

Kit pédagogique

Des expériences et des
pistes pédagogiques pour
travailler avec les jeunes



C'EST NOTRE AIR



REMERCIEMENTS

Ce kit pédagogique a été conçu conjointement par les Académies d'Ile de France, Airparif, la DRIEE, l'INRA, Monde Pluriel et l'ONU Environnement dans le cadre du projet « Lycéens, collégiens, prenons notre air en main ! ».

AUTEURS :

Guillaume Saliège, enseignant au lycée André Bouloche à Livry-Gargan
Bruno Descroix, enseignant au lycée Louise Michel à Bobigny
Virginie Artaud et Nicolas Manlius, enseignants au lycée Edmond Rostand à Paris
Christophe De Viti-Perdana, enseignant au lycée François Villon à Paris
Nathalie Nabli et Jean-François Bernaud, enseignants au lycée Blaise Pascal à Orsay
Anne Rouvière, enseignante au collège Jean Perrin au Kremlin-Bicêtre
Erwan Rivoallon, enseignant au lycée François Mansart à Saint-Maur-des-Fossés
Julie Legrand et Manuel Guay, enseignants au lycée Guillaume Budé à Limeil-Brévannes
Delphine Astier, Directrice chez Monde Pluriel
Elaine Ivassenko, chargé de mission chez Monde Pluriel

COMITÉ DE RÉDACTION :

Bruno Descroix, Jean-Max Girault, Sophie Pons et Guillaume Saliège (académie de Créteil)
Muriel Geraudie, Nicolas Jury (académie de Paris)
Françoise Ribola (académie de Versailles)
Sophie Loran et Fanny Demassieux (ONU-Environnement)
Tahnee Regent (DRIEE)
Charlotte Songeur et Amélie Fritz (Airparif)
Delphine Astier et Elaine Ivassenko (Monde Pluriel)
Jean-François Castell (INRA)

EXPERTS :

Mark Radka, Chef Energie et Climat (ONU Environnement)
Valentin Foltescu, Chef Sciences (Coalition pour le Climat et l'Air Pur)
Charlotte Songeur (Airparif)
Jean-François Castell (INRA)

Copyright © Programme des Nations Unies pour l'environnement, (année 2018)

A condition d'en mentionner la source, la présente publication peut être reproduite intégralement ou en partie sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques ou non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur du copyright. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement souhaiterait recevoir un exemplaire de toute publication produite à partir des informations contenues dans le présent document.

L'usage de la présente publication pour la vente ou toute autre initiative commerciale quelle qu'elle soit est interdite sans l'autorisation préalable écrite du Programme des Nations Unies pour l'environnement.

Avertissement

Les termes utilisés et la présentation du matériel contenu dans la présente publication ne sont en aucune façon l'expression d'une opinion quelconque par le Programme des Nations Unies pour l'environnement à propos de la situation légale d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou de son administration ou de la délimitation de ses frontières ou de ses limites. De plus, les opinions exprimées ne représentent pas nécessairement la décision ou la politique officielle du Programme des Nations Unies pour l'environnement, de même que la mention de marques ou de méthodes commerciales ne constitue une recommandation.



AVANT-PROPOS

La pollution de l'air, responsable du décès de plus de 7 millions de personnes chaque année dans le monde est, de nos jours, le risque le plus important pour la santé environnementale. La pollution de l'air modifie également notre climat de façon fondamentale et a des répercussions profondes sur les écosystèmes.

Respirer un air sain s'inscrit dans les objectifs de développement durable adoptés par l'ensemble des Etats Membres des Nations Unies en 2015.

La pollution n'est pas une fatalité et chacun peut agir. Pour améliorer la qualité de l'air, il est important d'en comprendre les mécanismes, les enjeux et les moyens d'action. Cela s'inscrit pleinement dans les démarches d'éducation au développement durable portées en France par le ministère de l'Éducation nationale, de l'école primaire au lycée.

C'est ainsi que chaque année des projets inter-académiques d'éducation au développement durable sont menés par la région académique Ile-de-France et la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE Ile-de-France).

Pour l'année scolaire 2017-2018, avec l'appui d'Airparif, de l'INRA, de l'association Monde Pluriel et de l'ONU-Environnement, 23 collèges et lycées, soit plus de 800 élèves, se sont lancés dans l'aventure « *Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !* ». Ils ont pu aborder ces sujets selon une démarche d'investigation scientifique. Au bilan : de réels travaux d'enquête dans les territoires, des établissements sensibilisés et des jeunes prêts à s'impliquer pour la lutte contre la pollution atmosphérique.

Grâce aux nombreuses ressources des partenaires, les séances développées en classe ont permis, au-delà de l'acquisition de connaissances scientifiques, l'assimilation par les élèves des enjeux liés à la qualité de l'air et de vraies réflexions autour des solutions possibles pouvant être travaillées avec les jeunes.

Le fruit de cette année de travail est restitué dans le présent kit pédagogique. Il offre la possibilité à d'autres équipes, d'autres établissements, d'autres territoires et d'autres pays de s'emparer du sujet de la qualité de l'air. Il est à la disposition de tous.





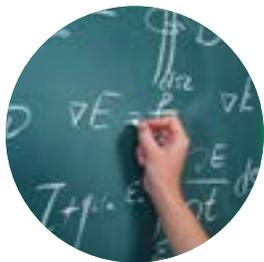
SOMMAIRE

Remerciements	02
Avant-propos	03
Sommaire : entrées par champs disciplinaires	05
<hr/>	
01 Comprendre la qualité de l'air et ses enjeux : 5 pistes pour entrer dans la thématique	06
02 Découvrir les polluants atmosphériques et se représenter leur taille	08
03 Étudier les impacts de la qualité de l'air sur la santé grâce à un jeu sérieux en ligne	10
04 Comprendre les liens entre qualité de l'air et climat en réalisant des infographies	12
05 Modéliser l'impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement à travers l'exemple du blé	14
Cerner la diversité des enjeux de la qualité de l'air dans le monde en confrontant des documents complexes	16
06	
07 Étudier l'évolution de la qualité de l'air en Ile-de-France à l'aide de graphiques	18
<hr/>	
08 Diagnostiquer la qualité de l'air sur son territoire	20
Étudier les concentrations de polluants sur son territoire en analysant les données des stations de mesure	22
09	
10 Utiliser des végétaux comme bio-indicateurs de la qualité de l'air : l'exemple du tabac	24
11 Recenser et étudier les lichens pour estimer la pollution atmosphérique	26
12 Analyser, fabriquer et programmer un capteur avec les élèves	28
13 Effectuer des mesures de la qualité de l'air sur son territoire	30
14 Enquêter et proposer des solutions pour améliorer la qualité de l'air dans la salle de classe	32
15 Écrire un article de presse portant sur les liens entre l'agriculture et la pollution de l'air	34
16 Connaître et rencontrer les acteurs de la qualité de l'air sur son territoire	36
17 Étudier les solutions imaginées à travers le monde pour lutter contre la pollution atmosphérique	38
<hr/>	
18 Élaborer des propositions pour améliorer la qualité de l'air sur son territoire	40
19 Valoriser l'implication et les acquis des élèves par l'organisation d'un événement	42
20 Les Exp'Airs : communiquer sur son travail de recherche en réalisant une bande dessinée	44
Maskbook : mobiliser le public sur la qualité de l'air et participer à une œuvre artistique collective en ligne à travers un atelier artistique	46
21	
<hr/>	
Ils l'ont fait !	50
<hr/>	
Éléments d'information clés sur la qualité de l'air et les liens entre la qualité de l'air et les changements climatiques	52
<hr/>	
Lexique de la qualité de l'air	54
<hr/>	

COMPRENDRE
LA QUALITÉ DE
L'AIR ET SES
ENJEUX

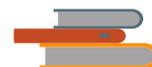
ENQUÊTER
SUR SON
TERRITOIRE

PROPOSER
ET AGIR



SOMMAIRE

ENTRÉES PAR CHAMPS DISCIPLINAIRES



La qualité de l'air, parce qu'elle soulève de nombreux enjeux, est une thématique transversale qui peut être abordée dans toutes les matières ou dans des projets interdisciplinaires. Elle est l'occasion de travailler l'esprit critique des élèves et de développer les compétences citoyennes. En sciences expérimentales, en éducation à la santé et au sport, on s'intéresse aux polluants et à leurs conséquences sur la santé et l'environnement. En sciences humaines et sociales, on étudie les logiques d'acteurs, on recherche des solutions pertinentes en fonctions du contexte socio-économique du territoire. Les arts, la maîtrise de la langue et la pratique des langues étrangères sont mobilisés dans des opérations de communication et de sensibilisation. Ce sommaire présente les pistes pédagogiques par grands champs disciplinaires.



SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Étudier la diversité des enjeux à travers le monde (fiche 6), expliquer les facteurs de l'évolution de la qualité de l'air (fiche 7), enquêter sur son territoire local (fiches 8 et 16), élaborer, débattre et négocier des solutions dans un cadre démocratique (fiches 17, 18, 19 et 22)... autant de pistes qui permettent aux élèves de varier les échelles d'analyse et de saisir la complexité des enjeux politiques et sociaux en travaillant des compétences clés. À travers une simulation de négociations internationales, d'analyse de documents et de rencontres d'acteurs, les élèves se forment à l'élaboration de choix raisonnés et à la citoyenneté.



ARTS ET CULTURES ARTISTIQUES

L'élaboration de performances ou de productions artistiques permet aux élèves de s'interroger sur les enjeux de la qualité de l'air et de communiquer de manière créative. Par exemple, au cours de l'atelier Maskbook (fiche 21), les élèves conçoivent et réalisent des masques pour alerter le public sur les enjeux de la qualité de l'air et du changement climatique. En produisant une bande dessinée restituant leurs expérimentations scientifiques (fiche 20), les élèves prennent une distance réflexive avec leur travail de recherche et développent leur créativité.



USAGES DU NUMÉRIQUE

Apprendre à rechercher des informations fiables (fiche 1), à utiliser des logiciels et des applications pour produire des ressources (traitement de texte, tableur, logiciel de dessin...), à lire et concevoir des infographies (fiche 4), à programmer des capteurs (fiche 12) ou recueillir des données (fiche 9)... À travers la qualité de l'air les élèves développent de nombreuses compétences numériques.



MAÎTRISE DE LA LANGUE ET ÉDUCATION AUX MÉDIAS

Travailler sur les enjeux de la pollution de l'air avec des élèves, c'est leur donner l'occasion de découvrir, de s'informer et de communiquer sur une question de santé majeure du XXI^{ème} siècle. S'ils veulent convaincre, il leur faut à la fois faire preuve de rigueur dans leurs recherches (croiser les sources, vérifier la fiabilité de l'information...) et de pertinence dans le choix du vocabulaire qu'ils utilisent pour communiquer à l'oral comme à l'écrit (fiches 1, 18, 21, etc.). La rédaction d'articles de presse et d'interview (fiche 15), de discours (19) ou de synthèses écrites (fiche 6) sont autant d'occasions d'améliorer leur maîtrise de la langue et développer leur esprit critique.



SCIENCES EXPÉRIMENTALES, TECHNOLOGIE ET MATHÉMATIQUES (STEM)

Étudier la qualité de l'air avec les élèves implique de mobiliser des compétences et des outils des sciences expérimentales, des technologies ou des mathématiques. C'est par exemple le cas pour le traitement et l'analyse des données permettant de montrer l'évolution annuelle ou journalière des concentrations de polluants (fiche 9) ; ou lors de la mise en évidence des liens entre qualité de l'air et croissance des végétaux (fiches 5, 10 et 11) ; ou encore quand il s'agit de programmer un capteur, de réaliser des mesures et d'exploiter les données recueillies (fiches 12, 13 et 14) .



ÉDUCATION À LA SANTÉ ET AU SPORT

La qualité de l'air représente un enjeu majeur pour notre santé. Découvrir les principaux polluants atmosphériques (fiche 2) permet d'aider à comprendre l'incidence de leur présence sur le fonctionnement de l'organisme avec des effets connus sur les poumons, le cœur, le cerveau et le système hormonal (fiche 3). C'est l'occasion de faire réfléchir les élèves aux comportements favorables à la santé.



01

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX : CINQ PISTES POUR ENTRER DANS LA THÉMATIQUE

L'objectif principal de cette séance est de permettre aux élèves de découvrir ce qu'est la pollution atmosphérique, ses différents composants et leurs sources ainsi que l'existence de conséquences sur la santé. Ils identifient les grands enjeux de la qualité de l'air mais aussi les structures chargées de sa surveillance ou les réglementations existantes. Les pistes présentées ici proposent des approches variées (quiz, affiches, expériences scientifiques...) et font appel à des outils différents.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Rechercher, extraire, sélectionner, organiser et synthétiser des informations utiles
- Manifester de l'intérêt dans le projet : créativité, curiosité, motivation
- Organiser la composition d'un document, prévoir sa présentation en fonction de sa destination
- Utiliser différents langages et supports de communication

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Toutes disciplines

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Les séances décrites ici de manière succincte ont servi d'introduction à un travail sur la qualité de l'air. Elles sont présentées plus longuement dans les documents annexes.

UN THÈME À DÉCOUVRIR AU LYCÉE ANDRÉ BOULLOCHE (voir annexes n°1 et n°2)

Les élèves, répartis en petits groupes, ont pour consigne de deviner le thème sur lequel ils vont travailler tout au long de l'année. Toutes les deux minutes, ils reçoivent un document (une image, un tableau, etc.) qui leur permet d'affiner petit à petit leurs hypothèses (voir annexe n°2). Une fois l'ensemble des documents distribués, chaque groupe formule une hypothèse et prépare un petit argumentaire pour la présenter à la classe. A l'issue de ces exposés, l'enseignant révèle le sujet et explique pour chaque document son lien avec le thème de la qualité de l'air.

UNE CARTE MENTALE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

La séance débute par un brainstorming collectif permettant de faire émerger les représentations des élèves sur la question de la qualité de l'air. Leurs réponses sont écrites en bleu sous forme d'une carte mentale que l'on viendra compléter dans une autre couleur en fin de séance avec ce qu'ils pourront ajouter après la lecture des documents. Après une rapide présentation du site www.maqualitedelair-idf.fr, les élèves choisissent une thématique (les différents polluants atmosphériques, les sources de pollution, les conséquences sur la santé...) et analysent un document synthétique s'y rapportant. La carte mentale obtenue comprend donc les représentations des élèves avant de débiter le projet ainsi que les notions découvertes au cours de la séance. L'utilisation de deux couleurs différentes permet de souligner la progression des apprentissages.

CRÉER UN QUIZ SUR LA QUALITÉ DE L'AIR (voir annexe n°1)

Les élèves effectuent des recherches sur Internet ou à partir d'un ensemble documentaire pour acquérir des connaissances sur la qualité de l'air. Chaque binôme est chargé d'élaborer deux ou trois questions pour un quiz qui sera soumis en fin de séance à l'ensemble de la classe. Cet exercice leur permet d'avoir une vision globale du sujet, avant de l'étudier de manière plus approfondie. Les rédacteurs des questions doivent être capables d'argumenter leurs réponses et de répondre à d'éventuelles demandes de précision de leurs camarades. Les différentes étapes de la réalisation du questionnaire sont aussi l'occasion d'une réflexion méthodologique : comment effectuer une recherche d'information efficace ? Comment s'assurer de la fiabilité d'un site ?

Une élève mesure la taille des particules émises par une combustion au microscope optique

Affiche de la campagne de sensibilisation



DES EXPÉRIMENTATIONS SCIENTIFIQUES AU LYCÉE FRANÇOIS VILLON (voir annexe n°4)

Les élèves placent tout d'abord sur une carte les sources de pollutions qu'ils ont identifiées dans leur quartier : axe routier, activité industrielle polluante, chantier... Une recherche documentaire leur permet de confirmer leurs hypothèses mais aussi de découvrir des sources de pollution auxquelles ils n'avaient pas pensé : la combustion du bois dans les feux de cheminée ou le frottement des roues sur le sol. Ils élaborent ensuite des protocoles puis réalisent les expériences correspondantes (frottement d'une roue, combustion,...) afin de mettre en évidence la présence des polluants.



Une élève mesure la taille des particules émises par une combustion au microscope optique

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Tous les établissements impliqués dans le projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" n'ont pas réalisé de séance introductive. Nombre d'entre eux ont directement orienté leurs élèves vers la réalisation de la carte d'identité de la qualité de l'air sur leur territoire (voir fiche n°8). Néanmoins, tout en présentant des durées et des niveaux de complexité variés, ces cinq pistes permettent de découvrir le thème de la qualité de l'air et sont l'occasion d'acquérir des méthodes qui seront utiles pour la suite.

DES AFFICHES AU COLLÈGE JEAN PERRIN (voir annexe n°3)



Affiche de la campagne de sensibilisation

Les élèves, répartis en binôme, se voient attribuer un thème rédigé sous la forme d'une question : quels sont les effets de la pollution sur la santé ? Quels sont les différents polluants ? Comment contribue-t-elle à la pollution de l'air ? Pourquoi y-a-t-il des alertes pollution ? Qui est chargé de la surveillance de la qualité de l'air ? Ils reçoivent ensuite deux ou trois documents à partir desquels ils élaborent une affiche répondant à la question posée. Ces affiches sont présentées en classe puis lors d'une exposition. Elles constituent un matériel utile pour la suite du projet et peuvent servir de support à l'élaboration de solutions.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Formuler des hypothèses pour deviner la thématique de travail et cerner les grands enjeux de la qualité de l'air en élaborant un quiz
- Annexe n°2 : Sélection de documents pour découvrir le thème
- Annexe n°3 : Réaliser une affiche
- Annexe n°4 : Expérimenter pour montrer le lien de causalité entre la qualité de l'air et la pollution
- www.airparif.asso.fr
- www.maqualitedelair-idf.fr
- [http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- www.atmo-france.org/fr



02

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX : DÉCOUVRIR LES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ET SE REPRÉSENTER LEUR TAILLE

Quels sont les polluants atmosphériques ? Comment se représenter leur taille ? Les élèves apprennent que le terme générique de "polluant" cache en fait de nombreuses échelles, micrométriques et nanométriques. Ils produisent des documents de vulgarisation scientifique.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Organiser la composition d'un document, prévoir sa présentation en fonction de sa destination, de son public
- Coopérer dans un projet collectif : assumer des rôles, prendre des initiatives et des décisions
- Utiliser différents langages et supports de communication : journal, papier, vidéo, exposition, poster, média numérique, expression artistique...

CHAMPS DISCIPLINAIRES

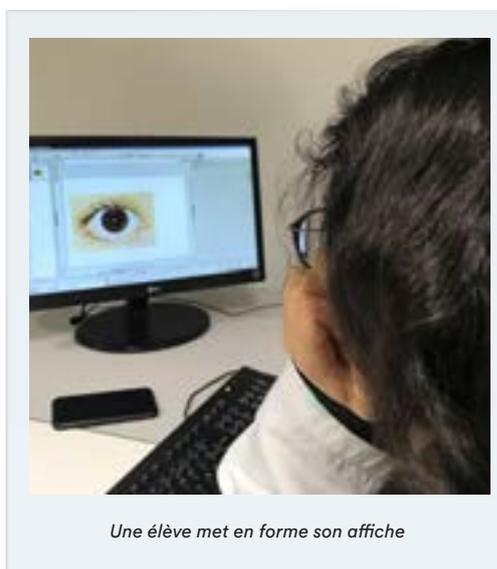


- Chimie
- Mathématiques
- Arts plastiques

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Cette séance peut introduire le thème de la qualité de l'air, aucun pré requis n'étant nécessaire. Le travail en équipe et la diversité des activités permettent de fédérer la classe pour une poursuite éventuelle du travail sur ce thème.



Une élève met en forme son affiche



Exemple d'affiche grain de sable

La qualité de l'air est liée à la concentration en polluants atmosphériques d'origines anthropique et naturelle. Ces polluants sont souvent invisibles, ce qui rend difficile la communication autour de leurs dangers. Dans le scénario proposé, l'élève, en position de communicant, est missionné par une association de mesure de la qualité de l'air (par exemple le NYSDEC, à New-York) pour produire deux supports de communication sur ces polluants à destination du grand public :

- une carte d'identité sur un polluant majeur des villes et/ou des campagnes
- une affiche représentant la taille relative de ces polluants

Au préalable, le professeur présente aux élèves les objets parmi les plus petits qui existent dans la nature. Il fait la distinction entre atomes, ions, molécules et des objets plus complexes. Il explique la méthode pour trouver un ordre de grandeur à partir d'exemples simples et ce que signifie l'acronyme PM_{10} (le "10" représentant l'ordre de grandeur du diamètre maximum de ces particules fines en μm).

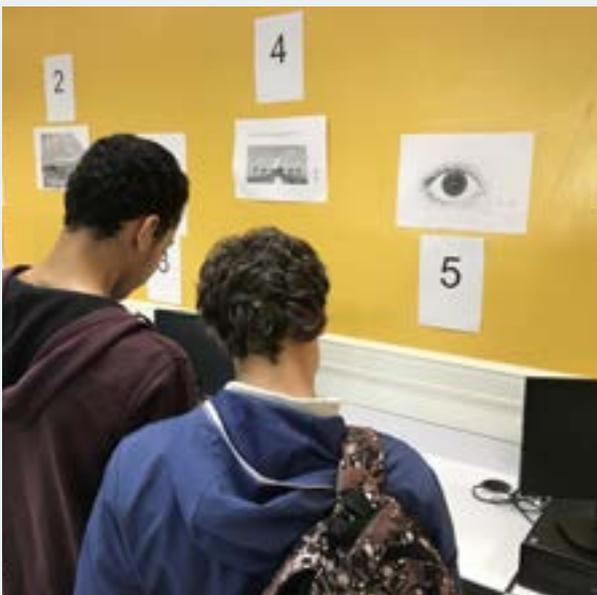


Une fois ce temps de présentation passé, chaque élève tire au sort le polluant qu'il devra étudier. Il cherche des informations sur ce polluant : le type d'entité chimique (atome, ion molécule, structure complexe, etc.) et sa formule, la taille réelle dont il trouve l'ordre de grandeur, la famille de polluant (primaire, secondaire) ainsi que les recommandations faites par l'OMS à propos de ce polluant. Ils sélectionnent aussi une image : vue d'artiste, photographie réelle issue de la microscopie. Toutes ces informations sont compilées dans une "carte d'identité" du polluant, dont le modèle aura été au préalable partagé avec l'élève, affiché au tableau par exemple ou via un dossier de partage en ligne. Ainsi, ces cartes d'identité auront toutes le même format. Un article de presse et ses références peuvent être ajoutés à la carte d'identité.

Plus tard, une deuxième mission est confiée à l'élève : produire une affiche représentant le polluant et un autre objet de la vie courante à la même échelle. Les affiches sont exposées dans la classe et peuvent donner lieu à un vote sur des critères scientifiques, esthétiques et de clarté du travail de vulgarisation. Les affiches sélectionnées par la classe sont exposées dans l'école.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

La séquence consacrée au vote a eu beaucoup de succès auprès des élèves. Le vote a été précédé d'une présentation de l'affiche par l'élève et d'un débat qui ont permis une correction des calculs d'ordre de grandeur ou d'échelle. Chaque élève a exprimé ses préférences en votant. Trois élèves sont donc récompensés pour leur travail, mais tous apprécient que leur travail soit affiché dans l'école.



Des élèves votent pour la meilleure affiche

POUR ALLER PLUS LOIN

RESSOURCES

- déroulé détaillé
- trois exemples d'affiches
- trois exemples de carte d'identité

SOURCES

- GARRIC, Audrey. Pollution de l'air : quels risques pour quels niveaux de protection ? *Le Monde*, le 15/03/2014
- CLAUDIA. Comet over cities in Europe. *rosetta blog, esa*
- D.S. Qu'est-ce qu'un "wiki". *Le Figaro*, le 04/10/2006



03

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX : ÉTUDIER LES IMPACTS DE LA QUALITÉ DE L'AIR SUR LA SANTÉ GRÂCE À UN JEU SÉRIEUX EN LIGNE

Quelles sont les maladies induites par la pollution de l'air ? Comment pratiquer une activité physique lorsque l'on est exposé à la pollution ? Les élèves découvrent les enjeux sanitaires de la qualité de l'air grâce à un jeu sérieux en ligne. Ils restituent les connaissances acquises en réalisant des productions multimédia.

Cette séquence s'appuie sur le jeu sérieux en ligne Airducation qui permet aux élèves d'aborder la question de la qualité de l'air en autonomie et de façon ludique. Cette plate-forme a été développée par une vingtaine de partenaires scientifiques et institutionnels, dont l'Université de Paris-Est Créteil et Airparif, co-porteurs du projet.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Être autonome dans son travail
- Rechercher, extraire, sélectionner, organiser et synthétiser des informations utiles
- Utiliser différents langages et supports de communication

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Santé
- Biologie humaine
- Education physique et sportive

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Pour étudier les impacts de la qualité de l'air sur la santé, il est préférable de connaître au préalable les différents polluants. Pour préparer les élèves, on pourra s'appuyer sur les fiches 1 et 2 de ce kit, ou utiliser d'autres modules du jeu sérieux en ligne consacrés à l'identification des polluants et leurs sources d'émission.

La séquence nécessite l'utilisation d'appareils numériques (tablettes, smartphones ou ordinateurs) connectés à Internet.

À travers un parcours défini au préalable par l'enseignant, les élèves découvrent les enjeux sanitaires de la qualité de l'air en visionnant plusieurs modules : quelles sont les maladies induites par la pollution ? Quelles sont les populations à risque ? Comment pratiquer un exercice physique dans de bonnes conditions ? Comment les polluants atteignent-ils les différents organes ? Etc.

Chaque module est constitué d'une animation vidéo de quatre à cinq minutes et d'un questionnaire sur les connaissances acquises.

Pour s'immerger dans l'univers du jeu vidéo, chaque élève choisit un avatar. C'est à travers ce personnage qu'il évoluera dans le jeu. Les contenus scientifiques sont délivrés par des personnages virtuels, à l'aide de cartes interactives ou de diaporamas animés.

Autonome, l'élève avance à son rythme et peut réécouter un passage qui lui semble difficile ou cliquer sur des liens hypertextes pour avoir des précisions sur une notion.

Quand il se sent prêt, il répond aux questions du quiz. Le jeu a été pensé pour valoriser les chaînes de bonnes réponses et non la rapidité. Pour gagner, l'élève doit donc éviter les erreurs, ce qui l'incite à écouter attentivement les contenus. S'il se trompe, une explication pédagogique s'affiche et on lui laisse la possibilité de recommencer pour améliorer son score. Ainsi conçu, le jeu permet de susciter la motivation mais aussi la curiosité et la concentration des élèves.



Interface Airducation

Étudier les impacts de la qualité de l'air sur la santé grâce à un jeu sérieux en ligne

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX

01

02

03

04



Préparation du film : Agathe explique la circulation des particules fines dans le système respiratoire

Lors de la séance suivante, afin de vérifier et d'approfondir le niveau de maîtrise des contenus, nous avons demandé aux élèves de réaliser, en petits groupes, des productions sur les thèmes abordés dans le jeu. Chaque équipe devait choisir un contenu et l'expliquer à sa manière, sous la forme d'une vidéo, d'une affiche ou d'un schéma.

En préparant leur production, à travers leurs échanges, les élèves ont pu vérifier, préciser et ajuster leurs connaissances. Ce travail de création a permis une véritable appropriation des contenus. Un groupe d'élèves a, par exemple, choisi de réaliser une vidéo pour expliquer les pathologies associées à la pollution atmosphérique et à la circulation des particules fines dans l'appareil respiratoire humain. Un autre groupe a réalisé une affiche proposant une série de conseils dédiés aux sportifs en cas de pic de pollution, tels que privilégier des activités sportives avec une ventilation moins importante, privilégier les moments de la journée où la qualité de l'air est moins dégradée, respirer par le nez, s'écartier des sources majeures de pollutions... Leurs propositions ont été affichées dans les vestiaires du gymnase et présentées aux élèves du lycée par leur enseignant d'éducation physique et sportive, pour diffuser les bonnes pratiques.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Le jeu en ligne Airducation s'est révélé être un outil innovant et particulièrement efficace pour susciter la motivation des élèves et acquérir des connaissances précises sur des questions souvent complexes. Les ressources sur les formations et les métiers associés à la qualité de l'air ont aussi été utilisées pour accompagner les élèves dans leur parcours d'orientation.

L'univers du jeu vidéo a créé une véritable émulation au sein de la classe, la plupart des élèves cherchant à optimiser leur score pour gagner.

Enfin, quelques élèves ont décidé de poursuivre chez eux le jeu, en découvrant d'autres modules sur la qualité de l'air.

POUR ALLER PLUS LOIN

- La plate-forme Airducation
- Déroulé pas à pas
- Exemples de productions d'élèves

AIRDUCTION est une plateforme développée par une vingtaine de partenaires experts des questions de la qualité de l'air et de la santé. Les contenus ont été rédigés par des chercheurs, des médecins et des enseignants. Le jeu propose au total trente-deux modules permettant de découvrir les polluants, les sources d'émissions, les impacts sur la santé et les solutions envisageables pour améliorer la qualité de l'air.



CHANGEMENT CLIMATIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR : QUE FAIRE ?

Infographie réalisée par les élèves

En quoi le changement climatique affecte-t-il la qualité de l'air ?

Infographie réalisée par les élèves

Les élèves résumant certains passages sous la forme d'infographies. Ils ont recours à des applications de dessin et des banques d'images accessibles en ligne. Ils peuvent également les réaliser à la main, selon le temps et les moyens disponibles. Plusieurs phases de correction par les pairs sont organisées pour aboutir à des versions pertinentes et visuellement efficaces.

Au terme de cette séquence, les élèves savent différencier clairement les deux phénomènes et sont en mesure de proposer des solutions à la fois profitables au climat et à la qualité de l'air (fiches 17 à 19). Ils ont abordé et représenté un système complexe d'interactions. Ils sont en mesure d'appréhender des documents d'aménagement de territoires, tels que les Plans Climat-Air-Énergie Territoriaux (PCAET, voir fiche 16), mis en place en France dans toutes les communes et regroupements de communes de plus de 50.000 habitants.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Pour permettre la réussite de tous, l'accompagnement doit être modulé. Certains groupes ont travaillé en autonomie, pour d'autres, l'enseignant a ciblé les passages les plus simples de l'article. Les phases de correction entre pairs ont permis à tous les élèves de saisir des phénomènes d'interaction et de rétroaction complexes.

La réalisation d'infographies et le recours à des applications de dessin numérique ont stimulé la créativité et l'implication des élèves.

POUR ALLER PLUS LOIN

- La séquence pas à pas :
Fiche déroulée détaillée de la séquence
- Ressources pour la séquence :
Diaporama de la séquence, exemples de productions d'élèves, articles
- Synthèse du rapport du GIEC de 2014



05

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX :

ESTIMER L'IMPACT DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES À L'AIDE D'UN MODÈLE

Les élèves découvrent puis modélisent l'influence de la concentration d'un polluant atmosphérique, l'ozone, sur les pertes de rendement d'une culture de blé, de luzerne ou de riz.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Exploiter et analyser des données
- Élaborer, utiliser et discuter un modèle

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences de l'environnement
- Mathématiques
- Géographie
- Economie

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Avant ces séances, les élèves ont effectué des recherches sur l'évolution des rendements agricoles sur leur territoire au cours des dernières décennies. Ils connaissent la notion de rendement et ont une idée de l'évolution des pratiques agricoles.

La première séance débute par l'étude de documents photographiques montrant des plants de blé soumis à des concentrations d'ozone variables en atmosphère confinée. Les élèves évaluent la hauteur des plants afin d'établir une comparaison chiffrée et réalisent un graphique. Ces premiers résultats suggèrent l'existence d'un impact négatif de la pollution sur la croissance des plants de blé.

Pour valider cette hypothèse, une présentation est faite aux élèves par un chercheur de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) (voir annexe n°1). Elle montre notamment les pertes de rendement d'une culture de blé en fonction de cumuls de concentration en ozone sur un territoire : les AOT40¹ (voir graphique ci-contre). Ces AOT40 sont des cumuls de concentration d'ozone au-delà du seuil de protection de la végétation, ils ne sont calculés qu'entre 8h et 20h lors des 3 mois de croissance du végétal. Une discussion avec la classe et éventuellement quelques calculs, permettent d'établir qu'il existe une relation proche de la proportionnalité entre les cumuls de concentration excessive en ozone et les pertes de rendement exprimées en pourcentage. Il est donc envisageable d'élaborer un modèle linéaire afin d'évaluer ces pertes de rendement. Les paramètres de ce modèle peuvent être calculés avec les élèves à l'aide d'une régression linéaire ou tirés directement d'un article scientifique (voir annexe n°2).

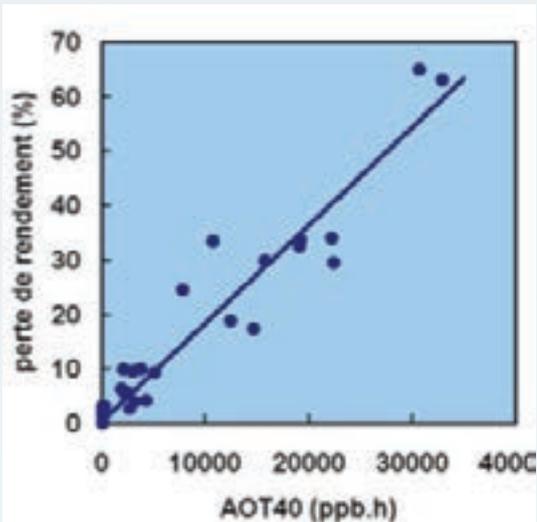


Impact de l'ozone sur la taille de plants de blé

L'utilisation de ce modèle fait l'objet d'une seconde séance en demi-groupes. Afin d'évaluer les pertes de rendement des cultures de blé sur leur territoire, les élèves utilisent la fonction d'impact de l'ozone sur le rendement du blé :

“Rendement relatif = $0.99 - 0.0161 \times \text{AOT40}$ ” où les AOT40 sont exprimés en millièmes de ppb.

¹ Le nom AOT 40 signifie « Accumulated ozone exposure over a threshold of 40 Parts Per Billion » (40 ppb ou partie par milliard = $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Impact de l'ozone sur le rendement

Il est donc nécessaire qu'ils disposent des concentrations en ozone au cours des dernières années pour calculer le nombre de jours où les seuils de protection de la végétation ont été dépassés puis les cumuls de ces dépassements au cours de la période allant du 15 avril au 15 juillet. L'application de leur modèle à ces résultats leur permet d'estimer les pertes de rendement pour les exploitations agricoles et d'en évaluer l'impact économique simplement en recherchant le prix moyen du blé pour l'année concernée. Les élèves du lycée Blaise Pascal (Orsay) ont travaillé sur les données fournies par un agriculteur exploitant des terres à proximité de leur établissement (voir fiche n°15) et ont pu lui présenter leurs estimations de l'impact économique de la pollution à l'ozone pour son exploitation (voir graphique ci-contre). Le débat a été intéressant, celui-ci doutant de l'ampleur de cet impact et préférant mettre en avant d'autres facteurs notamment météorologiques.



Impact de la pollution par l'ozone sur le blé (graphique réalisé par les élèves du lycée Blaise Pascal)

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Cette activité très riche est l'occasion de créer un modèle avec les élèves et de leur permet de découvrir les méthodes utilisées par des chercheurs pour leurs travaux. Les paramètres utilisés pour le modèle sont disponibles pour des productions de blé ou de luzerne en Europe mais aussi pour des productions de riz par exemple dans d'autres régions du monde (annexe ? ? ?).

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Diaporama "Très cher ozone", JF Castell (INRA)
- Annexe n°2 : "Impacts de l'ozone sur l'agriculture et les forêts et estimation des coûts économiques", Jean-François Castell, Didier Le Thiec, Pollution atmosphérique, numéro spécial, septembre 2016



06

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX :

CERNER LA DIVERSITÉ DES ENJEUX DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LE MONDE EN CONFRONTANT DES DOCUMENTS COMPLEXES

Les enjeux de la qualité de l'air sont sensiblement différents d'un pays à l'autre. Les sources de pollution, les types de polluants, l'ampleur du risque sanitaire ou encore les solutions envisageables diffèrent selon les territoires. Cette séquence permet aux élèves de mettre en perspective leur situation locale, en réalisant un travail de recherche et de synthèse sur les enjeux de la qualité de l'air dans différents pays ou régions du globe.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Rechercher, extraire, sélectionner, organiser et synthétiser des informations utiles
- Prendre en compte différentes échelles (du local au global)
- Rédiger une synthèse structurée

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Toutes disciplines, notamment géographie, recherche documentaire et maîtrise de la langue

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Cette séquence peut être réalisée avant ou après l'étude des enjeux à l'échelle locale. Elle sera notamment utile pour préparer le jeu sérieux sur les objectifs du développement durable (fiche 22).

Nuage de pollution : pourquoi l'Inde suffoque

Par Laurence Delannoy - 15 novembre 2017 à 13h05



Une balayeuse dans le smog à New Delhi, le 23 novembre. Photo Cathal McNaughton, Reuters

Exemple d'article sélectionné par les élèves travaillant sur l'Inde

Pour faciliter le travail de recherche, on attribue à chaque groupe d'élèves une région du globe ou un pays à étudier. L'enseignant veille à ce que la sélection présente une grande variété de situations.

Les élèves cherchent d'abord des données géographiques simples (effectif de la population, revenu par habitant, taux d'urbanisation...) pour caractériser leur

territoire d'étude. Ils lisent et sélectionnent des articles de presse abordant les enjeux de la qualité de l'air dans le pays étudié. Ils découvrent par exemple que la situation est bien plus préoccupante dans les pays à faible revenu où les foyers ouverts utilisés pour la cuisson des aliments sont responsables de plus de quatre millions de décès chaque année.

Ceux qui mènent des recherches sur l'Inde constatent qu'on estime entre 10.000 et 30.000 les décès prématurés chaque année à cause des épisodes de pollution à New-Delhi. Ce qui est sans commune mesure avec la situation parisienne. Cette première phase permet aux élèves de se familiariser avec le pays et ses enjeux. Cela les aide à contextualiser et analyser plus facilement les données recueillies par la suite.

Dans un deuxième temps, on leur soumet une série de documents graphiques complexes, issus de différents rapports des agences onusiennes sur les enjeux de la qualité de l'air dans le monde. Les élèves doivent prélever sur chaque document les informations concernant leur pays et les mettre en perspective au regard des autres régions du monde. Le dossier proposé est très complet, on peut choisir de ne sélectionner qu'une partie des documents proposés.

Cerner la diversité des enjeux de la qualité de l'air dans le monde en confrontant des documents complexes

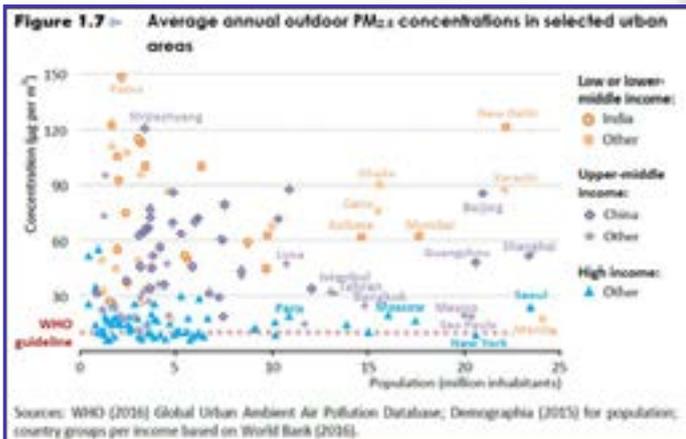
COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX

01

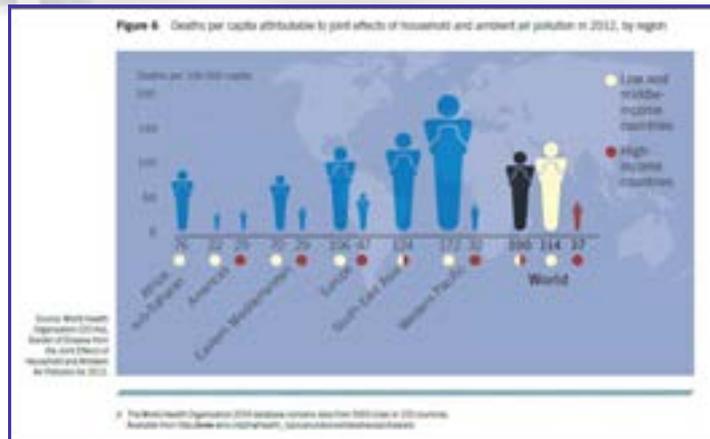
02

03

04



Concentration des $PM_{2,5}$ dans certaines grandes villes du monde en 2016



Décès liés à la pollution de l'air intérieur par région en 2012

Avec ce graphique, les élèves ont, par exemple, pu visualiser la concentration des particules fines ($PM_{2,5}$) dans l'air des métropoles du territoire étudié et la comparer à celle de Paris et des autres villes du monde. Sur cet autre document, les élèves constatent que le taux de mortalité liée à la pollution atmosphérique est en moyenne trois fois plus élevé dans les pays à faible et moyen revenu, que dans les pays riches.

Ce travail en groupe a permis aux élèves de comprendre certaines iconographies très complexes, qu'ils n'auraient pas été en mesure d'analyser seuls.

Dans un troisième temps, les élèves réalisent une synthèse écrite et ordonnée, puis ils proposent quelques solutions pour améliorer la qualité de l'air sur le territoire étudié au regard des enjeux. Selon l'âge et le niveau, l'enseignant peut proposer un canevas plus ou moins détaillé pour les guider. Enfin, chaque groupe restitue le fruit de ses recherches sous la forme d'un exposé oral.

À l'issue de ce travail sur les enjeux à l'échelle mondiale, on peut amener les élèves à mettre en perspective la réalité locale, à mettre en évidence la diversité des situations, voire à élaborer un essai de typologie (tels types de pays recouvrent tels ou tels enjeux). Au lycée André Boulloche, cette séquence a permis aux élèves de saisir la variabilité des enjeux en fonction de l'échelle, des populations et des territoires. Ce travail a constitué une étape préalable au jeu sérieux "proposer et négocier un ODD sur la qualité de l'air" (fiche 22).

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Les documents soumis aux élèves sont pour certains très complexes. Il faut donc veiller à ce que les élèves les étudient rigoureusement, pour éviter qu'ils ne se précipitent dans une analyse trop superficielle et finalement erronée des données. Pour les aider on pourra traduire et expliquer certaines notions, comme le coût sanitaire de la qualité de l'air exprimé en part du PIB. Pour les inciter à analyser finement les documents les plus complexes, on pourra mettre en place un défi ou accorder un bonus à ceux qui parviendront à les comprendre.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : la séquence pas à pas
- Annexe n°2 : fiches élèves de recherche et de synthèse d'informations
- Annexe n°3 : exemples de productions d'élèves
- Annexe n°4 : dossier documentaire



07

COMPRENDRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET SES ENJEUX : ÉTUDIER L'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L'AIR EN ILE-DE-FRANCE À L'AIDE DE GRAPHIQUES

L'étude de l'évolution de la qualité de l'air en Ile-de-France au cours des 20 dernières années permet aux élèves de situer leurs résultats dans une perspective longue mais aussi de découvrir les grandes tendances et d'en rechercher les causes.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Mobiliser des connaissances issues de différentes disciplines
- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations utiles
- Analyser des documents

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences humaines et sociales
- Sciences expérimentales
- Mathématiques

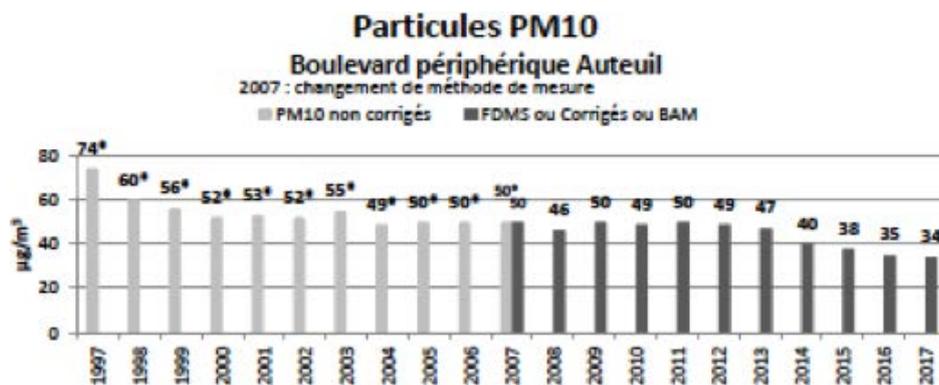
CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Cette étude sur le plus long terme complète le travail réalisé par les élèves sur une ou plusieurs stations de leur territoire et apporte de nouvelles connaissances sur les polluants et leurs sources. Il permet de comparer les résultats obtenus pour l'année précédente à ceux d'un échantillon de stations de mesures du même type au cours des vingt dernières années.

Le support de la séance est constitué de deux documents publiés par Airparif (annexes n°1 et 2) qui montrent, sous forme de graphiques, l'évolution depuis une vingtaine d'années des concentrations des différents polluants dans l'agglomération parisienne. Le premier est réalisé à partir des données d'un échantillon constant de stations de mesure de type trafic (annexe 1), le second à partir d'un échantillon de stations de fond urbaines et péri-urbaines (annexe 2). Les graphiques illustrant cette fiche sont tirés de ces deux documents.

Les élèves repèrent tout d'abord quels sont les polluants qu'ils ont déjà étudiés lors des séances précédentes. Par exemple pour les particules fines PM_{10} le long du trafic routier, ils situent leurs données par rapport aux moyennes annuelles depuis 1997. Cette étape leur donne une vision des ordres de grandeurs des concentrations moyennes annuelles pour les différents polluants. Afin d'identifier les tendances de long terme, ils calculent des moyennes mobiles sur 3 ou 5 ans et recherchent les valeurs limites annuelles : 40 $\mu g/m^3$ pour les PM_{10} , 5 pour le benzène. Pour la concentration de particules fines PM_{10} mesurée le long du périphérique, ils constatent que la tendance est à l'amélioration (-26% entre la moyenne 2002-2006 et la moyenne 2013-2017). Une recherche documentaire dans le bilan Airparif 2017 leur permet d'apprendre que cette tendance peut s'expliquer "par une diminution importante des émissions issues du trafic routier notamment liée à l'introduction des filtres à particules pour les voitures diesel". (Annexe n°3, p 20) Ils découvrent également l'importance de la météorologie.

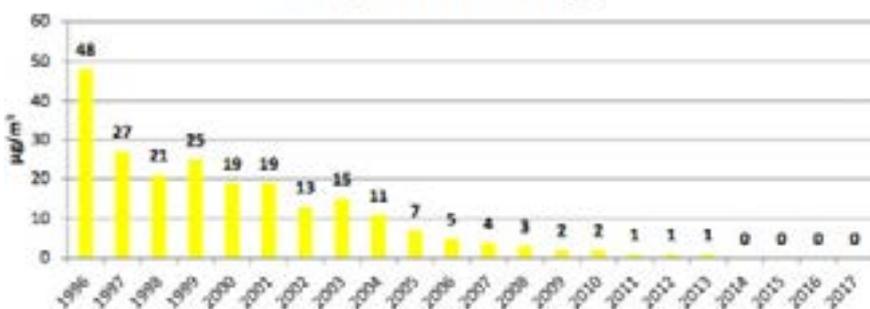


Les élèves s'intéressent ensuite aux autres polluants. Ils découvrent par exemple la disparition du dioxyde de soufre (SO_2) comme polluant atmosphérique en Ile de France, les valeurs inférieures à 5 $\mu g/m^3$ sont en effet considérées comme sous la limite de détection. Ce polluant est en effet un indicateur de la pollution industrielle et a connu une baisse spectaculaire depuis les années 50 du fait des réglementations et de la disparition d'un certain nombre d'industries. De même le benzène, s'il reste problématique le long des axes routiers, a diminué de manière importante puisqu'il est moins présent dans la composition des carburants.

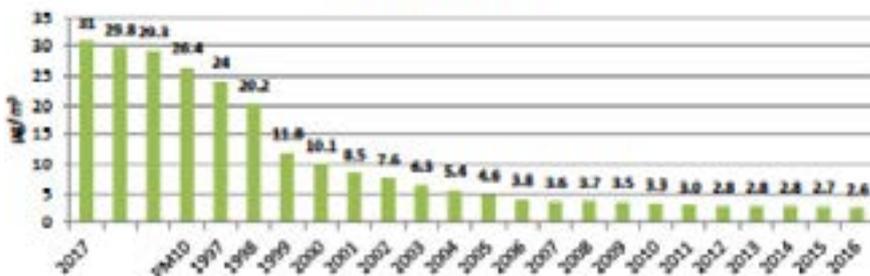


Airparif - Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France - Mars 2018

Dioxyde de soufre SO₂



Benzène Place Victor Basch



La question des principaux indicateurs de la pollution par le trafic routier en Ile de France que sont les oxydes d'azote (NO_x), les particules fines (PM₁₀) et le monoxyde de carbone (CO), est ensuite abordée. Le calcul des taux d'évolution de 1998 à 2017 montre une baisse de 43% pour la concentration en oxydes d'azote et de 88% pour le monoxyde de carbone (en utilisant des moyennes sur 3 ans pour lisser l'effet météorologique). Ces baisses semblent, là aussi, principalement dues à l'évolution des motorisations, des normes de plus en plus sévères instaurées sur les véhicules (normes EURO) et à l'interdiction de certains types de véhicules.

BILAN/RETOUR D'EXPERIENCE

Cette séance vient compléter les premières notions acquises par les élèves sur les différents polluants en leur donnant une vision à plus long terme. Les améliorations constatées, significatives pour le soufre ou le benzène, moins importantes pour les particules fines, montrent aux élèves que des progrès ont été réalisés même s'ils sont pour l'instant insuffisants puisque les objectifs de qualité de l'air sont très souvent dépassés.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Niveaux moyens annuels en agglomération parisienne, échantillon constant de stations trafic
- Annexe n°2 : Niveaux moyens annuels en agglomération parisienne, échantillon évolutif de stations urbaines et périurbaines
- Annexe n°3 : Le bilan annuel publié par Airparif propose en introduction une synthèse de l'évolution de la qualité de l'air mais aussi une analyse plus fine polluant par polluant indiquant le nombre de jours de dépassement des seuils ou le nombre d'habitants de la Région touchés par ces dépassements
- En France, le site Atmo France répertorie les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air : www.atmo-france.org
- A l'échelle internationale, il existe des structures responsables de la surveillance de la qualité comme à Londres www.londonair.org.uk ou Bruxelles www.qualitedelair.brussels



08

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

DIAGNOSTIQUER LA QUALITÉ DE L'AIR SUR SON TERRITOIRE

Les élèves découvrent la problématique de la qualité de l'air sur le territoire d'étude qu'ils ont au préalable défini. Ils identifient les principales caractéristiques de ce territoire, les différents polluants que l'on y trouve ainsi que leurs sources. Ils réalisent ainsi une carte d'identité de leur territoire qui peut prendre des formats variés. Ce travail permet aux élèves de s'approprier leur territoire, ses enjeux et ses problématiques et de concrétiser leurs connaissances théoriques.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Rechercher et sélectionner des informations pertinentes
- Utiliser des outils de communication scientifiques ou numériques adaptés (cartes, schémas, graphiques, images numériques, etc.)
- Construction et analyse de cartes
- Maîtrise de la langue française et du vocabulaire scientifique

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Toutes disciplines

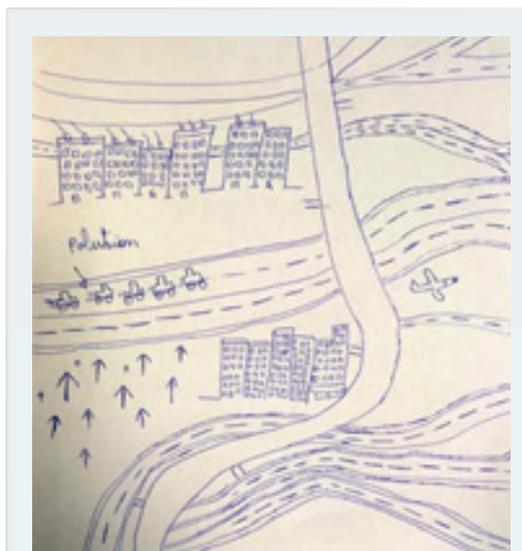
CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



La séance se déroule en classe entière ou en petits groupes, les thèmes d'étude pouvant être répartis. La réalisation de la carte d'identité constitue une bonne entrée en matière d'un projet sur la qualité de l'air.

Dans un premier temps, les élèves définissent leur territoire d'étude et déterminent l'échelle à laquelle ils entendent travailler : le quartier, la commune, l'agglomération... Ils réalisent une carte sensible et y indiquent ce qu'ils pensent être les principales sources de pollution et les zones les plus polluées. La carte sensible est un schéma ou un croquis permettant de se représenter l'espace tel qu'on l'imagine. Plus qu'à des données réelles, elle fait appel aux impressions et aux souvenirs des élèves.

Les recherches débutent ensuite en petits groupes ou individuellement autour de quelques thèmes afin de caractériser leur territoire :



Carte sensible réalisée par les élèves du collège Pierre Mendès France (Paris 20ème)

- sa géographie (limites administratives, superficie, occupation des sols, type rural, urbain ou semi-urbain),
- sa population (nombre d'habitants, densité de population)
- ses sources de pollution identifiables (industries, terres agricoles, axes routiers, typologie et qualité du bâti et types de chauffage utilisés)
- les modes de transports utilisés par les habitants.

Lors du projet "Collégiens, lycéens, prenons notre air en main !", les élèves ont pu disposer de données issues de nombreux organismes mais aussi des documents réglementaires d'urbanisme de leur territoire comme le PPA ou le PCAET (voir « pour aller plus loin »). Ils ont donc pu identifier les zones les plus polluées comme sur la carte ci-contre qui montre l'importance des axes routiers dans la pollution au dioxyde d'azote pour la commune de Bobigny. Ils ont également étudié les données brutes fournies par les stations de mesure leur donnant les concentrations en particules fines, ozone ou dioxyde d'azote sur leur territoire, heure par heure, pendant un an. L'analyse de ces données complète le travail sur le territoire et permet d'identifier les périodes de pollution les plus importantes au cours de l'année, de la semaine ou de la journée (voir fiche n°9).

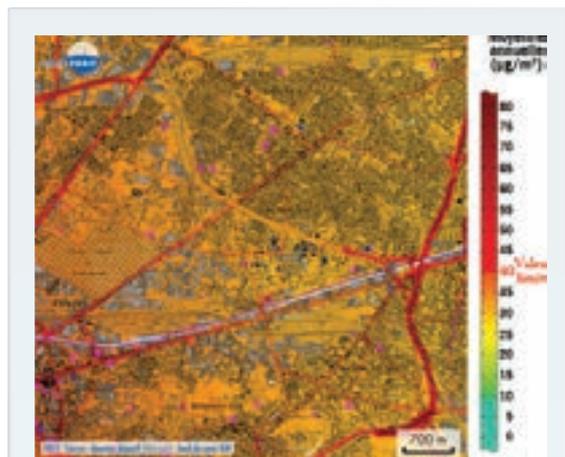


Les élèves se sont ensuite intéressés aux sources des différents polluants présents sur leur territoire. Le graphique ci-contre obtenu pour la commune d'Achères, située en zone rurale, montre l'importance relativement faible du trafic routier dans la pollution aux particules fines. Les résultats sont très différents pour des communes situées en zone urbaine dense. La comparaison des sources de pollution sur différents territoires est un exercice intéressant à mener avec les élèves, même s'il ne s'agit pas de leur territoire d'étude.

Les réalisations finales des cartes d'identité ont pris des formes très variées en fonction des établissements : exposition, article, film court, poster scientifique, présentation interactive ou site internet.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Lors du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !", la carte d'identité du territoire a été le premier point d'étape pour les vingt-trois établissements impliqués. Celui-ci est essentiel dans l'avancée du projet collectif puisqu'il permet aux élèves d'acquérir des compétences et des connaissances indispensables à la réalisation des investigations et recherches futures. Il est possible de réaliser cette carte d'identité sans disposer de données brutes, soit en utilisant les données d'une agglomération ayant des caractéristiques similaires, soit en réalisant une carte ou un schéma indiquant les axes les plus pollués.



Cartographie des concentrations annuelle en NO_2 sur la commune de Bobigny en 2015.



Bilan des émissions annuelles de différents polluants sur la commune d'Achères en 2012 en fonction des secteurs d'activités.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Carte d'identité de la qualité de l'air sur mon territoire
- Annexe n°2 : Carte d'identité de la région Ile-de-France
- Annexe n°3 : Exemple d'une carte d'identité du territoire réalisée par les élèves du lycée Louise Weiss
- Le site www.geoportail.gouv.fr pour des données cartographiques.
- Pour la région Ile-de-France, le site de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU) propose de nombreuses cartes téléchargeables : www.iau-idf.fr
- La DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et les différents documents cadres tels que le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) et Plan Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET) peuvent fournir de nombreuses informations sur votre territoire
- Le site de l'INSEE propose des données socio démographiques : www.insee.fr
- Le site Atmo France répertorie les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air : www.atmo-france.org



09

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

ÉTUDIER LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS SUR SON TERRITOIRE EN ANALYSANT LES DONNÉES DES STATIONS DE MESURE

Les élèves travaillent sur des données brutes fournies par des stations de mesure. À l'aide d'un tableur, ils effectuent des calculs, réalisent des graphiques puis analysent l'évolution des concentrations des différents polluants sur leur territoire selon trois échelles temporelles : la journée, la semaine ou l'année.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Analyser des données
- Utiliser un tableur et choisir des représentations graphiques adaptées
- Traiter et analyser des informations
- Emettre des hypothèses dans le cadre d'une démarche scientifique
- Appréhender l'usage du numérique

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences expérimentales
- Usage du numérique
- Mathématiques

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Les élèves ont acquis des connaissances de base sur la qualité de l'air et ont caractérisé leur territoire d'étude. Ils disposent d'un logiciel de type tableur et vont analyser des données recueillies sur leur territoire pour compléter ce travail.

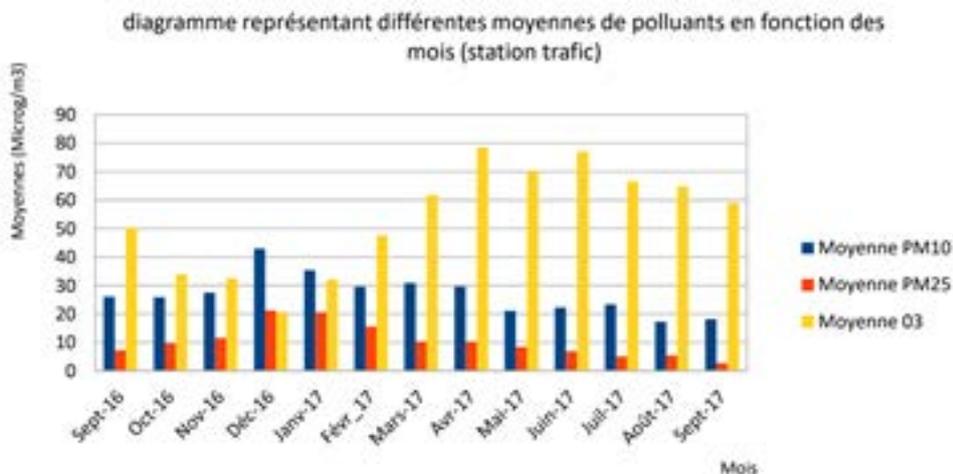
En Ile-de-France, les stations Airparif fournissent, heure par heure, les concentrations des différents polluants qu'elles mesurent : l'ozone, les particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote. En France et dans le monde, des associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air fournissent ce type de données. Ces stations de mesure sont de deux types : des **stations de fond**, éloignées des voies de circulation, et des **stations de trafic**, à proximité des axes routiers. L'étude est d'autant plus intéressante qu'elle porte sur différents types de stations sur son territoire. On peut également ajouter une station en zone rurale pour les concentrations en ozone (voir annexe n°1).

Les élèves s'approprient des techniques de calculs sur tableur : moyenne conditionnelle ou décompte des dépassements de seuil à l'aide d'une fiche méthodologique (voir annexe n°2). Ils les appliquent à un fichier de données comportant les concentrations de polluants, heure par heure, au cours d'une année entière.

Cinq pistes d'étude ont été retenues lors du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" :

- Quelles sont les variations au cours de l'année ?

Les élèves calculent des moyennes et représentent, mois par mois, l'évolution des concentrations de chacun des polluants. Ils mettent en évidence l'influence de la saison. Les concentrations en particules fines connaissent des baisses en été du fait de la diminution du trafic routier. À cette période, la concentration en ozone augmente car les conditions météorologiques sont favorables à la production de ce polluant secondaire issu de la transformation de gaz primaires.



Graphique réalisé par les élèves du lycée Louise Weiss à Achères (78) à partir des données d'une station de trafic Airparif sur leur territoire

Étudier les concentrations de polluants sur son territoire en analysant les données des stations de mesure



10

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

UTILISER DES VÉGÉTAUX COMME BIO-INDICATEURS DE LA QUALITÉ DE L'AIR : L'EXEMPLE DU TABAC

L'utilisation de capteurs pour évaluer la qualité de l'air n'est pas indispensable. Cette fiche propose une méthode de surveillance de la qualité de l'air basée sur l'utilisation d'une variété de tabac. À cette occasion, les élèves vont acquérir des connaissances scientifiques et techniques et pratiquer une démarche expérimentale.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Rechercher, sélectionner, extraire, organiser et synthétiser des informations utiles en réponse à un besoin ou un problème repéré
- Pratiquer une démarche expérimentale

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences expérimentales
- Mathématiques

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Les élèves disposent de plants de tabac bio-indicateurs de la concentration d'ozone dans l'air, ainsi que de petit matériel : vernis à ongles pour marquer les feuilles, brosses souples pour les nettoyer, loupe pour les observer. Des séances régulières de 1 à 2 heures sont nécessaires pendant une période d'un mois pour effectuer cette bio-surveillance.

L'expérience de biosurveillance de la qualité de l'air a débuté, pour les élèves du lycée professionnel Edmond Rostand à Paris, par une présentation du rôle de l'ozone dans la pollution atmosphérique et de son influence sur la végétation. Ils découvrent ensuite qu'ils vont utiliser la variété de tabac Bel W3 dont les feuilles sont atteintes de nécrose en présence d'ozone dans l'air.

Les élèves préparent ensuite leur protocole expérimental. Ils savent qu'ils vont évaluer la pollution de l'air à l'ozone en estimant le pourcentage de surface foliaire nécrosée au bout d'un mois d'exposition. Ils préparent quatre biostations qui seront réparties dans l'enceinte du lycée (au premier et au quatrième étage dans des endroits extérieurs non fréquentés) et dans deux squares à proximité. Les premières feuilles des plants de Bel W3 sont marquées par une goutte de vernis à ongles dont la couleur indique l'ancienneté de la feuille : le pétiole de la feuille saine la plus basse et la plus grande, donc la plus ancienne du plant (appelée F1), est marquée d'une goutte de vernis à ongles bleu ; puis le pétiole de la feuille situé juste au dessus (appelée F2) est marqué par une goutte de vernis à ongles rouge... Les biostations comprennent également des plants de tabac de la variété Bel B, qui sont eux tolérants à l'ozone de l'air afin d'identifier une éventuelle autre cause que la pollution à l'ozone.

Chaque semaine, les élèves récupèrent leurs plants de tabac et les apportent au lycée. Ils nettoient les feuilles à l'aide d'une brosse souple et évaluent une première fois à l'aide d'une loupe le pourcentage de nécrose foliaire en s'aidant de planches de référence (voir annexe n°1). Les feuilles sont alors prises en photo et le pourcentage de surface nécrosée est à nouveau évalué à l'aide d'un logiciel de traitement d'image.



Une des biostations installée sur une terrasse du lycée



Etude des plants de tabac par les élèves de 2 HPS



Au bout du mois de l'expérimentation, les élèves peuvent évaluer la pollution de l'air à l'ozone dans les quatre zones étudiées. Ils calculent, à cette fin, le pourcentage moyen de nécrose (PMN) pour chaque biostation, c'est-à-dire la somme des pourcentages de nécrose observée sur les feuilles divisée par le nombre de feuilles prises en compte. La valeur obtenue est ensuite analysée grâce à un tableau des indices de la qualité de l'air :

Les élèves ont obtenu un indice moyen de 3, qui correspond à un fort impact de l'ozone de l'air sur Bel W3, traduisant l'existence d'une forte pollution de l'air par l'ozone dans et aux abords de l'établissement.

Pour présenter les résultats de leurs travaux et leur protocole expérimental, ils ont également réalisé, en cours d'arts plastiques, une bande dessinée relatant leur travail de l'année (voir ci-dessous et fiche 20).

Valeur du PMN	Indice de la qualité de l'air	Impact correspondant de l'ozone sur Bel W3
0 %	0	Nul
Entre 0 % et 10 %	1	Faible
Entre 10 % et 25 %	2	Moyen
Entre 25 % et 50 %	3	Fort
Au-delà de 50 %	4	Très fort (très rare)

Tableau des indices de la qualité de l'air



Bande dessinée réalisée par les élèves du lycée Edmond Rostand pour relater l'expérience menée

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Les plants de tabac poussent sous un climat doux et ne résistent pas aux grands froids. Il est donc préférable de mener cette expérimentation en avril ou mai. Il est également préférable de la réaliser en dehors des zones routières denses. En effet, à proximité du trafic les autres polluants prennent le pas sur l'ozone.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Planches et photos de référence pour l'évolution des pourcentages de surface foliaire nécrosée, J-F Castell, INRA
- Annexe n°2 : Compte-rendu détaillé de l'expérience au lycée Edmond Rostand (Paris)
- Biosurveillance active par bioaccumulateurs - Drieë : www.drieë.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/presentation_biosurveillance_inra_05-10-2017.pdf
- Détection de l'ozone troposphérique au moyen de bioindicateurs végétaux <http://biosurveillance-air.info>



11

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

RECENSER ET ÉTUDIER LES LICHENS POUR ESTIMER LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Les élèves étudient qualitativement et quantitativement des lichens dans leur lycée ou leur environnement proche afin d'estimer la pollution atmosphérique. Ils utilisent la sensibilité des lichens à différents polluants tels que l'ozone et l'azote pour suivre l'évolution de la qualité de l'air sur plusieurs années.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVILLÉES

- Mettre en œuvre un protocole expérimental dans le respect des consignes de sécurité et de l'environnement
- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations en réponse à un besoin ou un problème repéré
- Utiliser différents supports de communication par exemple une carte interactive
- Valider ou invalider une hypothèse, un résultat d'expérience

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Sciences expérimentales
- Technologie et mathématiques
- Sciences humaines et sociales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les élèves ont acquis au préalable des connaissances sur les différents polluants présents sur leur territoire et leurs sources d'émission.

Lors de la première séance, l'enseignant présente plusieurs lichens sur son bureau. Les élèves découvrent que ce sont des êtres vivants résultant d'une symbiose entre algue et champignon et identifient les caractéristiques morphologiques permettant de reconnaître les différents types de lichens. La détermination des espèces par les élèves peut s'avérer difficile mais leur biodiversité est facilement appréhendable : type, nombre et taille des lichens présents. Afin de tester leurs connaissances avant de partir en observation sur le terrain, les élèves répondent à un petit questionnaire en ligne.

Chaque groupe a ensuite pour consigne d'aller chercher un lichen de type foliacé dans la cour, ou dans l'environnement proche de l'établissement, sur un tronc d'arbre, un mur ou un rocher. De retour en classe, les élèves peuvent observer leur lichen au microscope optique puis ils réalisent une photographie à laquelle ils ajoutent une légende et un titre. Chaque groupe réalise alors une carte d'identité de son lichen comprenant sa photo, son nom, son type et ses caractéristiques morphologiques (couleur, forme...) (voir annexe n°1).





Observation de lichens sur un arbre par des élèves du lycée Blaise Pascal d'Orsay

Au début de la deuxième séance, l'enseignant rappelle quelques traits caractéristiques des lichens : leur croissance lente, leur longue durée de vie et leur capacité à absorber et stocker les polluants atmosphériques éventuellement présents. L'hypothèse est émise que les lichens peuvent être un outil de biosurveillance mais qu'ils n'ont peut-être pas tous la même sensibilité face aux polluants atmosphériques. Les élèves proposent donc des idées pour concevoir un protocole et tester cette hypothèse. Leur pertinence est discutée collectivement et le protocole élaboré avec la classe est comparé avec celui mis en place par des chercheurs sur le [site PartiCitaE](#).

Les élèves sortent dans la cour munis de leur protocole finalisé (voir annexe n°2) afin de recenser les lichens sur un arbre à l'aide d'une clé de détermination numérique ou imprimée ce lien ne fonctionne pas. Ils prennent des photos de l'arbre dans son environnement ainsi que des lichens observés puis remplissent une fiche de renseignement (voir annexe n°3). Chaque groupe présente ses résultats sur un site de cartographie interactive comme [UMAP](#) en positionnant un repère correspondant à la localisation précise de l'arbre étudié. Cette carte interactive et les données photographiques recueillies seront utilisées et serviront de témoins les années suivantes afin d'assurer un suivi à long terme des populations de lichens.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Ce travail qui s'inspire de travaux scientifiques visant à mettre en place un observatoire de sciences participatives est complémentaire de l'analyse des concentrations de polluants réalisée avec des capteurs ou grâce aux données de stations de mesure. Il peut être réalisé dans l'enceinte de l'établissement comme au lycée Blaise Pascal (Orsay) ou sur un territoire plus étendu comme au lycée Pierre de Coubertin (Meaux) où les élèves ont étudié des lichens sur des arbres proches de leurs lieux de résidence. Les élèves ont alors une meilleure appréhension de leur cadre de vie.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe 1 : Carte d'identité d'un lichen
- Annexe 2 : Fiche de terrain avec le protocole utilisé par les élèves du lycée Blaise Pascal
- Annexe 3 : Fiche à compléter par les élèves lors de l'étude de terrain



12

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

Étudier, fabriquer et programmer un capteur avec les élèves

À travers trois séquences indépendantes, les élèves étudient puis fabriquent et programment un capteur de données environnementales connecté. Ces trois séquences permettent aux élèves de mieux comprendre l'environnement technique contemporain en s'appuyant sur une approche sciences-technique-société. Cela représente une opportunité pour s'approprier en classe la dimension citoyenne et éducative de la technologie.

Le capteur de données environnementales réalisé mesure des valeurs très fluctuantes et approximatives sur les particules fines (PM_{2,5}). On privilégiera donc pour l'étude de ce polluant une analyse des variations des concentrations moyennes sur la période de mesure plutôt que sur les valeurs elles-mêmes.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

- Analyser le cahier des charges d'un objet technique, son architecture et ses composants
- Mettre en œuvre, de manière collaborative, des procédés de prototypage rapide
- Programmer un système connecté à partir d'un cahier des charges
- Tester et valider le fonctionnement d'un produit
- Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer une conclusion et la communiquer en argumentant

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Technologies
- Mathématiques
- Sciences expérimentales
- Les notions algorithmiques sont traitées conjointement en mathématiques et en technologies

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les trois séquences proposées peuvent être traitées indépendamment en fonction des objectifs pédagogiques. Pour compléter ces séquences, les élèves pourront étudier la qualité de l'air sur leur territoire (voir fiche n°13)

Ce capteur de données environnementales pédagogique a été conçu et développé avec la classe de première STI2D du lycée François Mansart de Saint-Maur-des-Fossés. Nommé **smogy**, en référence au fameux brouillard, il a pour particularité de pouvoir être réalisé en classe dans le cadre du cours de technologie.

SÉQUENCE ANALYSER SMOGY

La dimension liée au réel est importante et implique que les élèves puissent disposer du capteur **smogy** afin de l'observer dans des configurations montées et démontées. Durant la phase d'analyse, les élèves s'approprient les éléments fondamentaux qui caractérisent le capteur à travers une approche socio-culturelle mais aussi à travers la dimension d'ingénierie propre aux objets techniques. La démarche d'investigation est privilégiée durant cette phase d'appropriation : Qu'est-ce qu'un capteur de données environnementales ? À quoi cela sert-il ? À quels besoins ou enjeux sociétaux répond-il ? Quelles sont ses caractéristiques ? Comment fonctionne-t-il ?

Ces questionnements permettent d'établir les relations entre les fonctionnalités du cahier des charges, le design et les solutions techniques associées.

SÉQUENCE RÉALISER SMOGY

Au fil de cette séquence, les élèves fabriquent les éléments structurels par impression 3D puis assemblent les composants électroniques plug and play : carte Wemos, capteurs, afficheur LCD, etc. Ils valident le bon fonctionnement du capteur **smogy** grâce à un programme test.

À travers les activités de création numérique, les élèves confrontent une réalité virtuelle à la possibilité de sa réalisation matérielle. Ils développent leur autonomie, mais aussi le sens du travail collaboratif.

SÉQUENCE PROGRAMMER SMOGY

Les activités permettent aux élèves d'avancer graduellement dans la programmation du capteur, en utilisant le langage graphique du logiciel Ardublock. Dans un premier temps, ils programment le capteur pour mesurer la température, le taux d'humidité et la concentration de particules fines (PM_{2,5}) et affichent les valeurs sur l'écran LCD. Puis, les élèves testent le capteur en réalisant des mesures sur le terrain. Ils s'interrogent sur la fiabilité des valeurs recueillies et saisissent toute la complexité de la mesure. Enfin, les élèves réalisent le programme permettant d'envoyer les données environnementales collectées par **smogy** vers l'application en ligne Thingspeak afin de les stocker, les afficher sous forme de graphiques et les analyser.



Affichage des données environnementales sur l'écran LCD

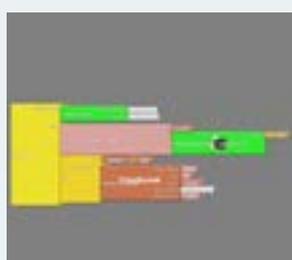


Impression 3D de la coque



Modélisation 3D dans Solidworks

Dans un second temps, les élèves réalisent le programme permettant d'envoyer les données environnementales collectées par smogy vers l'application en ligne Thingspeak afin de les stocker, les afficher sous forme de graphiques et les analyser.



Programmation graphique avec le logiciel Ardublock



Courbe de concentration de $PM_{2,5}$ dans l'application en ligne Thingspeak

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Les activités d'impression 3D, d'assemblage et de programmation peuvent être réalisées rapidement en classe sans difficulté particulière ni lassitude. Le travail de recherche documentaire sur la relation entre le taux d'humidité et la santé permet une recontextualisation immédiate de l'utilisation du dispositif en classe. De par sa nature et son ancrage dans l'actualité technologique, la dimension "objet connecté" de la seconde partie est très appréciée des élèves.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Ressources séquence "Analyser et comprendre un capteur de données environnementales"
- Ressources séquence "Réaliser un capteur de données environnementales"
- Ressources séquence "Programmer un capteur de données environnementales"



13

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

EFFECTUER DES MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR SUR SON TERRITOIRE

La concentration d'un polluant sur un territoire n'est pas constante et dépend de multiples facteurs. Dans une démarche expérimentale, les élèves élaborent des protocoles, analysent des données graphiques et proposent des hypothèses permettant d'établir une relation de causalité entre des paramètres inhérents au territoire et la qualité de l'air. Munis de leurs capteurs de données environnementales, les élèves investissent leur territoire pour mener l'enquête.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations utiles
- Repérer un problème ou un besoin lié au développement durable à l'échelle locale ou globale
- Construire et développer en public un propos construit

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences expérimentales
- Mathématiques
- Technologie

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Cette séquence est complémentaire de l'étude des enjeux à l'échelle locale et de l'élaboration de solutions



Des élèves discutent et localisent les sources de pollution sur un fond de carte



Une élève du lycée François Villon (Paris, 14e) réalisant des relevés avec un capteur mobile

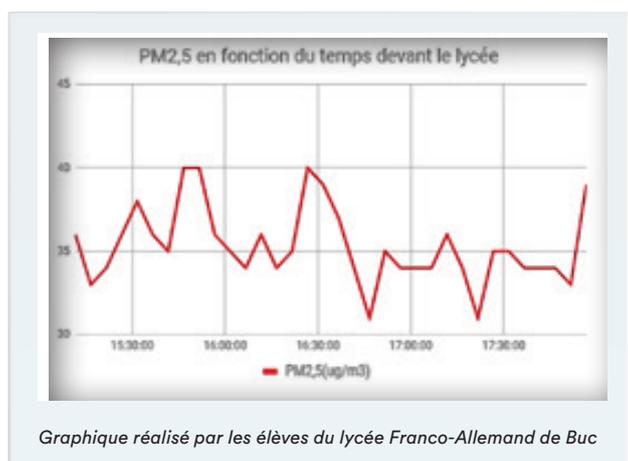
Les classes impliquées dans le projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" ont disposé, pendant plusieurs semaines, de capteurs prêtés par Airparif permettant de réaliser des séries de mesures afin d'analyser la qualité de l'air sur leur territoire.

Dans un premier temps, la plupart des enseignants ont interrogé leurs élèves sur leurs représentations de la qualité de l'air sur leur territoire d'étude. Certains élèves ont, par exemple, placé sur une carte les sources de pollution qu'ils ont identifiées ainsi que les zones qu'ils pensaient les plus polluées. Une fois ces hypothèses émises et éventuellement complétées par une recherche documentaire, les premières expériences sont envisagées : comparaison des concentrations de particules fines le long d'un axe routier et le long d'un bois, mesure de cette concentration dans la cour du lycée ou dans des zones de travaux, étude des concentrations de polluants en fonction du mode de transport utilisé pour venir au lycée (métro, vélo, bus). Au collège Georges Braque (Paris), les élèves ont évalué l'influence de l'altitude sur la concentration en particules fines en effectuant des mesures à des étages différents d'un immeuble d'une rue étroite de Paris.



La deuxième étape consiste à élaborer avec les élèves les protocoles permettant de réaliser les mesures sur le terrain. Au sein de chaque groupe, les responsabilités sont partagées : manipuler le capteur, compter les véhicules, consigner les valeurs mesurées (voir Annexe n°1). La réalisation des premières expériences permet d'affiner et d'améliorer les protocoles mais aussi de voir apparaître des questions qui ne s'étaient pas encore posées comme l'influence de la pluie sur la concentration en particules fines. Les élèves réfléchissent à de nouvelles hypothèses et élaborent de nouveaux protocoles pour les tester. Ils s'assurent de ne faire varier que le paramètre à tester, par exemple, la distance entre la route et le capteur s'ils veulent évaluer l'influence de cette distance sur la concentration en particules fines.

Les données sont récupérées à l'aide d'un logiciel, d'une application ou sous la forme d'un tableau rempli par les élèves pendant l'expérience en spécifiant bien le lieu, la météo, l'heure des mesures, le trafic routier... Les courbes obtenues permettent de tester les hypothèses de départ et de s'interroger sur les valeurs pertinentes à retenir : maxima, moyennes horaires ou taux d'accroissement.



BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

À travers ce travail, les élèves se sont mis dans la peau de chercheurs confrontés à un exercice de mesures sur le terrain. Ils ont pu saisir toute la difficulté d'expérimenter dans un environnement dont on ne maîtrise pas toutes les variables. Ils n'en ont pas moins obtenu des résultats exploitables qui pouvaient donner lieu à des interprétations : diminution de la concentration en particules fines en montant dans les étages ou en s'éloignant de la route, importance du freinage dans la production de particules fines, influence de la météo...

UNE AUTRE DÉMARCHÉ AU LYCÉE FRANÇOIS MANSART

Au lycée François Mansart, les élèves ont construit leur propre capteur (voir fiche 12). Ces capteurs ont ensuite été installés chez eux sur un balcon ou sur le rebord d'une fenêtre. Les données collectées par le capteur (température, humidité et concentration de particules fines $PM_{2,5}$) sont envoyées vers l'application en ligne Thingspeak afin de les stocker et de les mettre en forme. Les élèves réalisent alors une carte collaborative montrant l'évolution de l'indice de concentration en particules fines $PM_{2,5}$ sur une journée.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : "Analyser la qualité de l'air sur son territoire avec le capteur *smogy*"
- Annexe n°2 : "Fiche élève exploitation mesure qualité air, Lycée René Cassin Arpajon"
- Annexe n°3 : "Partir des représentations des élèves pour évaluer scientifiquement la qualité de l'air sur son territoire"



14

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

ENQUÊTER ET PROPOSER DES SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LA SALLE DE CLASSE

Les élèves mènent l'enquête et élaborent des solutions à mettre en œuvre dans leur vie quotidienne pour améliorer la qualité de l'air en diminuant la concentration de CO₂ dans leur salle de classe. Une démarche expérimentale permet aux élèves d'aborder la problématique de la pollution intérieure. Ils tracent des courbes, et interprètent ses variations et ses extremums. Ils proposent ensuite des solutions d'atténuation et d'adaptation pour y répondre.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Coopérer dans un projet collectif : assumer des rôles, prendre des initiatives et des décisions
- Proposer des solutions en réponse à un besoin ou un problème repéré
- Adapter son comportement à ses objectifs

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences expérimentales
- Mathématiques

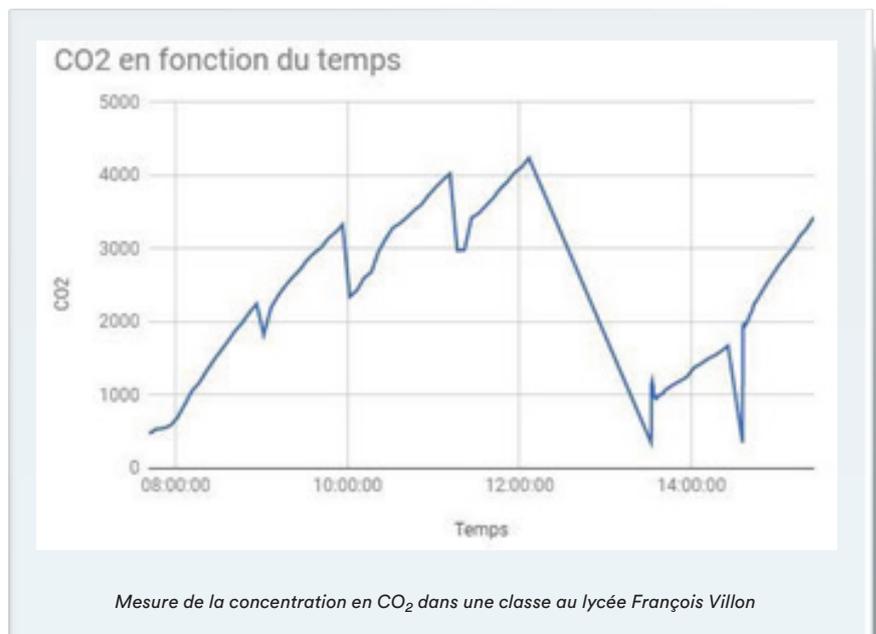
CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Cette séquence nécessite l'usage d'un capteur mesurant la concentration de CO₂

La séquence s'ouvre par un questionnement collectif sur la qualité de l'air intérieur. Les élèves émettent des hypothèses puis effectuent une recherche documentaire afin de les confirmer ou de les infirmer. Ils cherchent ensuite, pour les différents polluants, les taux recommandés par l'OMS.

Au lycée François Villon, des capteurs fournis par Airparif ont permis de mesurer la concentration en CO₂ dans la classe. Les élèves ont organisé une campagne de mesures tout au long d'une journée de cours. Les premières difficultés sont apparues rapidement (où placer le capteur dans la classe ? A quelle heure précise débiter les mesures ? etc.) et la nécessité d'établir un protocole précis est devenue évidente afin de rendre la mesure reproductible et d'éviter les biais expérimentaux.





ic-electricity-
Dw-426674401

Une fois ce protocole élaboré collectivement, la série de mesures débute : les capteurs restent avec les élèves dans leur salle de classe tout au long de la matinée. Ceux-ci relèvent tous les événements pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air dans la classe pendant la mesure : l'ouverture d'une porte, un déplacement, la fin du cours ou l'ouverture d'une fenêtre. Dans le même temps, d'autres élèves sondent le confort respiratoire de leurs camarades à l'aide d'un questionnaire. Les tâches de chacun et leur chronologie sont précisées dans le protocole.

A partir des mesures réalisées, des courbes sont tracées et analysées, une réflexion débute sur les paramètres qui influencent les variations observées au cours de la journée comme sur le graphique ci-contre. Un retour sur les événements relevés permet de montrer que les variations brusques de la courbe correspondent aux ouvertures de porte. De même, le taux de dioxyde de carbone augmente globalement au cours de la matinée et la croissance pendant les heures de cours est régulière. Il est intéressant de questionner à ce moment les élèves sur les valeurs à retenir sur une courbe : la moyenne calculée sur une heure ? Sur une journée ? Le maximum de la courbe ? Le taux d'accroissement au cours d'une heure ? Le changement de salle de l'après-midi a-t-il une influence sur ce taux d'accroissement ?

La deuxième partie du travail peut alors commencer. Les élèves réfléchissent à des solutions pour améliorer la qualité de l'air à l'intérieur de leurs salles de classe. Ils discutent par petits groupes. La mise en commun permet de trier les solutions d'atténuation et d'adaptation, et de discuter leur faisabilité : aérer régulièrement, changer les fenêtres, ajouter une ventilation automatique, créer une horloge à CO2 programmée à partir d'un algorithme écrit par les élèves et qui prévoit les seuils atteints en fonction de la surface de la classe, du nombre d'élèves et éventuellement de la ventilation.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Faire réaliser, en autonomie, par des élèves, des mesures sur une journée de cours nécessite quelques précautions. La qualité du protocole est fondamentale : il doit préciser le rôle minuté de chacun des élèves responsables des mesures, du sondage ou de la prise de notes des événements. Au lycée François Villon, il nous a fallu plusieurs tests avant d'arriver à un protocole reproductible. Il est cependant intéressant de rencontrer des problèmes puis de les résoudre et améliorer les protocoles proposés. Nous avons appris à rester modeste sur la précision des mesures à cause des biais trop nombreux : pollution de fond, absences de certains élèves...

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : déroulé détaillé
- Annexe n° 2 : exemple de protocole proposé par les élèves
- www.oqai.fr/ModernHomePage.aspx



15

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

ÉCRIRE UN ARTICLE DE PRESSE PORTANT SUR LES LIENS ENTRE L'AGRICULTURE ET LA POLLUTION DE L'AIR

Les élèves rédigent des articles appréhendant les relations entre agriculture et qualité de l'air pour des lectorats différents. Cet exercice permet de mobiliser les connaissances acquises et de sensibiliser les élèves aux enjeux de l'information et des médias.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

- Pratiquer une démarche d'investigation
- Participer à un échange
- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations
- Adapter la forme de son discours au lectorat

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Sciences humaines et sociales
- Sciences de l'environnement

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Il est préférable que les élèves connaissent les différents polluants atmosphériques et leur impact sur les activités agricoles (voir fiche n°5)

La problématique est introduite par la projection de petites vidéos : l'une sur l'agriculture urbaine (www.youtube.com/watch?v=Ua6IVDX-xV8) et l'autre sur le circuit court mis en place en partenariat avec un agriculteur voisin du lycée (https://youtu.be/7p3jQ_KAE8c). La classe est alors scindée en petits groupes. Chacun d'eux est chargé d'écrire un article sur les enjeux de la qualité de l'air pour l'agriculture pour un journal fictif différent : une revue à destination des agriculteurs, la gazette d'une commune rurale ou un journal local à vocation humoristique destiné à un public plus large. Au sein de chaque groupe, un rôle est défini pour chaque élève : intervieweur, cameraman, preneur de son, script.

Lors de la première séquence, les élèves préparent l'interview d'un agriculteur qui permettra de nourrir leur article. Ils choisissent des questions en fonction des centres d'intérêts supposés de leurs futurs lecteurs et de l'angle choisi pour leur article. Un journaliste spécialiste des questions environnementales les aide à retravailler leurs questions.



QUELQUES UNES DES QUESTIONS PRÉPARÉES :

Pourquoi êtes-vous passé d'une agriculture conventionnelle à une agriculture biologique ?
Pensez-vous que l'agriculture biologique est plus résistante à la pollution atmosphérique que l'agriculture conventionnelle ?

Vendez-vous vos produits localement ?

Pensez-vous que la pollution due à la circulation automobile à proximité de notre village a un impact sur les cultures ?

La rencontre avec l'agriculteur débute par une visite de la ferme sous la conduite de l'exploitant et se poursuit par la réalisation de l'interview ; des photos sont prises et l'interview est filmée et enregistrée pour pallier la difficulté de la prise de notes manuscrites.

De retour en classe, le journaliste présente aux équipes des conseils et les contraintes à respecter pour rédiger leur article :

- trier les informations à mettre en valeur en fonction de leur intérêt pour le lectorat visé
- se mettre d'accord sur le fil conducteur de l'article
- choisir un titre pertinent pour éveiller la curiosité du lecteur
- structurer l'article pour en faciliter la lecture (chapeau, sous-titre...)
- sélectionner des documents les mieux adaptés pour illustrer le propos



Article rédigé par les élèves du lycée Blaise Pascal

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Les élèves apprécient beaucoup les contacts avec des intervenants extérieurs à l'établissement. Le libre choix des publications fictives pour lesquelles sont rédigés les articles stimule la créativité des équipes de rédaction mais peut aussi être une source de difficulté : l'adoption d'un ton humoristique pour traiter d'un sujet passablement technique s'est révélée compliquée. Enfin, la rédaction d'un article permet d'utiliser les travaux déjà réalisés par les élèves, ainsi les analyses effectuées sur des données afin de modéliser l'influence de l'ozone sur les rendements agricoles (voir fiche 5) ont pu être ajoutées à l'article pour lui apporter un contenu scientifique.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe 1 : Un exemple d'article rédigé par les élèves du lycée Blaise Pascal d'Orsay



16

ENQUÊTER SUR SON TERRITOIRE

CONNAÎTRE ET RENCONTRER, LES ACTEURS DE LA QUALITÉ DE L'AIR SUR SON TERRITOIRE

La rencontre d'acteurs locaux - élus, techniciens de collectivité locale, experts - permet d'initier les élèves à la complexité et aux rôles de chacun sur le territoire et de s'informer sur les actions mises en œuvre. Les élèves se renseignent sur ces différents acteurs de la qualité de l'air sur le territoire et organisent une rencontre afin de les interroger et d'intégrer de nouvelles connaissances dans leurs travaux de recherche.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

- Participer à un débat ou un échange verbal
- Développer en public un propos construit sur un projet déterminé
- Adapter sa prise de parole à la situation de communication
- Identifier un point de vue, analyser un argumentaire d'acteur

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Toutes disciplines, notamment sciences humaines et sociales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les élèves ont plusieurs fois l'occasion de rencontrer des acteurs locaux au cours du projet :

- Lors de la réalisation de la carte d'identité de leur territoire afin d'obtenir plus de renseignements sur leur collectivité
- Au cours de leur réflexion sur l'élaboration des solutions, pour confronter leurs idées aux actions mises en œuvre et leurs limites
- A la fin du projet, pour présenter leurs propositions finales

Tout d'abord, les élèves commencent par faire des recherches sur les acteurs de la qualité de l'air de leur territoire d'étude et leurs domaines d'actions respectifs. Il est important qu'ils retiennent que la qualité de l'air est un enjeu partagé par différents acteurs et géré à différentes échelles. Par exemple, en France :

- L'Europe (Commission européenne, Parlement) élabore une réglementation européenne et apporte des financements (normes de qualité de l'air, ...)
- L'Etat transpose les directives et règlements européens et soutient la recherche ;
- Les DREAL déploient la politique nationale au niveau régional. Elles pilotent l'élaboration des plans de protection de l'atmosphère (PPA) ;
- Les conseils régionaux assurent la cohérence territoriale pour les questions d'aménagement et de mobilité. Ils sont en charge de la mise en œuvre des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) ;
- Les conseils départementaux en tant que gestionnaire des routes départementales et acteurs dans la lutte contre la précarité ont un rôle dans la lutte contre la pollution atmosphérique ;
- Les associations de surveillance de la qualité de l'air surveillent, au niveau régional, la qualité de l'air et les concentrations en polluants tout au long de l'année (mesures, inventaires des émissions, modélisations, analyses, accompagnement des acteurs, évaluations des plans, impacts et prévisions) ;
- Les communes et intercommunalités sont en charge de la réglementation et de l'aménagement au niveau local. Elles élaborent et assurent la mise en œuvre d'un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET), elles instaurent les règles de circulation sur leur territoire (vitesse, pistes cyclables...), les règles d'aménagement qui peuvent prendre en compte la pollution (éloignement des habitations à proximité des axes routiers importants par exemple), elles gèrent une partie des transports en commun...
- Enfin, les associations de protection de l'environnement et citoyens ont également leur rôle à jouer en tant qu'ambassadeurs des éco-gestes pour la qualité de l'air.

Les élèves réfléchissent en petits groupes aux questions qu'ils souhaitent poser sur les principales sources de pollution (agriculture, transports, industrie et résidentiel-tertiaire) et déterminent l'acteur le plus à même d'y répondre. Ils recherchent ensuite les contacts sur les sites internet des collectivités et rédigent leur courrier.

Les élèves du lycée Franco-Allemand de Buc (78) ont été autonomes tout au long du projet et ont initié la prise de contact avec le chargé de mission développement durable de leur ville. En revanche, les enseignants ont pris le relais pour la prise de rendez-vous pour s'assurer que la démarche a bien été comprise par l'acteur du territoire, mais aussi de définir, avec lui, la durée de l'échange afin de permettre aux élèves d'estimer le nombre de questions qu'ils pourront poser. Les élèves envoient leur questionnaire final à l'intervenant pour qu'il puisse s'y préparer.



PARLONS CLIMAT !

CONSTRUISONS UN PLAN CLIMAT AIR ÉNERGIE POUR NOS TERRITOIRES

est-ensemble.fr/parlons-climat

Lors de la rencontre, l'acteur se présente et explique son domaine d'intervention et d'expertise. Puis les élèves présentent l'état d'avancement de leur projet, leurs connaissances sur le territoire et les interrogations qui restent en suspens. Les élèves du lycée Pierre de Coubertin à Meaux (77) ont profité de ce temps d'échange pour faire part de leurs solutions et proposer un nouvel aménagement pour limiter l'impact de la pollution de l'air sur la santé des habitants lors de leur trajet entre la gare et le lycée (voir fiche n°18 : Élaborer des propositions pour améliorer la qualité de l'air sur son territoire).

Lors d'une séance de retour d'expérience organisée en classe, les élèves identifient les points de vue échangés et réfléchissent ou étoffent leurs propositions d'action en accord avec les spécificités du territoire.



Elèves présentant leur projet aux élus locaux

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Lors de la rencontre, les élèves sont porteurs de connaissances qui vont leur permettre d'interpeller l'intervenant sur certaines problématiques observées sur le territoire. Les enseignants du lycée Pierre de Coubertin ont soulevé le fait que, pour obtenir l'ensemble des réponses que les élèves se posent, il fallait contacter différents acteurs, à différentes échelles. La semaine du développement durable a été l'occasion, pour certains établissements, d'une nouvelle rencontre avec les acteurs du territoire pour leur présenter les propositions finales des élèves. Parfois, celles-ci ont été retenues pour être mises en œuvre. C'est le cas de Buc, où la collectivité s'est engagée à installer un panneau d'information devant l'établissement rappelant l'obligation par la loi de couper les moteurs des véhicules stationnés. La commune de Meaux, quant à elle, a lancé des études pour de nouveaux aménagements piétons entre la gare et le lycée.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Brochure qualité de l'air - rôle des collectivités
- Annexe n°2 : Questionnaire réalisé par les élèves du lycée Franco-Allemand à Buc (78)



Rencontre d'élèves avec des acteurs du territoire - Au fond à droite : Jean-Loup Caruana, référent régional Qualité de l'air à la DRIEE - au fond à gauche : Sandra De Sousa, référente Plan Climat Air Energie Territorial pour l'EPT Paris-Est Marne&Bois ! - au premier plan : Charlotte Songeur, ingénieure pour l'association Airparif.



17

PROPOSER ET AGIR

ÉTUDIER LES SOLUTIONS IMAGINÉES À TRAVERS LE MONDE POUR LUTTER CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

La pollution de l'air est une problématique mondiale. De nombreuses solutions sont imaginées pour lutter contre ce phénomène. Cette séquence propose aux élèves d'étudier une sélection d'articles portant sur ces solutions, de distinguer les solutions d'adaptation et d'atténuation et de les classer en fonction des modes d'action utilisés.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations utiles
- Pratiquer une démarche de recherche et d'investigation sur une question de développement durable
- Argumenter, raisonner et porter un regard critique sur un fait, un document

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Toutes disciplines, notamment langues étrangères et géographie

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les élèves ont acquis de solides connaissances sur la qualité de l'air et ses enjeux à travers le monde (voir fiche n°6). Avant d'imaginer éventuellement leurs propres propositions d'action, ils s'intéressent aux solutions mises en œuvre.



Les élèves sont répartis en groupes disposant chacun de trois ou quatre articles sur des actions mises en œuvre pour améliorer la qualité de l'air à travers le monde. Ils identifient tout d'abord le type de publication (journal national ou régional, magazine, site internet...), sa périodicité (quotidien, hebdomadaire, mensuel...), le type d'article (brève, dossier...), le nom de l'auteur et la date de la publication de chaque article. Ils relèvent ensuite le titre de l'article, l'angle sous lequel le sujet est traité et résument la solution pour améliorer la qualité de l'air qui y est présentée.

Les solutions relevées sont tout d'abord analysées sous un seul angle : s'agit-il de solutions d'atténuation ou d'adaptation ? Dans la plupart des documents proposés dans cet exercice par les enseignants du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" les solutions relevaient de l'atténuation :

- Création de péages urbains comme à Stockholm ou de zones basse émission mise en place à Barcelone
- Mise en place de campagnes de sensibilisation afin d'informer et changer les comportements des citoyens comme avec BreatheLife2030 au niveau mondial ou Clean Air Now en Grande-Bretagne
- Création de tours dépolluantes telles que celle construite en Chine, dans la ville de Xian

Mais certaines étaient tout de même des solutions d'adaptation : lorsqu'il s'agissait de recommandations incitant à ne pas pratiquer d'activités sportives en cas de pics de pollution ou de la création de nouveaux aménagements pour les piétons situés loin des axes routiers les plus pollués.

Les élèves classent ensuite leurs solutions en fonction du type d'action envisagé en répondant à une série de questions :

- S'agit-il de la construction d'une infrastructure ou d'aménagement urbain ?
- Veut-on faire évoluer les comportements individuels par une campagne de sensibilisation ?
- La solution pour améliorer la qualité de l'air fait-elle appel uniquement au progrès technique ?
- La solution repose-t-elle sur la mise en place d'une réglementation ?
- Une incitation financière ou une taxe est-elle mise en œuvre ?

Puis ils réfléchissent aux moyens de la mise en œuvre des solutions. Ainsi, les élèves recherchent qui seront les bénéficiaires de la solution, quand celle-ci devrait voir le jour, quels sont les résultats attendus, ou encore, quelles sont les limites de la solution présentée. Après avoir présenté au reste de la classe les solutions étudiées, les élèves débattent afin de déterminer si une mise en œuvre est possible sur leur territoire d'étude.

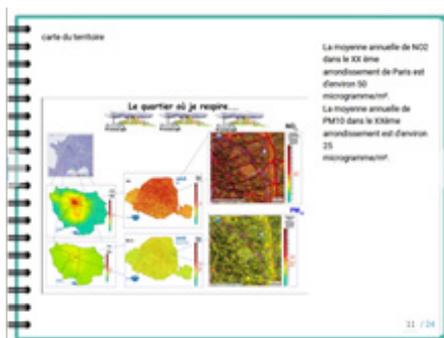


BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

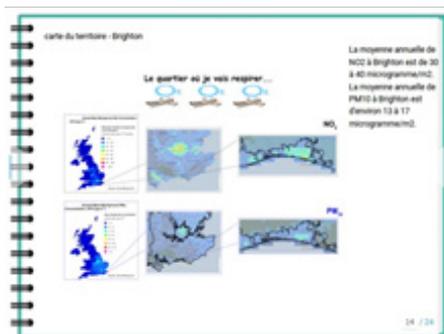
Dans le cadre du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !", de nombreux établissements se sont inspirés de solutions imaginées ailleurs dans le monde pour élaborer leurs propres propositions d'action. Le lycée Guillaume Budé, par exemple, a étudié la possibilité d'équiper les nouveaux bâtiments avec des fenêtres munies d'un système de purificateur d'air intérieur intégré aux huisseries comme le propose une entreprise allemande. Le lycée François Villon s'est, quant à lui, inspiré des trains à sustentation magnétique, actuellement à l'essai en Chine, pour imaginer utiliser cette nouvelle technologie dans les métros parisiens où ils avaient observé de fortes concentrations en microparticules lors de leurs mesures. Dans la plupart des établissements, les solutions de mobilité douce ont été discutées par les élèves, notamment à partir des exemples de Copenhague et Amsterdam.

ZOOM SUR LE "CARNET DE VOYAGE" DU COLLÈGE JEAN-BAPTISTE CLÉMENT À PARIS

Au Collège Jean-Baptiste Clément à Paris, dans le cadre d'un échange linguistique en Angleterre, les élèves ont comparé la qualité de l'air à Paris (XXème arrondissement) et à Brighton. Ils ont créé un carnet de voyage complété au fur et à mesure du projet en anglais et en français. Ce carnet contient des recherches sur la qualité de l'air et des comparaisons entre les deux villes sur les sources et les concentrations des différents polluants mais aussi les actions mises en œuvre afin de lutter contre la pollution atmosphérique.



Ce carnet a permis d'acquérir le vocabulaire spécifique de la qualité de l'air afin de rendre les échanges plus riches.



Extrait du "carnet de voyage" du collège Jean-Baptiste Clément - Paris

POUR ALLER PLUS LOIN

Les solutions évoquées dans cette fiche peuvent être retrouvées en suivant les liens ci-dessous, menant à des articles en français, anglais, espagnol ou allemand :

- Restreindre la circulation en centre-ville
 - www.lemonde.fr/planete/article/2014/03/14/pollution-comment-restreindre-la-circulation-automobile_4383084_3244.html
 - www.elperiodico.com/es/metropolis-barcelona/20171124/la-metropolis-una-zona-de-bajas-emisiones-6445729
- Campagne de sensibilisation :
 - <http://breathelife2030.org>
 - www.cleanairnow.org.uk
- Tour purificatrice d'air :
 - www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/pollution/pollution-en-chine-une-tour-de-100-metres-pour-epurer-l-air_120268
 - www.weltderwunder.de/artikel/smog-free-tower-die-luft-ist-rein
- Système de purification de l'air intérieur : www.batiactu.com/edito/schuco-fait-pari-innovation-49619.php
- Trains à sustentation magnétique : www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/0211459037298-pollution-la-chine-teste-le-train-urbain-a-sustentation-magnetique-2040162.php



18

PROPOSER ET AGIR

ÉLABORER DES PROPOSITIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR SUR SON TERRITOIRE

Les élèves élaborent des propositions d'actions à mettre en œuvre localement ou au niveau de leur établissement, pour améliorer la qualité de l'air. La réflexion sur ces solutions permet de mobiliser les connaissances acquises par les élèves, de repartir de leurs analyses de données, de s'intéresser aux différents acteurs locaux et à leurs moyens d'action. Cette fiche décrit la méthodologie et les principales questions posées aux élèves pour les aider à élaborer collectivement ces solutions.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVILLÉES



- Proposer des solutions en réponse à un besoin ou un problème repéré
- Prendre en compte différentes échelles du projet (locale et globale)
- Organiser la composition d'un document, prévoir sa présentation en fonction de sa destination, de son public
- Coopérer dans un projet collectif en tant que citoyen-acteur

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Sciences humaines et sociales
- Sciences expérimentales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Avant cette séance, les élèves ont acquis des connaissances sur les polluants atmosphériques et leurs sources d'émissions sur leur territoire. Ils ont éventuellement rencontré un acteur local et savent quelles actions sont menées au niveau local pour améliorer la qualité de l'air.

En début de séance, les élèves, individuellement ou en petits groupes, cherchent des idées de solutions. Ils s'appuient sur leurs connaissances sur la qualité de l'air, sur les mesures et sur les analyses qu'ils ont effectuées. La recherche de ces pistes de solutions est guidée par les questions suivantes :

- Que retenir des constats effectués sur notre territoire ?
- Sur quels types de polluants souhaitons-nous ou pouvons-nous agir ?
- Quelles solutions peuvent être mises en œuvre ?
- Selon quel mode d'action : réglementation, incitation financière, création d'aménagements, sensibilisation ?

Ils complètent la fiche "Notre proposition d'action" (voir annexe n°2) et préparent un argumentaire. Les propositions des différents groupes sont ensuite présentées à la classe et mises en débat afin de ne retenir qu'une ou deux solutions. Pour aider les élèves à faire leur choix, les solutions sont questionnées avec la classe sous l'angle de leur faisabilité technique et économique, de leur impact sur l'environnement ou de l'acceptabilité sociale des idées retenues.

La ou les solutions retenues sont ensuite précisées et détaillées sous plusieurs angles :

- Quel est le public ciblé (les bénéficiaires) ?
- Qui sont les acteurs pouvant être impliqués dans la mise en œuvre (acteurs publics, collectivités, entreprises, citoyens, scientifiques, experts, associations, etc.) ?
- Quels sont les moyens humains et financiers nécessaires ?
- Quels résultats et améliorations attendre par rapport à la qualité de l'air ?
- Existe-t-il des réalisations similaires en France ou à l'étranger ?
- Quels sont les freins et leviers potentiels à sa réalisation ?



Proposition collective réalisée par les élèves du lycée Clemenceau à Villemomble (93)



ZOOM SUR LA SOLUTION ÉLABORÉE AU LYCÉE PIERRE DE COUBERTIN À MEAUX

Après avoir créé un protocole de mesures, les élèves de Meaux ont comparé deux itinéraires différents pour se rendre du lycée à la gare. Les mesures effectuées à l'aide de capteurs ont montré une importante concentration en $PM_{2,5}$ sur l'un d'eux (longeant la route nationale) alors que l'autre était moins pollué, surtout pendant les pics de pollution.

Les élèves ont proposé la création d'une passerelle piétonne reliant directement la gare à la route secondaire.

Cette proposition a rencontré un écho auprès des acteurs clefs du territoire auxquels les élèves ont présenté leur étude. De fait, cet aménagement était en discussion interne depuis de nombreuses années au niveau de l'agglomération (voir fiche n°16 - Les acteurs de la qualité de l'air sur le territoire).

COUBERTIN
Aménagement du trajet piéton
Gare-Lycée

- une limitation de la vitesse à 30 km/h
- des radars et des d'ânes en sortant du souterrain de la gare et avant l'arrêt de bus « Cité technique »
- une modernisation de l'accès piéton par la rue d'Orgemont pour inciter les passants à emprunter ce chemin (passerelle piétonne au dessus du canal de l'Ourcq, ...)

Proposition réalisée par les élèves du lycée Pierre de Coubertin à Meaux (77)

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

Afin d'élaborer leur solution, les établissements du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" ont parfois procédé différemment. Certains se sont inspirés des aménagements ou actions menées dans certaines villes du monde pour améliorer la qualité de l'air (voir fiche n°17) ; d'autres ont préféré travailler sur des solutions à des échéances plus lointaines (2030 ou 2050) afin de se projeter dans l'avenir.

Une présentation des solutions devant les décideurs du territoire, comme ce fut le cas à Meaux, peut favoriser l'engagement citoyen des élèves.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Élaborer des propositions d'action
- Annexe n°2 : Notre proposition d'action ; permet aux élèves de structurer leurs réflexions pour élaborer une proposition d'action
- Annexes n°3 : Exemples de propositions d'action



19

PROPOSER ET AGIR

VALORISER L'IMPLICATION ET LES ACQUIS DES ÉLÈVES PAR L'ORGANISATION D'UN ÉVÉNEMENT

A l'issue du projet, un événement peut être organisé afin de mettre en valeur les connaissances acquises ainsi que l'implication des élèves. Il peut s'agir d'une rencontre avec un acteur, pour laquelle ils auront au préalable préparé des argumentaires, d'une exposition de posters scientifiques, ou de tout autre événement. Dans le cas présent, nous retraçons la méthodologie d'un événement s'étant tenu à l'échelle régionale en Ile-de-France dans le cadre du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !", et ayant réuni des représentants de tous les établissements participants. Les débats inter-élèves et avec des experts ont eu pour but d'enrichir les propositions initiales portées en classe dans les établissements.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

- Participer à un débat ou un échange verbal
- Argumenter, raisonner et porter un regard critique sur un fait, un document
- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations utiles
- Prendre en compte les différentes échelles du projet (du local au global)
- Identifier ses points forts et points faibles dans des situations variées
- Maîtrise de la langue

CHAMPS DISCIPLINAIRES

- Sciences humaines et sociales
- Sciences expérimentales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Après avoir acquis de solides connaissances sur la qualité de l'air dans leur territoire, les élèves ont réfléchi à des pistes d'action possibles. Ils ont créé des affiches illustrant ces propositions et préparé un argumentaire en vue d'un débat avec des camarades provenant de différents établissements et des experts de la qualité de l'air et du territoire.

Cette rencontre régionale, point d'orgue du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" s'est tenue le 12 avril 2018 à l'UNESCO. Elle a réuni environ 150 élèves et membres des équipes pédagogiques, représentant plus de 800 élèves issus des vingt-trois établissements franciliens, impliqués dans ce travail sur la qualité de l'air tout au long de l'année scolaire. L'objectif de cette rencontre, organisée en ateliers, suivis d'une séance plénière, était de faire co-construire des propositions pour améliorer la qualité de l'air à l'échelle du territoire de la région Ile-de-France et d'aboutir à une dizaine d'actions, collectivement débattues.

Lors de la **première étape de la rencontre**, les élèves sont répartis en 5 ateliers parallèles, afin de favoriser l'interaction et le dialogue. L'objectif de ce premier temps est qu'ils se mettent d'accord sur deux propositions qui seront ensuite présentées à des experts. La méthode utilisée par les animateurs est celle du débat mouvant (voir annexe n°1) : les solutions élaborées (voir fiche n°18) au sein de chaque établissement sont présentées sous forme d'affiches qui sont disposées tout autour de la salle. Chacun a trois minutes pour présenter son idée ; puis les élèves se positionnent devant la proposition qui leur semble la plus pertinente. Ils débattent, expliquent leurs choix et changent de place s'ils sont convaincus. De ces discussions émergent une ou deux propositions collectives qui sont complétées et amendées par le groupe.



Débat mouvant en atelier lors de la rencontre finale du projet "Lycéens, collégiens, prenons notre air en main !" le 12 avril 2018



Présentation par les élèves des propositions finales lors de la plénière de clôture du 12 avril 2018

L'objectif de la **seconde étape** est de confronter, toujours en petits groupes, ces deux propositions à des experts de la qualité de l'air et des territoires afin de les rendre encore plus pertinentes. Les élèves présentent aux experts les deux propositions retenues et expliquent leur choix, en retraçant les arguments clés du débat. L'intervention des experts consiste, dans un premier temps, à aider les élèves à bien caractériser leur proposition :

- S'agit-il d'une proposition **d'adaptation** ou **d'atténuation** ?
- Sur quel **type de polluant** et sur quelle source veut-on agir ?
- Qui sont les **acteurs** à mobiliser pour la mise en œuvre de cette proposition : Etat, collectivités territoriales, associations, entreprises, citoyens ?
- Quel est le **mode d'action** choisi ? Y en a-t-il d'autres possibles : une réglementation (obligation, interdiction...), une incitation économique (aide ou taxe), la création d'aménagements ou la construction d'infrastructures, un travail de sensibilisation ou d'éducation ?

Les experts questionnent ensuite la faisabilité de la proposition avec les élèves : viabilité économique et technique, acceptabilité sociale, impact environnemental (voir annexe n°2).

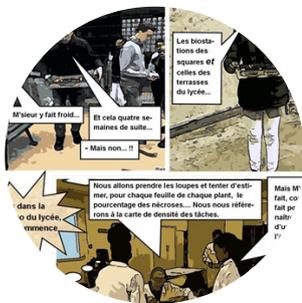
La **troisième étape** consiste à présenter en séance plénière de clôture la dizaine de propositions retenues et élaborées collectivement tout au long de ce processus. Les élèves réalisent donc une affiche présentant leurs propositions finales et préparent leur discours. Lors de la séance plénière, ils présentent leurs propositions au public qu'ils doivent convaincre par des arguments scientifiques.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

La dynamique du débat permet d'une part de valoriser les connaissances acquises par les élèves tout au long de l'année et d'autre part de coopérer en vue de construire des propositions collectives. Lors de la rencontre, les participants ont été mis en situation d'experts sur leurs thématiques d'études (biosurveillance, transports, aménagements du territoire, etc.). La participation d'experts scientifiques ou en charge des politiques territoriales a permis, in fine, de rendre les propositions d'actions encore plus pertinentes. On peut envisager de proposer ce format de rencontre entre plusieurs classes issues d'un même établissement.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexe n°1 : Fiche méthode - Débat mouvant
- Annexe n°2 : Note de cadrage experts
- Vidéo retraçant la journée du 12 avril www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/lyceens-collegiens-prenons-notre-air-en-main-la-a3392.html



20

PROPOSER ET AGIR **LES EXP'AIRS** COMMUNIQUER SUR SON TRAVAIL DE RECHERCHE EN RÉALISANT UNE BANDE DESSINÉE

Les élèves racontent les recherches et les expérimentations scientifiques qu'ils ont menées sous la forme d'une bande dessinée qui retrace les grandes étapes de leur travail. Cette forme de communication permet de prendre une distance réflexive et oblige les élèves à raconter leur démarche scientifique et les savoirs mobilisés au cours de cette recherche.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Rechercher, extraire, sélectionner et organiser des informations utiles
- Organiser la composition d'un document, prévoir sa présentation en fonction de sa destination
- Développer sa créativité et communiquer en utilisant différents langages : sons, dessin, infographie...
- Scénariser, créer un storyboard

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Arts et cultures artistiques
- Sciences expérimentales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

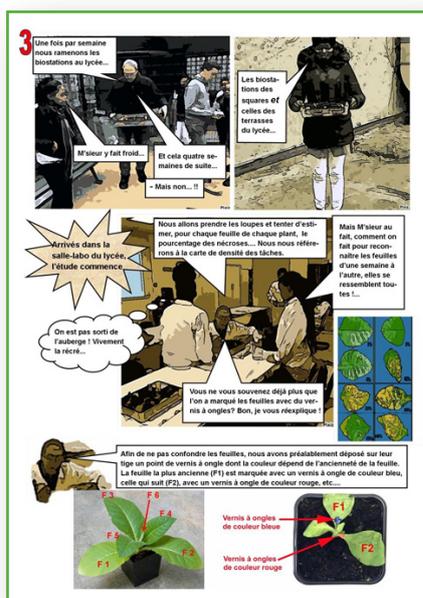


Après avoir acquis des connaissances générales sur la qualité de l'air, les élèves construisent une communication graphique de leur recherche, dans le cadre d'un enseignement artistique. Ils travaillent en petits groupes et utilisent, si l'équipement de l'établissement le permet, des logiciels ou des applications de traitement d'image numérique. Cet exercice permet aux professeurs des sciences expérimentales et d'enseignement artistique de travailler en interdisciplinarité. On peut également y associer des professeurs documentalistes ou de français.

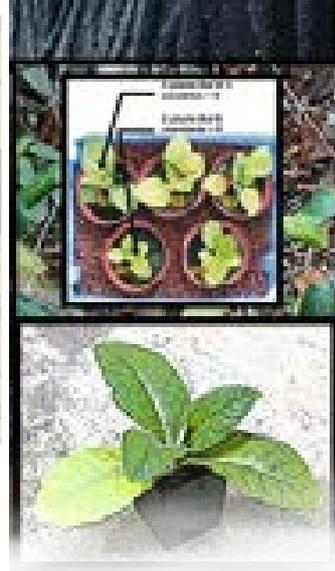
L'objectif est de présenter les résultats d'une expérimentation scientifique en mobilisant les compétences et connaissances acquises lors des cours de sciences expérimentales et d'arts appliqués.

L'exercice peut être mené sur tout type d'expérience et de projet. En tirant parti de leurs observations scientifiques, les élèves créent une production graphique qui restitue les différentes étapes du projet (expérimentation, analyse et proposition de solutions).

Dans un 1er temps, les élèves participent à la production de « contenus » visuels (clichés et capture d'images) réalisés pendant les séances de sciences expérimentales. Puis ils élaborent un story-board, en s'aidant de leur carnet de bord qui consigne toutes les tâches réalisées au cours des séances. Enfin, en cours d'arts, ils réalisent les planches de bande dessinée qui permettront au lecteur de découvrir les résultats mais aussi tout le déroulement de l'expérience. Une captation de « contenus » sonores (prise de sons) se poursuit en parallèle durant toutes ces phases pour constituer la « bande-son » de l'expérience.



Extrait d'une BD réalisée par les élèves du lycée Edmond Rostand (Paris 18e) : expérimentation de la biosurveillance de la qualité de l'air extérieur



HPS FABRIQUENT QUATRE BIOSTATIONS CONSTITUÉES DE CINQ PLANTS CHACUNE. ILS EN DÉPOSENT SUR DEUX DES TERRASSES DU LYCÉE ET DEUX DANS DES SQUARES PROCHES AFIN D'ÉtudIER LA POLLUTION DE L'AIR EXTÉRIEUR DANS LE LYCÉE DANS UN JARDIN TÉMOIN

MAIS LES PLANTS DE TABACS SURVIVRONT-ILS A ÇA?

Arrivés dans la cour, ils constatent que...

Nous allons prendre les loupes et tenter d'estimer, pour chaque feuille de chaque plant, le pourcentage des nécroses... Nous nous référons à la carte de densité des lésions.

Mais M'sieur au fait, comment on fait pour reconnaître les feuilles

Ce travail de vulgarisation, permet de rendre l'analyse scientifique plus ludique et accessible. En cherchant à travailler sur les porosités entre les sciences, la communication et les arts, ce travail permet d'interpeller le public sur des problématiques en lien avec la qualité de l'air par le biais de la légèreté, de l'humour (l'univers de BD), ainsi que par des représentations poétiques (sons).

Pour les élèves cet exercice de scénarisation, leur permet de saisir la démarche expérimentale dans sa globalité. Elle participe ainsi à une meilleure appropriation du raisonnement scientifique et des connaissances travaillées.

BILAN/RETOUR D'EXPIÉRIENCE

Le phasage dans le temps est une des clés de la réussite du projet. Les aléas de l'expérience au Lycée Edmond Rostand (irruption des limaces ayant partiellement endommagé les résultats de l'expérience, puis l'interruption de l'expérimentation consécutive à l'arrivée de l'hiver) montrent également que ce projet nécessite du temps.

Pour aider les élèves dans la scénarisation, l'utilisation d'un carnet de bord pour noter les différentes étapes du travail et recenser les clichés, est un outil précieux. Il est important de démarrer la production graphique dès la phase d'observation en sciences expérimentales, pour pouvoir anticiper les besoins en termes de contenus visuels et audios.



Affiche réalisée d'après la BD du lycée Edmond Rostand : expérimentation de la biosurveillance de la qualité de l'air extérieur

POUR ALLER PLUS LOIN

- Déroulé détaillé de la séquence
- Exemples de production d'élèves

RESSOURCES DOCUMENTAIRES

- Pollution de l'air en bulle, la BD Site de Strasbourg Respire <https://strasbourgrespire.fr/pollution-de-lair-en-clair-la-bd/>



21

PROPOSER ET AGIR **MASKBOOK**

MOBILISER LE PUBLIC SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ET PARTICIPER À UNE ŒUVRE ARTISTIQUE COLLECTIVE EN LIGNE À TRAVERS UN ATELIER ARTISTIQUE

Le projet international et artistique Maskbook invite chaque citoyen à s'engager pour le climat, contre la pollution de l'air et pour sa santé en s'exprimant de manière créative. Au cours de cet atelier, les élèves participent à ce projet international en créant leur propre masque à partir d'objets de récupération.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Utiliser différents langages et supports de communication : masques, vidéo, expositions, média numérique, expression artistique...
- Coopérer dans un projet collectif (participer à une œuvre en ligne, faire partie d'une communauté artistique et citoyenne)
- S'impliquer et réaliser une action artistique en faveur du développement durable

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Toutes disciplines, notamment arts et cultures artistiques

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



Cette séquence peut servir à introduire le thème de la qualité de l'air, aucun pré-requis n'étant nécessaire. Le travail de groupe durant l'atelier et la dynamique de création par les élèves permettent de fédérer la classe. Les masques créés peuvent aussi devenir un outil de sensibilisation par la suite, par exemple, auprès des acteurs locaux.



Atelier Maskbook : déchets amassés sur les tables pour réaliser les masques

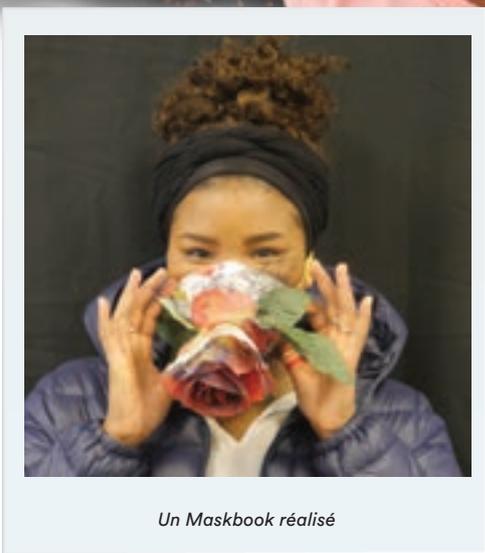


LP Edmond Rostand, Atelier Maskbook : réalisation finale

Maskbook : Mobiliser le public sur la qualité de l'air et participer à une œuvre artistique collective en ligne à travers un atelier artistique

PROPOSER ET AGIR

01 | 02 | 03 | 04



Un Maskbook réalisé

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

La projection de diverses vidéos issues des sites Maskbook pour présenter le déroulé et l'objectif de l'atelier a permis de mobiliser les élèves pour la collecte des ingrédients, qui constitue une étape essentielle du projet.

La reproduction de l'atelier auprès d'autres jeunes a été très appréciée des élèves, contents de transmettre leur savoir à leurs pairs.

L'atelier se déroule en trois grandes phases : la collecte, la réalisation des masques et leur valorisation à travers une performance ou une exposition.

Au moment de la collecte des ingrédients, l'élève s'interroge sur les ressources, expérimente et effectue des choix. Il prend également conscience du gaspillage généré par nos modes de consommation. Cette étape permet d'aborder les notions de récup'art et d'économie circulaire.

Le jour de l'atelier, l'élève est invité à personnaliser un masque. Pendant cette phase de conception et de réalisation, il développe une attitude créative et engagée. Les masques anti-poussière ou anti-pollution deviennent les supports d'une création artistique. L'image anxiogène du masque anti-pollution est renversée, il devient au contraire le symbole des solutions imaginées par tous pour l'environnement.

Après cette phase de création, l'élève met en mots son engagement et construit une communication citoyenne en attribuant un nom évocateur à sa création. Il est ensuite photographié avec son masque et peut déposer son portrait sur la galerie en ligne Maskbook. L'élève prend ainsi conscience de la valeur de sa démarche, il réalise qu'il participe à une œuvre artistique collective engagée en faveur du développement durable. Cette expérience permet à l'élève d'explorer le lien entre l'art et le développement durable et d'intégrer le principe d'économie circulaire.

On peut prolonger cet atelier Maskbook par la réalisation de performance, comme au Collège les Toupets (Vaureal) (95) où les élèves ont effectué un parcours à vélo équipés de leur masque pour sensibiliser la population locale. On peut également réaliser une exposition des créations ou réutiliser les masques dans le cadre d'une performance type «Mannequin Challenge» ou à l'occasion d'un «flash mob». Enfin, au lycée Guillaume Budé, les élèves ont reproduit l'atelier auprès d'autres jeunes de la ville, à l'occasion de la semaine du développement durable.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Déroulé pas à pas
- Le site Maskbook www.maskbook.org
- Réussir/organiser un atelier Maskbook www.youtube.com/watch?time_continue=249&v=CHeLO6bzevA
- Quelques productions d'élèves



22

PROPOSER ET AGIR

PROPOSER ET NÉGOCIER UN ODD SUR LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LE CADRE D'UN JEU DE RÔLE

Dans un premier temps, les élèves appréhendent la diversité des ODD et les enjeux de leur production. Ils s'approprient ensuite les objectifs du développement durable en créant un ODD sur la qualité de l'air. En négociant son contenu dans le cadre d'un jeu de rôle, ils découvrent le cadre des négociations internationales, le rôle des groupes de pressions et la complexité de la gouvernance mondiale. En incarnant différents acteurs, ils s'initient ainsi au débat argumenté et mobilisent leurs connaissances sur la qualité de l'air.

QUE SONT LES ODD ?

En 2013, les 17 ODD (Objectifs de Développement Durable) ont été négociés pendant deux ans par les Nations-Unies pour être adoptés par consensus en 2015. Les 197 pays signataires se sont engagés à atteindre ces objectifs avant 2030. Représentés par 17 logos à portée universelle, ces 17 objectifs sont déclinés sous forme de 169 cibles et 244 indicateurs statistiques. Aucun ODD n'est consacré spécifiquement à la qualité de l'air.

PRINCIPALES COMPÉTENCES TRAVAILLÉES



- Coopérer dans un projet collectif : assumer des rôles, prendre des initiatives et des décisions
- Argumenter, négocier, débattre, décider dans un cadre démocratique
- Concevoir et mettre en œuvre des stratégies

CHAMPS DISCIPLINAIRES



- Education à la citoyenneté
- Sciences humaines et sociales

CONTEXTE PÉDAGOGIQUE



En amont, les élèves ont acquis des connaissances sur la qualité de l'air. Le jeu de rôle peut être le point d'orgue de leur travail sur la qualité de l'air. Il permet aux élèves de changer d'échelle d'analyse, en passant du local au global.



Pendant le jeu de rôle, les Etats-Unis joué signent un contrat entre parties



Logo de l'ODD « assainir l'air » créé et adopté par les élèves à l'occasion de la phase de proposition



LA SÉQUENCE S'ORGANISE EN DEUX ÉTAPES :

- une phase de proposition, durant laquelle les élèves produisent un ODD consacré à la qualité de l'air. Ils inventent un logo, écrivent les cibles et choisissent les indicateurs pertinents (voir annexe n°1).
- une phase de négociation, sous forme d'un jeu de rôle (voir annexe n°2).

La phase préliminaire de découverte et d'écriture de l'ODD est déterminante pour que les élèves acquièrent des connaissances générales et connaissent le vocabulaire propre aux Objectifs de Développement Durable. On peut, par exemple, faire découvrir aux élèves les ODD en leur faisant associer l'énoncé de chaque ODD à son logo. Pour comprendre la différence entre une cible et un indicateur, le professeur demande aux élèves de recomposer les couples cibles-indicateurs de l'ODD santé qui sont présentés en désordre. Les élèves découvrent ainsi la diversité des objectifs et s'approprient la notion de développement durable. Ils se familiarisent avec le langage et la forme des cibles qui commencent souvent par une échéance (D'ici ...) et sont formulés avec des verbes d'action à l'infinitif. Ils extraient le vocabulaire spécifique aux ODD pour en faire un lexique.

À la suite de ce travail collectif, les élèves rédigent en petits groupes leur ODD. Ils dessinent un logo et proposent des cibles et des indicateurs. L'ODD produit doit être le plus ambitieux possible, pour permettre la négociation dans la phase du jeu de rôle. On explique aux élèves qu'il faut privilégier les échéances courtes et des verbes d'action conditionnés par des pourcentages d'évolution importants.

Vient ensuite le temps de la négociation. Les élèves incarnent différents rôles (lobbyistes, diplomates, experts, journalistes...). En phase préparatoire, ils ont accès à des documents traitant de la qualité de l'air et à des données statistiques sur les pays. Ces ressources peuvent être produites en suivant la démarche proposée dans la fiche n°6. Elles permettent de s'imprégner de la culture de leur pays, de le situer sur l'échiquier géopolitique mondial et par rapport aux enjeux de la qualité de l'air.

Entre les phases de votes et de débats, de nombreux temps permettent aux élèves de préparer leurs argumentaires, de négocier avec les autres délégations ou groupes de pression et d'organiser leurs interventions auprès des journalistes. Des événements viennent perturber la conférence et obligent les acteurs à redéfinir régulièrement leurs stratégies. Le jeu se termine par la signature solennelle de l'accord obtenu par consensus entre les Parties et la remise à chacun des élèves d'un certificat attestant la participation à ce jeu sérieux. Le matériel de jeu est à votre disposition pour organiser une session de simulation de négociation.

BILAN/RETOUR D'EXPÉRIENCE

La partie de proposition et de production du logo a rencontré un franc succès car les élèves ont perçu qu'il devait être compris de manière universelle. Lors de la tenue du jeu sérieux, deux rôles sont essentiels : celui de président qui guide les débats et celui de journaliste. Ces deux rôles, s'ils sont embrassés avec énergie et enthousiasme, rendent réalistes la situation et aident les autres participants à entrer dans leur personnage, faisant ainsi du jeu une réussite.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Annexes 1 et 2
- Le matériel de jeu
- Les 17 ODD (<https://sustainabledevelopment.un.org>)
- Matériel de communication sur les ODD (www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material)

ILS L'ONT FAIT !

**23 COLLÈGES
ET LYCÉES**

**PLUS DE
800 JEUNES**



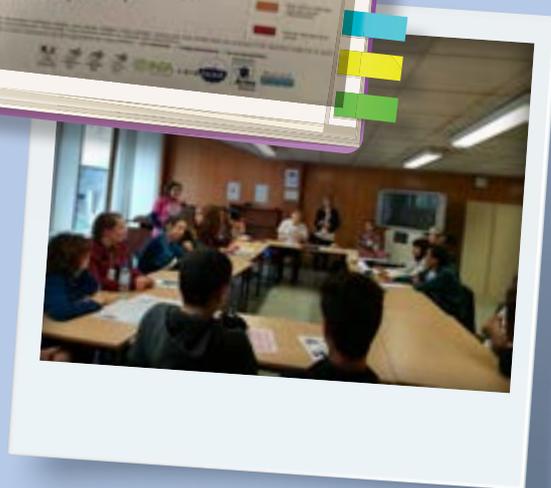
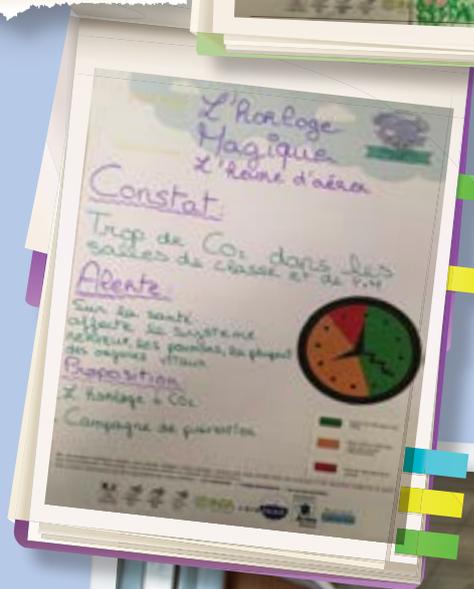
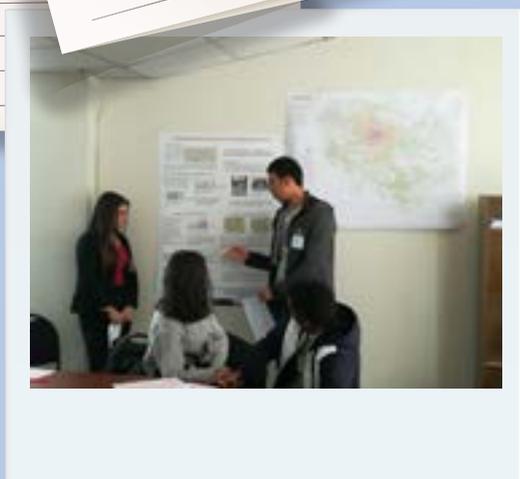
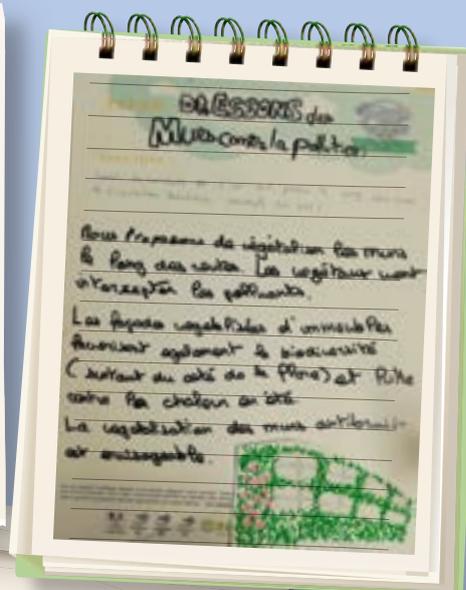
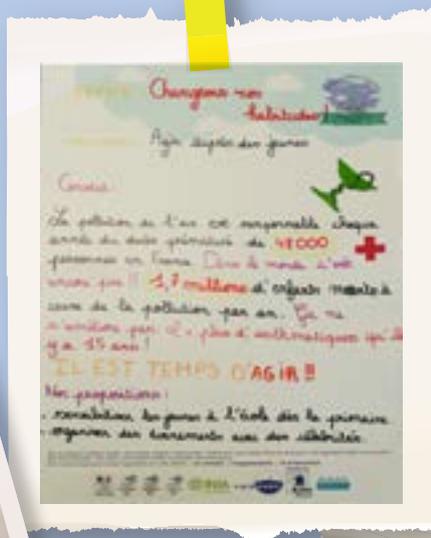
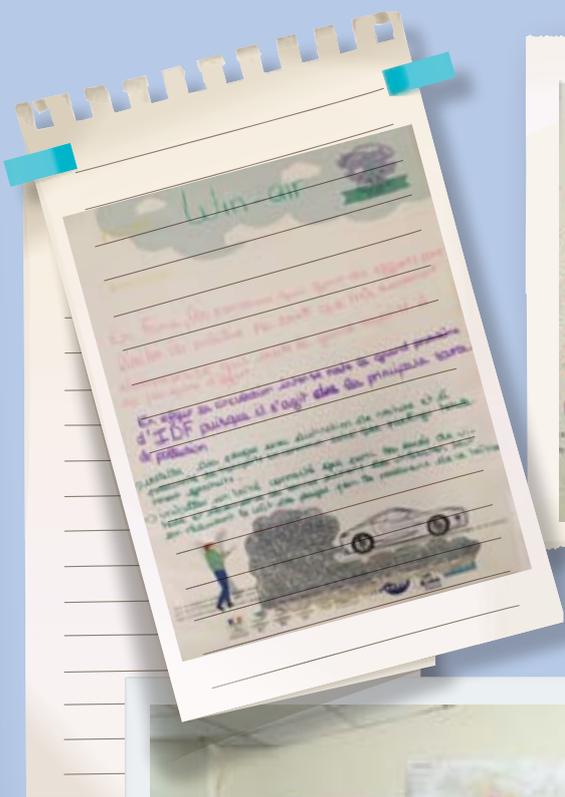
Après avoir acquis tout au long de l'année scolaire des connaissances approfondies sur la qualité de l'air (polluants, secteurs d'émission, impacts sur la santé, l'environnement, les territoires, etc.), une centaine d'élèves de toute la région parisienne ont présenté leurs travaux et ont recherché collectivement des solutions concrètes pour lutter contre la pollution en Ile-de-France, à l'occasion d'un colloque à l'UNESCO.



Des experts scientifiques et des acteurs du territoire étaient là pour les aider à détailler et préciser leurs propositions, certaines pouvant alimenter les Plans Climat Air Énergie Territoriaux.



Parmi ces propositions : la multiplication d'aires de covoiturage et de lieux de télé-travail, des actions visant à favoriser la pratique du vélo, l'installation de tours géantes dépolluantes, la végétalisation des toitures, murs et façades... des propositions riches de sens !



Pour conduire le projet, trois sessions de formation à destination des enseignants avaient été organisées durant l'année scolaire par les académies, la DRIEE, Airparif, l'INRA et l'association Monde Pluriel.

La belle réussite du projet a été rendue possible grâce à la grande implication des équipes enseignantes et des partenaires, qui a abouti à ces propositions concrètes.



POUR REVIVRE EN IMAGES LE COLLOQUE, VISIONNEZ LE FILM À L'ADRESSE SUIVANTE :

WWW.DRIEE.ILE-DE-FRANCE.DEVELOPPEMENT-DURABLE.GOUV.FR/LYCEENS-COLLEGIENS-PRENONS-NOTRE-AIR-EN-MAIN-LA-A3392.HTML

ÉLÉMENTS D'INFORMATION CLÉS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ET LES LIENS ENTRE LA QUALITÉ DE L'AIR ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1- QUELS SONT LES PRINCIPAUX POLLUANTS ET QUELLES SONT LEURS SOURCES ?

La **pollution de l'air** (ou **pollution atmosphérique**) est caractérisée par la présence, dans l'atmosphère et les espaces clos, d'agents chimiques, biologiques ou physiques ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels ou à provoquer des nuisances olfactives excessives.¹

La pollution atmosphérique est émise par des sources anthropogéniques (trafic routier, combustion du bois, industries, agriculture, etc.) et des sources naturelles (sable, volcan, feux de forêt...). Elle peut :

- Être émise directement (polluants primaires, y compris les oxydes d'azote et de soufre, les particules primaires, le monoxyde de carbone, le noir de carbone, l'ammoniac, les composés organiques volatils, les métaux lourds, etc.)
- Se former dans l'atmosphère (polluants secondaires, y compris les particules secondaires, l'ozone, l'acide sulfurique, l'acide nitrique, etc.).

Source : *Air quality in Europe-2017 report*, Agence européenne pour l'environnement

Les polluants gazeux et les particules fines pénètrent directement dans les systèmes respiratoire et sanguin et ont divers effets sur la santé. Le NO₂ (dioxyde d'azote) qui provient principalement du trafic routier constitue l'une des conséquences les plus problématiques.

En fonction de leur taille, les particules peuvent avoir des répercussions différentes sur la santé. Les catégories de particules les plus connues sont les PM_{2,5} et les PM₁₀, en raison de la réglementation en vigueur dans de nombreux pays. Certaines particules, telles que la poussière et les cendres, sont assez grosses ou suffisamment sombres pour être vues à l'œil nu. D'autres sont si petites qu'elles ne peuvent être détectées qu'à l'aide d'un microscope électronique. La pollution par les particules comprend :

- PM₁₀ : particules dont le diamètre n'excède pas 10 micromètres
- PM_{2,5} : particules dont le diamètre n'excède pas 2,5 micromètres.

Source : *Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA)*

« Bon » et « mauvais » ozone

L'ozone est un gaz composé de trois atomes d'oxygène (O₃). Il est présent à la fois dans la haute atmosphère terrestre (la stratosphère) et au niveau du sol. L'ozone peut être bon ou mauvais, selon l'endroit où il se trouve :

« Bon » ozone : Appelé ozone stratosphérique, le bon ozone est naturellement présent dans la haute atmosphère, où il forme un « bouclier » protecteur contre les rayons ultraviolets nocifs du soleil. Cet ozone bénéfique a été partiellement détruit par des produits chimiques d'origine humaine, provoquant ce que l'on appelle parfois un « trou dans la couche d'ozone » au-dessus de l'Antarctique. La bonne nouvelle est que ce trou se rétablit grâce aux mesures prises par les pays parties à la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone et au Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

« Mauvais » ozone ou ozone au niveau du sol : L'ozone troposphérique, ou au niveau du sol, n'est pas émis directement dans l'air. Il est formé par des réactions chimiques entre un mélange de polluants atmosphériques généralement émis dans les villes ou les zones rurales les plus proches, le méthane qui est également un polluant climatique à courte durée de vie provenant des eaux usées urbaines, des déchets et de l'agriculture, ainsi que les NO_x issus des émissions des véhicules et des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). En plus d'être un facteur clé dans les maladies respiratoires, l'ozone est un polluant climatique à courte durée de vie qui contribue au réchauffement de la planète et endommage les plantes, réduisant également les rendements agricoles.

Source : OMS, http://www.who.int/sustainable-development/AirPollution_Climate_Health_Factsheet.pdf

Source : *Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA)*, <https://www.epa.gov/ozone-pollution/basic-information-about-ozone#what%20where%20how>

Les réponses à apporter doivent à la fois limiter les pics de pollution et la pollution chronique :

Épisodes de pollution

Plusieurs jours/an (en fonction de conditions météorologiques particulières)

Mesures d'urgences

→ Réduire l'intensité du pic

Pollution journalière

Tous les jours, tout au long de l'année

Impact le plus important sur la santé

Mesures d'atténuation permanentes

→ Respecter la réglementation sur la qualité de l'air et les recommandations de l'OMS

Source : *Airparif*

2- IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX, SANITAIRES ET ÉCONOMIQUES DE LA POLLUTION DE L'AIR

Impacts de la pollution de l'air sur l'environnement

La pollution atmosphérique a des répercussions écologiques : elle favorise l'acidification et l'eutrophisation de l'eau et du sol, endommage les cultures, contribue au changement climatique (avec des effets en termes de réchauffement et de refroidissement à la fois), peut réduire la visibilité, nuire à la photosynthèse, à la croissance des plantes et renforcer la toxicité dans la chaîne alimentaire.

Impact de la pollution de l'air sur la santé humaine

La pollution de l'air constitue le premier risque pour la santé lié à l'environnement : chaque année, près de 7 millions de personnes meurent prématurément dans le monde en raison de la pollution de l'air extérieur et intérieur.

Source : OMS

¹ Source : Code de l'environnement, article L220-2

Impacts de la pollution de l'air sur l'économie

Les impacts marchands de la pollution de l'air, liés à la baisse de la productivité du travail, aux dépenses de santé supplémentaires et à la diminution du rendement des cultures, devraient entraîner des coûts économiques annuels de 1 % du produit intérieur brut (PIB) mondial d'ici 2060. À l'échelle mondiale, les coûts annuels en termes de bien-être attribuables aux décès prématurés consécutifs à la pollution de l'air extérieur devraient, d'après les projections de la « disposition de chaque individu à payer » pour réduire son risque de décès prématuré, atteindre entre 18 000 et 25 000 milliards USD en 2060, contre 3 000 milliards USD en 2015.

Source : Organisation de coopération et de développement économiques (2016). *Les conséquences économiques de la pollution de l'air extérieur*. Paris : Éditions OCDE.

En France, le coût économique des décès prématurés et maladies provoqués par la pollution de l'air en 2010 a été évalué à **48 milliards d'euros (2,3 % du PIB)**

L'amélioration de la qualité de l'air présente des avantages directs pour l'environnement, la santé humaine et l'économie, comme l'illustre le graphique ci-dessous (carte sur les décès prématurés évités à supprimer).

Source : Commission européenne, *La politique climatique améliore la qualité de l'air et sauve des vies*

3- LES LIENS ENTRE POLLUTION DE L'AIR ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les gaz à effet de serre et les polluants atmosphériques partagent bon nombre de sources d'émission (véhicules, bâtiments, production d'énergie et industrie). Ces sources produisent :

Le CO₂ qui mène aux changements climatiques

Des polluants atmosphériques (notamment SO_x, NO_x, PM_{2,5})

Des polluants qui nuisent à la fois à l'air et au climat (particules de noir de carbone et précurseurs de l'ozone troposphérique, notamment le méthane) - polluants climatiques à courte durée de vie.

DÉFINITIONS

On entend par « **changements climatiques** » des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

Source : *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*

Les **polluants climatiques à courte durée de vie** jouent un rôle clé dans les changements climatiques. Ils restent dans l'atmosphère pendant une période beaucoup plus courte que le dioxyde de carbone (CO₂). Toutefois, malgré leur courte durée de vie, leur potentiel de réchauffement de l'atmosphère peut être plusieurs fois supérieur. Certains polluants climatiques à courte durée de vie sont également des polluants de l'air. Le noir de carbone, le méthane, l'ozone troposphérique et les hydrofluorocarbures constituent les principaux responsables de l'effet de serre mondial résultant des activités humaines après le dioxyde de carbone, à l'origine de 45% du réchauffement climatique actuel. (Source: Coalition pour le Climat et l'Air Pur)

Par conséquent, des bénéfices potentiels pour le changement climatique, la qualité de l'air ou les deux à la fois peuvent être obtenus en limitant les émissions de polluants climatiques à courte durée de vie. Les effets de ces actions sont immédiats pour la qualité de l'air et de plus long terme pour le climat.

4- LIGNES DIRECTRICES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR DESTINÉES À LA PROTECTION DE LA SANTÉ ET DÉFINIES PAR L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ET NORMES DE RÉGLEMENTATION

L'OMS définit des valeurs guides concernant les principaux polluants atmosphériques qui sont établies pour la protection de la santé. Elles peuvent être différentes des normes nationales ou régionales fixées par les gouvernements, ces dernières étant généralement moins strictes (voir Normes européennes par exemple à l'adresse <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-standards>)

Le tableau ci-dessous résume les recommandations pour la qualité de l'air établies par l'Organisation mondiale de la santé.

Polluant	PM _{2,5}	PM ₁₀	O ₃	NO ₂
Concentration (en moyenne par jour)	10 µg/m ³	20 µg/m ³	100 µg/m ³	40 µg/m ³
Commentaires	Pas plus de 25 µg/m ³ 3 jours/an	Pas plus de 50 µg/m ³ 3 jours/an		

Source : *Lignes directrices de l'OMS*

5- RÉDUIRE LA POLLUTION DE L'AIR : UN OBJECTIF GLOBAL ADOPTÉ PAR LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE DANS LE CADRE DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

En 2015, plus de 150 dirigeants mondiaux ont adopté le nouveau Programme de développement durable à l'horizon 2030, y compris les objectifs de développement durable (ODD). La pollution de l'air est principalement couverte par les objectifs de développement durable suivants :

Objectif 3.9 : D'ici à 2030, réduire nettement le nombre de décès et de maladies dus à des substances chimiques dangereuses et à la pollution et à la contamination de l'air, de l'eau et du sol

Objectif 11.6 : D'ici à 2030, réduire l'impact environnemental négatif des villes par habitant, y compris en accordant une attention particulière à la qualité de l'air et à la gestion, notamment municipale, des déchets

LEXIQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

1 - LES POLLUANTS DE L'AIR

Pollution atmosphérique :

Elle est composée de gaz et de particules ayant un effet néfaste direct ou indirect sur la santé et l'environnement. Les principaux polluants de l'air sont : le benzène (C₆H₆), les composés organiques volatiles (COV), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), l'ozone (O₃) et les particules fines PM₁₀ et PM_{2,5}.

Ammoniac - NH₃ :

L'ammoniac est un composé chimique incolore et irritant (d'odeur piquante à faible dose, il brûle les yeux et les poumons en concentration plus élevée).

Benzène - C₆H₆ :

Le benzène est produit lors de la combustion incomplète de composés riches en carbone. C'est un polluant cancérigène, facilement inflammable et son ingestion ou son inhalation peuvent causer des nausées ou des maux de tête. Le benzène est l'un des constituants du pétrole brut et est utilisé pour la fabrication de pneus, colles, encres, pesticides, etc. Il est majoritairement émis par le secteur résidentiel, en raison du chauffage au bois, et par les transports.

Composés organiques volatiles - COV :

Ce sont des molécules très volatiles composées d'au moins un élément de carbone. Selon leurs caractéristiques ils peuvent avoir un effet direct sur la santé (toxique, mutagène ou cancérigène). Ils entrent dans la composition de carburants, mais aussi de nombreux produits courants (peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques, solvants, etc.). Ce sont des précurseurs de l'O₃, c'est-à-dire qu'au contact d'autres composés chimiques, les COV peuvent participer à la formation de l'ozone « troposphérique ».

Dioxyde de soufre - SO₂ :

Il est émis principalement lors de la combustion d'énergies fossiles (chauffage, production d'électricité, moteurs diesels, etc.). Ayant une forte odeur, ce polluant peut avoir pour effet d'irriter les yeux et les voies respiratoires.

Oxydes d'Azote - NO_x :

Ces molécules sont émises principalement lors d'une combustion (chauffage, production d'électricité, moteurs des véhicules, etc.). À forte concentration et combiné à d'autres polluants, les oxydes d'azote sont des gaz toxiques et irritants pour les yeux et les voies respiratoires. Ce sont, également, des précurseurs de l'O₃, c'est-à-dire qu'au contact d'autres composés chimiques, les NO_x peuvent participer à la formation de l'ozone « troposphérique ».

Ozone - O₃ :

Selon sa localisation dans l'atmosphère, l'ozone a des effets très différents :

- L'ozone « stratosphérique » est situé en très haute altitude et a un rôle protecteur contre les rayons ultraviolets du soleil.

- L'ozone « troposphérique » est situé en basse altitude, il est créé par la combinaison conjointe de conditions d'ensoleillement favorable, d'oxydes d'azote (NO_x) et de COV. Il a un effet direct sur la santé, provoquant des irritations pour les voies respiratoires, et sur l'environnement, altérant la photosynthèse et la respiration des végétaux. La température, qu'elle soit haute ou basse agit sur la formation des polluants et des particules fines, augmentant de ce fait la concentration en ozone.

Particules fines - PM₁₀ et PM_{2,5} :

Les particules fines désignent des particules de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM₁₀) et inférieur à 2,5 micromètres (PM_{2,5}). Généralement issues d'une combustion non totale, ces particules peuvent être d'origine anthropique (agriculture, transports, industries, chauffage au bois etc.) ou naturelle (volcanisme, feu de forêt, érosion éolienne, etc.). Elles peuvent avoir des effets importants sur la santé, pénétrant profondément dans l'appareil respiratoire. Les sources hors combustion sont également importantes et parfois dominantes (abrasion, mise en suspension, formation secondaire à partir de NH₃, NO_x, COV, SO₂...).

Dioxyde de Carbone - CO₂ :

Le CO₂ est un des principaux gaz à effet de serre (GES), mais n'est pas un polluant de l'air extérieur. Il est produit lorsque des composés carbonés sont brûlés et en présence d'oxygène. Ses sources sont d'origine naturelle (éruptions volcaniques, respirations, incendies naturels de forêts, décomposition de la matière organique...) mais aussi issues de l'activité humaine et principalement de la combustion des carburants d'origine fossile (entre 70 et 90%), puis l'agriculture et la sylviculture. En air intérieur, ce polluant est un indicateur de confinement.

Méthane - CH₄ :

Le méthane est un gaz émis par fermentation des composés organiques dans des environnements avec de faibles niveaux d'oxygène. Il est essentiellement produit lors de l'exploitation des mines de charbon, du gaz naturel et des activités agricoles. Ce gaz n'est pas un polluant de l'air, il n'a pas d'impact direct sur la santé humaine, mais contribue fortement au phénomène de réchauffement climatique. En effet, le méthane est un gaz à effet de serre (GES) 21 fois plus puissant que le CO₂.

2 - LES OUTILS DE MESURES

Les indices de qualité de l'air :

Déterminés à partir des niveaux de pollution mesurés par des capteurs de pollution atmosphérique, ils permettent de caractériser de manière simple et globale la qualité de l'air d'une agglomération urbaine. Les indices de qualité de l'air se présentent sous forme d'échelles (graduées de 1 à 10 par exemple) ou de niveaux (de « très bon » à « très mauvais » par exemple). En France, trois indices sont utilisés à différentes échelles : Citeair, ATMO et IQA.

Station de fond :

Station de mesure permettant de relever la concentration atmosphérique de différents polluants. Elle permet le suivi du niveau d'exposition de la majorité de la population aux phénomènes de pollution dits de « fond » dans les centres urbains et à leurs périphéries.

Station de proximité (ou de trafic) :

Station de mesure implantée à proximité d'une infrastructure routière, représentant une zone de concentration des polluants de l'air les plus élevés auxquels la population est susceptible d'être exposée.

3 - LES OUTILS DE PLANIFICATION TERRITORIALE

Dans le domaine de l'aménagement du territoire, les lois et directives nationales sont déclinées en plans et/ou en schémas à mettre en place à différentes échelles territoriales (souvent au niveau régional puis intercommunal ou communal), en voici deux exemples :

PCAET - Plan Climat Air Energie Territorial :

Outil de planification défini et mis en œuvre par les collectivités territoriales et principalement les intercommunalités depuis 2017. Il définit des objectifs d'atténuation et d'adaptation au changement climatique en proposant un plan de développement des énergies renouvelables et de maîtrise de la consommation énergétique. Il s'accompagne d'un bilan des émissions de GES, d'un diagnostic de vulnérabilité et d'un suivi des mesures.

PPA - Plan de Protection de l'Atmosphère :

Les PPA définissent les objectifs et les mesures, réglementaires ou portées par les acteurs locaux, permettant de ramener les concentrations en polluants de l'air à un niveau inférieur aux valeurs limites réglementaires. Ces mesures sont valables à l'intérieur des agglomérations de plus de 250 000 habitants et des zones où les valeurs limites réglementaires sont dépassées ou risquent de l'être.

Sources :

- www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr
- www.airparif.fr
- www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr
- www.maqualedelair-idf.fr
- www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques/air-exterieur
- www2.prevoir.org
- www.eea.europa.eu/fr/themes/air



Réalisé par :



RÉGION ACADÉMIQUE
ÎLE-DE-FRANCE
MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE
MINISTÈRE
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION



PRÉFET
DE LA RÉGION
D'ÎLE-DE-FRANCE

Direction Régionale et Interdépartementale
de l'Environnement et de l'Énergie

