions recevront toutefois moins de pluie à l'avenir, comme la Méditerranée et plusieurs régions subtropicales. En moyenne, les événements pluvieux - en particulier ceux associés aux moussons - ainsi que les sécheresses seront plus intenses, même si, là encore, des variations régionales importantes sont attendues.

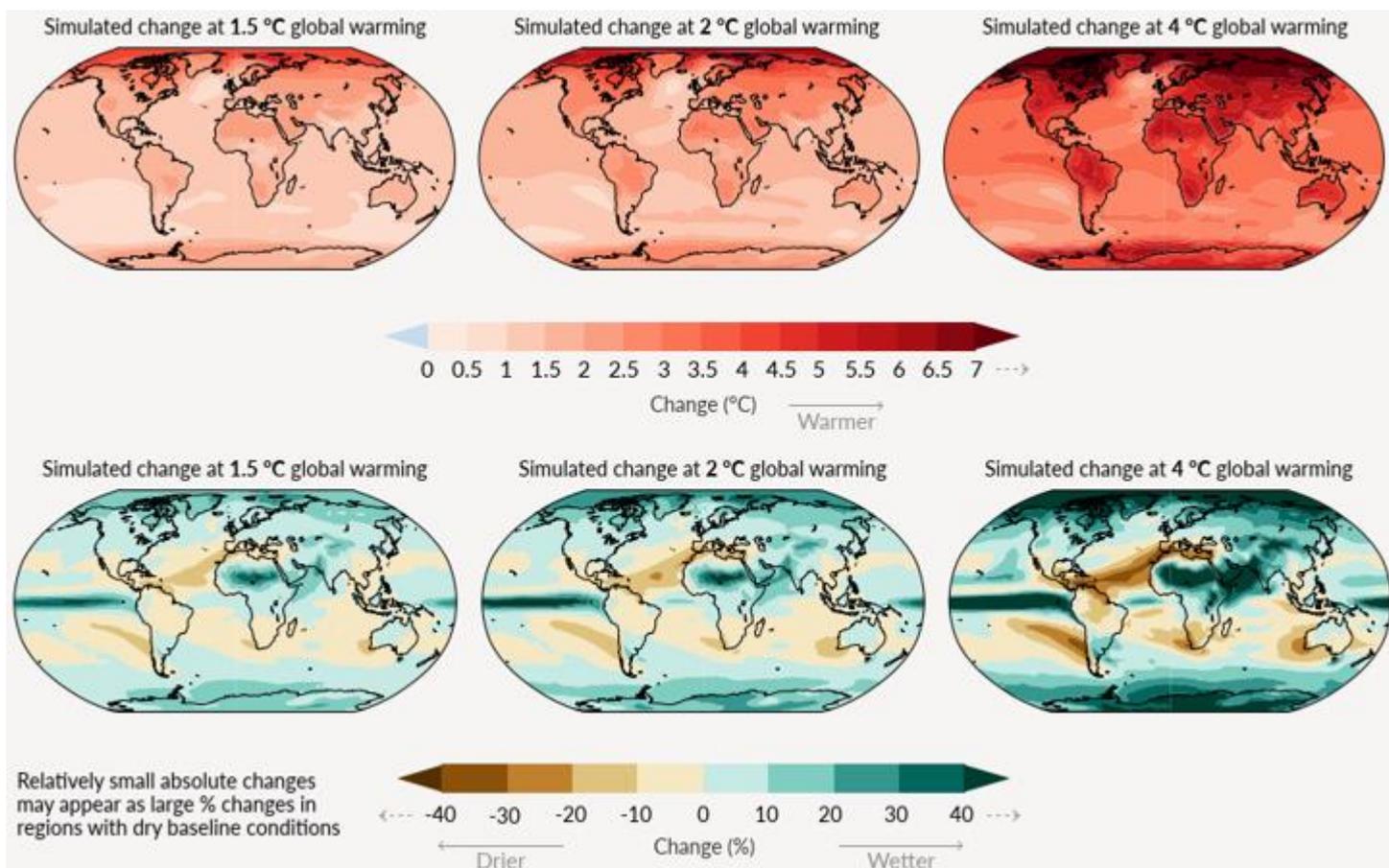


Figure 3 - Changement simulé de la température (°C) et des précipitations (%) (moyenne annuelle) par rapport à la période 1850-1900 pour différents niveaux de réchauffement global

Si le CO₂ reste dans l'atmosphère pendant un siècle en moyenne, la température mondiale continuera à augmenter jusqu'en 2050 au moins, quoi que nous fassions au cours des prochaines décennies.

Même avec des réductions immédiates des émissions de GES, la barre des +1,5°C sera atteinte, et a une chance sur deux d'être dépassée d'ici 2040 - en moins de 20 ans !

Il convient de noter que ces chiffres représentent des moyennes sur 20 ans. Il est donc probable que le seuil de +1,5°C sera atteint dans certains cas bien avant 2040, peut-être même dès 2025.

Une réduction rapide des émissions permettrait néanmoins de limiter significativement le réchauffement climatique d'ici 2100, entre 1,4 et 1,8°C, alors qu'il atteindrait 2,7 à 3,6°C dans les scénarios intermédiaires et 4,4°C dans le scénario le plus pessimiste.

Le seuil de +2°C serait donc largement dépassé avant 2060, sauf dans les scénarios optimistes.

Bien qu'elle puisse sembler insignifiante, une différence de 0,5°C dans le réchauffement de la planète a des conséquences majeures, notamment pour les événements extrêmes. Un pic de chaleur qui se produisait une fois tous les 50 ans il y a un siècle est déjà 5 fois plus fréquent aujourd'hui, alors que la température globale n'a augmenté que de 1°C. Avec un réchauffement de 1,5°C, il serait presque 9 fois plus fréquent, et presque 14 fois plus fréquent à +2°C, tandis qu'à +4°C, il se produirait presque chaque année. Toute augmentation du réchauffement réduit également l'efficacité des puits de carbone naturels (océans, sols, végétation).

Même si nous parvenons à limiter l'augmentation de la température à 1,5°C d'ici 2100, trois changements majeurs sont irréversibles à l'échelle d'une vie humaine : le réchauffement et l'acidification des océans, la fonte des glaciers et des calottes polaires et l'élévation du niveau de la mer. Les réductions futures des émissions de GES ne feront que ralentir, sans les arrêter, ces phénomènes, même si les températures de surface n'augmentent plus. En effet, l'inertie des océans et des glaces terrestres est beaucoup plus importante que celle de l'atmosphère.

D'ici à 2050, le niveau de la mer devrait augmenter d'au moins 18 cm par rapport à la moyenne de 1995-2014, indépendamment des émissions de GES. D'ici 2100, le niveau de la mer devrait augmenter de 38 cm dans les scénarios les plus

optimistes. Au-delà, le niveau continuera de s'élever à mesure que l'océan profond se réchauffe et que la glace terrestre fond. Ces chiffres sont cohérents avec ce que nous savons des climats plus chauds du passé.

Date du seuil de 1,5°C

Selon le [dernier tableau du rapport SPM2 du GIEC](#) sur l'objectif de 1,5 degré Celsius, l'atmosphère ne peut absorber, calculé à partir du début de 2020, plus de 400 gigatonnes (Gt) de CO₂ si nous voulons rester sous le seuil de 1,5°C.

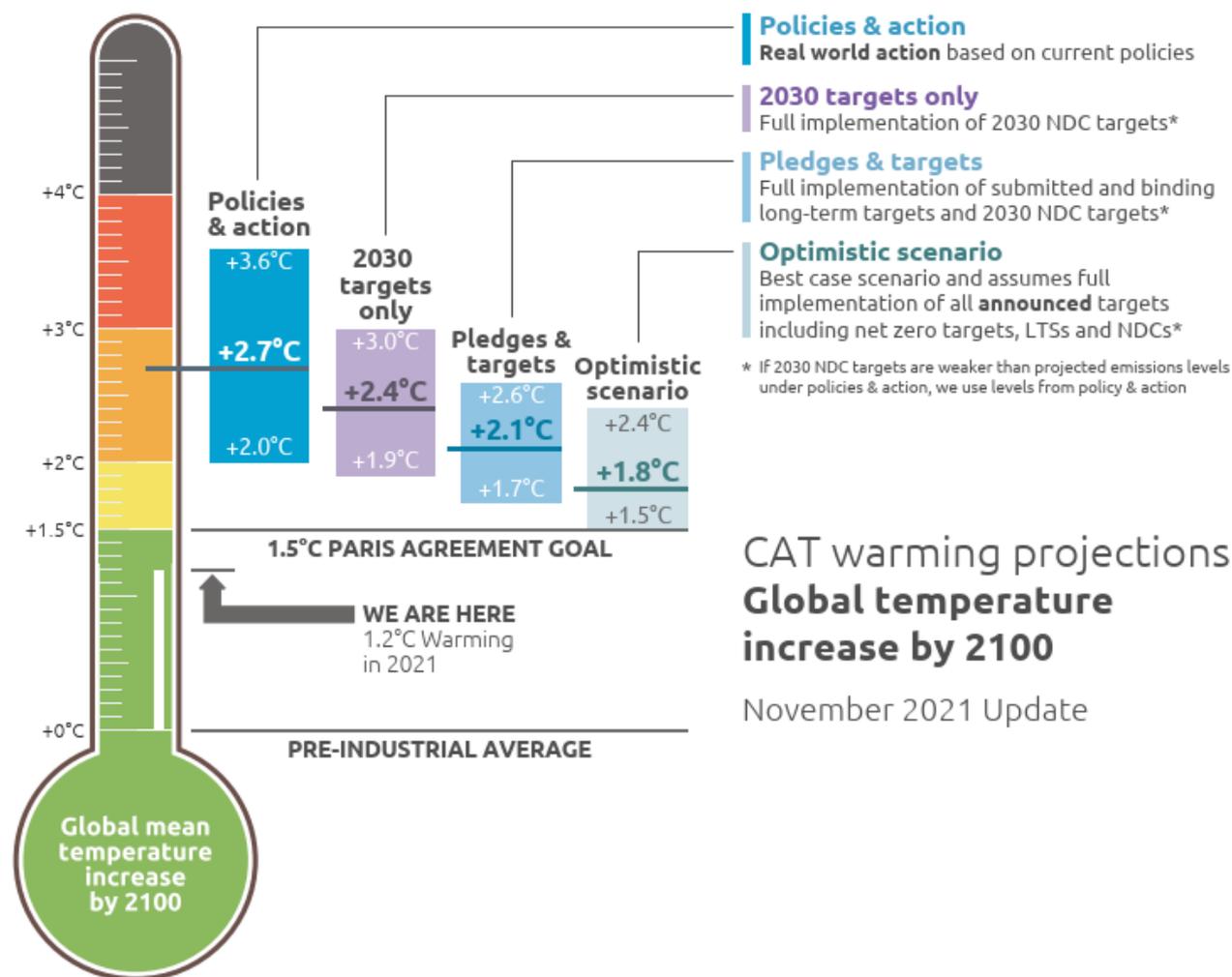
Les émissions annuelles de CO₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles, des processus industriels et du changement d'affectation des terres sont estimées à 42,2 Gt par an. Si les émissions restent constantes, le budget nécessaire pour rester sous le seuil de 1,5°C devrait être épuisé dans [moins de huit ans](#).



Estimation du réchauffement en 2100

Depuis l'accord de Paris, chaque pays est tenu d'établir une contribution déterminée au niveau national (CDN) et de la mettre à jour tous les cinq ans. Une CDN est un plan d'action climatique visant à réduire les émissions et à s'adapter aux impacts climatiques.

Selon le [rapport de l'ONU sur le déficit d'émissions](#) et le [Climate Action Tracker](#), si les réductions de gaz à effet de serre promises sont mises en place, nous pourrions limiter le réchauffement en 2100 de 1,8°C à 2,7°C avec un maximum de 3,6°C dans le pire des cas.



→ Satellites d'observation de la Terre

Les satellites qui observent la Terre depuis l'espace fournissent les éléments essentiels à la compréhension de l'évolution de notre climat. Ils mesurent et surveillent les vastes océans, les terres, l'atmosphère et les zones inhospitalières difficiles à atteindre comme les régions polaires.

Les observations par satellite permettent d'alerter rapidement sur les changements, d'améliorer les prévisions climatiques et de fournir les données concrètes nécessaires à une action climatique internationale efficace.

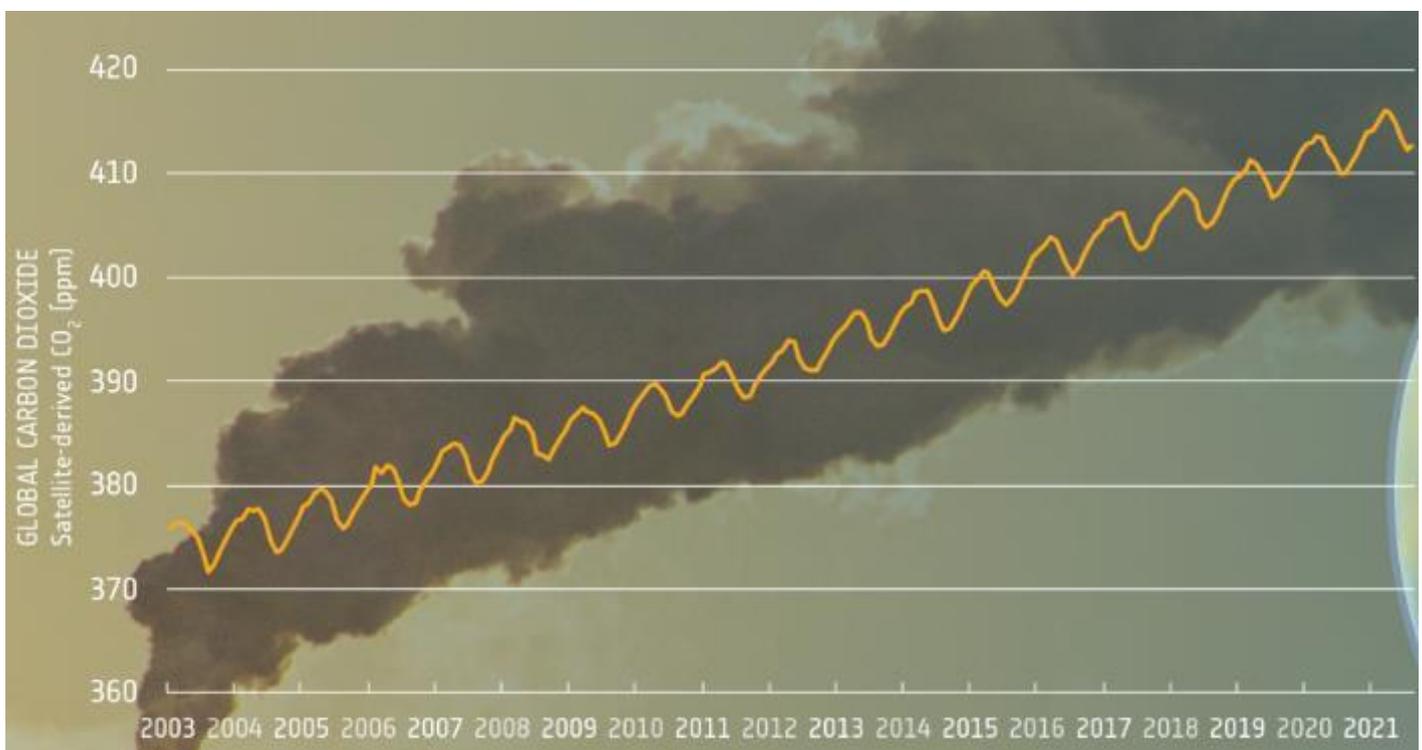
Pour produire des données adaptées à la recherche sur le climat, les informations provenant de plusieurs missions satellitaires doivent être combinées pour produire des ensembles de données couvrant plusieurs décennies.

L'observation de la Terre est le [plus gros budget du programme spatial de l'ESA](#) avec plus de 1,5 milliard d'euros en 2020.

L'initiative de l'ESA sur le changement climatique génère des ensembles de données satellitaires mondiales robustes et à long terme pour plus de 21 composants clés du système terrestre. Les observations provenant des 40 ans d'archives satellitaires de l'ESA ainsi que les Sentinelles Copernicus actuelles contribuent à ces ensembles de données.

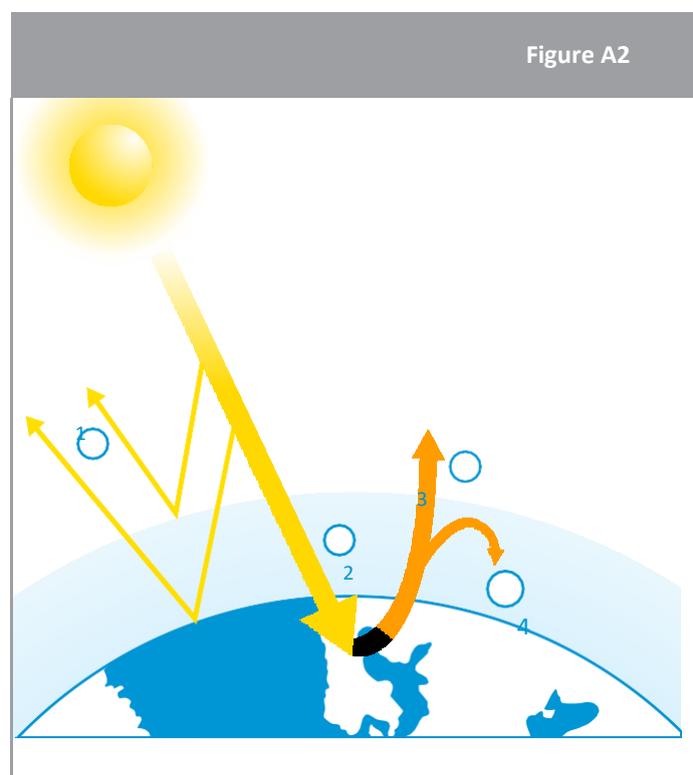
Cet ensemble de preuves offre

- * un critère précis et impartial pour étudier les facteurs climatiques, les rétroactions et les cycles du système terrestre.
- * fournit la base scientifique pour une modélisation robuste du climat.
- * contribuer aux connaissances scientifiques qui sous-tendent les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).



→ Contexte

La plupart de l'énergie émise par le Soleil est une lumière visible et proche de l'infrarouge qui consiste en un rayonnement de courte longueur d'onde. Ce rayonnement passe facilement les particules présentes dans l'atmosphère. Lorsque ce rayonnement à ondes courtes atteint la Terre, une grande partie est transformée en chaleur. La température de la Terre n'augmente pas à l'infini car la surface et l'atmosphère renvoient également de la chaleur vers l'espace. Ce flux net de rayonnement entrant et sortant du système terrestre est appelé le bilan radiatif de la Terre (figure A2). La chaleur est un rayonnement à ondes longues qui, individuellement, contient moins d'énergie que le rayonnement à ondes courtes. Cela signifie qu'il interagit avec l'atmosphère d'une manière différente. La Terre renvoie de la chaleur dans l'atmosphère pendant le jour et la nuit, ce qui contribue à refroidir la surface. Cependant, toute cette chaleur ne s'échappe pas dans l'espace, une partie reste piégée par les gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il en résulte que l'atmosphère de la Terre est plus chaude qu'elle ne le serait sans cet "effet de serre".



↑ Le bilan radiatif de la Terre.

1- Une partie du rayonnement est réfléchi par l'atmosphère, les nuages et la surface de la Terre.

2 - Une partie du rayonnement est absorbée par l'atmosphère, les nuages et la plus grande partie est absorbée par les terres et les océans, réchauffant ainsi la Terre. 3 - Le rayonnement infrarouge est émis par la surface de la Terre. Une partie de ce rayonnement s'échappe vers l'espace.

4 - Une partie est piégée par les gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Si les gaz à effet de serre n'étaient pas présents dans l'atmosphère terrestre, la vie telle que nous la connaissons serait presque impossible, car la température moyenne à la surface de la Terre serait inférieure de 18 degrés Celsius à zéro. Le principal gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère terrestre est la vapeur d'eau. Elle piège la plus grande quantité de chaleur provenant du sol. Cependant, les gaz à effet de serre qui préoccupent le plus les climatologues sont le CO₂ et le méthane (CH₄), car ce sont les principaux gaz à effet de serre émis par les activités humaines et leur concentration dans l'atmosphère augmente depuis le début de la révolution industrielle.

→ Perspective luxembourgeoise

Climat passé et actuel

L'eau renvoie une grande partie de l'énergie solaire dans l'atmosphère, tandis que la terre absorbe une plus grande partie de cette énergie.

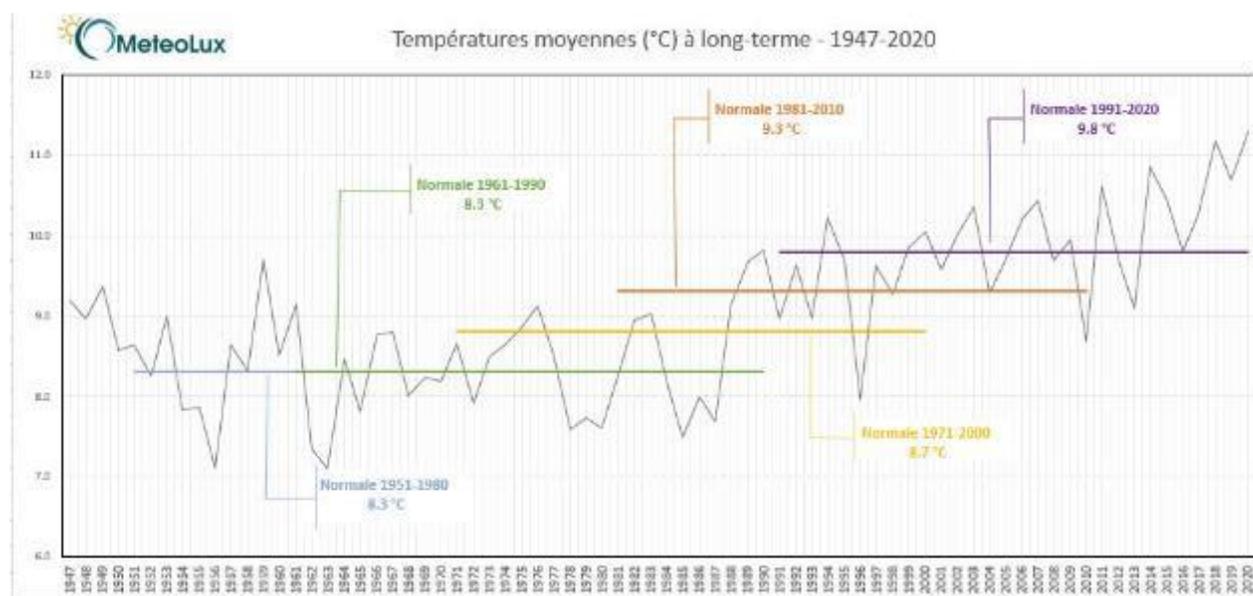
Cela signifie qu'il faut davantage de chaleur ajoutée pour augmenter la température des océans que celle des terres. C'est pourquoi la majeure partie du réchauffement que nous observons aujourd'hui se produit sur les continents plutôt qu'au-dessus de l'océan.

L'effet est encore plus marqué près des pôles, où la hausse des températures a fait fondre de grandes quantités de neige et de glace - des surfaces blanches qui renvoient normalement les rayons du soleil dans l'atmosphère et gardent les zones qu'elles recouvrent au frais.

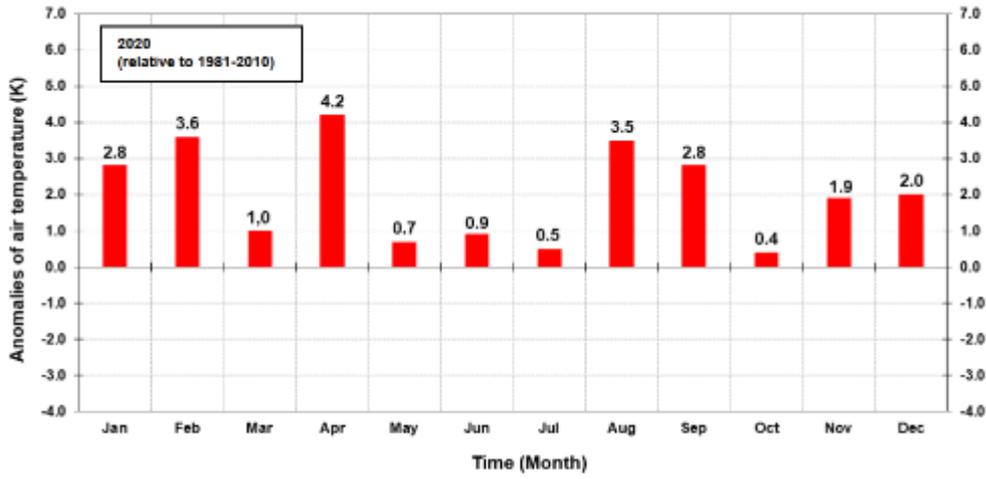
Au Luxembourg, il a été mesuré que le réchauffement local est environ deux fois plus rapide que la moyenne mondiale.

[MeteoLux](#) dispose d'un parc météorologique situé dans l'aéroport du Findel-Luxembourg, avec une station d'observation qui mesure en continu différents paramètres atmosphériques depuis le 1er janvier 1947.

Depuis 1950, la température moyenne a augmenté de +1,5°C au Luxembourg.
Depuis 1850, la température moyenne a augmenté de +2,2°C au Luxembourg.

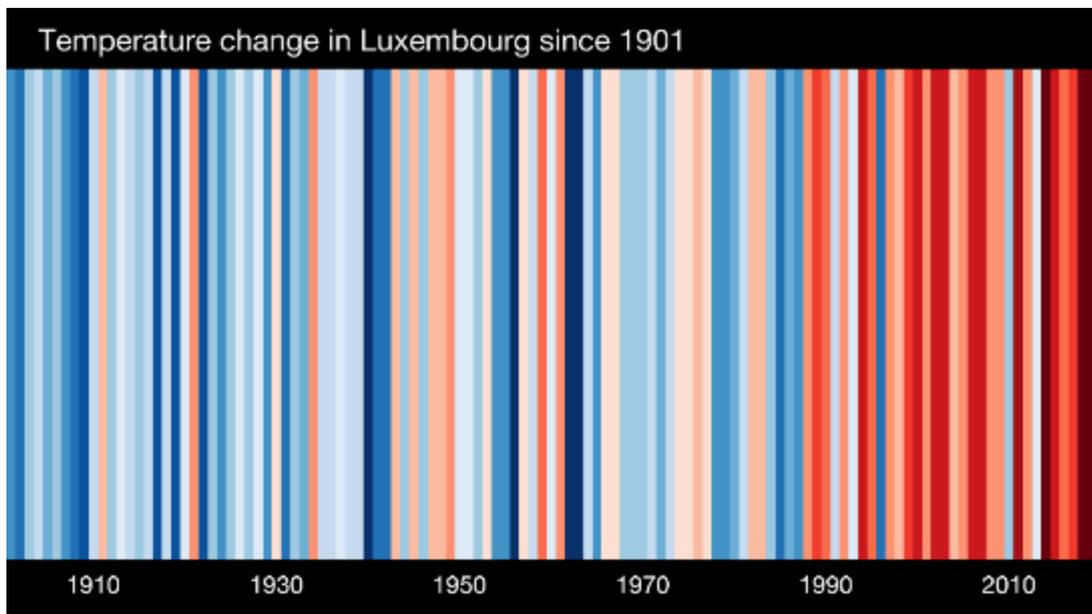


Dans son [rapport sur le climat 2020](#), MeteoLux montre que chaque mois de l'année 2020 a dépassé la température moyenne de 1981-2010.



Le graphique suivant, intitulé "[bandes de réchauffement](#)", est une représentation visuelle de l'évolution de la température mesurée au Luxembourg au cours des 100 dernières années au moins. Chaque bande représente la température moyenne sur une année.

Les bandes passent du bleu au rouge pour les années les plus récentes, ce qui illustre la hausse des températures moyennes et l'accélération du réchauffement au cours des 30 dernières années.



Impact du changement climatique au Luxembourg

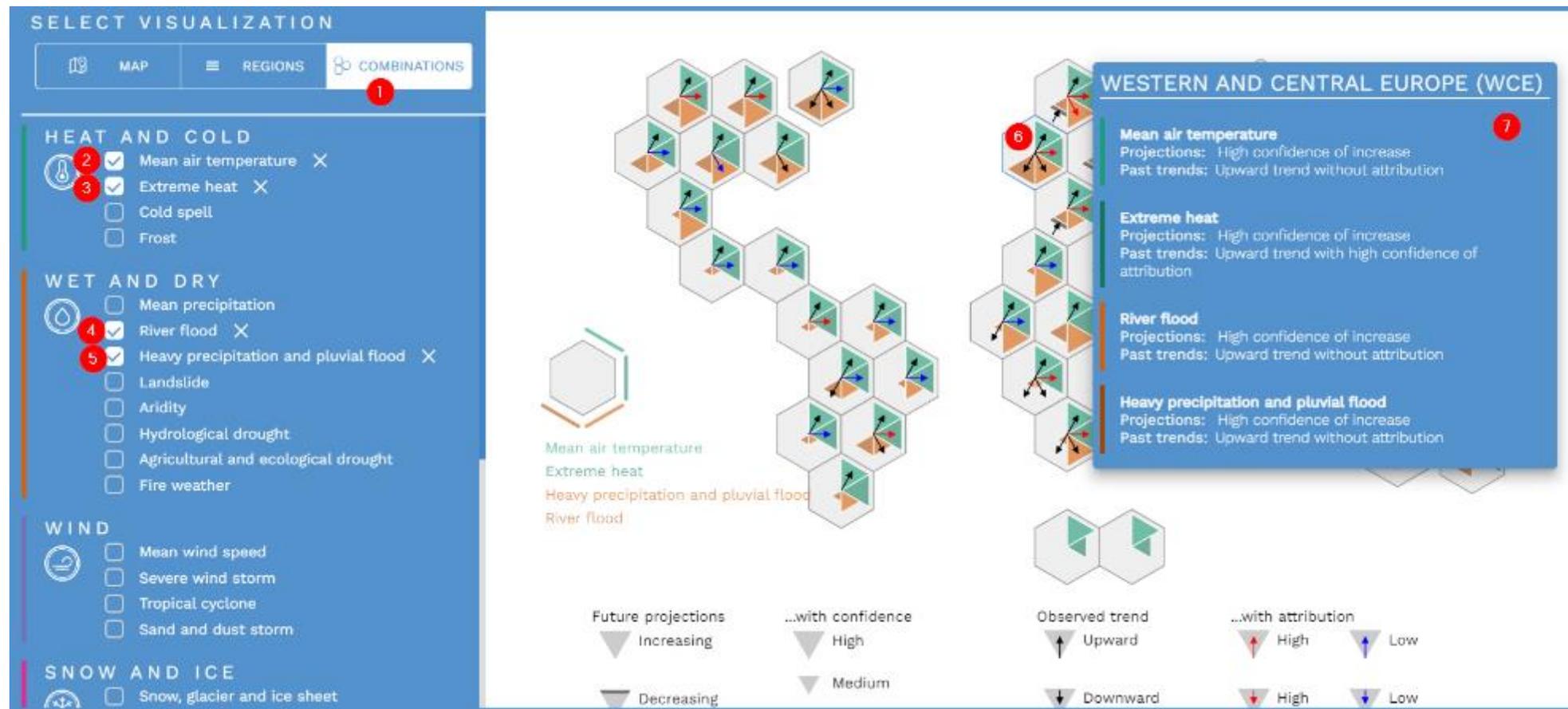
Le GIEC a publié une synthèse régionale de l'Atlas interactif qui explique les changements des facteurs d'impact climatique (FIC) dans plusieurs catégories telles que la chaleur et le froid, l'humidité et la sécheresse, la neige et la glace. Les facteurs d'impact climatique sont définis comme des conditions physiques du système climatique (moyennes, événements, extrêmes, etc.) qui affectent un élément de la société ou des écosystèmes.

Dans cette activité, les élèves utiliseront l'Atlas interactif du GIEC pour se renseigner sur les principaux impacts actuels et futurs du changement climatique au Luxembourg :

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-synthesis>

L'objectif est de sélectionner à gauche les variables pour lesquelles les projections ont une "confiance élevée dans l'augmentation".

Notez que le Luxembourg fait partie de la "région Europe occidentale et centrale (EOC)".



Observations satellitaires du changement climatique au Luxembourg avec EO Browser

EO Browser est un outil en ligne qui permet d'accéder facilement et gratuitement à des images satellites provenant de différentes missions EO. Vous pouvez choisir votre zone d'intérêt et le moment souhaité. Avec l'EO Browser, il n'est pas nécessaire de traiter des données, il fournit des images satellites prêtes à l'emploi et des visualisations préconfigurées. Cela n'a jamais été aussi facile. Jetez un coup d'œil et essayez par vous-même !

Dans cette activité, nous mettrons en pratique nos compétences avec EO Browser à travers des études de cas portant sur :

- L'impact des canicules sur l'écosystème et la façon dont elles modifient l'aspect du paysage.
- L'impact des inondations sur les berges et les infrastructures urbaines

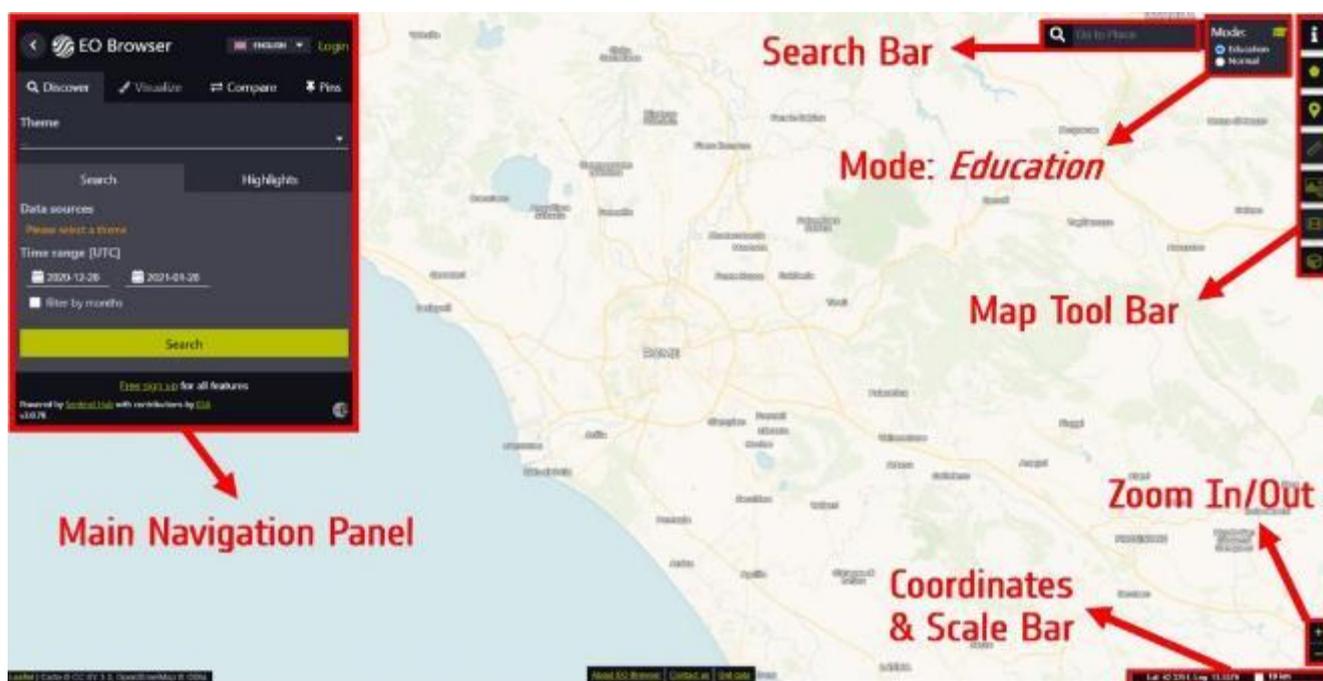
Partie A : Introduction à l'espace de travail du navigateur EO

Activité A1 : Apprendre à connaître le navigateur EO : Présentation de l'éducation

1. Nous allons utiliser EO Browser en **mode éducation** :

<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

2. Dans le coin supérieur droit de votre écran EO Browser, cliquez sur  et choisissez *Mode : Éducation*



Activité A2 : Créer un compte EO Browser (facultatif)

En haut à gauche du panneau de navigation principal, cliquez sur **login**

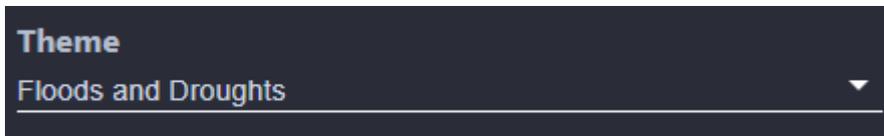


NOTE : Vous pouvez toujours utiliser EO Browser et télécharger des images satellites sans compte. Cependant, pour utiliser certaines des fonctions de la barre d'outils de la carte pour les parties ultérieures du mini-labo (c'est-à-dire la mesure et le timelapse), vous devez être connecté !

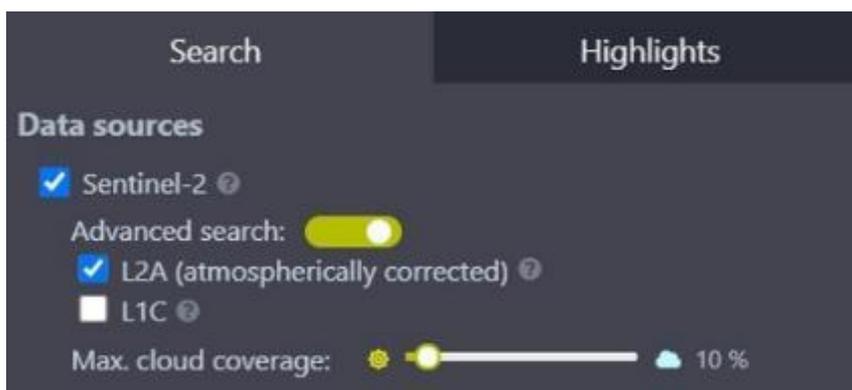
Créez votre propre compte utilisateur EO Browser.

Activité A3 : Comment visualiser les images

1. Dans le coin supérieur droit de votre écran EO Browser, dans la barre de recherche, tapez "Luxembourg".
2. Ensuite, allez dans le panneau de navigation principal et sélectionnez le thème : Détection des changements à travers le temps



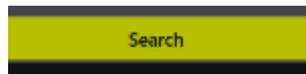
3. Maintenant, nous voulons trouver l'image satellite idéale qui nous montrera une image claire et sans nuages. Pour cela, sous Sources de données du panneau de navigation principal, vous sélectionnerez Sentinel-2 > Recherche avancée > L2A (atmosphériquement corrigé) > Couverture nuageuse maximale (10 %).
4. Maintenant, nous voulons trouver l'image satellite idéale qui nous montrera une image claire et sans nuages. Pour cela, sous Sources de données du panneau de navigation principal, vous sélectionnerez Sentinel-2 > Recherche avancée > L2A (atmosphériquement corrigé) > Couverture nuageuse maximale (10 %).
5. Ensuite, définissez la *plage de temps* de 2018-06-01 - 2018-07-31.



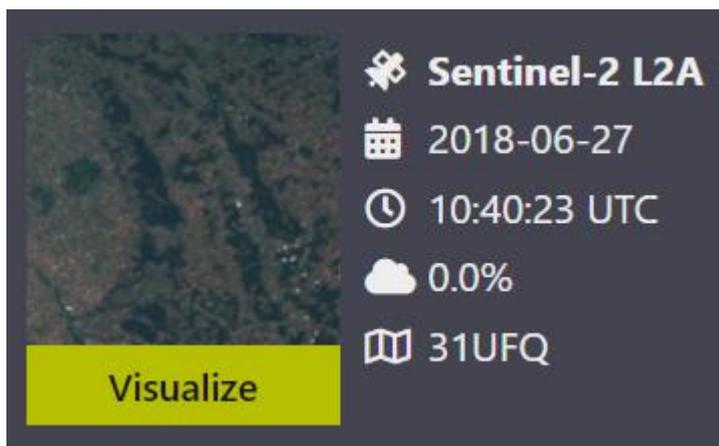
6. Ensuite, veuillez régler la *plage de temps* sur 2017-01-01 - 2017-03-31.



7. Cliquez sur *Rechercher*.

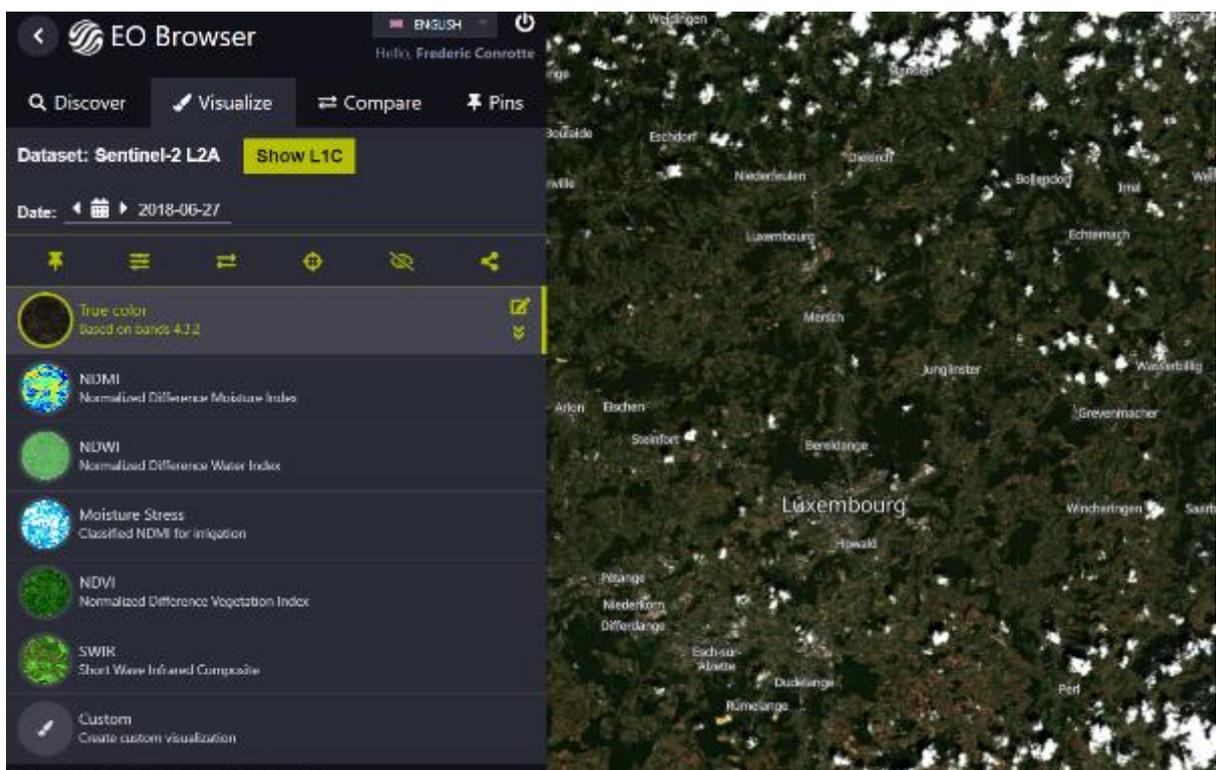


8. Choisissez l'image satellite prise le 2018-06-27



9. Cliquez sur *Visualiser* et attendez quelques instants car le chargement peut prendre un certain temps.

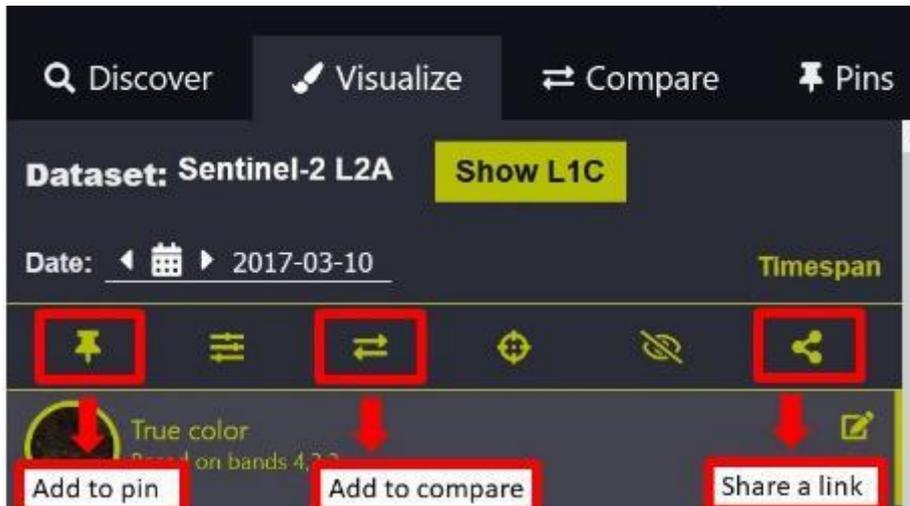
10. Après quelques instants, vous devriez maintenant pouvoir voir une image haute résolution du Luxembourg en couleurs réelles. N'hésitez pas à faire un zoom avant/arrière et à regarder autour de vous !



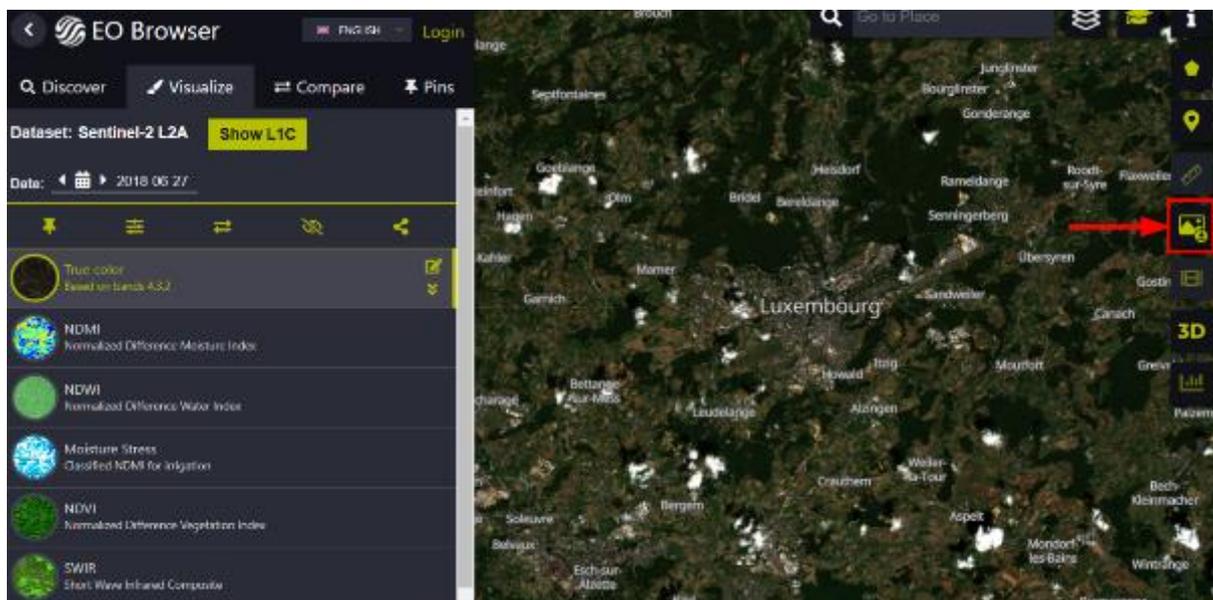
Activité A4 : Comment partager un lien ou télécharger une image ?

1. PARTAGE : Une fois l'image chargée, vous pouvez partager l'image satellite exacte avec la même vue/zoom en cliquant sur le bouton Partager dans le panneau de navigation principal.

Voici le lien exact vers  l'image ci-dessus : <https://sentinelshare.page.link/XFX1>

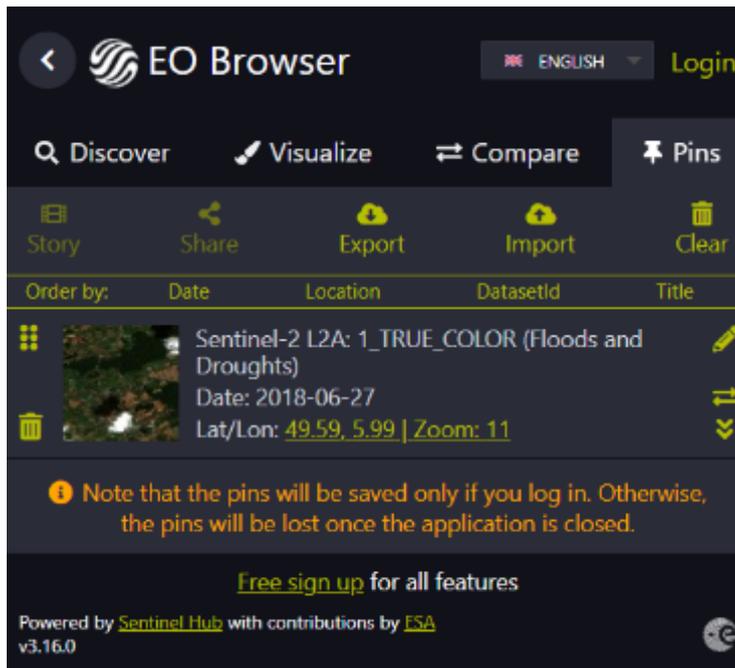


2. TÉLÉCHÈGEMENT : Pour télécharger l'image en format JPG ou PNG, allez dans la barre d'outils de la carte (à droite de votre écran) et cliquez sur Télécharger l'image .



Activité A5 : Comment épingler ou sauvegarder une ou plusieurs images ?

1. Maintenant, nous allons enregistrer notre image afin de pouvoir la visualiser plus tard. Pour cela, nous allons cliquer sur le bouton Ajouter aux épingles dans le panneau de navigation principal. 
2. Pour vérifier si vous l'avez correctement enregistré/épinglé, cliquez sur la section Pins . S'il est correctement épinglé/enregistré, il devrait apparaître comme ci-dessous :



Partie B : Observer la sécheresse à l'aide d'images satellites

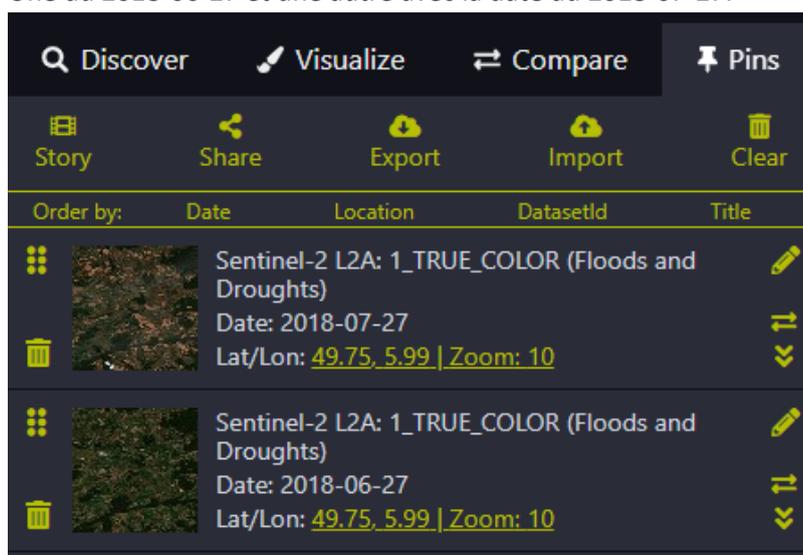
L'humidité du sol est affectée par les sécheresses, et c'est notre objectif dans cet exercice de l'évaluer.

L'été 2018 a été particulièrement sec avec une vague de chaleur dans toute l'Europe ainsi qu'au Luxembourg.

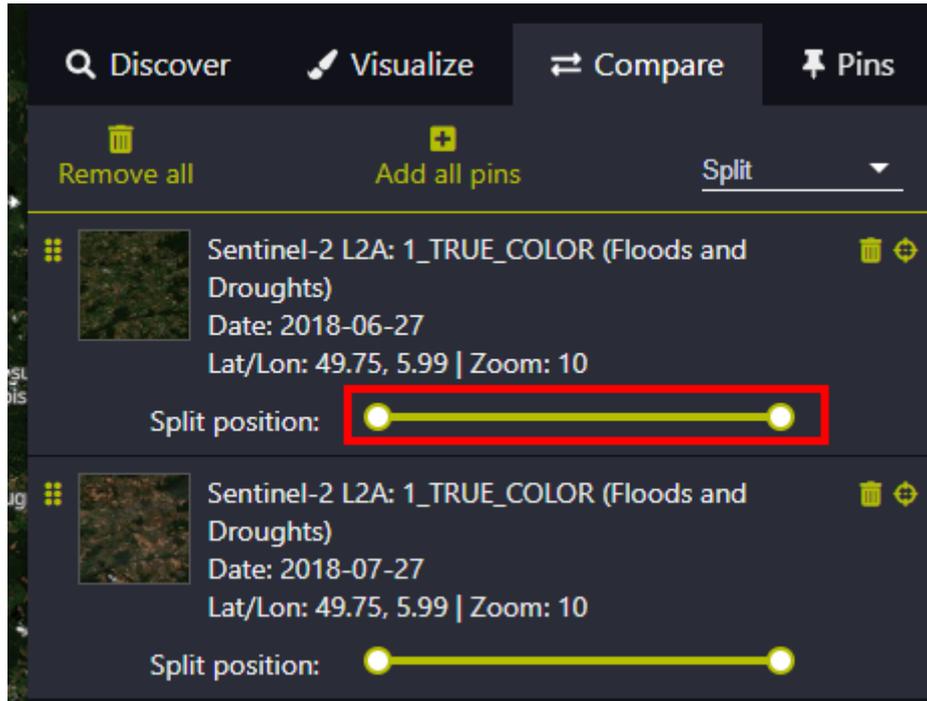
La première vague de chaleur a eu lieu entre le 13 et le 27 juillet (ce qui en fait la cinquième plus longue vague de chaleur de l'histoire) et la seconde du 29 juillet au 7 août : au moins 5 jours avec des températures maximales de 25 °C ou plus, dont 3 jours de 30 °C ou plus.

Activité B1 : Comparez des images satellites de sécheresse côte à côte en True Color.

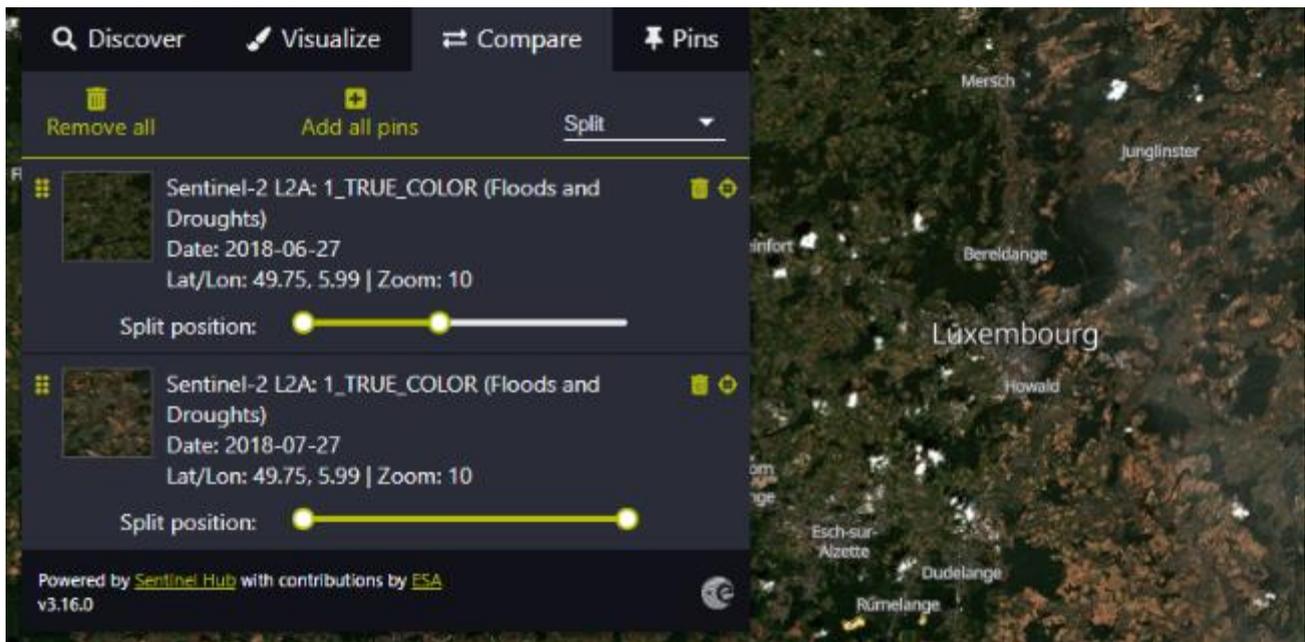
1. En plus de l'image épinglée dans l'activité A5, nous devons trouver une deuxième image satellite de sécheresse.
2. Répétez l'activité A3 pour rechercher une image de juillet 2018.
3. Choisissez l'image 2018-07-27, cliquez sur visualiser.
4. Épinglez votre deuxième image satellite dans votre section Épingles. Vous devriez maintenant avoir 2 images satellites épinglées. Une du 2018-06-27 et une autre avec la date du 2018-07-27.



5. Cliquez maintenant sur le bouton de comparaison sur le site de droite . Cliquez sur le bouton de comparaison pour chaque image que vous voulez choisir pour votre comparaison. Choisissez les deux images. Vous pouvez vérifier le nombre d'images choisies à côté du champ "Comparer".
6. Allez maintenant dans la section Comparaison et ajustez la barre à bascule "Position de fractionnement" pour comparer vos deux images côte à côte.
7. Analysez les différences entre l'image portant la date du 2018-06-27 et celle du 2018-07-27 à l'aide du curseur.



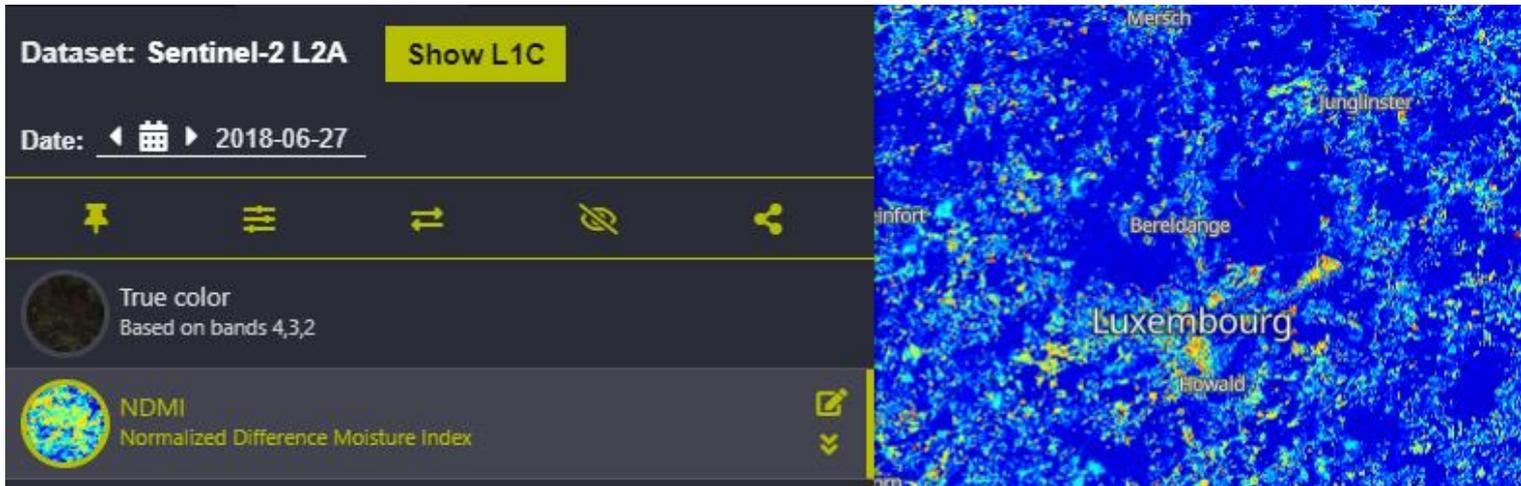
Vous verrez que le sol est beaucoup plus sec sur l'image de juillet.



Activité B5 : Comparez les images satellites de sécheresse côte à côte à l'aide de NDMI.

Comparer des images en utilisant la couleur réelle est intéressant mais ce n'est pas assez précis pour mesurer l'ampleur de la sécheresse.

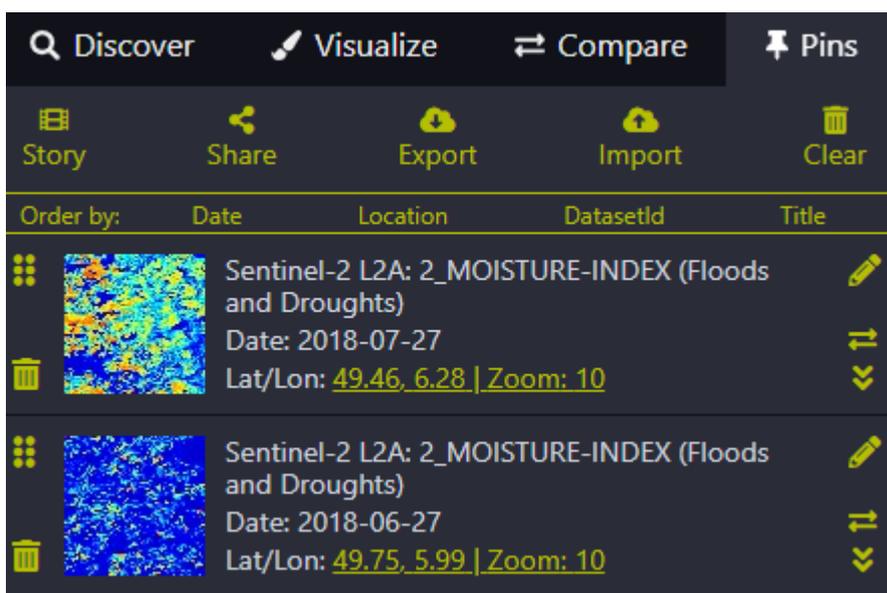
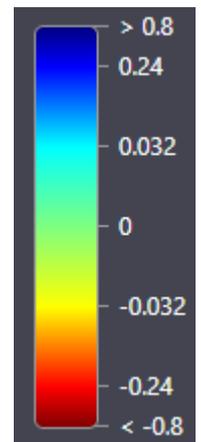
Dans cet exercice, vous observerez l'image satellite mais cette fois, en sélectionnant NDMI dans l'onglet "Visualiser", juste avant d'épingler l'image.



NDMI

L'indice d'humidité par différence normalisée (NDMI) utilise des images visibles et proches de l'infrarouge pour déterminer la teneur en eau de la végétation et surveiller les sécheresses. La plage de valeurs du NDMI va de -1 à 1.

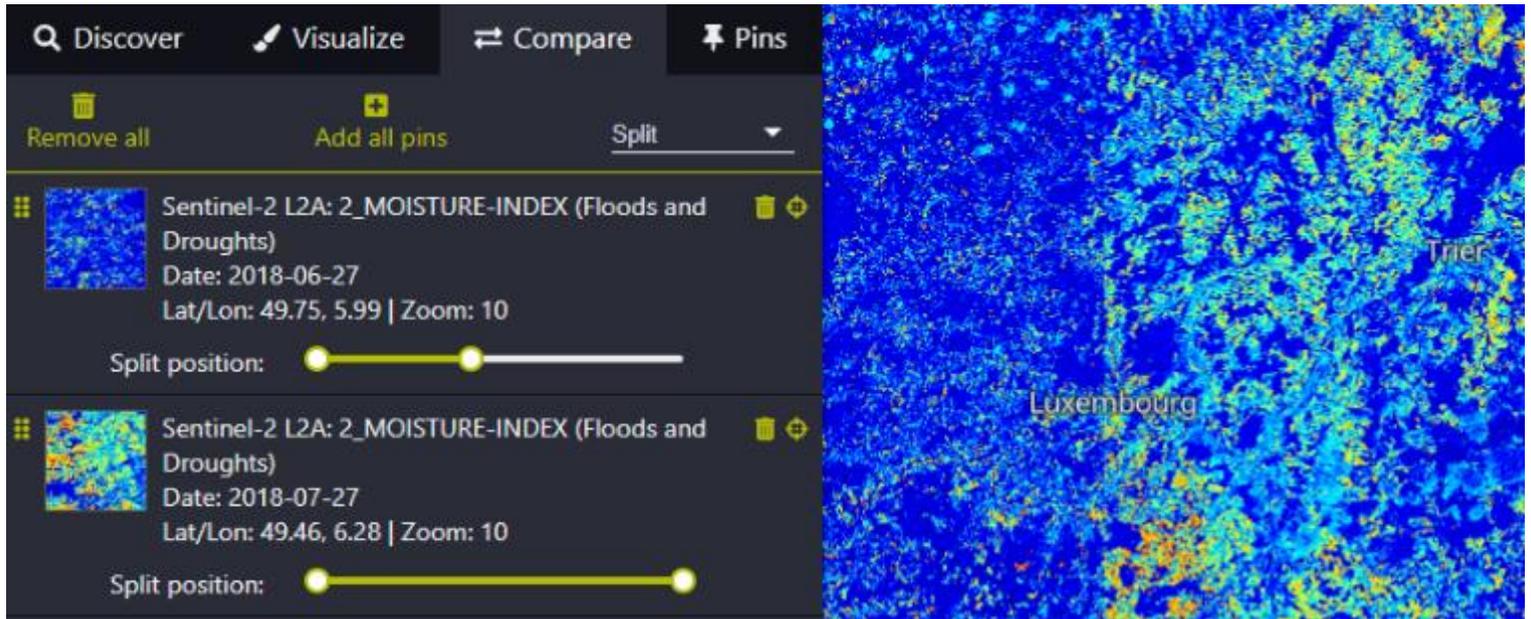
Les valeurs négatives du NDMI (valeurs proches de -1) correspondent à un sol stérile.
Les valeurs autour de zéro (-0,2 à 0,4) correspondent généralement à un stress hydrique.
Les valeurs élevées et positives correspondent à un couvert végétal élevé sans stress hydrique



(environ 0,4 à 1).

Vous devriez alors avoir les images épinglées comme ceci

Cette comparaison fournit de meilleurs détails et une meilleure granularité de la sécheresse.



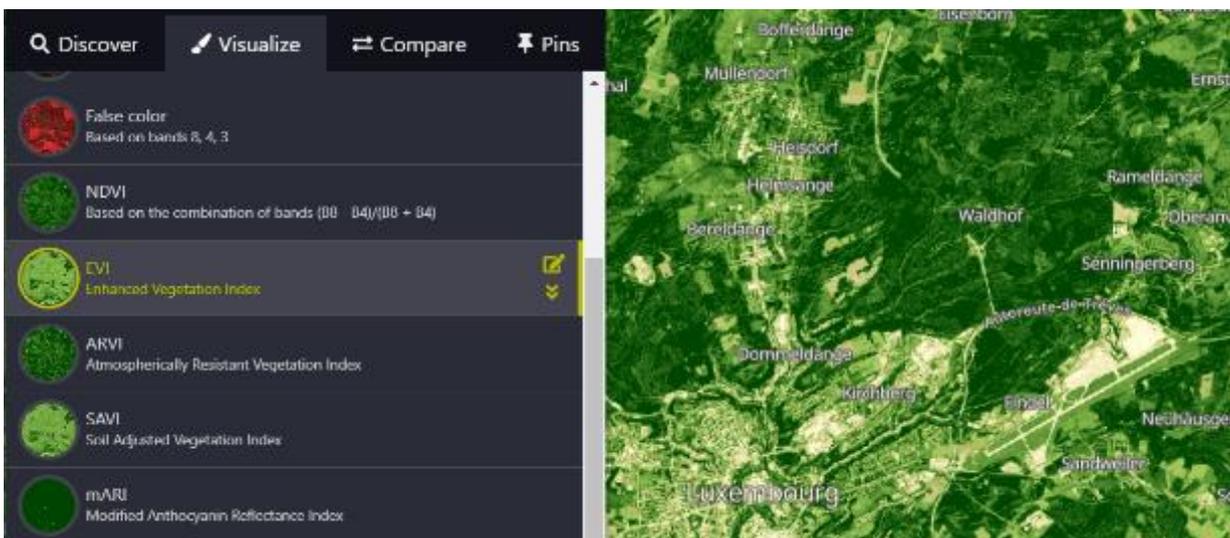
Activité B6 : Comparer l'impact de la sécheresse sur la forêt en utilisant l'EVI

Grâce aux données de MeteoLux, nous savons que juillet 2017 a connu un record de précipitations au Luxembourg, tandis que juillet 2020 a connu l'une des sécheresses les plus sévères de l'histoire.

La plus grande zone forestière continue du Luxembourg est la forêt située au nord-est du Luxembourg, près de l'aéroport du Findel.



Dans cet exercice, vous devez répéter les activités B1 à B4 en utilisant la même image satellite mais cette fois, en sélectionnant l'indice EVI dans l'onglet "Visualiser", juste avant d'épingler l'image.



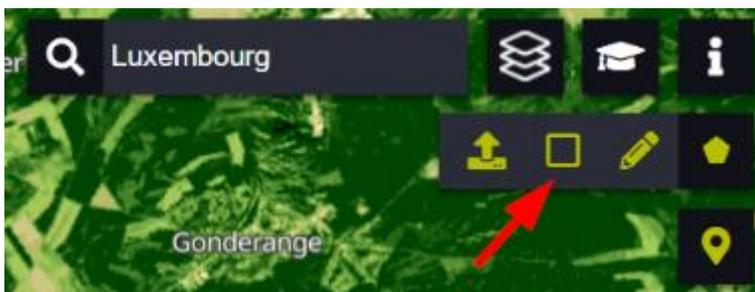
EVI

L'indice de végétation amélioré (EVI) est un indice de végétation "optimisé" car il corrige les signaux de fond du sol et les influences atmosphériques. Il est très utile dans les zones de couverture forestière dense. La plage de valeurs de

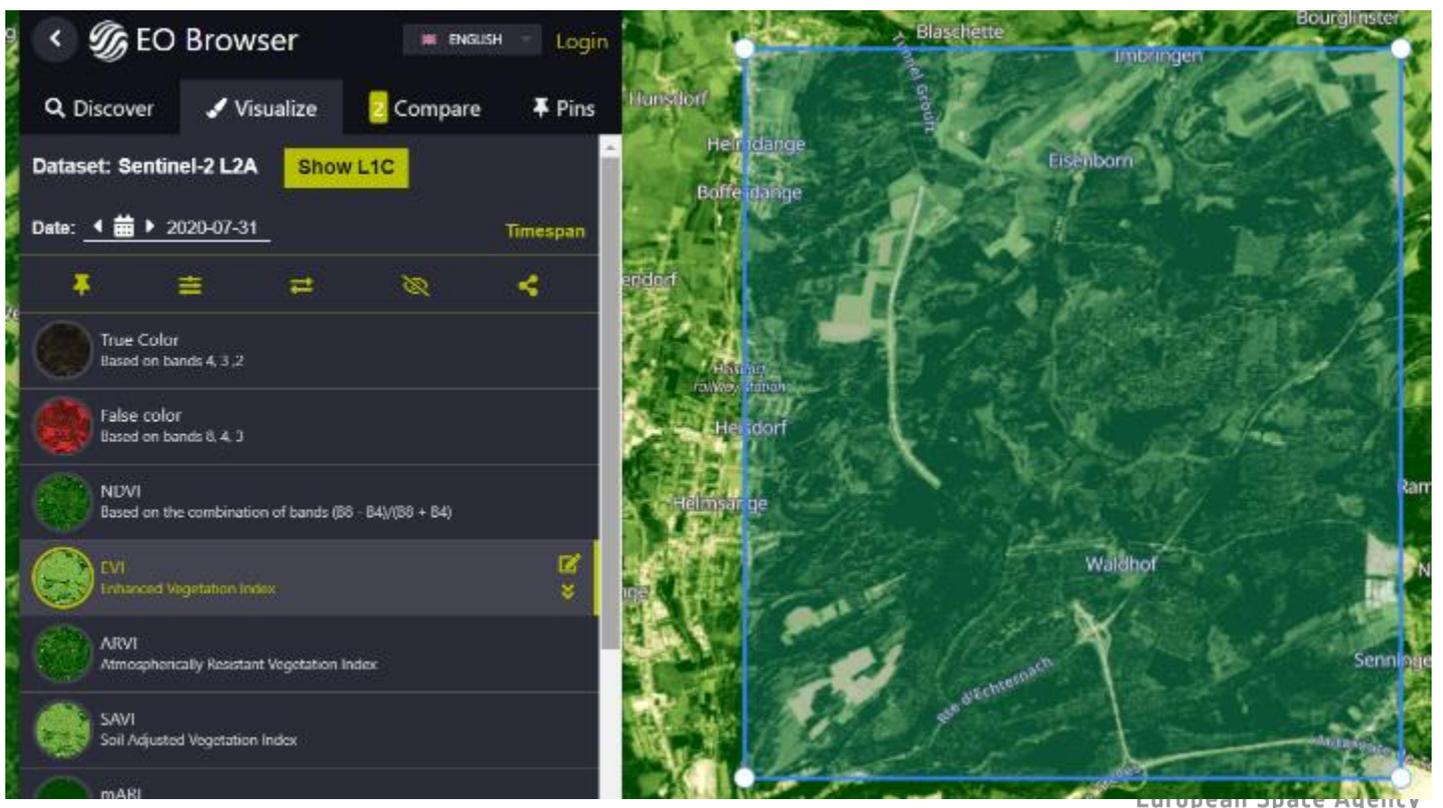
l'EVI va de -1 à 1, la végétation saine se situant généralement entre 0,20 et 0,80.
 Vous devez épingler 2 images satellites de cette zone. Une du 2017-07-31 et une autre avec la date du 2020-07-31.

Discover		Visualize	2 Compare	Pins
Story	Share	Export	Import	Clear
Order by:	Date	Location	DatasetId	Title
		Sentinel-2 L2A: 4_EVI (Vegetation and Forestry)		
	Date: 2017-08-06	Lat/Lon: 49.66, 6.16 Zoom: 13		
		Sentinel-2 L2A: 4_EVI (Vegetation and Forestry)		
	Date: 2020-07-31	Lat/Lon: 49.66, 6.16 Zoom: 13		

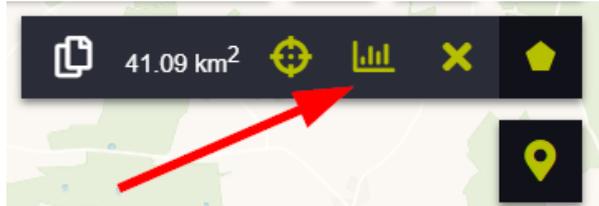
Ensuite, cliquez sur la première image et dessinez un rectangle autour de la forêt en utilisant l'outil "rectangle" sur la droite



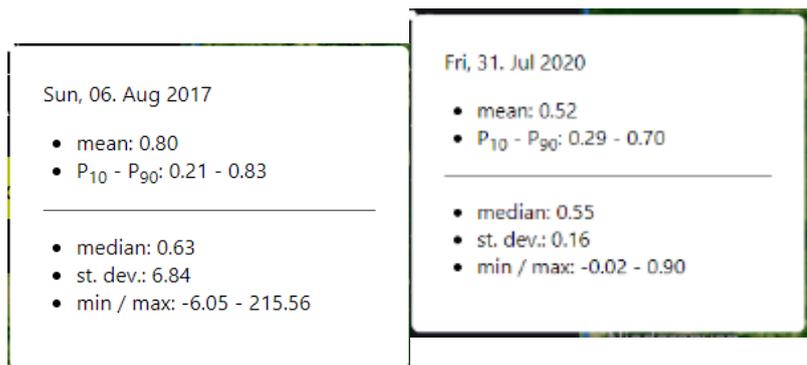
Vous devriez obtenir une configuration comme l'image suivante :



En haut à droite, cliquez sur le bouton "Statistiques" pour obtenir les valeurs moyennes de l'indice EVI sur cette zone.



Vous pouvez alors constater que la valeur moyenne de l'EVI à la fin du mois de juillet 2020 est inférieure à celle de la fin du



mois de juillet 2017, ce qui indique une forêt souffrant de la sécheresse.

Cet effet est visible puisque cette zone est proche de la ville principale de Luxembourg où la température est encore plus élevée que la moyenne en raison du phénomène des îlots de chaleur urbains.

Les îlots de chaleur

urbains sont des zones urbaines nettement plus chaudes que les zones rurales environnantes en raison des activités humaines et de l'artificialisation des surfaces terrestres. Le béton, par exemple, peut retenir environ 2 000 fois plus de chaleur qu'un volume d'air équivalent.

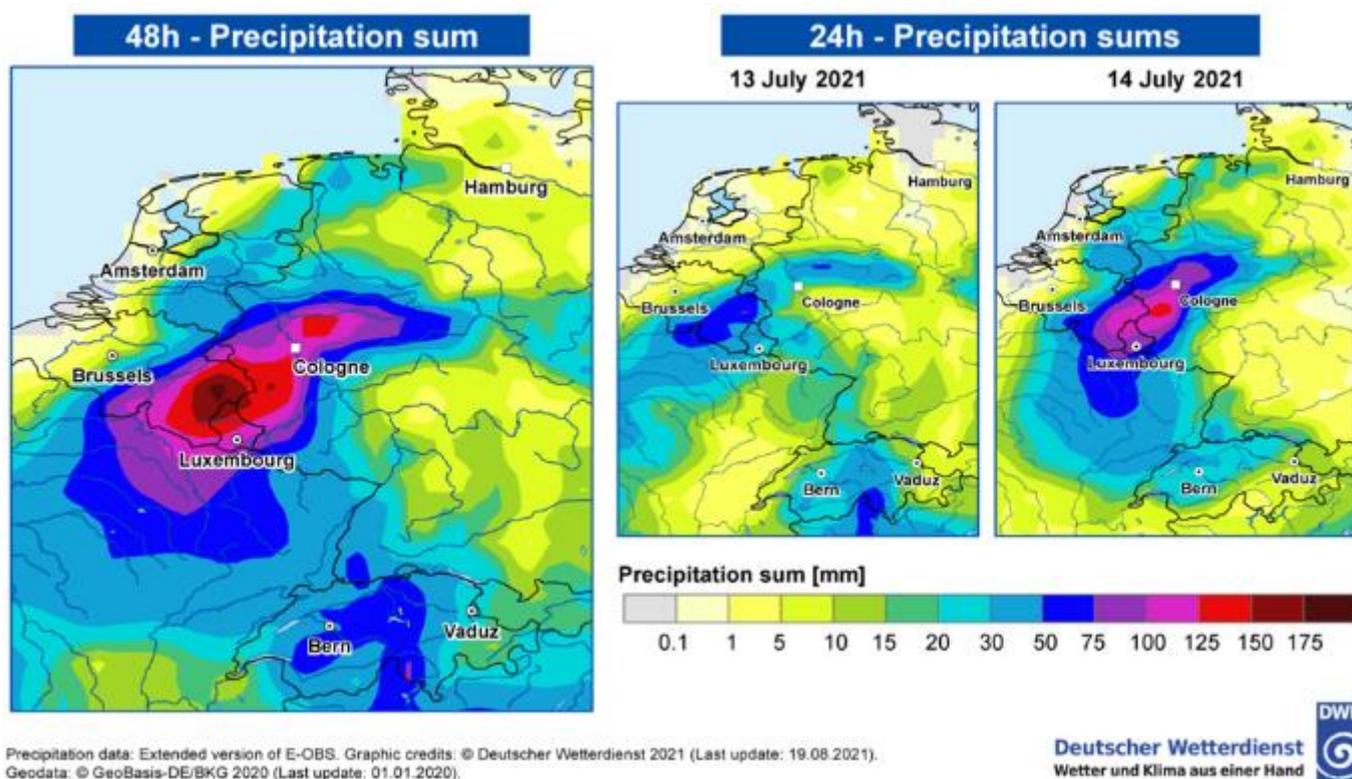
Partie C : Observer les inondations à l'aide d'images satellites

Du 12 au 15 juillet 2021, de fortes précipitations associées à un système dépressionnaire coupé ont entraîné de graves inondations en Allemagne, au Luxembourg, en Belgique et aux Pays-Bas.

Les inondations ont fait au moins 184 morts en Allemagne et 38 en Belgique et causé des dommages considérables aux infrastructures, notamment aux habitations, aux autoroutes, aux lignes ferroviaires, aux ponts et aux principales sources de revenus. La fermeture des routes a rendu certains endroits inaccessibles pendant plusieurs jours, coupant certains villages des voies d'évacuation et des interventions d'urgence.

Au Luxembourg, Echternach a été particulièrement [touchée](#).

Le changement climatique induit par l'homme a augmenté la probabilité et l'intensité de la survenue d'un tel événement et ces changements se poursuivront dans un climat qui se réchauffe rapidement.



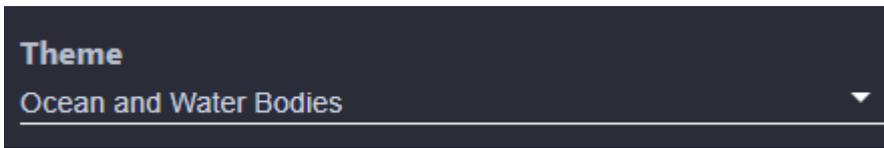
Un capteur satellite peut prendre des images de la Terre dans différentes bandes. Une bande est une région du spectre électromagnétique.

Une **image en fausses couleurs** utilisant les bandes proche infrarouge, rouge et verte est couramment utilisée pour évaluer la densité et la santé des plantes, puisque les plantes réfléchissent la lumière proche infrarouge et verte, alors qu'elles absorbent le rouge.

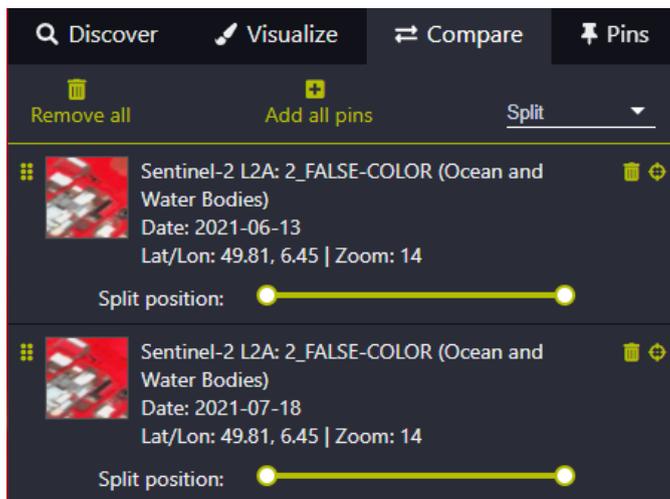
Les villes et les terrains exposés sont gris ou havane, et l'eau apparaît bleue ou noire.

Activité C1 : Comparez les images satellites d'inondations côte à côte en fausses couleurs.

1. Sélectionnez le thème "Océan et masses d'eau" dans l'onglet "Découvrir".



2. Toujours avec le satellite 2 et une couverture nuageuse inférieure à 10%, recherchez des images autour d'Echternach de début juin à fin juillet 2021.
3. Épinglez les images du 2021-06-13 et du 2021-07-18 en fausse couleur et ajoutez-les à l'onglet Comparaison.



4. Comparez les 2 images : avant et après 3 jours après l'inondation



→ Liens

Ressources de l'ASE

Ressources pour la salle de classe de l'ESA Education sur le changement climatique
esa.int/Education/Climate_detectives/Classroom_resources_for_Climate_Detectives

Kit "Changement climatique depuis l'espace" qui résume des décennies d'observations de la Terre :
esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/CLIMATE_KIT.pdf

Application mobile de l'ESA "Le climat depuis l'espace"
esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Climate_at_your_fingertips

Vidéos de l'ESA sur le changement climatique
[esa.int/ESA_Multimedia/Keywords/Description/Climate_Change/\(result_type\)/videos](https://esa.int/ESA_Multimedia/Keywords/Description/Climate_Change/(result_type)/videos)

Projets spatiaux de l'ESA

Initiative de l'ESA sur le changement climatique (CCI)
<http://cci.esa.int>

Gaz à effet de serre de l'ESA CCI
<http://www.esa-ghg-cci.org>

Satellites d'observation de la Terre de l'ESA
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions