

Primaire

8–11



climate change initiative

## Dossier de ressources pédagogiques

### L'OZONE EST-IL BON OU MAUVAIS ?

Découverte du trou de la couche d'ozone en Antarctique

Guide du professeur et fiches d'activité de l'élève

Traduction et adaptation par le CNES, ESERO France et le SCO



Présentation	page 3
Synthèse des activités	page 4
Climate from Space	page 6
L'ozone dans l'atmosphère : informations générales	page 7
Activité 1 : POURQUOI L'OZONE EST-IL IMPORTANT ?	page 9
Activité 2 : MA CRÈME SOLAIRE EST-ELLE EFFICACE ?	page 11
Activité 3 : LE TROU DE LA COUCHE D'OZONE	page 15
Fiche d'activité n° 1 de l'élève	page 17
Fiche d'activité n° 2 de l'élève	page 18
Fiche d'activité n° 3 de l'élève	page 20
Fiche d'information n° 1	page 21
Fiche d'information n° 3	page 22
Liens	page 23
Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?	page 24

Dossier de ressources pédagogiques Climate Change Initiative

L'OZONE EST-IL UNE BONNE OU UNE MAUVAISE CHOSE ?

<https://climate.esa.int/en/educate/>

Concepts d'activités développés par l'université de Twente (Pays-Bas) et par le National Centre for Earth Observation (Royaume-Uni)

Le Bureau du climat de l'ESA apprécie les retours et commentaires

<https://climate.esa.int/helpdesk/>

Produit par le Bureau du climat de l'ESA

Copyright © Agence spatiale européenne 2020

Traduction et adaptation par le CNES, ESERO France et SCO France en 2021



# L'OZONE EST-IL BON OU MAUVAIS ? Présentation

## Découverte du trou de la couche d'ozone en Antarctique

### En bref

**Thèmes :** géographie, sciences, sciences de la Terre

**Tranche d'âge :** 8 à 11 ans

**Type :** activités de lecture et pratiques

**Difficulté :** facile à moyenne

**Temps requis par la leçon :** 3 heures

**Coût :** bas (5 à 20 euros)

**Lieu :** en intérieur/en extérieur

**Implique l'utilisation de :** crème solaire, perles sensibles aux UV, Internet

**Mots-clés :** ozone, trou de la couche d'ozone, lumière ultraviolette (UV), gaz à effet de serre, polluant, expérience, satellite

### Aperçu

Avec cet ensemble d'activités, les élèves découvrent l'ozone et ses impacts bons ou mauvais sur la vie sur Terre.

La première activité donne un aperçu de ces effets, souligne comment l'ozone est mesuré et présente l'histoire du trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique.

Une activité pratique étudie l'efficacité de la crème solaire.

Pour la dernière activité, les élèves utilisent de vraies données satellite pour étudier comment la concentration en ozone a varié à travers le monde au cours des dernières décennies.

### Résultats d'apprentissage attendus

#### **Au terme de ces activités, les élèves seront capables de :**

Résumer les effets de l'ozone dans différentes parties de l'atmosphère sur la vie sur Terre ;

Expliquer l'histoire du trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, ainsi que le rôle de l'observation par satellite dans la surveillance de sa régénération ;

Établir un lien entre les composantes d'un modèle expérimental et la situation qu'il représente dans le monde réel ; évaluer l'efficacité d'une méthode expérimentale ;

Réaliser une activité pratique en suivant des instructions et en consignat systématiquement les résultats obtenus ;

Utiliser l'application Web Climate from Space pour étudier l'évolution des concentrations en ozone dans le monde ;

Sélectionner des informations clés dans un éventail de sources pour présenter une synthèse concise de leurs recherches individuelles.

## Synthèse des activités

	Titre	Description	Résultat	Apprentissage préalable	Durée
1	Pourquoi l'ozone est-il important ?	Exercice de compréhension basé sur une histoire établissant un lien entre la mesure de l'ozone et le monde réel	Résumer les effets de l'ozone dans différentes parties de l'atmosphère sur la vie sur Terre. Expliquer l'histoire du trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, ainsi que le rôle de l'observation par satellite dans la surveillance de la régénération de la couche d'ozone.	Aucun	30 à 60 minutes
2	Ma crème solaire est-elle efficace ?	Activité pratique utilisant des perles sensibles aux UV pour étudier l'effet protecteur de différents types de crème solaire	Établir un lien entre les composantes d'un modèle expérimental et la situation qu'il représente dans le monde réel. Évaluer l'efficacité d'une méthode expérimentale. Réaliser une activité pratique en suivant des instructions et en consignait systématiquement les résultats obtenus.	Aucun	60 à 90 minutes
3	Le trou de la couche d'ozone	Activité de recherche à l'aide de l'application web Climate from Space	Utiliser l'application Web Climate from Space pour étudier l'évolution des concentrations en ozone dans le monde. Sélectionner des informations clés dans un éventail de sources pour présenter une synthèse concise de leurs recherches individuelles.	Une introduction au thème, par ex. l'activité 1	30 à 60 minutes + recherches (apprentissage à la maison) et retours

Les durées indiquées couvrent les principaux exercices, en supposant un accès total aux outils informatiques et/ou une répartition des calculs répétitifs et des graphiques entre les élèves de la classe. Elles englobent le partage des résultats mais pas la présentation des conclusions, car celle-ci peut varier en fonction de la taille de la classe et des groupes. Les approches alternatives peuvent prendre plus de temps.

## Remarques d'ordre pratique pour les professeurs

Le **matériel nécessaire** pour chaque activité est précisé au début de la section correspondante, avec des remarques relatives à toute préparation requise autre que la photocopie des fiches d'activité et des fiches d'information.

Les **fiches d'activité** sont conçues pour un usage unique et peuvent être photocopiées en noir et blanc.

Les **fiches d'information** peuvent contenir des images plus grandes que vous pouvez insérer dans vos présentations en classe, des informations supplémentaires pour les élèves ou des données sur lesquelles ils peuvent travailler.

Ces ressources ont un meilleur rendu si elles sont imprimées ou photocopiées en couleur, mais elles peuvent être réutilisées.

Les **feuilles de calcul, jeux de données ou documents supplémentaires** requis pour l'activité peuvent être téléchargés en suivant les liens vers ce dossier depuis le site <https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Des idées et suggestions complémentaires à des fins de différenciation sont incluses en des points stratégiques de la description de chaque activité.

Les réponses des fiches d'activité et les résultats des activités pratiques sont inclus pour faciliter l'évaluation. Les occasions d'utiliser des critères locaux pour évaluer les compétences de base, comme la communication ou le traitement des données, sont indiquées dans la partie concernée de la description de l'activité.

### Hygiène et sécurité

Pour toutes les activités, nous avons supposé que vous continuerez d'appliquer vos procédures habituelles relatives à l'utilisation des équipements communs (y compris les appareils électriques, comme des ordinateurs), aux déplacements dans l'environnement d'apprentissage, aux chutes et aux débordements, aux premiers secours, etc. La nécessité de ces procédures est universelle mais leur mise en œuvre varie considérablement, de sorte que nous ne les avons pas détaillées à chaque fois. En revanche, nous avons souligné les dangers propres à chaque activité pratique afin de vous informer de l'évaluation des risques.

Certaines de ces activités utilisent l'application Web Climate from Space. Il est possible d'accéder, depuis cette ressource, à d'autres parties du site Web Climate Change Initiative de l'ESA, et donc vers des sites Web externes. Si vous ne pouvez pas ou ne souhaitez pas limiter les pages que les élèves peuvent consulter, rappelez-leur vos règles locales en matière de sécurité sur Internet.

## Climate from Space

Les satellites de l'ESA jouent un rôle important dans la surveillance du changement climatique. Climate from Space ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)) est une ressource en ligne qui utilise des histoires illustrées pour synthétiser certains des changements subis par notre planète et mettre en lumière le travail des scientifiques de l'ESA.

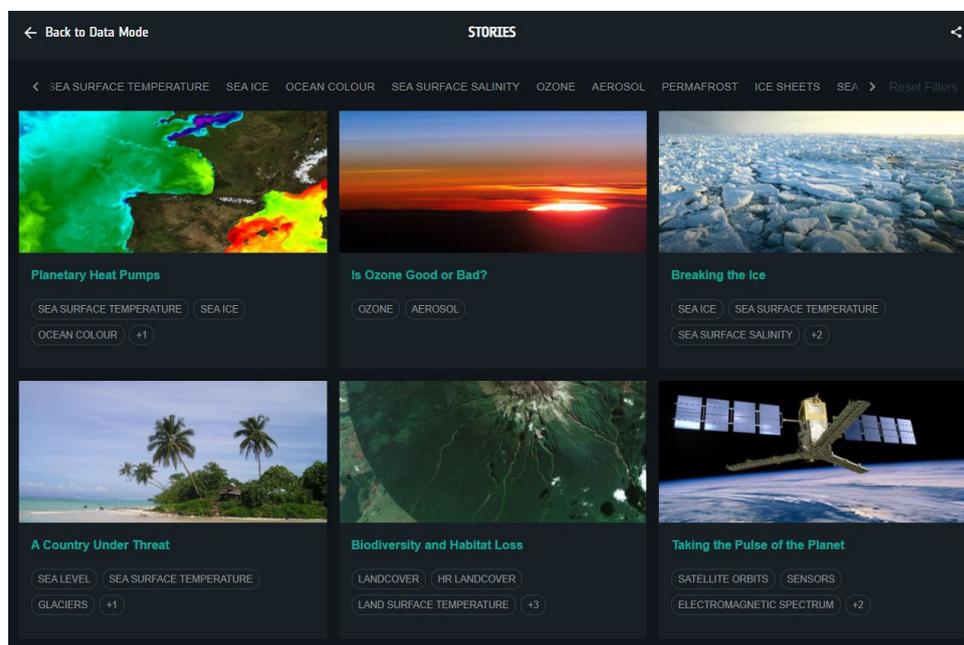


Figure 1 : Histoires de Climate from Space (source : ESA CC)

Le programme Climate Change Initiative de l'ESA produit des enregistrements globaux fiables de certains des aspects clés du climat appelés variables climatiques essentielles (VCE). L'application Web Climate from Space vous permet d'en apprendre plus sur les impacts du changement climatique en explorant ces données par vous-même.

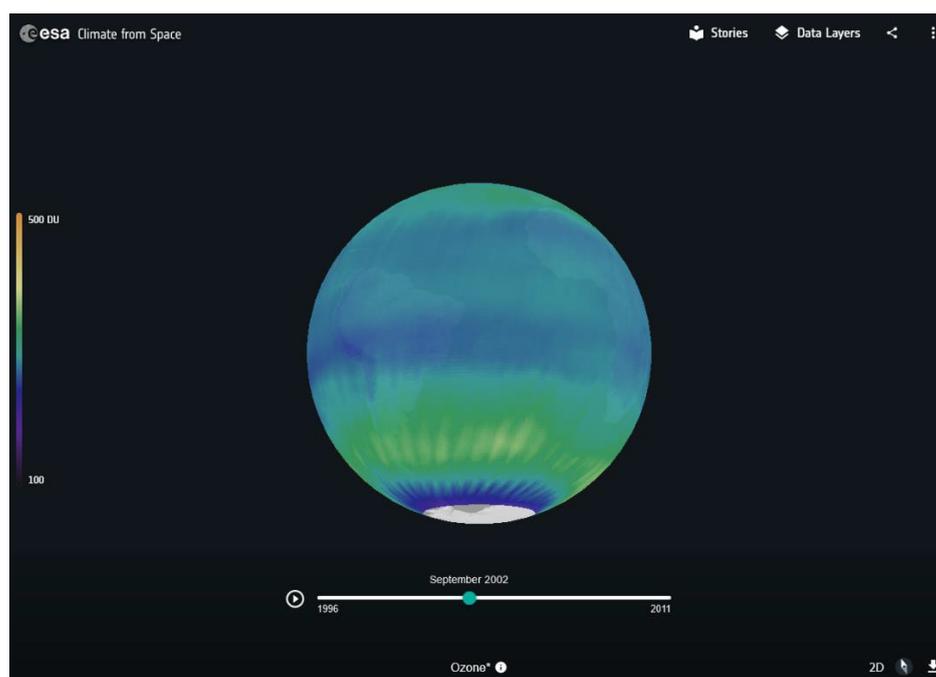


Figure 2 : Étude des niveaux d'ozone dans l'application Web Climate from Space (source : ESA CC)

## L'ozone dans l'atmosphère : informations générales

### Gaz à effet de serre

La lumière du Soleil traverse notre atmosphère et réchauffe la Terre. La Terre, à son tour, dégage de la chaleur dans l'espace.

Les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère laissent passer la lumière du Soleil mais retiennent la chaleur produite, réduisant ainsi l'effet de refroidissement (Figure 3). L'ozone, qui est une forme d'oxygène ( $O_3$ ), est l'un de ces gaz à effet de serre.

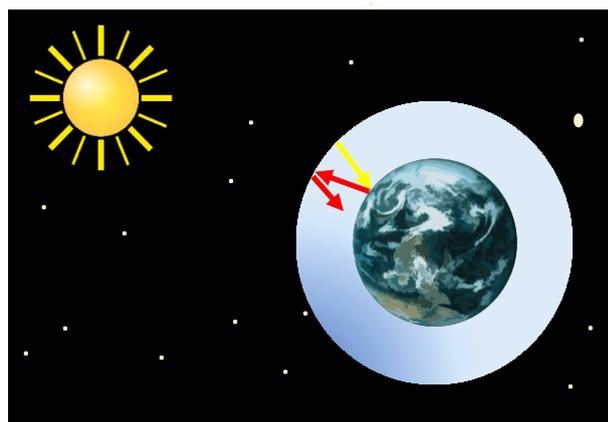


Figure 3 : L'effet de serre  
(source : Suhyb Salama, université de Twente)

### Ozone et rayonnement ultraviolet

Invisible à l'œil nu, le rayonnement ultraviolet (UV) du Soleil provoque des brûlures et des lésions cutanées. Il se divise en UVA (énergie basse), UVB (énergie moyenne) et UVC (énergie UV la plus élevée). L'ozone en altitude dans l'atmosphère (20–50 km) absorbe tout le rayonnement UVC mais laisse passer une partie des UVA et UVB.

Les UVA génèrent de l'ozone par division des molécules d'oxygène ( $O_2$ ) en atomes individuels, qui réagissent rapidement avec d'autres molécules d'oxygène pour former de l'ozone ( $O_3$ ). Les UVB détruisent l'ozone en le divisant en molécules d'oxygène et atomes individuels, qui s'associent pour former d'autres molécules d'oxygène (Figure 4).

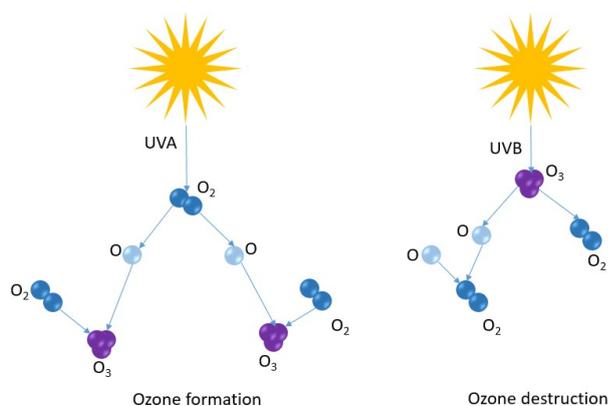


Figure 4 : Création et destruction naturelles de l'ozone  
(source : Suhyb Salama, université de Twente)

Généralement, ces deux processus s'équilibrent mais d'autres produits chimiques, comme ceux émis par la combustion des carburants fossiles, peuvent affecter la rapidité de création et de destruction de l'ozone. Cela entraîne une réduction de la quantité d'ozone en altitude dans l'atmosphère et se traduit par une concentration supérieure en ozone près de la surface (Figure 5). L'ozone au niveau du sol peut entraîner des difficultés respiratoires et même des lésions pulmonaires, en particulier pour les personnes souffrant déjà de pathologies comme l'asthme.

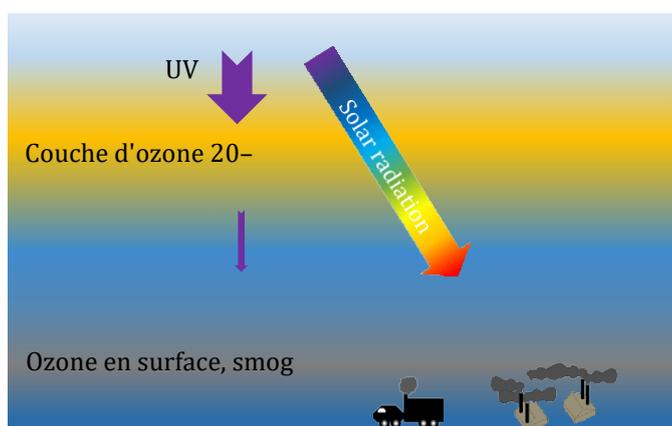


Figure 5 : « Bon » et « mauvais » ozone  
(source : Suhyb Salama, université de Twente)

Il est important de se souvenir que le « bon » ozone dans la haute atmosphère et le « mauvais » présent plus bas sont une seule et même substance.

## Mesures de l'ozone

Il est possible d'utiliser des instruments de mesure de l'ozone au niveau du sol (par ex. dans des stations météorologiques), dans les airs (sur des avions ou des ballons) ou à bord de satellites. Les satellites nous permettent de mesurer quotidiennement l'ozone à l'échelle du globe à l'aide de caméras sensibles aux UV : plus les UV apparaissent atténués, plus il y a d'ozone dans l'atmosphère.

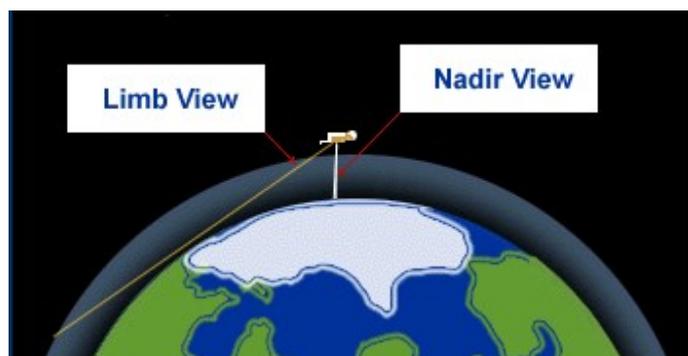


Figure 6 : Observation en nadir et au limbe (source : ESA)

Si la caméra pointe directement vers le bas (observation en nadir sur la Figure 6), elle mesure la quantité totale d'ozone dans l'atmosphère. C'est ce que l'application Web Climate from Space appelle l'«ozone total». Si elle regarde latéralement à travers l'atmosphère (observation au limbe sur la Figure 6), elle fournit des observations sur la concentration en ozone à différentes altitudes, générant ainsi un profil de l'ozone utilisé pour comparer le « bon » et le « mauvais » ozone.

L'ozone disponible dans l'atmosphère est mesuré en unités Dobson. Une concentration de 100 unités Dobson équivaut à une couche d'ozone d'une épaisseur d'un millimètre à la surface de la Terre (à une température et une pression standard). Cette unité porte le nom de Gordon Dobson, un chercheur de l'université d'Oxford qui a construit le premier instrument permettant de mesurer la concentration en ozone depuis le sol.

## Le trou de la couche d'ozone

En 1979, des ingénieurs ont reçu les premières données d'un nouvel instrument embarqué à bord d'un satellite américain. Le capteurregistra des niveaux d'ozone au-dessus de l'Antarctique si bas qu'ils furent considérés comme des erreurs de l'instrument. Peu après, une équipe de scientifiques britanniques travaillant dans une station de recherche en Antarctique publia des résultats mesurés au sol affichant des niveaux d'ozone similaires. Les valeurs basses relevées par le satellite n'étaient donc pas erronées.

Le « trou » dans la couche d'ozone attira rapidement l'attention des médias et des politiciens, alors que les scientifiques tentaient d'identifier la cause de ce phénomène. Ils désignèrent un groupe de gaz appelés chlorofluorocarbones (CFC), à cette époque largement utilisés dans les aérosols, les extincteurs, les frigos et les climatiseurs d'air. Bien qu'essentiellement inoffensives au niveau du sol, les molécules de CFC en haute atmosphère libèrent des atomes de chlore lorsqu'elles sont soumises au rayonnement solaire, et un seul atome de chlore peut diviser de nombreuses molécules d'ozone. Les concentrations en ozone chutaient à l'échelle du globe et, du fait du déplacement de l'air autour de la planète, plus particulièrement au-dessus de l'Antarctique.

En 1987, des restrictions sévères concernant les émissions de CFC ont été adoptées dans le cadre d'une conférence intergouvernementale à Montréal. Depuis, les gaz ont été largement remplacés par des alternatives plus sûres et la couche d'ozone se reconstitue. Mais ce processus est lent : les CFC restent très longtemps dans l'atmosphère, de sorte que la concentration en ozone ne devrait pas atteindre son niveau des années 1980 avant 2030–2060. Le protocole de Montréal est un exemple positif de la façon dont les données climatiques issues de satellites peuvent fournir des informations sur lesquelles les dirigeants mondiaux peuvent se fonder pour protéger l'environnement de manière globale.

## Activité 1 : POURQUOI L'OZONE EST-IL IMPORTANT ?

L'histoire de cette activité présente l'ozone comme un gaz invisible qui protège la vie sur Terre lorsqu'il se trouve en altitude mais peut aussi nuire à la santé s'il est trop proche de la surface. Les bons lecteurs peuvent lire l'histoire seuls, peut-être pour préparer le cours. En classe, vous pouvez utiliser le matériel de l'histoire correspondante sur le site [Climate from Space](#) pour compléter le texte.

### Matériel

- Fiche d'information n° 1
- Fiche d'activité n° 1 de l'élève
- Ressource en ligne [Climate from Space](#) : Histoire *L'ozone est-il bon ou mauvais ?* (facultatif)

### Exercice

1. Discutez avec les élèves de la façon dont ils se comportent différemment suivant le lieu où ils se trouvent : en classe et sur un terrain de jeux, par exemple. Expliquez-leur qu'ils vont écouter ou lire une histoire à propos d'un gaz pour lequel c'est également le cas. Ils doivent identifier/rechercher des informations sur ce que fait ce gaz suivant où il se trouve.
2. Lisez l'histoire de la fiche d'information n° 1 à ou avec la classe, en faisant des pauses à des moments appropriés pour vérifier que tout le monde a compris. Vous pouvez illustrer le texte à l'aide d'éléments tirés de l'histoire de [Climate from Space](#) portant le même titre comme suit :
  - La deuxième image de la galerie de la diapo 2 représente le Soleil tel que nous le voyons et comment il apparaîtrait si nous avions la capacité de voir la lumière ultraviolette.
  - L'animation sur la diapo 3 illustre des mesures de l'ozone. Il est à noter que le « trou » se présente sous la forme d'une zone irrégulière bleue sombre ou violette (concentration faible). Les cercles à bord net avec les océans en gris et l'Antarctique en blanc correspondent à des dates et des lieux pour lesquels nous n'avons pas de données (voir le point suivant).
  - Sur la diapo 4, la section de la vidéo entre 0:18 et 0:33 montre comment un satellite collecte des informations pour toute la Terre sur plusieurs jours et pourquoi il manque des données au niveau des pôles.
  - La section suivante de cette même vidéo (jusqu'à environ 1:20) illustre comment l'ozone se déplace autour de la planète. Cela peut s'avérer utile si des élèves demandent pourquoi les émissions d'ozone constituent un problème dans un endroit avec une faible densité de population et où personne n'a besoin d'un frigo.
  - La première image de la galerie de la diapo 2 est une vue en coupe de l'atmosphère montrant l'ozone en bleu. Si vous passez rapidement à l'activité 3, il vaut peut-être mieux ne pas montrer cette image, car la couleur qu'elle utilise pour l'ozone correspond à celle utilisée dans l'application Web pour représenter une très faible concentration.
3. Demandez aux élèves de renseigner le tableau dans la fiche d'activité n° 1 de l'élève en travaillant individuellement ou en groupes. Les élèves qui termineront cette tâche rapidement peuvent réaliser une ou plusieurs des tâches suivantes :
  - Effectuer des calculs supplémentaires.

- Établir la liste d'autres faits dont ils se souviennent à propos de l'histoire et/ou de choses dont ils souhaitent parler.
  - Rechercher dans le texte des informations sur des questions de compréhension supplémentaires, comme : Qu'est-ce qui a causé le trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique ? Qu'est-ce qui a été fait pour y remédier ? Comment les satellites mesurent-ils l'ozone dans l'atmosphère ?
4. En classe, vérifiez les idées proposées par les élèves et abordez d'éventuels points supplémentaires, manquants ou non pertinents. Vous pouvez clore la session en demandant aux élèves de voter pour savoir s'ils estiment que l'ozone est plutôt une bonne ou une mauvaise chose, et en invitant certains d'entre eux à expliquer leur raisonnement.

## Réponses de la fiche d'activité

### L'ozone est-il bon ou mauvais ?

	Ozone en altitude dans l'atmosphère	Ozone à la surface de la Terre
Quelles sont les <b>différences</b>	Bon Créé naturellement Nous protège du rayonnement UV	Mauvais Créé par la pollution Cause des problèmes pulmonaires
Quelles sont les <b>similitudes</b>	Même gaz Peut être mesuré par des satellites	

### Mesurer l'ozone

Une concentration de 300 unités Dobson équivaut à une couche d'ozone d'une épaisseur de 3 millimètres à la surface de la Terre.

## Activité 2 : MA CRÈME SOLAIRE EST-ELLE EFFICACE ?

Expérience utilisant des perles sensibles aux UV afin d'étudier la protection offerte par une crème solaire contre le rayonnement ultraviolet nocif.

### Matériel

- Des perles sensibles aux UV, de préférence violettes ou rose foncé, car leurs nuances sont plus faciles à distinguer : 5 ou 6 pour chaque groupe (les couleurs peuvent être différentes d'un groupe à l'autre, mais toutes les perles d'un même groupe doivent être de la même couleur)
- Une boîte de Pétri ou tout autre contenant ouvert et plat : une par groupe
- Une lampe UV : une par groupe (facultatif)\*
- Des crayons de couleur (de la même couleur que les perles) : un par élève
- Une sélection de crèmes solaires avec différents indices de protection (par exemple SPF 20, 30 et 50) et/ou résistantes à l'eau : chaque groupe doit disposer d'une petite quantité d'un type de crème dans un petit contenant (par ex. un petit pot)
- Des bécquers d'eau : un par groupe
- Un feutre ou tout autre marqueur fin permanent : voir la préparation ci-dessous
- De la ficelle et des étiquettes autocollantes (facultatif) : voir la préparation ci-dessous
- Des serviettes pour les mains et pour éponger tout éventuel débordement
- Une copie de la fiche d'activité n° 2 (2 pages) pour chaque élève, plus quelques copies de réserve en cas de besoin

\*Les lampes UV (lumière noire) permettent de réaliser l'expérience en intérieur ou en cas de mauvais temps et de maîtriser la quantité de lumière à laquelle les perles sont exposées. Leur puissance est généralement insuffisante pour détériorer la vue de sorte que leur utilisation est sûre, mais consultez néanmoins la notice du fabricant et fournissez les consignes de sécurité ci-dessous. Outre le fait qu'elles augmentent le coût de l'expérience, elles contribuent à artificialiser encore plus l'expérience et c'est pourquoi il est préférable d'utiliser la lumière naturelle dans la mesure du possible.

### Préparation

Chaque groupe doit identifier ses perles. Vous pouvez tracer des segments numérotés sur les boîtes, ou bien insérer un bout de ficelle dans chaque perle et inscrire les numéros sur des étiquettes autocollantes, comme illustré à la Figure 7 (section Résultats ci-dessous). Cette dernière méthode facilite la manipulation des perles pour les élèves.

### Hygiène et sécurité

Si vous travaillez en extérieur, assurez-vous que les élèves sont protégés du soleil (casquettes et crème solaire).

Demandez aux élèves de ne rien mettre (y compris leurs doigts !) dans leur bouche. Les élèves ne doivent pas regarder directement le Soleil, ni s'éclairer mutuellement avec les lampes UV.

Vérifiez préalablement auprès des parents si leur enfant présente des allergies à une marque de crème solaire ou à un ingrédient spécifique et attribuez les échantillons en conséquence.

Assurez-vous de disposer du matériel nécessaire pour éponger des débordements.

## Exercice

1. Distribuez les perles sensibles aux UV et demandez aux élèves de sortir à l'extérieur avec pour voir ce qu'il se passe. (Un rebord de fenêtre ensoleillé est parfois suffisant.) Combien de temps faut-il aux perles pour prendre une couleur sombre aujourd'hui ?
2. Expliquez que c'est la lumière UV émise par le Soleil qui fait changer les perles de couleur, tout comme elle peut hâler notre peau ou la brûler (mais bien plus vite !). Nous pouvons utiliser les couleurs pour établir une échelle et mesurer quelle quantité de lumière UV atteint un endroit donné. Demandez aux élèves de suivre les instructions fournies au début de la fiche d'activité n° 2.1 pour réaliser une échelle de couleurs.
3. Décrivez l'expérience : nous allons utiliser ces perles pour comparer différents types de crème solaire. Combien de temps sont-elles efficaces ? Quel type offre la meilleure protection ?
4. Distribuez les pots de crème solaire et les béciers d'eau. Selon l'âge et les capacités des élèves, vous pouvez les guider tout au long des instructions ou les laisser utiliser les informations au bas de la fiche d'activité n° 2.1. La ligne vierge est réservée aux élèves qui souhaitent proposer leur propre conception de l'expérience. (Dans les résultats présentés à la Figure 7, la perle n° 6 a été recouverte de crème solaire, plongée dans l'eau puis essuyée, ce qui équivaut à utiliser une serviette après un bain.)
5. Une fois les perles des élèves au soleil, déterminez avec ces derniers en quoi l'expérience modélise des situations de la vie réelle. Demandez-leur de terminer l'exercice au bas de la fiche d'activité n° 2.1 de l'élève en dessinant des flèches pour chaque cas avec une description correspondante. Si vous avez suffisamment de temps, vous pouvez aussi aborder le concept de témoin.
6. Lorsque les perles sont restées suffisamment longtemps au soleil, c'est-à-dire pour que la perle n° 1 devienne aussi sombre que possible, demandez aux élèves d'évaluer la couleur de chaque perle et de consigner les résultats dans le tableau de la fiche d'activité n° 2.2 de l'élève. Ils peuvent ensuite utiliser le guide de la fiche d'activité pour rédiger une conclusion.  
Vous pouvez lancer une discussion sur ce qu'implique le fait de dire qu'une crème solaire fonctionne bien.
7. Associez des groupes ou collectez les résultats de toute la classe afin que les élèves puissent comparer leurs résultats à ceux obtenus par d'autres groupes ayant utilisé une crème solaire différente. Demandez pourquoi il est important de comparer des perles ayant subi le même traitement pour renseigner le deuxième tableau. Vous pouvez aussi demander aux élèves de produire un graphique de leurs résultats et/ou de combiner des résultats indiquant le SPF correspondant à un numéro de l'échelle de couleurs.
8. La dernière section de la fiche d'activité n° 2.2 de l'élève contient des questions qui peuvent constituer la base d'une discussion en classe. Vous pouvez évaluer les connaissances acquises des élèves en leur demandant de rédiger une brochure sur la protection solaire basée sur les résultats de leurs recherches afin d'aider les gens à choisir une crème solaire adaptée ; cette brochure doit aussi préciser comment utiliser correctement la crème solaire.

## Résultats

### Établir une échelle de couleurs

La fiche d'activité n° 2.1 de l'élève propose un exemple d'échelle de couleurs.

## Conception de votre expérience

Perle	Que faire avec	Cette perle est comme...
1	Rien (il s'agit du témoin)	moi après être resté.e un petit moment dehors (la crème solaire s'est un peu estompée)
2	L'enduire de crème solaire	moi sans crème solaire
3	L'enduire de crème solaire et la plonger dans l'eau pendant 1 seconde	moi après une baignade
4	L'enduire de crème solaire et la plonger dans l'eau pendant 5 secondes	moi après avoir couru au soleil (et vraiment en sueur !)
5	L'enduire de crème solaire et l'agiter dans l'eau pendant 5 secondes	moi enduit.e de crème solaire
6		

## Résultats

Les résultats ci-dessous ont été obtenus en exposant des perles sensibles aux UV de couleur violette à la lumière d'une lampe UV pendant 30 s. (Les perles peuvent nécessiter plusieurs minutes pour développer des couleurs similaires dans des conditions de faible ensoleillement.) La crème solaire utilisée affichait un indice SPF 15 et était résistante à l'eau dans des conditions nominales. La perle n° 6 a été recouverte de crème solaire, agitée dans l'eau puis essuyée, ce qui équivaut à utiliser une serviette après un bain.

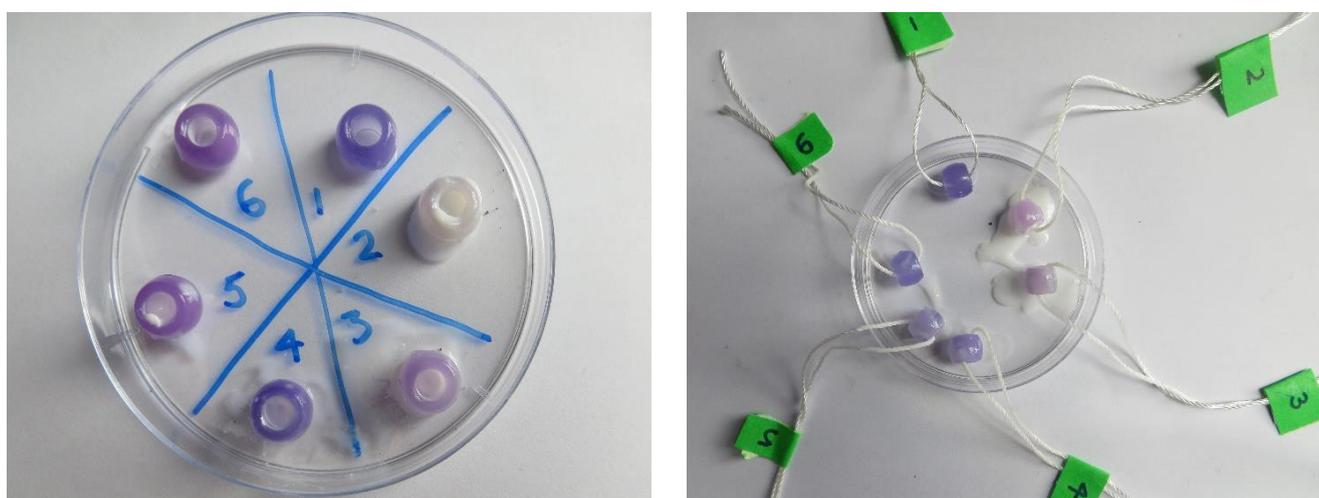


Figure 7 : Deux méthodes différentes d'étiquetage des perles sensibles aux UV (source : ESA CCI)

Perle	Ce que nous avons fait avec	Valeur dans l'échelle de couleurs
1	Rien (il s'agit du <b>témoin</b> )	10
2	Enduite de crème solaire	2
3	Enduite de crème solaire et plongée dans l'eau pendant 1 seconde	4
4	Enduite de crème solaire et plongée dans l'eau pendant 5 secondes	5
5	Enduite de crème solaire et agitée dans l'eau pendant 5 secondes	6
6	Enduite de crème solaire, agitée dans l'eau pendant 5 secondes et essuyée	8

### Conclusion

Les réponses à ces questions dépendront des critères d'efficacité retenus par les élèves. La mesure d'une valeur relativement faible dans l'échelle de couleurs pour les perles n° 4 et 5 serait un résultat raisonnable, indiquant une protection probable de la crème solaire après un certain temps et une baignade.

En abordant ces conclusions, il est utile de rappeler que la crème solaire doit être appliquée régulièrement et que c'est d'autant plus important en cas d'activité physique ou de baignade.

Les élèves peuvent réaliser une expérience supplémentaire pour tester la durée de la protection en exposant de nouveau les perles et en consignant la couleur à intervalles d'une heure sans appliquer de crème solaire supplémentaire. Pour aborder les résultats de cette expérience, souvenez-vous que les perles ne sont pas aussi poreuses que la peau.

### Comparaison des SPF

Le tableau compare les résultats obtenus pour la perle n° 4 avec trois crèmes différentes. Ils montrent que plus l'indice SPF est élevé, plus il offre de protection, mais il semble ne pas y avoir de différence entre les indices SPF 30 et SPF 50.

SPF	Valeur dans l'échelle de couleurs
15	5
30	4
50	4

Naturellement, si seuls trois types de crème solaire sont utilisés, il est probable que chacun a été testé par plusieurs groupes. Il est donc recommandé d'établir la moyenne des résultats obtenus par tous les groupes utilisant le SPF 15, tous les groupes utilisant le SPF 30 et tous les groupes utilisant le SPF 50.

La discussion des causes potentielles (différentes quantités de crème solaire appliquées par les différents groupes, différentes méthodes de mesure des 5 secondes, variations de l'échelle de couleurs entre les groupes ou perles différentes) peut permettre une évaluation fructueuse de la méthode utilisée et déboucher sur des suggestions pour améliorer l'expérience à l'avenir.

## Activité 3 : LE TROU DE LA COUCHE D'OZONE

Pour cette activité, les élèves utilisent l'application Web Climate from Space pour étudier les mesures par satellite de l'ozone à travers le globe et l'évolution du trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique au cours des deux dernières décennies.

### Matériel

- Accès Internet
- Application Web Climate from Space
- Fiche d'activité n° 3 de l'élève
- Fiche d'information n° 3 en couleur (une pour deux élèves)
- Logiciel de présentation comme PowerPoint

### Exercice

1. Rappelez le rôle de l'ozone dans l'atmosphère. Pour cela, vous pouvez questionner les élèves sur les connaissances acquises au cours des précédentes activités.  
Vous pouvez montrer la vidéo de l'ESA, *Monitoring Ozone* (2:38 – voir la section Liens), bien qu'elle ne s'accompagne d'aucune narration et que le détail des sous-titres puisse la rendre inappropriée pour les groupes trop jeunes ou peu à l'aise avec la lecture.
2. Demandez aux élèves d'ouvrir l'application Web Climate from Space et de naviguer jusqu'à la couche de données relative à l'ozone. Parlez de la signification des couleurs : le bleu implique moins d'ozone, l'orange plus d'ozone (voir Figure 8). Il est à noter que cette échelle de couleurs est légèrement différente de celle utilisée dans les images de la fiche d'information n° 3.  
Vous pouvez aussi présenter l'unité Dobson si les élèves ne l'ont pas vue dans le cadre de l'activité 1.
3. Laissez aux élèves un peu de temps pour étudier les données relatives à l'ozone. L'application Web Climate from Space est assez intuitive, mais vous pouvez afficher la couche de données dont ils ont besoin et/ou faire une démonstration du fonctionnement du site.
4. Demandez aux élèves de répondre aux questions de la fiche d'activité n° 3 de l'élève à l'aide des informations trouvées dans l'application Web et/ou dans la fiche d'information n° 3. Ils peuvent aussi consulter une carte en ligne ou un atlas pour identifier/désigner les endroits affichant des concentrations en ozone élevées ou faibles.
5. Attribuez à chaque élève ou binôme, à des fins de recherche en ligne, l'une des questions figurant à la fin de la fiche d'activité n° 3.1. Sinon, vous pouvez laisser les élèves choisir l'une de ces questions ou toute autre question similaire de leur cru. Ils peuvent effectuer leurs recherches en classe ou chez eux à titre de devoir.
6. Proposez aux élèves de présenter leurs résultats devant le reste de la classe à l'aide d'une seule diapositive et/ou d'un texte limité à une centaine de mots.

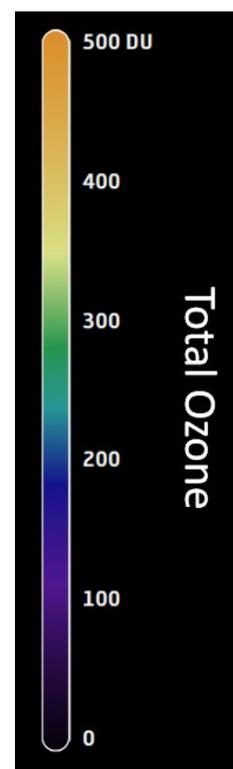


Figure 8 : Échelle de couleurs de l'ozone total  
(source : ESA CCI)

## Réponses de la fiche d'activité

### Niveaux d'ozone autour du monde

Il existe de nombreuses réponses possibles mais certains exemples sont proposés ci-dessous.

**Concentrations en ozone élevées** : Avril 1998, Europe, > 400 DU ; Mars 2001, Japon, > 400 DU ; Mars 2007, Alaska, > 400 DU

**Concentrations en ozone basses** : Octobre 1997, Antarctique, < 100 DU ; Décembre 2001, océan Pacifique, 100 DU ; Novembre 2011, Antarctique, 100 DU

### Ozone en Antarctique

Le trou de la couche d'ozone en Antarctique a atteint son maximum à la fin des années 1990 et au début des années 2000. Les observations montrent une réduction continue depuis environ 2010.

### Pour approfondir le sujet

Les élèves peuvent mener les questions fournies dans une variété de directions ou développer leurs propres questions pour effectuer des recherches. Les remarques ci-dessous contiennent des éléments clés et constituent un point de départ pour les élèves bloqués sur l'une des questions suggérées.

- **Y a-t-il un trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Nord ?**

Il est rare de voir un trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Nord. Toutefois, des données satellite ont montré une diminution inhabituelle des niveaux d'ozone au-dessus de l'Arctique en mars 2020, suite à un hiver au cours duquel de l'air froid s'est retrouvé emprisonné dans un « vortex polaire ». Voir par exemple : [esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Unusual\\_ozone\\_hole\\_opens\\_over\\_the\\_Arctic](https://esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Unusual_ozone_hole_opens_over_the_Arctic)

- **Que sont les CFC ?**

CFC est l'abréviation de chlorofluorocarbones, un groupe de substances chimiques non toxiques et ininflammables contenant des atomes de carbone, de chlore et de fluor. Les CFC sont utilisés dans la production d'aérosols, comme agents d'expansion dans les mousses et matériaux de conditionnement, ainsi que comme solvants et réfrigérants. Voir par exemple : [esrl.noaa.gov/gmd/hats/publicatn/elkins/cfcs.html](https://esrl.noaa.gov/gmd/hats/publicatn/elkins/cfcs.html)

- **Qu'est-ce que le protocole de Montréal ?**

Le protocole de Montréal est un traité international dans le cadre duquel il a été convenu d'éliminer progressivement l'utilisation des substances (essentiellement des CFC) responsables de l'appauvrissement en ozone. Voir par ex. : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Protocole\\_de\\_Montr%C3%A9al](https://fr.wikipedia.org/wiki/Protocole_de_Montr%C3%A9al)

- **Quels satellites de l'ESA sont dotés d'instruments permettant de mesurer l'ozone ?**

<i>Satellite</i>	<i>Instrument</i>	<i>Date de lancement</i>
ERS-2	GOME	1995
Envisat	MIPAS	2002
Envisat	GOMOS	2002
Envisat	SCIAMACHY	2002
Sentinel-5	TROPOMI	2017

## Fiche d'activité n° 1 : POURQUOI L'OZONE EST-IL IMPORTANT ?

L'ozone est-il bon ou mauvais ?

Utilise les concepts tirés de l'histoire pour renseigner le tableau.

	Ozone en altitude dans l'atmosphère	Ozone à la surface de la Terre
Quelles sont les <b>différences</b>		
Quelles sont les <b>similitudes</b>		

### Mesurer l'ozone

L'ozone est mesuré en **unités Dobson**. Une unité Dobson correspond à une couche d'ozone de 1/100 mm d'épaisseur à la surface de la Terre.

La concentration en ozone moyenne dans l'atmosphère est de 300 unités Dobson.  
Si tout cet ozone se trouvait à la surface de la Terre, de quelle épaisseur serait la couche ?

---

---

---

## Fiche d'activité n° 2 : MA CRÈME SOLAIRE EST-ELLE EFFICACE ?

### Ce dont tu as besoin

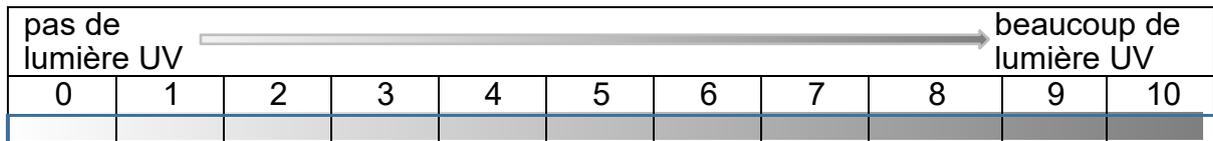
- 6 perles sensibles aux UV
- Crème solaire
- Un béccher d'eau
- Une échelle de couleurs

### Établir une échelle de couleurs

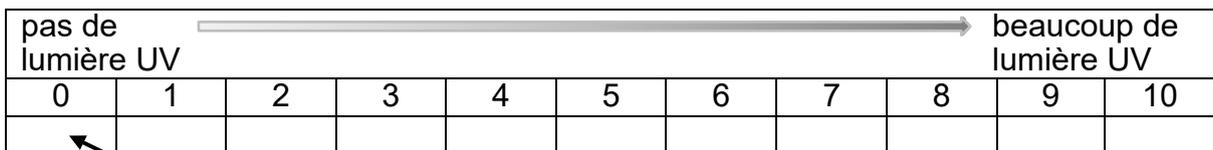
Tu as besoin d'une échelle comme celle-ci pour pouvoir comparer les couleurs de tes perles.

### Hygiène et sécurité

- Porte ta casquette et mets de la crème solaire pour aller dehors si la journée est ensoleillée.
- Ne goûte à rien. Garde tes mains à distance de ta bouche.
- Lave-toi les mains après avoir appliqué la crème solaire.
- Ne regarde pas le Soleil directement.



Colorie cette case pour illustrer la couleur la plus sombre atteinte par ta perle.



Laisse cette case en blanc pour illustrer la couleur de la perle après un séjour d'un certain temps dans l'obscurité ou à l'intérieur. Colorie les cases entre les deux dans des nuances du clair au foncé pour réaliser ton échelle.

### Conception de votre expérience

Trace des flèches entre chaque perle et la case qui décrit au mieux ce qu'elle représente. La flèche de la perle n° 3 a été tracée pour toi.

Perle	Que faire avec
<b>1</b>	Rien (il s'agit du <b>témoin</b> )
<b>2</b>	L'enduire de crème solaire
<b>3</b>	L'enduire de crème solaire et la plonger dans l'eau pendant 1 seconde
<b>4</b>	L'enduire de crème solaire et la plonger dans l'eau pendant 5 secondes
<b>5</b>	L'enduire de crème solaire et l'agiter dans l'eau pendant 5 secondes
<b>6</b>	

Cette perle est comme...
moi après être resté.e un petit moment dehors (la crème solaire s'est un peu estompée)
moi sans crème solaire
moi après une baignade
moi après avoir couru au soleil (et vraiment en sueur !)
moi enduit.e de crème solaire

## Résultats

Quelle crème solaire as-tu utilisée ? SPF \_\_\_\_\_ Type \_\_\_\_\_

Perle	Ce que nous avons fait avec	Valeur dans l'échelle de couleurs
1	Rien (il s'agit du <b>témoin</b> )	
2	Enduite de crème solaire	
3	Enduite de crème solaire et plongée dans l'eau pendant 1 seconde	
4	Enduite de crème solaire et plongée dans l'eau pendant 5 secondes	
5	Enduite de crème solaire et agitée dans l'eau pendant 5 secondes	
6		

## Conclusion

Penses-tu que la crème solaire que tu as testée est efficace ? \_\_\_\_\_

Pourquoi ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Comparaison des SPF

À présent, compare tes résultats avec ceux des autres groupes. Tu dois t'assurer d'utiliser les résultats correspondant à des perles traitées de la même manière.

Nous comparons les résultats de la perle n° \_\_\_\_\_  
 Consigne les SPF et les valeurs des couleurs dans ce tableau.

Que t'apprend ce tableau concernant le SPF figurant sur une crème solaire ?

\_\_\_\_\_

Est-ce que ces résultats te surprennent ? Pourquoi ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

SPF	Valeur dans l'échelle de couleurs

## Fiche d'activité n° 3 : LE TROU DE LA COUCHE D'OZONE

Ouvre l'application Web Climate from Space ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)).

Clique sur le symbole **Couches de données** (en haut à droite) et sélectionne **Ozone** dans la liste.

Regarde l'animation plusieurs fois pour bien comprendre comment les commandes à l'écran peuvent t'aider à étudier plus spécifiquement des lieux ou des périodes données.

### Niveaux d'ozone autour du monde

La quantité d'ozone dans l'atmosphère évolue avec le temps et diffère selon le lieu.

Parcours l'animation et déplace-toi autour du globe jusqu'à trouver un lieu et une date où le niveau d'ozone était très élevé.

Date \_\_\_\_\_

Lieu \_\_\_\_\_

Ozone total estimé \_\_\_\_\_ Unités Dobson

À présent, cherche un lieu et une date où le niveau d'ozone était très bas.

Date \_\_\_\_\_

Lieu \_\_\_\_\_

Ozone total estimé \_\_\_\_\_ Unités Dobson

### Ozone en Antarctique

Dans les années 1980, les scientifiques ont découvert que l'atmosphère au-dessus de l'Antarctique contenait très peu d'ozone. Les images de la fiche d'information n° 3 illustrent les niveaux d'ozone dans cette région entre 1996 et 2012. Utilise ces données et/ou l'application Web Climate from Space pour déterminer à quel moment le trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique :

était le plus vaste \_\_\_\_\_

a commencé à se résorber \_\_\_\_\_

### Pour approfondir le sujet

Utilise Internet pour faire des recherches sur l'ozone dans l'atmosphère.

Tu peux étudier une ou plusieurs de ces questions :

- Y a-t-il un trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Nord ?
- Que sont les CFC ?
- Qu'est-ce que le protocole de Montréal ?
- Quels satellites de l'ESA sont dotés d'instruments permettant de mesurer l'ozone ?

Prépare-toi à présenter tes résultats devant la classe.

## Fiche d'information n° 1 : L'OZONE EST-IL BON OU MAUVAIS ?

Ben vit avec ses parents dans une ferme en Australie. Ses parents se lèvent tous les matins à quatre heures pour traire les vaches pendant qu'il fait encore frais dehors. Le bus qui conduit Ben à l'école ne passe pas avant huit heures, ce qui lui laisse le temps de dormir. Il n'a besoin ni de ses parents, ni d'une alarme pour se réveiller. Le soleil qui éclaire sa chambre lui suffit. Après le petit-déjeuner, Ben se précipite dehors pour attendre le bus.

Sa mère est dans la cour. « Est-ce que tu as mis de la crème solaire ? », lui crie-t-elle. Un peu embêté, Ben répond « Oui maman ! ».

Mais il ment...

Lorsque Ben rentre à la maison cet après-midi, il pleure. « J'ai mal au visage !, explique-t-il. Il a un coup de soleil.

Sa maman compatit, mais elle est aussi fâchée. « Est-ce que tu as mis de la crème solaire ce matin ? », demande-t-elle vivement.

« Non, je ne l'ai pas fait », reconnaît Ben.

Son visage est toujours rouge et douloureux à l'heure du dîner et il décide donc de découvrir comment le soleil a brûlé sa peau.

Il existe un type de lumière du soleil invisible à l'œil nu mais suffisamment puissante pour nous brûler. C'est ce que l'on appelle lumière ultraviolette ou UV en abrégé.

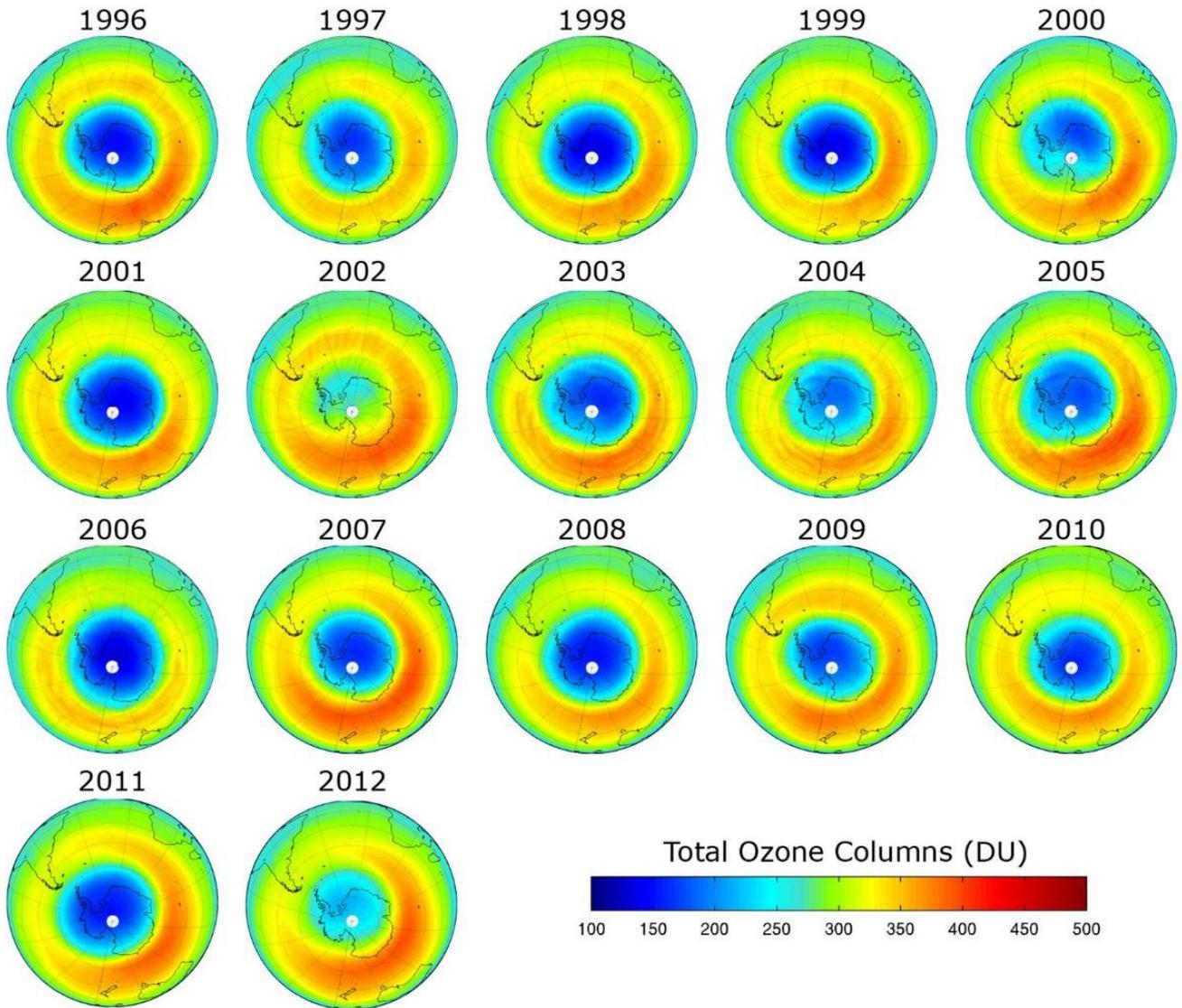
L'atmosphère qui entoure notre planète contient un gaz appelé ozone. Une couche d'ozone en altitude dans le ciel absorbe la lumière ultraviolette et la convertit en chaleur, nous protégeant ainsi des effets les plus nocifs du rayonnement ultraviolet. Cependant, Ben découvre également que la pollution de l'air entraîne un appauvrissement en ozone de l'atmosphère. Lorsque l'ozone est proche du sol, il ne nous protège pas. En fait, il est même nocif pour nos poumons.

Il y a une centaine d'années, les gens ont commencé à utiliser des gaz appelés CFC dans les frigos et les aérosols. Mais les satellites ont ensuite montré la présence d'un trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, et les scientifiques ont réalisé que les CFC détruisaient l'ozone. Les dirigeants du monde entier ont été choqués par cette information et ont décidé de ne plus utiliser ces gaz. Cependant, les CFC durent longtemps et même si le trou se résorbe depuis 2000, il lui faudra de nombreuses autres années pour se refermer.

Ben est curieux à propos des satellites. Comment détectent-ils l'ozone ? Il découvre que certains satellites sont dotés de caméras UV qui peuvent mesurer la quantité d'ozone présent dans le ciel et son altitude. Ces caméras peuvent différencier le « bon » et le « mauvais » ozone.

Désormais, Ben en sait plus sur le trou dans la couche d'ozone et il n'oubliera plus jamais de mettre de la crème solaire.

## Fiche d'information n° 3 : LE TROU DE LA COUCHE D'OZONE



(source)

## Liens

### Ressources de l'ESA

Ressource en ligne Climate from Space <https://cfs.climate.esa.int>

Climat pour les écoles <https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Teach with space [http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Teach\\_with\\_space3](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3)

Vidéo de surveillance de l'ozone

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2017/11/Monitoring\\_ozone](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/11/Monitoring_ozone)

### Projets spatiaux de l'ESA

Bureau du climat de l'ESA <https://climate.esa.int/en/>

Space for our climate

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate)

Missions d'observation de la Terre de l'ESA

[www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_for\\_Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth)

Earth Explorers

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/The\\_Living\\_Planet\\_Programme/Earth\\_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Copernicus Sentinels

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4)

Copernicus Sentinel-5P - TROPOMI

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Copernicus\\_Sentinel-5P\\_ozone\\_boosts\\_daily\\_forecasts](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Copernicus_Sentinel-5P_ozone_boosts_daily_forecasts)

### Informations supplémentaires

Ozone hole set to close

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Ozone\\_hole\\_set\\_to\\_close](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Ozone_hole_set_to_close)

Vidéos de la Terre depuis l'espace

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Sets/Earth\\_from\\_Space\\_programme](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme)

ESA Kids [https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate\\_change/Climate\\_change](https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change)

CNES <https://enseignants-mediateurs.cnes.fr>

ESERO France [esero.fr](http://esero.fr)

SCO France <https://www.spaceclimateobservatory.org/fr/sco-france>

## Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?

Voici une sélection de faits intéressants en lien avec le thème et que vous pouvez utiliser de différentes manières. Vous pouvez présenter un cours en utilisant l'un d'eux, créer des cartes pour compléter les visuels des élèves pour présenter leur travail, choisir un point pour lancer une discussion, utiliser les affirmations pour un quiz de type vrai/faux, etc.

- L'atmosphère contient de nombreux gaz à effet de serre entièrement produits par les hommes.
- L'ozone au niveau du sol est la principale composante du smog, qui est généré par des réactions chimiques entre les polluants et les gaz dans l'air.
- En 1920, Gordon Dobson, un chercheur de l'université d'Oxford, a construit le premier instrument permettant de mesurer la concentration en ozone depuis le sol.
- Nous avons besoin de la lumière ultraviolette pour rester en bonne santé : notre corps l'utilise pour produire de la vitamine D.
- Les UVB sont plus nocifs que les UVA.
- Les crèmes solaires correspondent à différents indices de protection solaire (SPF), mais il faut s'assurer qu'elles protègent contre les UVA et les UVB.
- La couche d'ozone absorbe tous les UVC du Soleil qui atteignent notre planète, mais les chalumeaux utilisés sur Terre en génèrent.
- De nombreux satellites d'observation de la Terre ont des orbites telles qu'ils ne peuvent pas effectuer de mesures directement au-dessus des pôles Nord ou Sud, même s'ils peuvent « voir » le reste de la Terre.