

Secondaire
14-16



Dossier pédagogique

CHALEUR URBAINE

Guide de l'enseignant
et fiches d'activités pour les élèves



CHALEUR URBAINE	1
CHALEUR URBAINE : Vue d'ensemble	4
Résumé des activités.....	6
L'application web « Climate from Space »	8
Villes chaudes : informations générales.....	9
Activité n° 1 : CHALEUR URBAINE.....	10
Activité n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE	12
Activité n° 3 : VILLE ET CAMPAGNE	14
Feuille d'activité n° 1 : CHALEUR URBAINE	17
Fiche d'activité n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE	19
Fiche d'activité n° 3 : VILLE ET CAMPAGNE	21
Fiche d'information n° 1 : CHALEUR URBAINE	24
Fiche d'information n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE	27
Liens.....	29

Dossier Pédagogique de l'Initiative sur le Changement Climatique (CCI) –
CHALEUR URBAINE

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

Concepts d'activités développés par l'Université de Twente (NL) et le
Centre national d'observation de la Terre (UK).

Le Bureau du climat de l'ESA accueille les réactions et les commentaires

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

Produit par le bureau climatique de l'ESA

Copyright © Agence Spatiale Européenne 2020-2021

CHALEUR URBAINE : Vue d'ensemble

En résumé

Sujet(s) : Géographie, Sciences, Sciences Physiques, Sciences de la Terre.

Tranche d'âge : 14-16 ans.

Type : lecture, raisonnement mathématique, recherche en ligne.

Complexité : moyenne à avancée.

Durée minimale de la leçon : 4 heures.

Coût : faible (5-20 euros).

Lieu : en intérieur.

Comprend l'utilisation de : Internet, tableur.

Mots clés : énergie électromagnétique, corps noir, rayonnement maximal, émissivité, observation par satellite, température de la surface terrestre, température de luminosité, vague de chaleur, îlot de chaleur urbain, planification urbaine.

Brève description

Dans cette série d'activités, les élèves apprendront comment l'environnement bâti, est à l'origine de l'effet d'îlot de chaleur urbain, et comment l'observation de la Terre, peut être utilisée pour surveiller cet effet, et soutenir les tentatives de réduction.

Dans la première activité, les élèves explorent les données visuelles de température d'une ville, et les utilisent pour identifier certaines des causes des îlots de chaleur urbains.

La deuxième activité présente les principes de mesure de la température de la surface terrestre, et les applique au calcul de l'effet de l'utilisation de différents matériaux dans les villes.

Dans la dernière activité, les élèves utilisent l'application web *Climate from Space* ainsi que des données téléchargées, afin de comparer les températures et les tendances en environnement urbain à celles en environnement rural.

Objectifs d'apprentissage

Travailler sur ces activités apportera aux élèves les capacités suivantes :

Décrire l'effet d'îlot de chaleur urbain, et énumérer certaines de ses conséquences.

Identifier les caractéristiques de l'environnement bâti qui renforcent ou réduisent l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Faire la relation entre le comportement de ces caractéristiques, et la physique du transfert de chaleur.

Effectuer des calculs, afin de montrer comment les mesures de rayonnement thermique, peuvent être converties en valeurs de température.

Relier les valeurs d'émissivité d'une série de matériaux utilisés dans les villes, aux températures de luminosité.

Analyser et présenter une grande série de données à l'aide d'une feuille de calcul.
Créer un rapport, pour résumer et expliquer les conclusions tirées des données analysées.

Résumé des activités

	Titre	Description	Résultat	Notions pré-requises	Durée
1	Chaleur urbaine.	Lecture et analyse d'images.	Décrire l'effet d'îlot de chaleur urbain, et énumérer certaines de ses conséquences. Identifier les caractéristiques de l'environnement bâti qui renforcent ou réduisent l'effet d'îlot de chaleur urbain. Faire la relation entre le comportement de ces caractéristiques, et la physique du transfert de chaleur.	Transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement.	1½ heures
2	Rayonnement et température.	Calculs basés sur les équations de rayonnement du corps noir (à l'aide d'un tableur).	Effectuer des calculs, pour montrer comment les mesures de rayonnement thermique, peuvent être converties en valeurs de température. Relier les valeurs d'émissivité d'une série de matériaux utilisés dans les villes, aux températures de luminosité.	Régions du spectre électromagnétique, calculs utilisant la forme standard, préfixes SI.	1 heure
3	Ville et campagne.	Analyse de données numériques à l'aide d'un tableur.	Analyser et présenter une grande série de données à l'aide d'une feuille de calcul. Créer un rapport pour résumer et expliquer les conclusions tirées des données analysées.	Activité n° 1	1½ heures

Les temps indiqués dans le tableau récapitulatif concernent les exercices principaux, ils supposent un accès complet à l'informatique, et/ou une distribution à la classe des résultats des calculs répétitifs et des graphiques. Ils comprennent le temps nécessaire à la mise en commun des résultats, mais pas celui de leur présentation. Cette étape étant nécessairement liée à l'effectif de la classe et au nombre de groupes. Enfin, d'autres méthodes peuvent prendre plus de temps.

Notes pratiques destinées aux professeurs

En début de section est indiqué le **matériel requis pour** chaque activité, ainsi que des notes sur les éventuelles préparations nécessaires, en plus des photocopies des fiches d'activités et des fiches d'information.

Les **fiches d'activités** sont à usage unique et peuvent être photocopiées en noir et blanc.

Les **fiches d'informations** peuvent contenir : des images plus grandes afin de pouvoir les insérer dans des présentations en classe, des informations supplémentaires pour les élèves, ou des données avec lesquelles ils pourront travailler. Ces documents sont réutilisables, il est donc préférable de les imprimer ou de les copier en couleur.

Les **feuilles de calculs, tableaux de données, ou documents supplémentaires** nécessaires à l'activité, peuvent être téléchargés sur le lien suivant :

<https://climate.esa.int/fr/education/climat-pour-les-ecoles/>.

Des idées **pour aller plus loin** et des suggestions de **variation**, sont incluses dans la description de chaque activité.

Pour les activités pratiques, les réponses aux feuilles d'activités et les résultats des exemples sont inclus afin d'aider à l'**évaluation**. Des critères pour aider le professeur à évaluer les compétences essentielles, telles que la communication ou le traitement des données, sont indiquées dans la partie correspondante de la description de l'activité.

Santé et sécurité

Dans toutes les activités, nous avons supposé que les consignes de sécurité habituelles continuent d'être appliquées : à savoir l'utilisation des équipements de base (les appareils électriques comme les ordinateurs), les mouvements dans la salle de classe, les déplacements et les renversements, les premiers secours, etc... Comme la nécessité de ces procédures est universelle, mais que les étapes de leur mise en œuvre varient considérablement, nous ne les avons pas détaillées à chaque fois. Au lieu de cela, nous avons mis en évidence les dangers propres à une activité pratique donnée, afin d'éclairer l'évaluation des risques.

Certaines de ces activités utilisent l'application web « Climate from Space » ou d'autres sites web interactifs. Il est possible de naviguer à partir de ces sites vers d'autres parties du site Web de l'ESA « Climate Change Initiative » ou de l'organisation hôte, puis vers des sites Web externes. Si on ne peut pas - ou on ne souhaite pas - limiter les pages que les élèves peuvent consulter, on pourra leur rappeler les règles de sécurité de l'établissement relatives à l'utilisation d'Internet.

L'application web « Climate from Space »

Les satellites de l'ESA jouent un rôle important dans la surveillance du changement climatique. L'application web « Climate from Space » (cfs.climate.esa.int) est une ressource en ligne qui utilise des articles ou « stories » illustrées pour résumer certaines des façons dont notre planète change, et mettre en évidence le travail des scientifiques de l'ESA.

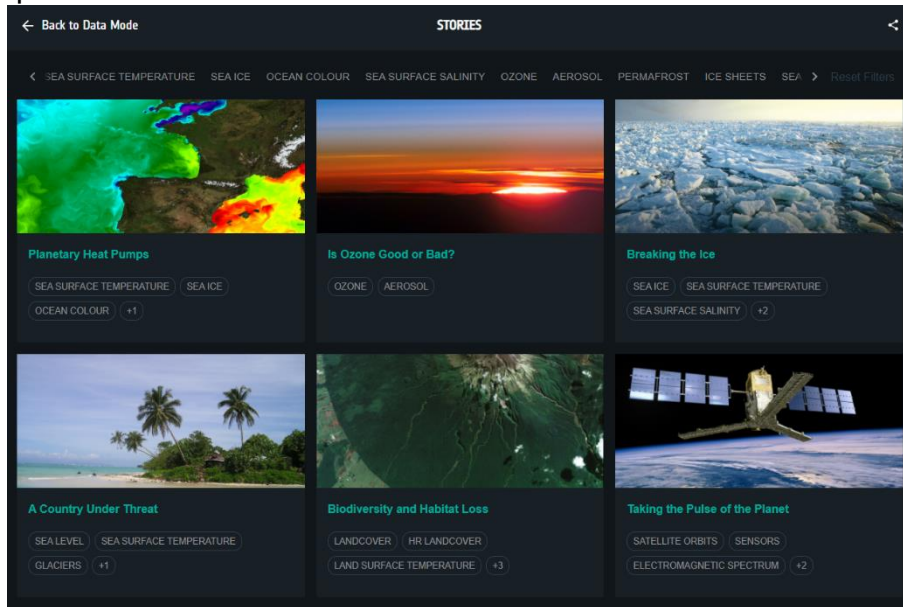


Figure n° 1: Articles ou « Stories » de l'application web « Climate from Space » (Source : ESA CCI)

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

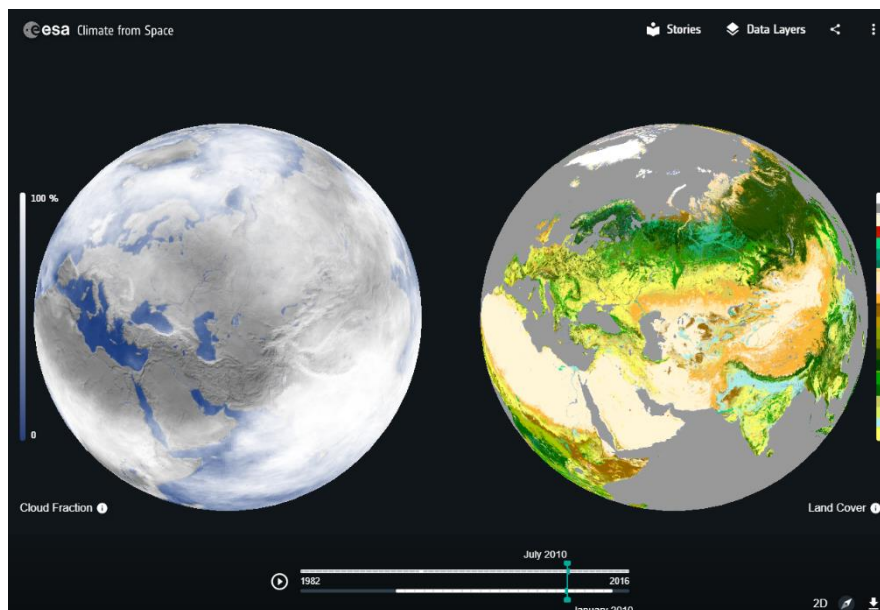


Figure n° 2: Comparaison des nuages et de la couverture terrestre dans l'application web « Climate from Space » (Source : ESA CCI)

Villes chaudes : informations générales

L'effet d'îlot de chaleur urbain, est un phénomène tel que les températures dans les villes, sont souvent plus élevées que dans les zones rurales environnantes. Cet effet est amplifié pendant les vagues de chaleur, car les matériaux utilisés pour créer l'environnement bâti, ont des capacités thermiques élevées, ce qui limite la quantité de refroidissement qui a lieu chaque nuit.

La croissance des populations urbaines, et les effets du changement climatique, signifient que de plus en plus de personnes seront touchées par ce phénomène, au cours des prochaines décennies.

Dans certaines villes, de nombreuses personnes utilisent la climatisation pour réduire la température intérieure - une solution qui est non seulement impossible à mettre en œuvre à l'extérieur, mais qui exacerbe également le problème, en consommant de l'énergie, dont une grande partie est encore produite à partir de combustibles fossiles. La gestion durable de la température dans une ville, repose tout d'abord sur des solutions plus passives, qui tiennent compte de la capacité thermique, et des propriétés de surface des matériaux utilisés. Mais encore sur des structures architecturales qui favorisent la circulation naturelle de l'air plus frais. Et enfin sur une planification urbaine qui contribue à réduire les émissions.

Pour rendre une ville résiliente au climat, il faut parfois chercher des moyens de réintroduire des plantes dans l'environnement urbain. Les toits verts mis en place à Arnhem, aux Pays-Bas, en sont un exemple. Une autre approche, qui a été testée à Los Angeles, consiste à peindre les routes en asphalte foncé avec une couche de matériau plus pâle. Cette mesure a entraîné une baisse locale de la température de 5°C et la modélisation montre que, si elle est appliquée à grande échelle, elle pourrait réduire la température de la ville entière de 1°C. Ce phénomène s'explique par le fait que les couleurs sombres absorbent le rayonnement, tandis que les couleurs claires réfléchissent l'énergie.

Les îlots de chaleur urbains, et les zones individuelles qui les composent, ressortent clairement des images de la température de la surface terrestre, obtenues par satellite. Celles-ci présentent des données de température beaucoup plus détaillées que celles qu'il serait possible de recueillir à partir des seules mesures de surface. L'observation de la Terre est donc très utile pour l'analyse et la planification.

Les activités de ce dossier pédagogique, se concentrent sur la manière dont ces données sont collectées, et dont nous mettons en évidence l'effet d'îlot de chaleur. En plus d'explorer les données sous forme visuelle et numérique, les élèves apprennent comment les niveaux de rayonnement thermique sont convertis en données de température, qui peuvent être utilisées pour surveiller la chaleur urbaine, et soutenir la conception de villes résistantes au climat. Pour ce faire, il faut prendre en compte le rayonnement du corps noir, et bien que ce concept soit susceptible de faire partie d'un programme plus avancé, les points clés nécessaires à la réalisation du travail sont décrits sur la fiche d'information n° 2, et ne sont pas difficiles à saisir. Les mathématiques requises étant plus difficiles, les élèves peuvent utiliser le tableur d'accompagnement pour les aider dans leurs calculs.

Activité n° 1 : CHALEUR URBAINE

Cette activité présente l'effet d'îlot de chaleur urbain, et examine son impact potentiel, dans un monde qui se réchauffe et qui devient de plus en plus urbanisé. Les élèves étudient la carte thermique d'une ville, et appliquent ce qu'ils ont appris, pour créer une carte thermique hypothétique d'un environnement urbain local. Tout ou partie de cette activité peut être utilisée comme un exercice à faire à la maison.

Matériel

- La fiche d'information n° 1 (2 pages, deuxième page facultative - voir étape n° 3)
- La fiche d'activité n° 1
- Accès à Internet
- Les contours de carte d'une zone urbaine locale (facultatif)
- Un logiciel de traitement d'images ou des crayons de couleur
- De grandes feuilles de papier (facultatif - voir étape n° 5)
- L'application web Climate from Space : article *Chaleur urbaine* (facultatif)

Préparation

Si les élèves doivent réaliser l'étape n° 5 sur papier, il faudra imprimer les contours de carte d'une zone urbaine locale. Si possible, réduire la saturation avant l'impression pour supprimer les blocs de couleur et laisser des contours gris.

Exercice

1. Introduire le sujet en demandant aux élèves de faire part de leurs expériences personnelles en matière de canicules, et de la façon dont l'environnement influe sur la sensation de chaleur - peut-être en faisant référence à leur lieu de vacances, à des bâtiments particuliers, ou à certaines parties d'un environnement urbain local.
2. Demander aux élèves de lire la fiche d'information n° 1.1 et de partager avec un partenaire une chose qu'ils ont apprise de l'histoire et une question qu'ils veulent poser à ce sujet.
Si cette activité est réalisée en classe, on pourra compléter le texte par des éléments tirés de l'article *Chaleur urbaine* de l'application web Climate from Space.
3. Demander aux élèves de répondre aux questions n° 1 à 4 de la fiche d'activité n° 1. On peut leur faire utiliser une copie électronique de la carte thermique de Madrid si on souhaite réduire le nombre de copies couleur nécessaires. L'image peut être téléchargée sur https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/07/AHS-observed_relative_temperatures_of_Madrid_Spain#.X9ouo5WBoXk.link
4. Discuter des réponses aux questions de la fiche d'activité, ainsi que de toutes les questions que les élèves ont identifiées en lisant la fiche d'information, et auxquelles ils n'ont pas répondu en faisant l'activité.
5. Demander aux élèves de produire eux-mêmes une carte thermique théorique d'une zone urbaine locale. Pour ce faire, ils peuvent ajouter des superpositions ou

des blocs de couleur à une capture d'écran d'une carte en ligne, ou colorier une carte papier.

L'étape n° 6 de la fiche d'activité demande aux élèves d'annoter leur carte. Pour ce faire, ils peuvent utiliser des zones de texte, des étiquettes, ou des post-it. Le fait de placer la carte au centre d'une grande feuille de papier, ou d'un canevas, ou d'une publication, avec du texte autour du bord, peut rendre la présentation plus claire.

6. Les élèves peuvent présenter leurs cartes à la classe et s'évaluer entre eux, ou bien, si cette partie de l'activité est utilisée comme un devoir, l'évaluation par les élèves pourra être reportée à une séance ultérieure.

Réponses de la fiche d'activité

Les détails fournis par les élèves dépendront de leurs connaissances préalables, et leurs réponses peuvent donc ne pas inclure tous les points ci-dessous, et/ou présenter d'autres corrélations valables.

1. Les routes sont faites de béton ou de goudron (asphalte), qui est sombre et absorbe bien la chaleur, et la restitue la nuit. Il a également une capacité thermique supérieure à celle de l'air, et stocke ainsi beaucoup de chaleur. Le frottement entre la route et les pneus des véhicules qui la parcourent, génère une chaleur supplémentaire, qui est transférée à la route et stockée par celle-ci.
2. Le toit blanc des tribunes absorbe mal la chaleur. La disposition ouverte du stade, permet de ne pas piéger l'air chaud à l'intérieur et le laisse sortir par convection. S'il n'y a pas eu de match ce jour-là, il y aura eu peu de personnes dans le stade – en sachant qu'un corps humain au repos émet de l'énergie à un taux d'environ 100 W.
3. Il y a plusieurs parcs et terrains de jeu dans le quartier, mais l'un des contrastes les plus frappants est le rond-point de la Plaza de la Republica Argentina.
4. Les bâtiments sont disposés autour d'une rangée de cours intérieures - une caractéristique architecturale qui a été largement utilisée dans les climats chauds depuis l'Antiquité, en raison de l'ombre qu'elles procurent et de l'effet de refroidissement passif qu'elles créent. La couverture du toit est plus pâle que les tuiles utilisées dans de nombreux bâtiments environnants. Les élèves peuvent également faire remarquer que, comme il est minuit lorsque la photo a été prise, les climatiseurs qui ont pu fonctionner pendant la journée n'ajoutent pas de chaleur à l'environnement.

Les réponses aux autres questions varieront.

Activité n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE

Cette activité démontre comment la détection de l'intensité du rayonnement thermique, peut être utilisée pour déterminer les températures de la surface terrestre, en considérant les caractéristiques d'un corps noir. Les élèves découvrent les équations pertinentes, qu'ils utilisent ensuite pour effectuer des calculs à l'aide d'un tableur.

Matériel

- La fiche d'information n° 2
- La fiche d'activité n° 2 (2 pages)
- Une calculatrice
- La feuille de calculs « Chaleur Urbaine activité 2.xlsx »

Préparation

On peut télécharger préalablement la feuille de calculs « Chaleur Urbaine activité 2.xlsx », de la section Chaleur Urbaine de la page Web Climat pour les écoles de l'ESA (<https://climate.esa.int/educate/climate-for-schools/>) vers un répertoire partagé local, afin que les élèves puissent y accéder sans aller sur internet.

Les élèves peuvent également avoir besoin d'un diagramme montrant les régions du spectre électromagnétique, si ce travail n'est pas effectué dans le cadre d'un sujet connexe. (Voir, par exemple, le Dossier pédagogiques d'accompagnement *Prendre le pouls de la Planète (Secondaire 11-14)* disponible à l'adresse Internet ci-dessus).

Exercice

1. Demander aux élèves de dresser la liste des méthodes et des instruments utilisés pour mesurer la température, en élargissant éventuellement la discussion aux avantages et aux inconvénients de chacun.
Poursuivre en leur demandant lesquels de ces instruments pourraient être utilisés pour la télédétection de la température - par exemple des thermocouples, ou d'autres thermomètres électroniques, pourraient être reliés à un émetteur afin de transmettre les données à distance.
Expliquer que nous allons en savoir plus sur le fonctionnement des caméras thermiques, et effectuer certains des calculs qui sont à la base de leur fonctionnement.
2. On pourrait simplement demander aux élèves de lire la fiche d'information, et d'effectuer les calculs de la fiche d'activité, à l'aide de la feuille de calculs.
Cependant, les équations sont assez intimidantes. Il serait donc préférable de lire une section de la fiche d'information, d'effectuer les calculs correspondants, et de vérifier ces réponses avant de passer à la section suivante. Cela permettra de vérifier la compréhension des élèves, et d'apporter du soutien si nécessaire.
3. On peut demander aux élèves, de combiner ce qu'ils ont appris au cours de cette activité, avec les cartes qu'ils ont produites à la fin de l'activité n° 1, et suggérer ainsi des changements spécifiques, qui pourraient être apportés dans la zone qu'ils ont étudiée, afin de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Réponses de la fiche d'activité

1. 2. Les élèves peuvent ou non, connaître les subdivisions de la partie infrarouge du spectre, utilisées en observation de la Terre et en télédétection. Vous pouvez les présenter si vous le souhaitez. (NIR = proche infrarouge ; SWIR = infrarouge à ondes courtes).

	Température		Longueur d'onde de crête		Région du spectre électromagnétique
	/ K	/ °C	/ m		
Soleil	5795	5522	$5,00 \times 10^{-7}$	500 nm	visible (vert)
Verre fondu	1700	1427	$1,70 \times 10^{-6}$	1,70 μm	infrarouge (NIR)
Lave	1500	1227	$1,93 \times 10^{-6}$	1,93 μm	infrarouge (SWIR)
Béton chaud	333	60	$8,70 \times 10^{-6}$	8,70 μm	infrarouge (thermique)
Terre (moyenne)	300	27	$9,66 \times 10^{-6}$	9,66 μm	infrarouge (thermique)
Béton frais	283	10	$1,02 \times 10^{-5}$	10,2 μm	infrarouge (thermique)
Terre (la plus froide de tous les temps)	184	-89	$1,57 \times 10^{-5}$	15,7 μm	infrarouge (thermique)

3. a. $1,50 \times 10^7 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$ b. $9,65 \times 10^6 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$ c. $7,38 \times 10^6 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$

4.

Surface	Emissivité	Température de luminosité / K à 10,85 μm et 27°C
Eau	0,99	23,1
Béton brut	0,94	22,3
Tarmac (asphalte)	0,93	22,1
Chênes	0,885	21,4

5. Les arbres ont une température de luminosité plus basse, ce qui signifie que leur surface émet moins d'énergie dans l'atmosphère. Ils ne réchauffent donc pas l'air qui les entoure dans la même mesure que l'eau, le béton ou le goudron.

Ils fournissent également de l'ombre, ce qui empêche le sol à leurs pieds, d'absorber l'énergie du soleil, et réduit ainsi l'énergie que le sol émet à son tour.

Ils envoient de l'eau dans l'atmosphère par transpiration, et l'énergie nécessaire à l'évaporation à la surface des feuilles est prélevée dans l'atmosphère, ce qui abaisse sa température.

Activité n° 3 : VILLE ET CAMPAGNE

Dans cette activité, les élèves utilisent l'application web Climate from Space, pour identifier les types de couverture terrestre associés à deux lieux très différents, et analyser les données de température téléchargées. Ils consolident leur apprentissage du sujet, en produisant un rapport reliant les modèles qu'ils ont trouvés, aux informations sur le comportement radiatif des différentes surfaces, et éventuellement, à d'autres variables climatiques.

Matériel

- Un accès à Internet
- L'application web Climate from Space
- La fiche d'activité n° 3 (2 pages)
- La feuille de calculs « Chaleur Urbaine activité 3.xlsx »
- Des logiciels de type tableur et traitement de texte

Préparation

On pourra télécharger préalablement la feuille de calculs « Chaleur Urbaine activité 3.xlsx » de la section « Chaleur Urbaine » de la page web « Climat pour les écoles » de l'ESA (<https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>), et la déposer dans un espace mémoire local et partagé, où les élèves pourront accéder sans aller sur internet.

Exercice

1. Rappeler aux élèves qu'ils ont déjà appris comment on mesure la température de la surface terrestre depuis l'espace, et comment elle varie dans une ville, mais qu'ils n'ont pas, jusqu'à présent, examiné les preuves de l'effet d'îlot de chaleur urbain. C'est ce que nous allons faire dans cet exercice, en comparant les données d'une zone urbaine avec celles d'une zone rurale.
2. Demander aux élèves de le faire en suivant les instructions et en répondant aux questions de la fiche d'activité n° 3. Ils peuvent avoir besoin d'un soutien supplémentaire dans les domaines suivants :
 - La légende de répartition de la couverture terrestre dans « Climate from Space » est assez détaillée. Les élèves pourront être invités à rechercher des catégories plus larges : les zones urbaines sont en rouge, les roches nues et la végétation clairsemée sont en couleurs pâles, les forêts et les zones boisées sont en nuances de vert, les autres types de végétation sont en jaune, et ainsi de suite.
 - Certains élèves peuvent avoir besoin d'aide afin de déterminer un graphique approprié à tracer. Il peut être utile de créer des étiquettes composées pour l'axe des x, comme dans l'exemple.
 - La façon la plus rapide, de déterminer les températures moyennes pour chaque mois pour la question n° 4, est d'utiliser la fonction SUMIF.
3. On pourra demander aux élèves qui travaillent rapidement, de faire un ou plusieurs des points suivants :

- Comparer la tendance des températures en hiver et en été, pour chaque lieu (disons janvier et juillet). Ces tendances évoluent-elles de la même manière que la tendance annuelle ? Si non, quelles sont les différences ?
 - Les élèves ayant une meilleure connaissance des statistiques, pourraient également quantifier la variation pour chaque lieu - soit sur l'ensemble de la période, soit à des moments particuliers - et examiner dans quelle mesure les preuves confirment les tendances qu'ils ont décrites.
 - Les élèves peuvent également examiner d'autres "Couches de données" de l'application web Climate from Space qui, selon eux, pourraient avoir un impact sur la température à chaque endroit - l'humidité du sol et les nuages, par exemple.
4. La tâche finale de la fiche d'activité n° 3.2 consiste à produire un rapport pour résumer et expliquer ces résultats. Ce rapport peut être utilisé pour évaluer l'apprentissage des élèves sur l'ensemble du sujet, ainsi que les compétences en matière de communication et de traitement des données, en fonction des critères d'évaluation utilisés habituellement.

Réponses de la feuille d'activité

1. Heathrow - urbain ; Waddington - terres cultivées.
2. Retirer les données antérieures à 2009 de l'ensemble de données de Heathrow ; calculer les températures moyennes pour Heathrow.
3. Regarder la figure n° 3.
 Similitudes : les maxima et les minima se produisent au même moment chaque année dans les deux endroits (janvier et juillet, respectivement) ; l'écart entre les températures les plus élevées et les plus basses dans chaque endroit est similaire (environ 20°C).
 Différences : En général, les températures sont plus élevées à Heathrow qu'à Waddington ; les températures hivernales à Waddington sont considérablement

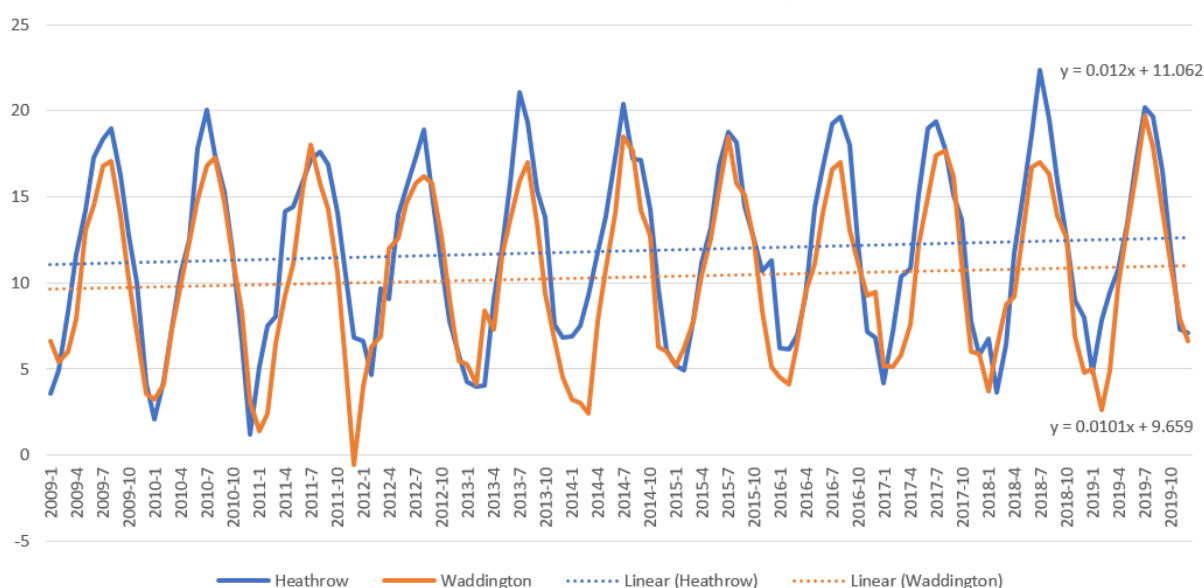


Figure n° 3 : Températures mensuelles moyennes pour Heathrow et Waddington, Royaume-Uni
 (Source : climate-data.org)

plus basses que celles de Heathrow environ une année sur trois ; les températures estivales à Heathrow sont sensiblement plus élevées que celles de Waddington presque chaque année.

4.

Température moyenne en °C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Heathrow	5,1	5,7	8	10,9	13,9	17	19,5	18,6	16	12,8	8,5	6,4
Waddington	4,3	4,5	6,5	9,2	12,2	14,9	17,4	16,9	14,4	11,4	7,4	4,9

5. Ces données renforcent la conclusion selon laquelle, Heathrow est généralement plus chaud que Waddington. La comparaison des moyennes mensuelles, suggère que cette différence est généralement plus importante pendant les mois d'été.

6. Les températures augmentent dans les deux endroits, mais à un rythme plus rapide à Heathrow qu'à Waddington. Les taux sont de $0,010^{\circ}\text{C}/\text{mois} = 0,12^{\circ}\text{C}/\text{an}$ à Waddington et de $0,012^{\circ}\text{C}/\text{mois} = 0,14^{\circ}\text{C}/\text{an}$ à Heathrow.

Les données numériques pour cette activité ont été téléchargées sur :

www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/stationdata/heathrowdata.txt.

et

www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/stationdata/waddingtondata.txt

Feuille d'activité n° 1 : CHALEUR URBAINE

Trouver un plan des rues, ou des photographies aériennes, ou des images satellite en couleur, de la partie de Madrid représentée sur l'image nocturne de la fiche d'information n° 1.2.

Utiliser ces informations pour vous aider à répondre aux questions ci-dessous.

1. Le réseau routier apparaît clairement sur l'image. Pourquoi ?

2. Le stade Bernabéu apparaît aussi très clairement. Pourquoi ?

Le texte de la fiche d'information n° 1.1 mentionne plusieurs mesures qui peuvent contribuer à maintenir les villes fraîches, notamment la réintroduction de la nature, l'amélioration de la circulation de l'air dans et autour des bâtiments, et l'utilisation de matériaux ou de couleurs différents.

3. Identifier un endroit qui semble être plus frais que les environs parce qu'il contient des plantes.

4. La rangée de bâtiments gouvernementaux encadrée dans l'extrait de droite, semble être plus froide que d'autres. Quelle(s) caractéristique(s) de leur architecture peuvent expliquer cela ? Argumenter votre réponse en vous référant à des bâtiments contrastés.



À quoi ressemblerait une carte similaire d'une partie de votre ville, de votre village ou de la zone urbaine la plus proche ?

5. Colorier un extrait de carte pour illustrer ce que vous estimez. N'oubliez pas d'inclure une légende.

6. Ajouter des étiquettes pour expliquer vos décisions pour au moins quatre caractéristiques ou emplacements.

7. Comparer votre carte avec celle produite par d'autres personnes.
Sont-elles d'accord avec vous ?
Si ce n'est pas le cas, discutez des différences, en essayant de parvenir à un consensus.

Fiche d'activité n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE

Pour certaines de ces questions, on pourra utiliser la feuille de calcul "Chaleur Urbaine activité 2.xlsx". Demander à votre professeur où la trouver.
 Dans tous les calculs, veillez à utiliser les bonnes unités.

Température et longueur d'onde maximale

L'intensité maximale du rayonnement du soleil se situe à 500 nm.

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

- Utiliser la loi de Wein pour estimer la température du Soleil.

Ajouter votre réponse au tableau ci-dessous.

- Utiliser maintenant la loi de Wein pour calculer la longueur d'onde maximale du rayonnement des objets du tableau. Donner la réponse sous forme standard et en utilisant un préfixe approprié, puis indiquer dans quelle partie du spectre électromagnétique se trouve le rayonnement.

	Température en K	Température en °C	Longueur d'onde de crête en m		Région du spectre électromagnétique
Soleil			5.00 × 10 ⁻⁷	500 nm	visible (vert)
Verre fondu	1700				
Lave	1500				
Béton chaud	333				
Terre (moyenne)		27			
Béton frais		10			
Terre (la plus froide de tous les temps)		-89			

Rayonnement à d'autres températures

Le capteur d'un satellite d'observation de la Terre, détecte le rayonnement infrarouge d'une longueur d'onde de 10,85 μm.

- Saisissez les données appropriées dans la feuille de calcul, pour utiliser la formule de rayonnement du corps noir de Planck, afin de calculer la radiance du béton aux températures indiquées ci-dessous.

$$L_{BB}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}$$

N'oubliez pas de convertir les températures en Kelvin avant d'utiliser la formule.

- 60°C (chaud)

b. 27°C (moyen) _____

c. 10°C (frais) _____

Températures de rayonnement

Les surfaces urbaines ne sont pas des corps noirs, nous devons donc tenir compte de leur émissivité.

4. Entrer les données

appropriées dans la feuille de calcul, pour calculer à l'aide du tableur la température de rayonnement de l'eau, du béton, du tarmac (asphalte) et des chênes à une température de 27°C.

$$T_b = \frac{hc}{\lambda k_B \ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon(\lambda)} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1\right]\right)}$$

Les émissivités sont indiquées dans le tableau, que vous pouvez également utiliser pour noter vos réponses. Supposez que le capteur détecte la même longueur d'onde que celui de la question n° 3.

Surface	Emissivité	Température de rayonnement en K à 10,85 μm et 27°C
Eau	0,99	
Béton brut	0,94	
Tarmac (asphalte)	0,93	
Chênes	0,885	

5. Comment les réponses à la question n° 4 appuient-elles l'idée que la végétation peut contribuer à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain ? Existe-t-il d'autres moyens d'y parvenir ?

Fiche d'activité n° 3 : VILLE ET CAMPAGNE

Ouvrir l'application web *Climate from Space* (cfs.climate.esa.int).

Cliquer sur le symbole « Couches de données » (en haut à droite) et choisir « Couverture terrestre ».

Visionner l'animation plusieurs fois, pour vérifier que vous comprenez comment les commandes vous aident à regarder plus précisément, des endroits ou des moments particuliers.

Cliquer sur le bouton ⓘ, en bas à gauche, pour voir la légende. Vérifier que vous reconnaissez les couleurs employées pour les différentes catégories d'utilisation des sols.

Vous allez examiner les températures dans deux endroits du Royaume-Uni.

- Heathrow, Londres.
- Waddington, Lincolnshire.

Localiser ces lieux sur une carte en ligne afin de savoir comment les retrouver dans l'application web *Climate from Space*.

1. Quel type de couverture terrestre y a-t-il dans et autour de chaque lieu ?
A-t-elle changé de manière significative au cours de la période couverte par les données ?

Heathrow _____

Waddington _____

Pour les étapes suivantes, vous aurez besoin de la feuille de calcul « Chaleur Urbaine activité 3.xlsx ».

Demander à votre professeur où la trouver.

Harmonisation des données

La feuille de calcul montre les enregistrements mensuels de température pour chaque lieu. Avant de pouvoir les comparer, vous devez faire correspondre les séries de données.

2. Qu'est-ce que cela signifie que vous devez faire ?

Faire une copie de la feuille et harmoniser les deux séries de données.

Examen des données

Tracer les deux séries de données sur un seul graphique avec la date sur l'axe des x et la température sur l'axe des y.

3. Comparer le cycle annuel de variation de la température dans chaque lieu, en utilisant des chiffres pour étayer vos conclusions.

Similitudes : _____

Différences : _____

4. Calculer la température moyenne pour chaque mois dans chaque lieu.
Vous pouvez également créer un graphique approprié de ces données.

Température moyenne en °C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Heathrow												
Waddington												

5. Cela apporte-t-il de nouvelles informations, ou confirme-t-il, ou contredit-il l'une des conclusions que vous avez tirées du graphique complet ? Expliquer votre réponse.

Ajouter une ligne de tendance linéaire, pour chaque ensemble de données, à votre graphique complet, en indiquant les équations de chaque ligne sur le graphique.

6. Que nous apprennent ces lignes et leurs équations, sur l'évolution des températures à Heathrow et à Waddington ? Une fois encore, rechercher les similitudes et les différences, et utiliser des chiffres pour étayer vos descriptions.

Rapporter vos conclusions

Rédigez un court rapport basé sur ces données. Votre rapport doit inclure :

- une description des lieux et des données utilisées,
- une référence à la source des données,
- au moins un graphique,
- une description des principaux modèles ou tendances,
- une explication de chaque modèle ou tendance en fonction de ce que vous avez appris dans cette rubrique.

Votre rapport peut également inclure :

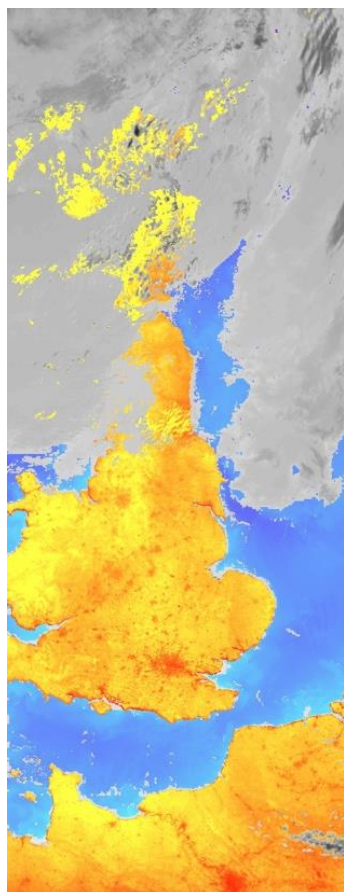
- des graphiques, cartes, diagrammes ou illustrations supplémentaires,

- des données complémentaires provenant d'autres sources, correctement référencées,
- les mesures qui pourraient être prises pour réduire les tendances qui posent, ou qui pourraient poser problème à l'avenir,
- des suggestions pour une enquête plus approfondie, y compris les données dont vous auriez besoin et comment vous les utiliseriez.

Votre rapport ne doit pas compter plus de 1000 mots, y compris les annotations et les légendes, mais excepté les références.

Fiche d'information n° 1 : CHALEUR URBAINE

Pour les célébrations du Nouvel An 2020 à Moscou, il a fallu fabriquer de la neige artificielle. Dans la capitale russe, célèbre pour ses hivers froids et rigoureux, les températures avaient atteint 5,4 °C - la température la plus élevée en décembre depuis le début des relevés en 1879. Pour une épreuve de snowboard, on a utilisé de la "neige" raclée à la surface d'une patinoire voisine. Des enfants ont joué au football dans des cours qui accueilleraient habituellement des matchs de hockey sur glace.



Une carte de chaleur nocturne du nord-ouest de l'Europe. Les zones grises sont des nuages et les terres représentées en rouge sont plus chaudes que celles représentées en jaune. (Source : ESA)

Les vagues de chaleur ont tué 70 000 personnes en Europe en 2003 et 55 000 dans la seule Russie en 2010. Les températures les plus extrêmes ont été enregistrées dans les villes. Lorsque de plus en plus de personnes s'installent dans une zone urbaine, les routes et les bâtiments remplacent la végétation. Comme les matériaux utilisés dans la construction de ces derniers ont une capacité calorifique bien supérieure à celle des plantes et des arbres, l'environnement bâti stocke de l'énergie et les températures ne tardent pas à augmenter. Les villes deviennent des "îlots de chaleur urbains", qui peuvent être jusqu'à 7°C plus chauds que la campagne environnante. Vous pouvez voir à quel point les zones bâties ressortent clairement sur l'image satellite de gauche, qui montre la température de la surface terrestre la nuit.

Environ 2 % de la surface de la Terre, est couverte par des villes qui abritent plus de 55 % des 7,7 milliards d'habitants de la planète. D'ici 2050, on s'attend à ce que 75 % d'une population mondiale de 9,5 milliards d'habitants, vivent dans des villes, ce qui signifie que beaucoup plus de personnes ressentiront l'impact de l'effet d'îlot de chaleur.

La mesure dans laquelle une zone urbaine est affectée par cet effet, dépend de facteurs tels que le nombre, le type, et la disposition des bâtiments et des routes, ainsi que de leur composition. En réintroduisant la nature dans les villes, en plaçant les bâtiments de manière à améliorer

la circulation de l'air, et en utilisant des matériaux et des couleurs qui retiennent moins la chaleur que ceux que nous utilisons actuellement, on pourrait empêcher que les températures urbaines grimpent aussi rapidement. Mais ces mesures sont-elles suffisantes pour refroidir nos villes en pleine expansion ?

Les mesures de la température de la surface terrestre (TST) depuis l'espace, peuvent montrer comment les vagues de chaleur affectent la température. Des scientifiques, financés par l'Agence spatiale européenne (ESA), ont réalisé des

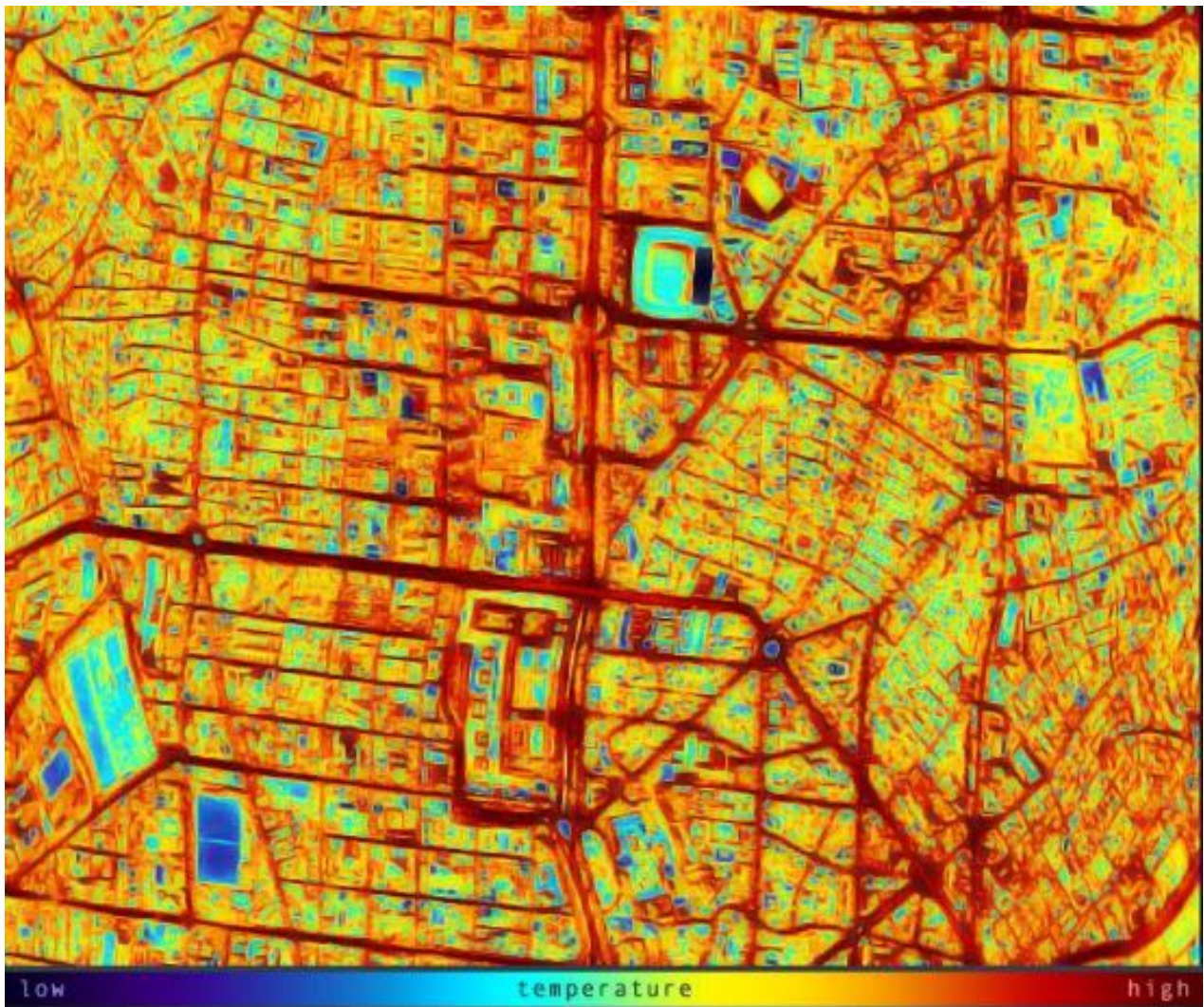
cartes de la température de la surface terrestre, donnant un instantané des températures au sol, et suffisamment détaillées pour montrer les caractéristiques principales d'une ville comme Londres. En comparant ces cartes avec des relevés précis à long terme, les chercheurs et les urbanistes peuvent étudier l'impact des vagues de chaleur, et des changements dans l'environnement urbain. Les informations, à l'échelle d'un pâté de maisons, voire d'un quartier, peuvent aider les urbanistes à améliorer la conception des villes, en leur suggérant l'emplacement des espaces verts, les matériaux à utiliser, et l'orientation des bâtiments, pour optimiser le refroidissement.

Un autre groupe de scientifiques financés par l'ESA, utilise des données satellites pour produire des cartes détaillées de la couverture terrestre. Nous pouvons utiliser ces cartes, ainsi que les informations sur les TST, pour explorer les interactions entre l'homme et la nature, et examiner comment le changement climatique affecte ces interactions. En fait, les équipes de l'ESA produisent des ensembles de données, pour toute une série d'informations, connues sous le nom de variables climatiques essentielles (VCE), qui aident à décrire et à expliquer comment le changement climatique affecte notre planète. L'occupation des sols et les TST, ne sont que deux de ces VCE qui, ensemble, nous aident à comprendre comment planifier un meilleur avenir.

Identifier les points chauds

Cette image de Madrid, a été produite à partir des données recueillies par un instrument volant au-dessus de la ville, à minuit le 1er juillet 2008.

Vous pouvez télécharger une copie haute résolution de l'image, à utiliser dans l'activité n° 1, sur le site https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/07/AHS-observed_relative_temperatures_of_Madrid_Spain#.X9ouo5WBoXk.link.



(Source : ESA)

Fiche d'information n° 2 : RADIATION ET TEMPÉRATURE

Corps noirs

Tout objet plus chaud que le zéro absolu (0 K, ou -273°C), émet un rayonnement électromagnétique. Les corps dits noirs sont des radiateurs parfaits : ils émettent un spectre continu, et la quantité de rayonnement qu'ils émettent à chaque longueur d'onde, ne dépend que de leur température, T , généralement donnée en Kelvin, K.

Un corps noir émet la plus grande quantité de rayonnement à la longueur d'onde maximale, λ_{peak} . La loi de Wein stipule que plus l'objet est chaud, plus la longueur d'onde maximale est courte :

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

T est la température en Kelvin et b est la constante de Wein, dont la valeur est de 0,00290 m.K (mètre Kelvin).

Courbes de rayonnement du corps noir

La formule de Planck, est utilisée pour calculer la quantité de rayonnement*, qu'un corps noir d'une certaine température, émet à une longueur d'onde particulière. Cette quantité est connue sous le nom de radiance, L_{BB} . La formule semble compliquée, mais l'élément clé à noter, est que tous les termes de l'équation, hormis la température T , et la longueur d'onde λ , sont des constantes :

$$L_{BB}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}$$

h = constante de Planck, $6,63 \times 10^{-34}$ J s
 c = vitesse de la lumière, $3,00 \times 10^8$ m s⁻¹
 k_B = constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹

Trouver des températures

L'équation de Planck peut être réarrangée comme n'importe quelle autre. Si nous connaissons la L_{BB} pour une longueur d'onde particulière, alors nous pouvons calculer la température du corps noir qui l'a émise. C'est ainsi que fonctionne une caméra thermique : le capteur détecte le rayonnement infrarouge, de la même manière que le capteur de votre appareil photo détecte la lumière visible, et le logiciel convertit la "luminosité" de chaque pixel, en une température qu'il affiche dans une couleur particulière.

Cependant, la plupart des objets ne sont pas des corps noirs : la quantité de rayonnement qu'ils émettent, à chaque longueur d'onde, ne dépend pas uniquement de la température. Par conséquent, pour trouver la température, nous devons adapter légèrement l'équation et la réorganiser.

Le terme supplémentaire, l'émissivité ϵ , n'a pas d'unité car il indique le rapport, entre

$$T_b = \frac{hc}{\lambda k_B \ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon(\lambda)} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right] \right)}$$

le rayonnement que l'objet émet à une certaine longueur d'onde, et celui émis par un corps noir similaire.

Cette température de surface T_b , est connue sous le nom de température de brillance. Elle ne correspond peut-être pas à la température de l'objet dans son ensemble, mais elle montre comment l'objet rayonne de la chaleur vers

l'environnement, et est donc utile si nous voulons voir l'effet de différents types de couverture terrestre sur l'atmosphère.

* Désigne uniquement la quantité d'énergie émise par seconde et par mètre cube dans une direction particulière, les unités sont donc $W \text{ sr}^{-1}\text{m}^{-3}$.

Liens

Ressources

Application web Climate from Space

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

Climat pour les écoles

<https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Enseigner avec l'espace

http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

Rayonnement du corps noir

<https://sci.esa.int/web/education/-/48986-blackbody-radiation>

Projets spatiaux de l'ESA

Bureau du climat de l'ESA

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

De l'espace pour notre climat

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Les missions d'observation de la Terre de l'ESA

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Explorateurs de la Terre

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers

Sentinelles de Copernic

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Informations supplémentaires

Mesurer la température de la Terre à l'aide de satellites

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Taking_Earth_s_temperature

Vagues de chaleur, chaleur urbaine et îlots de chaleur

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Satellites_predict_city_hot_spots

Autres vidéos de la Terre vue de l'espace

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