Le réchauffement climatique

C'EST QUOI ÇA ?

Comment sensibiliser les enfants au réchauffement climatique ?

Remerciements

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.
En premier lieu, je remercie mes tuteurs, Laurence Pache et Cyril Nicolas, m'ayant éclairé dans la conception du mémoire puis m'ayant aiguillé pour y trouver des solutions efficaces.
Je remercie l'ensemble de l'équipe enseignante de la Cité scolaire Raymond Lœwy ainsi que mes camarades de DSAA.

Merci à Julien Bobroff qui m'a aidé en me fournissant des données précises et précieuses quant aux principes de vulgarisation aujourd'hui.
Merci à Maud Gouy d'avoir répondu patiemment à mes questions.
Je remercie l'équipe de Séquoia, à Nantes, pour m'avoir apporté tellement d'informations à propos de mon sujet de mémoire, m'ouvrant les yeux face à mes ambitions personnelles.

Enfin, ce mémoire n'aurait pu voir correctement le jour sans l'aide précieuse de Claudine et Rémi, pour leurs relectures et pour leur soutien moral (merci de m'avoir fourni câlin et chocolat).

Merci à Antalis pour le soutien papier.

Avant-propos

À l'adolescence, l'école a décidé si j'étais « scientifique » ou pas. Je ne comprenais rien aux cours de science, n'y voyant que des équations compliquées et barbares. Plus tard, quand une radiographie m'a montré les os de ma cheville, je me suis rendue compte que la science permet de comprendre l'invisible, pourquoi et comment le monde est construit et fonctionne.

Adiabatisme, *Nimbostratus*, *Tropopause*, *Pergélisol*

À la manière de Georges Perec, qui essaye de trouver un classement de ce qui l'entoure, je vois en la science une manière de « ranger le monde ». Elle hiérarchise rigoureusement les phénomènes par l'exactitude de l'observation qui en est faite. La science classe, ordonne, hiérarchise, définit et permet de comprendre et maîtriser ce qui nous entoure.
Cette révélation m'a donné l'envie de faire que tout le monde soit conscient de la nécessité de connaître et comprendre la science, qu'elle soit médicale, physique, biologique, chimique, mathématique, sociologique... ou climatique. Passé, présent, futur.

Ozone, *Aérosol*, *Isohyète*, *Hexafluorure de soufre*

Le réchauffement climatique me paraît le sujet le plus important aujourd'hui. Mais comprendre les prévisions climatiques permettrait-il de nous faire réagir ?

Comment sensibiliser les enfants
au réchauffement climatique dans le cadre
de l'apprentissage des sciences
afin de les mobiliser et les faire agir
en tant que citoyens conscients
et responsables ?

Le réchauffement climatique : une science difficilement perceptible et à concevoir, aux données complexes à interpréter.

Malgré un consensus scientifique, comment comprendre les études climatiques dans ce domaine prévisionnel ? 15

Quelle communication existe entre le scientifique et le public au sujet du réchauffement climatique ? 20

Comment l'enseignement des sciences à l'école primaire guide la sensibilisation aux menaces du réchauffement climatique ?

Quels obstacles surmonter pour sensibiliser les élèves et les rendre conscients du problème ? 25

Quel parcours pédagogique proposer aux élèves afin d'aboutir à une assimilation des connaissances ? 29

Quelle place peut occuper le graphiste dans la transmission du savoir scientifique ?

En quoi l'image est-elle un vecteur de connaissance ? 37

Comment l'image matérielle permet-elle de transmettre une connaissance ? 41

Comment l'image peut-elle être utile en science et dans la transmission de la connaissance scientifique ? 45

Quel rôle peut avoir le graphiste dans l'enseignement des sciences ? 52

Annexe 1 : Dossier Technique UE4, qu'est-ce que l'effet de serre ? 64

Annexe 2 : Quels modèles pédagogiques sont utilisés aujourd'hui ? 75

Annexe 3 : Qu'est-ce que La Main à la Pâte ?
Quelles sont ses objectifs pédagogiques ?
Analyse du module pédagogique : Le climat, ma planète... et moi ! 78

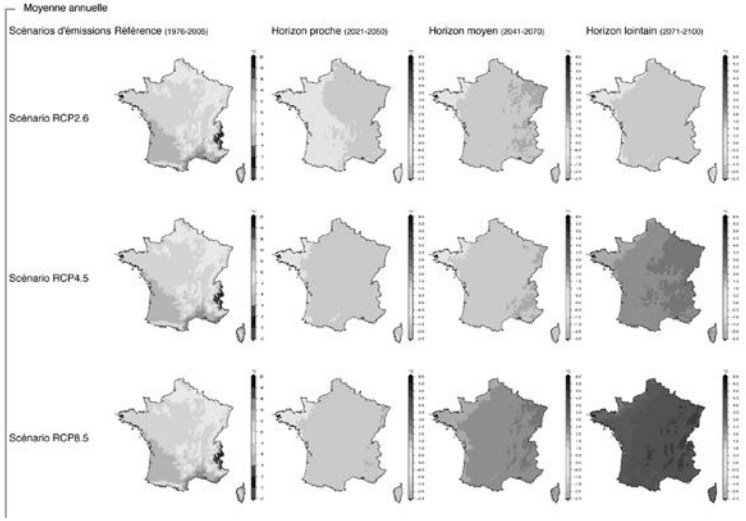
Annexe 4 : Comment les musées scientifiques vulgarisent-ils la science ? Quel travail complémentaire réalisent les centres de médiation scientifique ? 82
Expositions à la Cité des Science et au Palais de la découverte
Espace Pierre-Gilles de Gennes
Les Petits débrouillards
L'Exploradôme
Séquoia

Annexe 5 : Théâtre et design comme médiums de vulgarisation (Les Atomes Crochus, Gaia Global Circus ; La Physique Autrement) 91

Annexe 6 : Livres et magazines scientifiques 95

Annexe 7 : Quel rapport entre enseignement et support numérique ? 96

Bibliographie 97



© DRIAS

Anomalie de température moyenne quotidienne : écart entre le scénario et la période de référence (°C), Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin. DRIAS-les futurs du climat.
(Modélisation interactive sur le site www.drias-climat.fr)

© Clary T. DR

1 Marche pour le climat, *21 septembre 2014, New-York, photo Clary, T.*

Introduction

Le XXIe siècle est un tournant dans l'histoire de l'humanité. Les scientifiques ont constaté que la température de la Terre augmente de manière extrêmement rapide par rapport aux autres changements climatiques antérieurs, observés en paléoclimatologie, et ce sûrement à cause de l'activité humaine. Un consensus scientifique existe, où 98 % des experts sont d'accord sur le fait que la Terre se réchauffe.
En 1992, le Sommet de la Terre à Rio, convié par l'Organisation des Nations Unies, a fixé des objectifs de diminution internationale des gaz à effet de serre. Cette politique s'est concrétisée par l'Agenda 21, plan d'action des pays mobilisés en faveur d'un développement durable, puis par le Protocole de Kyoto en 1997, traité demandant aux pays la réduction des gaz à effet de serre. Les gouvernements de tous pays sont-ils suffisamment mobilisés depuis une vingtaine d'années pour que les effets de cette diminution soient constatés ?
Rassemblant les observations scientifiques mondiales en matière de changement climatique, le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), créé en 1988, a publié en mars 2014 son cinquième rapport. Celui-ci montre que les impacts mettant en péril notre environnement et modifiant nos modes de vie sont multiples : augmentation du niveau des mers, érosion des côtes, augmentation des événements météorologiques extrêmes, propagation des maladies, évolution des productions alimentaires, menaces sur la biodiversité... Ce dernier rapport montre bien que le réchauffement climatique est en cours. Le protocole de Kyoto, ne mobilisant que superficiellement les gouvernements, n'a pas eu assez d'impact. Les États-Unis et la Chine n'ont pas ratifié le protocole, alors qu'ils sont les pays qui émettent le plus de CO2. Il faut aussi que chaque citoyen se sente concerné. La marche pour le climat[1] le 21 septembre 2014 montre pourtant la motivation de (quelques) citoyens partout dans le monde pour réagir (10 000 participants à Paris, plus de 300 000 à New-York). Gouvernants comme citoyens sont donc au courant de ce qui se passe. Mais pourquoi n'agissons-nous pas ? La prise de conscience doit se ressentir dans les actes. Les actions menées aujourd'hui en terme de diminution des

gaz à effet de serre auront un impact majeur sur l'évolution du climat dans les prochaines années. Nos sociétés doivent s'adapter afin d'atténuer les conséquences des risques et pour savoir les surmonter.

Les sciences, comme expression des connaissances et représentations des phénomènes constituant le monde, sont perçues comme des entités solides et immuables. Le réchauffement climatique est pourtant quotidiennement remis en cause. Les sciences l'expliquant sont en mouvement, les découvertes étant expérimentales et nouvelles. De plus, les gouvernements ne soutiennent pas de procédure écologique pour agir face aux risques afférents au réchauffement climatique, soit par manque de communication des résultats des recherches scientifiques, soit par intérêt électoral.
Les citoyens pensent qu'il est de leur intérêt de développer une croissance effrénée, ce qui est contraire à l'idée d'une diminution de notre production et de notre consommation qui permettrait de lutter contre le réchauffement climatique.
Mais est-ce aux hommes politiques ou aux scientifiques de faire prendre conscience du problème aux citoyens ? Un dialogue doit-être mis en place afin d'informer les citoyens et de prendre en compte leur avis. L'un des buts de la science est de participer ainsi à la définition des actions politiques internationales.
Par exemple, au sujet des OGM, l'expert scientifique ne doit pas prendre le pas sur la décision politique. Les experts peuvent autoriser les OGM en les jugeant non-toxiques, comme si cela n'avait qu'une dimension technique, alors que cela a aussi des enjeux politiques. Les OGM ont un impact sur la qualité de production et l'autonomie des petits paysans. C'est donc une décision qui est d'abord politique. Ces deux enjeux sont liés et la tension créée pour savoir ce qui est prioritaire, est problématique.

Afin d'établir un dialogue entre les différents acteurs de la démocratie aujourd'hui, est-il nécessaire d'avoir une connaissance totale et de prendre parti ? De plus, ce n'est pas parce que les scientifiques détiennent la connaissance en premier lieu que c'est à eux de prendre les décisions. Nous avons tous un rôle à jouer, surtout au sujet de problèmes universels

comme le réchauffement climatique. Il y a alors nécessité d'une médiation des sciences afin que chacun soit conscient des enjeux environnementaux.

«Je suis persuadé que c'est par le savoir que se trouvent les solutions à nos problèmes.»

Michel Serres (11.01.06)

Nous devons tous participer, à notre échelle, à la diminution des gaz à effet de serre. Ces actions nécessitent un effort de la part des citoyens. Pour agir, il faut donc être informé du problème et comprendre le fonctionnement des phénomènes pour mieux mettre en place nos actions. La connaissance scientifique et la compréhension du fonctionnement de notre environnement devraient nous permettre d'agir en harmonie avec lui et non au détriment de son fonctionnement naturel.
La science est partie intégrante de notre culture.
Qu'est ce qui nous empêche d'être informés au sujet du réchauffement climatique afin d'y être sensible ?

L'enseignement des sciences peut-il avoir un impact sur l'atténuation et l'adaptation au réchauffement climatique ? La connaissance suffit-elle à déclencher l'action et que faut-il faire en terme de médiation pour qu'elle le soit ? Ne faut-il pas commencer cet enseignement le plus tôt possible, lorsque les esprits sont encore vierges ? L'école primaire est le premier moment où le citoyen est en contact avec les sciences de la Terre (physique, chimie, biologie). L'enfant commence à questionner le monde, à s'ouvrir et à s'émerveiller, tout en prenant conscience de sa présence sur Terre, en apprenant à être responsable face à l'environnement et au monde vivant autour de lui. Alors que nous attendons une réaction de tous pour un changement d'habitudes au quotidien, il est important d'éduquer les futurs citoyens afin qu'ils soient conscients des menaces et qu'ils puissent choisir d'adopter de nouvelles méthodes de vie. Les cours de science sont-ils suffisamment efficaces pour amener les enfants à appréhender une science aussi complexe que la climatologie ?

Sensibiliser les enfants au réchauffement climatique se heurte à de nombreuses difficultés, tant dans la manière d'appréhender le sujet que dans la présence d'obstacles techniques dans l'enseignement. Les cours de sciences sont souvent considérés par les élèves comme peu utiles, n'ayant pas d'application dans le quotidien car trop abstraits, démotivants et ne suscitant pas assez leur intérêt. Cela est encore plus difficile par le fait que la climatologie apparaît abstraite et hors de portée de l'action individuelle. Selon une enquête réalisée par le CREDOC en 2012, à l'école primaire et secondaire, les sciences de la vie et de la terre se classent par ordre d'intérêt en huitième place parmi seize matières, avec seulement 6% des élèves les considérant comme leur matière favorite. À l'école primaire, les sciences ne sont pas particulièrement présentes dans le déroulé des cours proposés par les enseignants. Les principes de base, lire, écrire, compter, ne sont pas appris en abordant un domaine scientifique. Les sciences ne sont souvent considérées que comme une activité d'éveil. Du CE2 au CM2, les sciences expérimentales, comme la physique, la chimie et la biologie, occupent seulement soixante-dix-huit heures d'enseignement par an, soit environ 2h30 par semaine. Pourtant, l'enseignement scientifique présente de nombreux intérêts pour la construction de l'élève, tant pour l'approfondissement de son savoir scientifique, permettant de mieux connaître le monde et son fonctionnement, que pour former son savoir vivre en aidant l'élève à penser de manière raisonnée et logique, articulée d'après l'observation de faits réels.
Il est nécessaire d'entretenir la motivation de la découverte et de l'apprentissage des sciences. L'éducation en matière d'environnement et de développement durable (EDD) est obligatoire à l'école primaire depuis 2008 et requiert un enseignement scientifique. Il est de notre devoir d'éduquer les enfants afin qu'ils acquièrent la connaissance logique et responsable adaptée à une réaction de protection de l'écosystème.

Afin de sensibiliser les enfants aux menaces liées au réchauffement climatique, l'enseignement des sciences à l'école primaire demande à être adapté afin d'amener ce sujet à être traité en classe. Les sciences se heurtent aux problèmes de

conception chez l'élève, relevant souvent de données abstraites difficiles à comprendre. Quels sont ces obstacles ? Comment faire pour les surmonter afin que le savoir devienne une connaissance acquise et assimilée ?
Il est primordial que l'enfant ait les outils pour comprendre le réchauffement climatique, sujet d'actualité fondamental pour agir dans les sociétés futures. Quels sont ces outils ?
Le graphisme et le travail de l'image peuvent-ils entrer en collaboration avec le travail de l'enseignant dans sa recherche de transmission d'un savoir ? Quelle image utiliser pour quel objectif ? Les outils déployés doivent permettre à l'élève de pouvoir agir de manière intelligente et responsable après assimilation des connaissances scientifiques. Chacun doit prendre conscience de son rôle de citoyen. Si l'image peut sensibiliser et informer, le design peut-il pousser à agir ?

Par ces questionnements portant sur l'accès au savoir scientifique, comme sur l'attente d'une réaction des citoyens face aux dangers du réchauffement climatique, nous pouvons nous demander comment enseigner aux enfants les sciences expérimentales dans le but de les faire agir face aux menaces du réchauffement climatique.

Avant de se questionner sur l'enseignement des sciences à l'école primaire, nous devons nous intéresser aux problèmes de perception des citoyens par rapport au réchauffement climatique afin de comprendre pourquoi nous sommes inactifs face aux menaces exprimées par les scientifiques.
Aujourd'hui, on constate que la température de la Terre a augmenté d'environ 1°C en 100 ans, et ce principalement à cause de l'augmentation de l'émanation de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère depuis la révolution industrielle. Le climat a changé naturellement dans l'histoire de la Terre, mais cette évolution naturelle a été déséquilibrée par l'Homme. À partir d'observations, le GIEC prévoit une hausse des températures en 2100 de 2 à 5,5°C* par rapport à l'ère préindustrielle (1850). Il y a alors une réelle nécessité de comprendre le réchauffement climatique afin de changer nos habitudes de vie.

** D'après le 5e rapport du GIEC, l'augmentation des températures entre 1850 et 2100 ne pourrait être que de 2°C si nous remettons en cause notre mode de vie, ou de presque 6°C si nous n'agissons pas.*

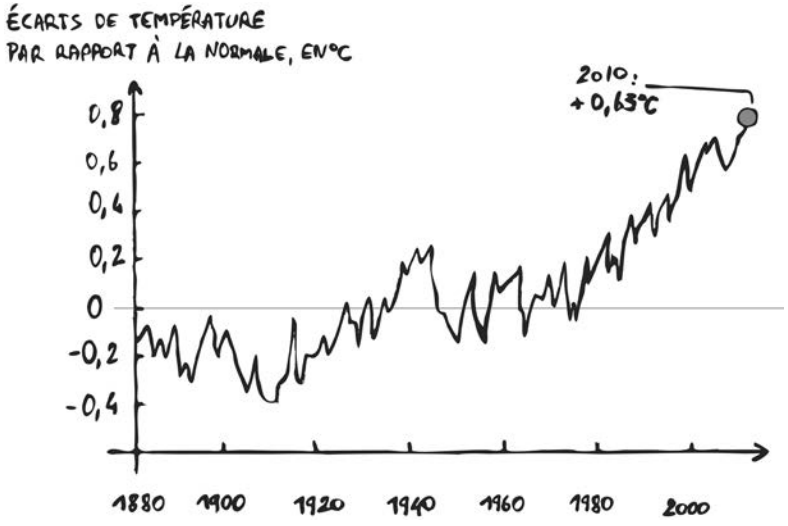
Le réchauffement climatique : une science difficilement perceptible, aux données complexes à interpréter.

Malgré un consensus scientifique, comment comprendre les études climatiques dans ce domaine prévisionnel ?

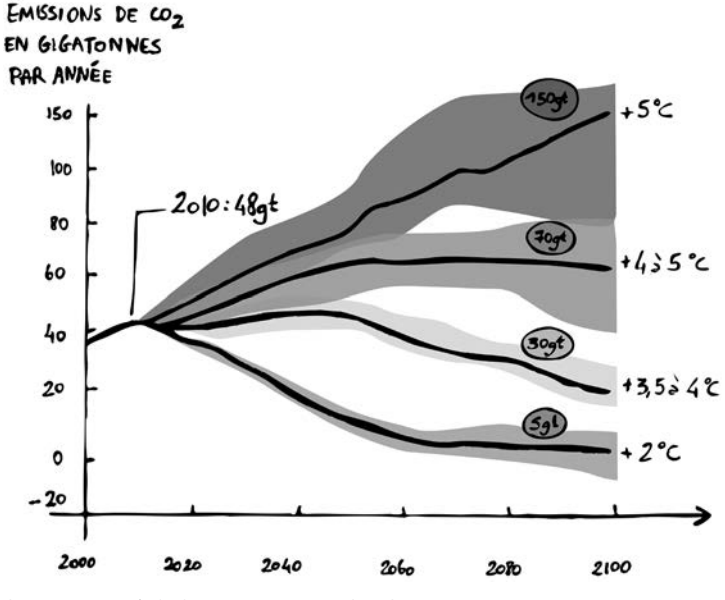
Tout d'abord, le citoyen établit trop fréquemment un rapprochement entre la météorologie et la climatologie.
Il faut les distinguer afin de comprendre convenablement les enjeux liés au réchauffement climatique.

La météorologie est l'étude des phénomènes atmosphériques en vue d'établir des prévisions du temps à venir, dans un futur proche. La climatologie est une science étudiant les différences de phénomènes atmosphériques sur une échelle de temps longue et dans un espace géographique défini. Les échelles de temps sont différentes. L'étude des climats demande une connaissance du passé, issue des études en paléoclimatologie, en plus d'une étude des phénomènes physiques et chimiques de la mécanique terrestre, ainsi que d'une analyse biologique des écosystèmes. À cela s'ajoutent des facteurs astronomiques tels que l'axe de rotation de la Terre autour du soleil ou l'évolution des rayonnements de celui-ci. La climatologie est donc un domaine réunissant plusieurs entités scientifiques, le rendant d'autant plus complexe à analyser par les chercheurs et à comprendre pas les citoyens.

Pour le citoyen ordinaire, météo et climat se confondent, chacun pensant que la climatologie est une extension du domaine de recherche en météorologie. Présentée plusieurs fois dans la journée dans les média par les prévisions météo,



Statistiques de l'évolution des températures, France Inter, source : NOAA, OMM, Nature



Scénarios émis par le GIEC, France Inter, source : NOAA, OMM, Nature

© Surfrider Foundation

Surfrider Foundation,
Campagne de lutte contre les déchets jetés en mer *(2006).*
L'activité humaine est portée responsable.

la météorologie est accessible et familière. Elle appartient à notre quotidien. De plus, l'opinion commune ne la considère pas comme une science véritable.

Le ressenti qu'ont les citoyens de ces deux sciences aux échelles de temps différentes est encore plus troublé par le fait que le climat, où les phénomènes agissent sur le long terme, est impacté aujourd'hui par les modifications de nos habitudes de vie depuis la moitié du XIX^{e} siècle, ce qui est un temps court dans la vie de la Terre.
Ces modifications sont rapides à l'échelle du temps de l'analyse du climat. Une fois que le citoyen a compris ce qu'est la climatologie, il doit alors concevoir que la modélisation climatique, faite sur une analyse d'un temps long (trente ans), peut être modifiée sur un temps court.
Comment peut-on penser que le climat se dérègle de manière rapide, alors qu'il se construit durant des milliers d'années ? En plus de comprendre que le dérèglement climatique est rapide, il faut prendre en compte l'urgence des adaptations à mettre en place.

Ainsi, l'étude du réchauffement climatique est une science basée sur des prévisions et statistiques, données jugées comme potentiellement subjectives, mais qui, pourtant, sont avérées et dont l'authenticité est démontrée. La climatologie est donc fondée sur des observations concrètes, auxquelles s'ajoute une dimension humaine et sensible. En effet, les conséquences sont palpables, rendant la catastrophe tangible.

La climatologie est donc basée sur des modèles, qui, par leur réalisation, sont très éloignés du sujet d'étude. La dimension temporelle, mais aussi la dimension spatiale de la climatologie, n'est pas à l'échelle humaine.
D'après des observations à partir de faits, les scientifiques établissent des modèles qui sont des explications de ces faits à échelle globale. Pour construire un modèle climatique, sociologues, démographes, spécialistes de l'énergie et de la

géopolitique, se rassemblent au sein de groupes d'experts, tel que le GIEC. Des scénarios sont élaborés puis regroupés en « familles », représentant différentes possibilités de changements climatiques futurs. Ces prévisions sont donc issues de modèles, déduits d'observations faites par les climatologues. Les lois sont déduites d'observations du réel et sont regroupées en modèles, qui sont eux-mêmes réunis dans une théorie scientifique, niveau d'abstraction le plus général.

Observations > lois > modèles > théorie

Mais la théorie établissant une abstraction depuis l'observation initiale est-elle une description exacte de la nature ? Possède-t-elle une part de subjectivité ? Les modèles réalisés sont éloignés des observations premières. Par ailleurs, ils sont construits à partir d'un langage spécialisé, ce qui tend à instaurer une distance avec le citoyen.

Les prévisions scientifiques sont-elles sûres ? Devons-nous faire confiance aux scientifiques et croire à leurs prévisions ?

Les sciences sont construites autour de théories, ainsi que de modèles explicatifs. On pourrait alors penser que la science est un produit de notre pensée. L'épistémologue Willard Van Orman Quine[1] défend l'idée que toute théorie scientifique dépend du langage et de la culture, qui, n'étant pas neutres, permettent d'énoncer une observation de manière différente, en fonction de leur variabilité.
Selon le relativisme ontologique, les théories scientifiques sont déterminées par nos sensations, nous permettant d'interpréter les objets et d'identifier leurs mécaniques. Mais d'après les philosophes empiristes, la science se construit par l'observation des faits. On peut appeler « science », toute théorie dont les énoncés sont vérifiables, issus de faits réels, concrets et indéniables. De plus, ces modèles sont en dialogue constant avec les faits et c'est cette confrontation qui assure leur scientificité. Les prévisions sont considérées comme des critères pour qu'un fait soit scientifique, car les prévisions permettent aux théories d'être possiblement réfutables, comme le dit le philosophe Karl Popper[1]. Cela leur permet d'exister et de ne

1 Quine, W., Le mot et la chose, *In : Saugaut, P.,* Introduction à la pensée scientifique moderne *(2008)*
1 Popper, K. La logique de la découverte scientifique, *In : Saugaut, P.,* Introduction à la pensée scientifique moderne *(2008)*

pas être une pure fiction. La création d'hypothèses pour élaborer la théorie du réchauffement climatique est basée sur des statistiques et des prévisions qui légitiment son existence. La compréhension du changement climatique demande alors une compréhension raisonnée de faits avérés, en dialogue avec des théories.

À celui-ci s'ajoute le problème de prise de conscience des menaces environnementales.
Après que les climatologues aient établi des prévisions, ils soumettent aux citoyens différents risques envisageables. Parmi les risques issus du réchauffement climatique, on trouve les risques incertains, demandant un principe de précaution, et les risques avérés, demandant un principe de prévention. Le principe de précaution demande aux autorités publiques de proposer des mesures provisoires de diminution des risques, alors que le principe de prévention demande de mettre en place des actions de manière évidente et immédiate.

Un lien existe entre l'évolution catastrophique possible de la situation et nos habitudes de consommation et de production, le second ayant déclenché le premier et devant, de ce fait, être reconsidéré. Nous devons prendre conscience des menaces environnementales ainsi que des enjeux sur notre quotidien. L'individu ne peut concevoir de changer son mode de vie, car il pense que cela ne suffirait pas à empêcher les risques, ou que ceux-ci sont exagérés par les médias, vu qu'il n'a pas l'information directement de la part du scientifique. Changer les habitudes de vie, et donc le confort de l'individu, nécessiterait un réel changement de paradigme de production et de distribution d'après Michaël Löwy[2]. Une société éthique est nécessaire afin de faire accepter une transformation des sociétés, en vue de protéger l'être humain et son environnement. Les citoyens n'imaginent pas mettre en place un principe de prévention, ne pouvant réaliser qu'ils font partie des acteurs du changement.

2 Löwy, M., L'Écosocialisme *(2011)*

Quelle communication existe entre le scientifique et le public au sujet du réchauffement climatique ?

Face au manque d'action des citoyens, le seuil critique risque d'être franchi, à savoir le seuil de non-retour où les écosystèmes ne sauraient plus revenir à un état d'équilibre. Les avancées technologiques sont jugées par l'Homme comme source perpétuelle de progrès. Notre capacité d'adaptation face aux retombées du réchauffement climatique est cependant inconnue. Ainsi, nous croyons que nous allons inventer une nouvelle machine permettant de réduire nos émissions de gaz à effet de serre tout en continuant à consommer de la même manière.
De ce fait, la géo-ingénierie propose des dispositifs de manipulation du climat. Par exemple, la dispersion massive de particules dans la stratosphère créerait un aérosol réfléchissant une part du rayonnement solaire, ce qui limiterait le réchauffement de l'atmosphère. Pourtant, le réchauffement climatique étant d'origine humaine (d'après analyses scientifiques), il est utopique d'attendre de l'Homme des progrès technologiques pour limiter l'étendue des catastrophes qu'il a justement causé par le progrès.

Nous avons espoir dans les inventions futures alors que les actions contre le réchauffement de la Terre sont à réaliser dans un laps de temps très court, avant des inventions supposées. En espérant et en imaginant ce qui est envisageable, nous croyons à la puissance créatrice de l'Homme comme apportant forcément les solutions. Cependant, les prévisions sont issues d'observations scientifiques réelles, demandant d'aller au-delà de la croyance simple et pouvant être considérées comme objet de savoir. Nous n'avons pas à « croire la science » mais à la connaître. Il est nécessaire, pour réagir, de savoir, pour dépasser la simple croyance en ce qui est dit.

«Savoir, c'est croire quelque chose de vrai,
et le croire pour de bonnes raisons.»

Jean-Pierre Dupuy, Pour un catastrophisme éclairé, *(2006)* p.142

Les prévisions climatiques, n'étant que des suppositions d'événements, sont probables mais impossibles à confirmer. Cela conforte l'inactivité des citoyens face à l'incertitude des modèles établis par les scientifiques.

Les résultats des observations sont inéluctablement justes, mais les prévisions ne sont que « potentiellement » justes. Les citoyens confondent cette différence entre observations et prévisions, remettant les deux principes en cause, au lieu de nuancer les propos. Pourtant, face aux résultats du GIEC, il est essentiel de réagir, donc de savoir afin de prendre des décisions responsables. Le manque de cohésion entre ce qui est su et ce qui est fait (ou plutôt ce qui n'est pas fait) montre bien la faiblesse de la transmission du savoir scientifique vers les citoyens. Ce manque est aussi visible au niveau de la réflexion du citoyen qui ne perçoit pas quelles adaptations sont envisageables.

Nous venons de voir que les prévisions sont établies par les scientifiques et que ce sont à eux et aux citoyens de prendre les décisions pour construire les sociétés futures. Cependant, les citoyens ne sont pas suffisamment informés des enjeux. Est-ce donc aux scientifiques, détenant la connaissance, d'agir de manière responsable en interprétant les possibles évolutions ? Mais si le scientifique a comme droit d'éclairer le public sur l'état des connaissances, ce n'est pas de son devoir de faire seul le choix d'utilisation de ces connaissances.

Par ailleurs, en démocratie, la parole des citoyens est aussi importante que celle des scientifiques, surtout dans le cas du réchauffement climatique où il s'agit de l'avenir de tout le monde et de décisions à prendre et à appliquer par tous, dans la mesure où ce qui est en jeu est la manière dont nous produisons et consommons.
Pour éviter cela, il faut **démystifier la science** et montrer qu'elle n'est pas un ensemble de faits avérés et indéniables. C'est un questionnement permanent chez les chercheurs. Les futurs citoyens doivent prendre en compte le métier de chercheur, sa dynamique de travail, ce qui permettrait de comprendre les avancées et les actions des scientifiques, mais aussi les freins et les impasses. Le scientifique n'a pas à avoir une place de décideur. Ce n'est pas « celui qui sait », vers lequel

on va se tourner pour n'importe quel problème universel et technique. En cherchant « comment » les phénomènes se forment, il va trouver « pourquoi ». Il ne prend pas des décisions mais cherche des solutions.

Après que les scientifiques aient réalisé des observations et élaboré des systèmes et des modèles, les résultats sont présentés au public. Les informations quant au réchauffement climatique sont-elles transmises ? Si elles le sont, sont-elles efficaces ? **Comment la communication se fait-elle du scientifique au citoyen ?** Est-elle directe ?

Des structures existent ayant la volonté d'informer les citoyens. Par exemple, l'Académie des Sciences a pour objectif de transmettre les résultats des recherches scientifiques de manière accessible au plus grand nombre.
Des organisations comme la Fondation Sciences Citoyennes, dirigée par le biologiste Jacques Testart[1], ont **une volonté similaire de transmettre l'information et de faire participer le citoyen à la prise de décision**. Pour Testart, les élections, le référendum ou la prise de parole des citoyens sont efficaces si ces derniers sont correctement informés des sujets traités, de façon à avoir un avis pertinent et étayé. Au-delà de l'éducation, ils doivent prendre des décisions. Pour cela, Testart propose de créer des panels de citoyens pour prendre des décisions sur des sujets de société, proposant une expertise différente de celle faite par les scientifiques, voir contradictoire[2].

Différents obstacles de transmission de l'information scientifique se présentent aux citoyens.
Tout d'abord, l'information ne passe pas directement du chercheur au citoyen. Elle utilise des moyens de communication tels que les média télévisés (journaux d'informations, émissions de vulgarisation, débats télévisés, etc.), ou les journaux et magazines papiers et numériques. Entre le chercheur et le citoyen, les média transforment le message, de manière positive (en facilitant l'accès à un savoir technique) ou de manière négative. Par exemple, les média séduisent pour augmenter l'audimat par l'utilisation d'attributs esthétiques et rhétoriques, au lieu de transmettre les informations de manière neutre.
Au contraire, le débat public est une forme efficace de transmission d'une information, sans distorsion de celle-ci par une personne transmettant l'information, le contact entre scientifique et citoyen étant direct. La quantité de débat est cependant faible et ceux déjà organisés ne s'adressent qu'à une mince partie de la population. Pour que le débat soit efficace, la personne transmettant l'information doit faire la différence entre faire comprendre et expliquer. Les sciences issues d'observation, telles que les sciences de la nature, demandent à être expliquées, alors que les sciences humaines ont besoin d'être comprises. Le réchauffement climatique est à la fois du domaine des sciences de la nature et des sciences humaines, car le fonctionnement de nos sociétés l'a accéléré. Les individus doivent être sensibilisés lorsqu'ils n'ont pas encore de bagage culturel, de stéréotypes acquis et de préjugés causant les problèmes de compréhension liés au réchauffement climatique. Ainsi, il apparaît nécessaire de privilégier la formation du citoyen et notamment l'enseignement scolaire. **L'enseignement a pour but de connaître et diffuser l'état des lieux des connaissances scientifiques, mais aussi de développer une pensée critique et un raisonnement logique.** Les futurs citoyens pourraient prendre plus de décisions permettant la constitution des sociétés en faisant des choix réfléchis, en lien avec les nécessités. De plus, l'enseignement des sciences forme au débat, indispensable à la mise en place de la démocratie, l'autonomie de jugement, l'acceptation du doute, la remise en question de dogmes, au respect de l'autre et à la rigueur de l'expression.

En plus des obstacles touchant les citoyens adultes, comme ceux que nous venons de voir, quels sont les freins pour faire comprendre aux enfants les enjeux du réchauffement climatique ? Celui-ci peut être principalement expliqué à l'école par des cours de sciences. Pour cela, il est nécessaire de savoir quelles sont les conditions de l'enseignement scolaire en France. À l'école primaire, l'enfant a des cours de science permettant de comprendre le monde qui l'entoure. Afin d'enseigner dans les meilleures conditions possibles, comment les acteurs de l'enseignement sont-ils formés et quels outils sont les plus adéquats pour y parvenir ? Enfin, comment faire pour sensibiliser et enseigner, afin de promouvoir la mobilisation face aux risques liés au réchauffement climatique ?

1 *Testart, J.,* La recherche participative comme mode de production des savoirs, *Fondation Sciences Citoyennes* http://sciencesci-toyennes.org

2 *Musso, A.,* Peut-on faire confiance à l'expertise scientifique ? *L'Humanité (2013)*

Comment l'enseignement des sciences à l'école primaire guide la sensibilisation aux menaces du réchauffement climatique ?

Quels obstacles surmonter pour sensibiliser les élèves et les rendre conscients du problème ?

L'enseignement des sciences est primordial dans la construction des sociétés, tant pour les connaissances que cela apporte que dans l'apprentissage de techniques réflexives. Celles-ci améliorent la capacité de raisonnement.
Le réchauffement climatique est un sujet demandant un apprentissage dans différents domaines. En effet, les leçons de biologie expliquent l'effet de serre, les cours de physique les échanges de chaleur, la chimie les différents polluants, gazeux ou liquides. Ces domaines sont appelés « sciences expérimentales », étant élaborées à partir d'observations, contrairement aux théories mathématiques abstraites. Le réchauffement climatique va même au-delà des sciences, en étant un sujet global, abordant des sujets en géographie (les impacts en fonction des espaces terrestres) et en histoire (paléoclimatologie). Cependant, l'apprentissage des sciences à l'école rencontrent aujourd'hui de nombreux obstacles, tant sous une forme technique que sous une forme conceptuelle.

Tout d'abord, les sciences se heurtent à l'image qu'en ont les apprenants. En effet, les enfants ont généralement une image négative de la science. Elle est vue comme une liste de théories indéniables que l'on est obligé de savoir. Le scientifique

est décrédibilisé dans son travail de chercheur en étant vu comme enfermé dans un laboratoire, coupé du monde, sans vie sociale. Les enfants sont plus intéressés par des domaines en lien avec la société. Lorsqu'ils apprécient les sciences, que ce soit à l'école ou dans des musées scientifiques, ce sont lors d'expériences ou par des jeux, par le divertissement.
Le sujet du réchauffement climatique est d'autant plus difficile d'approche. En effet, les enfants se sentent concernés lorsqu'on leur en parle, mais ne se pose pas de questions à ce sujet de manière raisonnée par rapport à leurs actes au quotidien. Ils vont avoir une approche intuitive, sans faire d'associations logiques de ce qu'ils apprennent.

Le premier obstacle est que la compréhension d'un problème est personnelle, même si celui-ci est scientifique donc universel. L'enfant va interpréter ce qu'il apprend, en fonction de son bagage culturel et des applications possibles qu'il va en faire.

Le cadre de chaque enfant formant son identité est différent en fonction de la culture et de l'origine sociale. Le sociologue Pierre Bourdieu[1] nomme ce bagage le « capital culturel ». En effet, les enfants issus de familles aisées bénéficient d'un capital culturel plus fort que ceux issus de classes moyennes. Chez les enfants de cadres et de professions libérales, le climat culturel familial est propice à développer une autonomie face à la connaissance et l'aide périscolaire est financièrement plus accessible. Cette culture environnante les aide dans le travail scolaire. Pour que chaque enfant puisse apprendre, il faudrait enseigner directement à l'école mais aussi sensibiliser les parents pour qu'ils construisent un cadre propice à l'assimilation des savoirs. Tenir compte de ces différences sociales dans les dispositifs mis en place dans le cadre scolaire permettrait aussi à ce que chacun puisse avoir accès à la connaissance, ce qui permettrait l'égalité de savoir de tous.

1 *Bourdieu, P.,* Les trois états du capital culturel, *1979*

Par ailleurs, apprendre nécessite de faire des efforts. Le réchauffement climatique est un sujet demandant d'autant plus de s'investir car il nécessite un effort pour changer ses habitudes de vie afin d'adopter un comportement responsable. Il faut avoir la volonté d'appliquer ce qui a été appris. Or, l'enfant peut penser que le réchauffement climatique est un sujet scolaire qui n'a pas lieu d'être à la maison. Il faut d'autant plus motiver l'enfant afin qu'il s'investisse en classe et à la maison. Enfin, la difficulté qu'a l'enseignant à s'adapter aux manières particulières d'apprendre des enfants est un défi à relever, qui varie en fonction des élèves. Il n'y a pas qu'une méthode efficace d'enseignement mais plusieurs, en fonction des élèves. Alors que certains vont comprendre par des mots, d'autres vont être sensible à l'image ; certains seront touchés visuellement, quand d'autres vont apprendre par des procédés auditifs, en écoutant.

L'enseignant n'est pas le seul face aux obstacles d'apprentissage. **Quelle place a l'élève dans la méthode d'enseignement proposée aujourd'hui ?**

Concrètement, le parcours pédagogique de l'élève est structuré afin qu'il soit amené à posséder un ensemble de savoirs et de compétences. Tout d'abord, l'enseignant doit suivre un programme, défini par le Ministère de l'Éducation. Par des socles de compétences à atteindre par l'élève, le programme est une structure de référence pour les enseignants et régulant les temps d'apprentissage.
Le réchauffement climatique est proposé dans le programme des classes de CM2, comme enseignement au développement durable (EDD). Pourtant, la climatologie n'est pas vue, par les enseignants et les parents, comme étant nécessaire dans le développement intellectuel de l'enfant. Elle est perçue comme une une science de supposition et parfois même comme une croyance. Cela décrédibilise le travail des chercheurs et leurs théories. De plus, les sciences expérimentales expliquant le réchauffement climatique sont vues comme existant seulement en laboratoire, n'étant qu'un sujet pour les scientifiques et n'ayant pas d'application ou de lien avec le quotidien. Cependant, tout ce qui nous entoure est lié

©DR

Méthode de la «pédagogie de la devinette» : l'enfant doit donner la réponse qui est attendue par l'instituteur.

à une loi physique ou chimique. Le réchauffement climatique est un cas concret et universel, pourquoi ne pas avoir envie de s'y intéresser lors de l'enseignement ?

Pourtant, l'enseignant peut être force de proposition pour organiser ses cours de manière motivée et originale, créant des opportunités susceptibles d'aborder les problèmes, et de se détacher de la rigueur sous-tendue par le programme. Par son expérience ou sa formation, l'enseignant peut réinventer des procédés pédagogiques et s'approprier les modules qui lui sont proposés. L'enseignement des sciences peut être concrètement abordé par l'analyse du milieu, en application avec l'actualité (par une recherche des entreprises locales à faire intervenir, des expositions à aller voir, des lieux à visiter, etc.).

Aux problèmes concernant les méthodes d'apprentissage à l'école, s'ajoutent des obstacles de conception. L'un des premiers est que les enfants ont du mal à conceptualiser l'effet de serre spatialement. Le caractère global du problème est difficile à appréhender en étant peu visible dans son propre cadre de vie. Pourtant, la climatologie est issue d'observations de la nature, donc de faits réels. Elle ne peut être si éloignée de nous. **Il faut trouver des moyens d'expliquer le réchauffement climatique par ce que l'enfant va voir concrètement.**

Si le climat est abordé uniquement de manière générale, le problème étant global, l'apprenant ne va pas s'identifier au problème, créant un gouffre d'autant plus profond entre le problème et sa compréhension. En abordant le sujet par des exemples, l'apprenant se sentira plus concerné et cela lui permettra de comprendre, passant de la compréhension d'un problème précis à la prise de conscience du problème général. Par exemple, étudier les saisons et se rendre compte que des bourgeons apparaissent très tôt dans l'année peut être un moyen de montrer le réchauffement de la Terre au quotidien.

Les obstacles de compréhension doivent être surmontés, et un travail sur les méthodes d'apprentissage à l'école et à la maison doit être effectué. Afin que les élèves soient guidés vers une assimilation, au-delà d'un simple apprentissage, l'enseignement doit s'inscrire dans un parcours pédagogique.

Quel parcours pédagogique proposer aux élèves afin d'aboutir à une assimilation des connaissances ?

Les obstacles rencontrés dans l'apprentissage des sciences à l'école primaire demandent la construction d'un parcours pédagogique par l'enseignant. Ce parcours permettrait de surmonter le manque de motivation des élèves. Celui-ci est lié au manque d'autonomie des élèves et est sûrement causé par les méthodes pédagogiques habituelles. Durant le siècle dernier, l'enseignement des sciences a été chaotique, influencé par divers courants pédagogiques et didactiques, s'opposant au travail de l'enseignant et donnant de lui une image stéréotypée. Quel modèle pédagogique est le mieux à même de surmonter les problèmes que nous avons vu précédemment, afin d'aborder le sujet du réchauffement climatique ?
Les modèles pédagogiques intéressants à réinvestir dans un enseignement des sciences sont présentés à l'*annexe 2*.

Afin d'appréhender les sciences afférentes au réchauffement climatique de manière efficace, l'enseignement peut transmettre les cours par des chemins d'accès directs et réels, ce qui donne une image différente de l'image théorique et rigide qu'ont les enfants de la science habituellement. Ces sciences sont en perpétuelle reformulation. L'élève doit se mettre à la place du chercheur, en étant lui aussi dans une démarche de recherche.

La pédagogie proposée par la pédagogue Maria Montessori a la volonté de lier documentation à propos du problème posé et expérimentation par l'élève. L'enseignant propose à l'enfant d'utiliser des outils spécifiques. Il devient médiateur en expliquant comment les utiliser pour parvenir à la connaissance. Elle propose un modèle pédagogique où le cheminement vers la connaissance est construit par l'enfant. Pour Montessori comme pour Jérôme Bruner, autre pédagogue, le lieu où se fait l'enseignement est primordial dans le développement cognitif. **Ainsi, afin d'améliorer une accessibilité au savoir, il est important de placer l'enfant dans un contexte spécifique.**

Afin d'appliquer des modèles pédagogiques, l'interdisciplinarité à l'école doit être favorisée. Les cours de sciences et d'art peuvent, par exemple, être fusionnés avec d'autres matières. Cela permet de s'intéresser à tous les domaines, sans faire de blocage. De plus, l'enseignement de différents domaines permet d'aboutir à une compréhension globale. Par exemple, le réchauffement climatique peut être abordé par différentes observations de l'environnement, des expérimentations en chimie, en arts plastiques, une analyse des terrains touchés en géographie, etc.

Ce parcours pédagogique proposant une corrélation entre différents domaines fait partie du principe pédagogique de la **démarche d'investigation**.

S'appuyant sur les différents points qui favorisent un apprentissage, vus précédemment (tels que le questionnement des élèves afin d'appliquer un scénario d'apprentissage dans la pédagogie Montessori), la démarche d'investigation est un procédé pédagogique intéressant à utiliser dans l'enseignement des sciences. **Les principes phares sont l'expérimentation,**

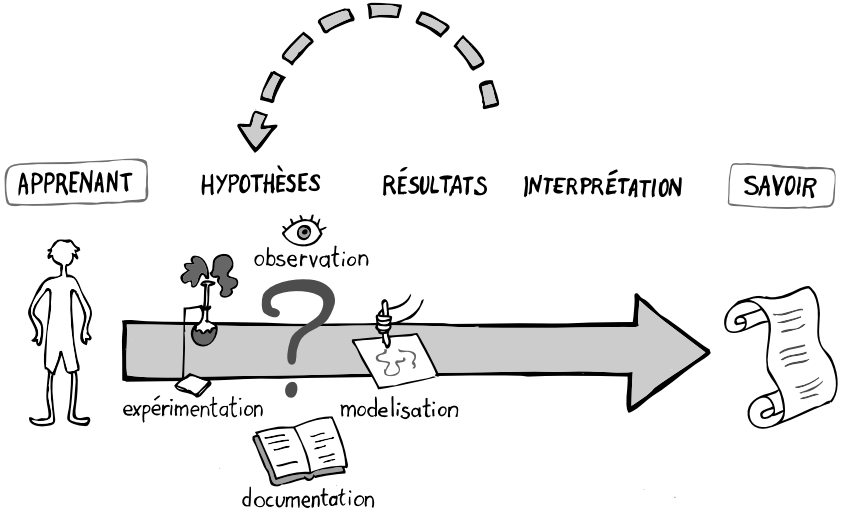


Schéma de la méthode d'apprentissage de la démarche d'investigation.

le questionnement, la recherche d'hypothèse et la modélisation. La démarche d'investigation a pour but d'apprendre une théorie à l'enfant, mais aussi de la faire comprendre afin qu'il se l'approprie, passant par la pratique et la manipulation.

Ainsi, pour l'épistémologue Gaston Bachelard[1], il est évident que la construction de la connaissance scientifique est issue d'un questionnement.

1 Bachelard, G., La formation de l'esprit scientifique, *chapitre Ier, (1938)*

« Toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. »

Gaston Bachelard, La formation de l'esprit scientifique, *(1938).*

Les sciences expérimentales sont en mouvement, perpétuellement reconsidérées, tout comme la démarche d'investigation qui fonctionne par le questionnement, l'hypothèse, la recherche. L'enfant va se poser lui-même ses questions et problèmes et va pouvoir expérimenter pour trouver les solutions. La démarche fonctionne par transposition didactique : l'élève se met à la place du chercheur, il réfléchit comme lui. Faire des expériences à l'école ne sert pas à faire de nouvelles découvertes mais à inviter les élèves à reproduire une procédure. Cette démarche est efficace pour enseigner les sciences.

© Fondation LAMAP

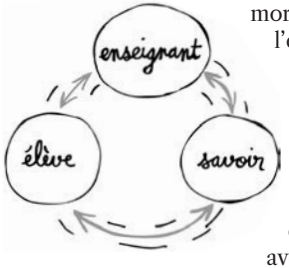
Wilgenbus, D., Le climat, ma planète… et moi !, *guide pédagogique distribué à 3 000 exemplaires.*

La fondation La Main à la Pâte (LAMAP) applique cette démarche d'investigation. Leur module *Le climat, ma planète… et moi !* a pour objectif de sensibiliser au réchauffement climatique. L'*annexe 3* présente cette fondation et le module pédagogique.

Le réchauffement climatique y est abordé par différents chemins d'approche, tels que la fabrication d'une serre, l'étude de photos de paysages du monde ou des expériences

de physique-chimie. À la fin de ce module, l'enfant est invité à calculer son bilan carbone et des solutions simples à réaliser sont proposées. Les outils sont des documents fournis par La Main à la Pâte, du matériel de classe et des objets simple à trouver pour faire les expériences (ficelle, cailloux, colle, etc.).

Cependant, il est à noter que les images fournies sont soit des photos banales, soit des illustrations de qualité graphique hétérogène. Les photos permettent une observation objective car elles sont dénuées de toute émotion. **Or, l'émotion est justement nécessaire pour permettre cette réappropriation personnelle.**



La démarche d'investigation lie les trois éléments primordiaux de l'apprentissage : le savoir, le travail de l'enseignant, l'implication de l'élève. L'enfant va aller chercher de manière autonome la réponse à ses questions, afin de construire un lien avec le savoir. L'enseignant est un guide et propose les activités menant à l'hypothèse. Afin d'optimiser la qualité de cette pédagogie, elle doit être abordée dès la formation des professeurs. Ceux-ci doivent s'associer avec les chercheurs pour créer un enseignement des sciences à la fois dynamique et d'actualité. LAMAP propose ainsi aux enseignants de participer à l'Université d'Automne *Graine de Science*, réunissant des chercheurs. Ils sont invités à animer des ateliers de vulgarisation pour aider les instituteurs qui n'ont pas de formation scientifique à répondre aux attentes des élèves.

Il y a cependant un travail primordial de la part de l'enseignant qui doit construire un chemin guidant vers la connaissance. Il doit mêler les domaines et établir un parcours avec obstacles où l'apprenant peut faire des retours en arrière et commettre des erreurs. L'erreur fait partie du parcours de l'apprenant vers la connaissance. Les erreurs doivent être montrées afin d'être correctement corrigées. Une idée fausse ne doit pas être combattue mais être transformée. Pour cela, les conceptions déjà existantes des élèves servent de point d'ancrage,

pour soutenir l'évolution de l'élève vers un résultat. Lorsque l'élève poursuit son chemin et se heurte à ses propres erreurs, il les fait apparaître, ce qui le choque, le fait se questionner, l'amenant vers la bonne conception, par soi-même.

Une fois un parcours pédagogique proposé à l'enfant, celui-ci s'implique dans l'apprentissage en fonction de sa motivation. Celle-ci résulte de ses choix, de l'énergie qu'il mobilise et de la mise en place de stratégies de la part de l'enseignant. Elle permet à l'apprenant de prendre du plaisir lorsqu'il fournit un effort pour apprendre.

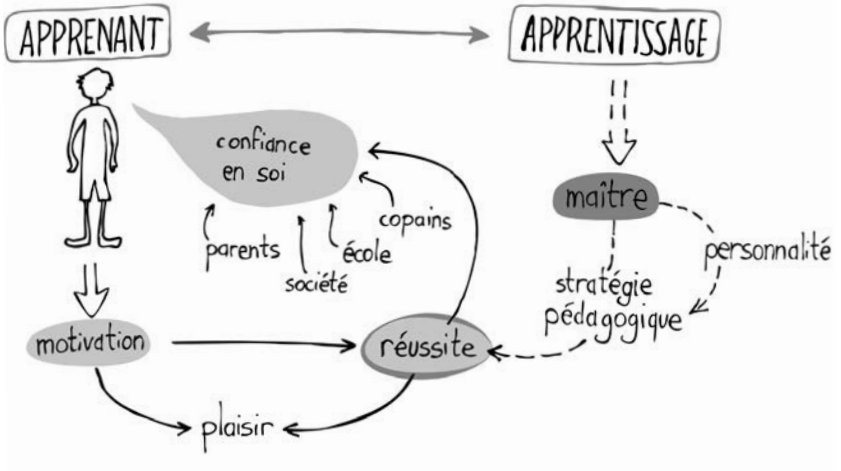


Schéma d'apprentissage : Quels sont les acteurs participant à l'apprentissage de l'élève ?

Comme les mallettes pédagogiques, les modules proposés par LAMAP sont intéressants à analyser une fois qu'ils ont été investis par l'enseignant. Afin d'intéresser l'élève, il doit être confronté réellement au sujet de travail. Dans cette optique, LAMAP insiste sur le fait d'expérimenter.
La démarche d'investigation invite les enfants à s'intéresser à la science et à s'en servir, à rendre la connaissance applicable. Comment la démarche d'investigation s'applique-t-elle à l'enseignement du phénomène du réchauffement climatique ? La démarche d'investigation demanderait dans un premier

© DR

© DR

La démarche d'investigation en pratique.

temps d'observer les impacts du réchauffement dans ce qui est perceptible par l'enfant. Ensuite, il réalise des expérimentations afin de comprendre les phénomènes liés, tels que l'effet de serre. Il en déduit des hypothèses par la modélisation des résultats tirés d'observations. Enfin, l'enfant va concrétiser ce qui est établi comme faisant partie d'un savoir scientifique en supposant des solutions envisageables. La difficulté ici est de réaliser des expériences alors qu'il s'agit d'un sujet très éloigné de l'univers de l'enfant et de faire un lien entre des théories apprises et une application au quotidien. Par exemple, si l'enfant apprend le fonctionnement de l'effet de serre, va-t-il comprendre qu'il faut éteindre la lumière en sortant d'une pièce ?

La démarche d'investigation est efficace pour la transmission d'un savoir scientifique, la connaissance est expérimentée, donc en lien direct avec l'élève.
Dans l'enseignement, les instituteurs utilisent des cahiers d'expériences qu'ils distribuent aux enfants. Toutes les observations y sont décrites par les propres mots de l'élève, puis corrigées en groupe. L'expérimentation faite en classe permet un premier contact avec le sujet. Le cahier d'expériences va servir de support afin de définir le problème, montré par l'expérimentation. Il permet de garder en mémoire ce qui est fait, mais il ne pousse pas l'apprenant à agir après avoir fait des expériences.

Cependant, le besoin ici est de pousser à l'action après assimilation d'une connaissance. Quels outils peuvent alors être mis en place pour cela ? C'est le défi de l'enseignement au réchauffement climatique : **enseigner pour appliquer ensuite ce qui a été appris**. Ce cahier d'expériences nécessiterait un support complémentaire afin de sensibiliser et d'inviter à l'application. L'image, outil de séduction, pourrait-elle être utilisée pour intéresser l'élève à un problème environnemental, tel que le réchauffement climatique ?

Le réchauffement climatique étant un sujet compliqué à comprendre, requérant des connaissances dans différents domaines et nécessitant une prise de conscience imminente, ne faut-il pas l'aborder en établissant un lien légèrement plus subjectif que d'autres sujets scientifiques ?

Pour pousser à l'action, la connaissance peut-elle passer par d'autres procédés sensoriels comme l'image ? Celle-ci permettrait de stimuler l'apprenant en le sensibilisant et en l'invitant à s'intéresser au sujet. Dans un second temps, elle pourrait pousser à l'action future et à l'application des faits appris. Elle permettrait à l'apprenant d'être impliqué pleinement, durant tout le temps de l'apprentissage. Enfin, en quoi l'image pourrait dépasser la volonté d'enseigner afin de devenir un outil de mobilisation ?

Quelle place peut occuper le graphiste dans la transmission du savoir scientifique ?

En quoi l'image est-elle un vecteur de connaissance ?

Avant de se demander si l'image peut aider à enseigner, donc porter une connaissance, nous pouvons nous demander quelles sont les qualités de l'image pour formuler une pensée.
Afin de fonder une théorie, future connaissance, le scientifique peut-il penser autrement que par le mot ? Comment l'image permet de penser ?

Comme le discours, l'image mentale a la capacité à créer un univers au-delà du réel en faisant des suppositions. Pouvant appartenir au domaine discursif comme au domaine de l'image, le mythe et l'allégorie permettent de raconter une histoire. Déjà Platon utilisait des méthodes pour imager ses propos. Il utilise le mythe pour exprimer une vérité quand il ne peut utiliser la définition. Il en va de même pour la connaissance où l'image et les figures de pensée permettent une plus grande liberté de représentation. Issues de l'imagination, l'image et le mythe créent une fiction, dans le sens où elles sont différentes du réel, de l'objet représenté et qu'elles facilitent l'accès à sa compréhension. Ce sont des moyens inventés par l'Homme

© Vitezslav Halamka

Dürer, Rhinocéros, *(1515).*
Personne en Europe n'avait vu de rhinocéros. Dürer n'avait à sa disposition que les descriptions mêlées d'erreurs de quelques auteurs modernes. L'image qu'il en fait est peu fidèle à la réalité, car de nombreux détails sont inventés (comme la corne au garrot). L'image peut porter plus de détails que le discours, induisant en erreur.

pour faciliter l'accès à la représentation d'une pensée. **De plus, la rigueur scientifique n'est pas un processus spontané et sa conception ne peut se faire que par des outils tels que l'image.**

Ainsi, certaines personnes peuvent penser par l'image au lieu de penser par les mots, étant plus libres dans leur capacité de représentation. Le linguiste Roman Jakobson nomme cette réflexion « la pensée sans mots »[1].

1 Jakobson, R., «Le débat», 1982

«La pensée intérieure, surtout quand elle est créatrice, use volontiers d'autres systèmes de signes qui sont plus simples, moins standardisés que le langage et qui laissent davantage de liberté et de dynamique à la pensée créatrice»

Roman Jakobson, Le débat, *(mai 1982)*

Le langage discursif est aussi dénigré par le physicien Albert Einstein, qui disait penser par des images mentales. Celles-ci, créatrices de concepts, offrent une meilleure conceptualisation d'une pensée abstraite. Le mot est de nature trop différente du concept, par son caractère défini, trop arrêté et statique, et étant, pour le physicien, source d'erreur et de duperie. Par exemple, la physique quantique est difficile à comprendre car elle entre en conflit avec les intuitions ordinaires. C'est pourquoi la science utilise davantage comme mode de représentation les mathématiques pour donner un prolongement à la liberté laissée à l'imagination.

© Royal Collection Trust/HM Queen Elizabeth II

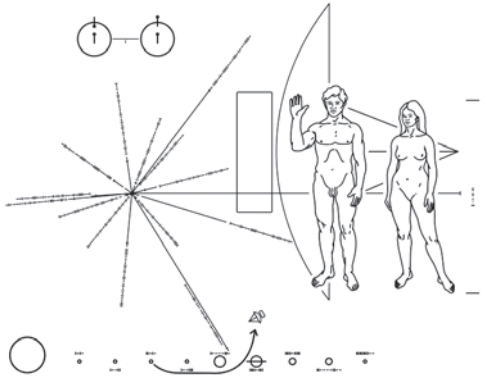
Léonard de Vinci,
Dessin anatomique des muscles des épaules, des bras et de la nuque *(1510)*

L'image mentale peut aussi utiliser une forme physique de représentation, s'aidant d'outils plastiques, afin d'être une aide à la pensée et à la création. Léonard de Vinci, au XV[e] siècle, réalisait des carnets où des croquis illustraient ses recherches scientifiques, accompagnés de textes en écriture inversée, nécessitant un

miroir pour les lire. Ainsi, il n'avait pas pour but de partager une connaissance. Les dessins lui permettaient-il de réfléchir ?

L'image matérielle permet de figurer ce qui est de l'ordre de la pensée. C'est l'expression physique de l'image mentale, grâce à des outils plastiques, rendant visible une pensée abstraite. Par le dessin, elle peut représenter ce qui n'existe pas dans le réel. L'image matérielle peut aider à concevoir les idées subtiles propres à la science, offrant un plus grand panel de conceptions possibles que le discours. **L'image est donc bien un outil guidant vers la conceptualisation et la compréhension d'une idée. L'image a la qualité d'être une aide à la pensée, tant sous sa forme mentale, par son éventail de formulations, que sous forme physique, dessinée, permettant de représenter la pensée.** Mais quelles-sont les qualités de l'image comme mode de représentation de la pensée, puis comme outil de communication ?

L'image matérielle est un support de représentation d'une pensée, qui a la qualité première d'être échangeable entre individus. Elle a, pour cela, de nombreux avantages. Tout d'abord, l'image matérielle a la qualité d'être comprise de tous. Cela facilite la transmission. Malgré les différences de cultures et de langage, elle reste accessible par le plus grand nombre. Au contraire, l'algèbre et le langage doivent être appris avant d'être lus. Par leur caractère intuitif, les codes nécessaires pour lire l'image sont intégrés voire inconscients, formant un imaginaire collectif. Les codes de lecture d'une image font partie d'un bagage culturel commun. Par exemple, un dessin de l'homme et de la femme ainsi que des représentations schématiques de l'univers, gravés sur la plaque de Pioneer en 1972, ont été



© NASA

Drake, F., Salzman Sagan, L., Plaque de Pioneer, *(1972)*

envoyés dans l'espace afin de communiquer notre existence auprès d'une éventuelle vie extraterrestre. La compréhension universelle de l'image transcende les différentes cultures terrestres mais pourrait hypothétiquement aussi être un mode de communication interstellaire.

Restons sur terre. Malgré cette homogénéité de l'accès que l'image propose aux individus, celle-ci invite à plusieurs niveaux de lecture. Les détails de sa composition sont perçus différemment en fonction de la lecture que chacun va en faire et de la culture de chacun. Cela lui offre une plus grande liberté par la nuance d'interprétation qu'elle suggère. Une image est donc la même pour tous, mais chacun peut y voir un degré de représentation d'un concept, plus ou moins profond. Même si elle est accessible par tous, sa lecture demande des codes spécifiques.

Les codes utiles à la lecture d'une image devraient être appris afin que celle-ci soit convenablement comprise. Mais si les codes sont assimilés, pouvant être intuitifs ou enseignés, l'image comme support efficace de transmission d'une pensée peut-elle amener à l'apprentissage d'une leçon ? Peut-elle être considérée comme un outil d'enseignement ? L'image n'est pas forcément comprise par tous de manière uniforme, car l'information véhiculée dépend de chacun. En effet, l'interprétation que chacun va faire d'une image change le sens que l'image véhicule. En quoi ces différentes interprétations peuvent-elles ralentir la transmission d'une information ? Le sens de l'image est décidé en amont, par le faiseur d'image, et en aval, par la manière que l'on a de la lire. L'image est bien sûr déterminée par des codes, encadrant la possibilité d'interprétation que l'on peut en faire. L'autonomie de l'image peut cependant être remise en question lorsque l'on se demande si l'image ne peut transmettre un message efficacement, en étant seule.

A-t-elle besoin d'un texte l'accompagnant, afin de véhiculer de manière sûre le message que le faiseur d'image veut faire passer ? Est-elle plus efficace lorsqu'elle est suivie d'une légende, d'une note, d'une définition ? Le texte peut guider le lecteur à déchiffrer les codes qu'il ne détient pas forcément et peut apporter des informations complémentaires, que la

liberté de l'image n'aurait pu représenter. Le sens véhiculé par l'image dépend donc de différents facteurs à prendre en compte, tant dans sa création, sa transmission que sa compréhension. L'image est-elle cependant de nature différente de l'objet ou de la pensée représentée, en étant autonome ?

Comment l'image matérielle permet-elle de transmettre une connaissance ?

L'image matérielle est une excitation de la vision, sens le plus aigu chez l'Homme. En tant que représentation visuelle d'une image mentale, celle-ci peut être considérée comme une copie du réel, monde existant et manifeste. L'image est aussi liée à une représentation mentale, fictive, issue de l'imaginaire. Qu'est ce qui définit une image ? Amène-t-elle à représenter fidèlement la réalité, ou est-elle indépendante, porteuse de sens ?

Afin de tenter de définir quel rapport a l'image avec la réalité, Platon[1] exprime dans l'allégorie dite « Les trois lits », dans ***La République, livre X***, les différentes instances de réalité. Cela permet de comprendre la réalité ontologique de l'image. Le premier lit est l'idée, la pensée, le concept. C'est une représentation mentale de la chose et les caractères qui la définissent. Le deuxième lit est l'objet lui-même, fait par l'artisan. C'est la copie matérielle de l'idée. Le troisième lit est le dessin du lit. Il est image d'image, une copie de la copie. Cette allégorie nous propose une définition du statut de l'image comme étant différente de la réalité et de la pensée.

1 Platon, (IVe s. av. J-C.) La République, livre X, *In : Lavaud, L.,* L'image

Pour Platon, l'image est un simulacre du réel. Elle ne transpose pas une information en restant neutre. Dans l'allégorie de la caverne, un groupe d'hommes est confiné dans une caverne, ne voyant que des ombres d'objets, n'ayant pas connaissance des choses réelles. L'image sensible (l'ombre de l'objet) empêche d'atteindre la réalité, n'étant qu'illusion. Lorsqu'un homme sort de cette caverne et découvre le monde et les objets réels qui le composent, il est ébloui, donc physiquement meurtri,

© MOMA New York

Joseph Kosuth, One and three chairs, *(1965).*

Le travail de Joseph Kosuth relève de l'analyse linguistique des rapports entre les mots, les choses et les images.
L'oeuvre *One and three chairs* réalisée en 1965 est composée de trois signifiants du mot chaise : l'objet matériel d'une chaise, la photographie de cette chaise, et la définition du mot «chaise». Ici, trois langages sont utilisés. Il y a une différence entre les deux images visuelles et le texte, mais aussi entre la photographie et l'objet.
Le signifié reste le même avec trois signifiants (l'objet, la photo, la définition).
Nous pouvons aussi imaginer un quatrième signifiant : la perception du spectateur, sa représentation mentale de la chaise.
De la même manière, le philosophe William James dit «le mot chien ne mord pas».
Pour l'oeuvre de Kosuth, il est vrai que l'on ne peut s'asseoir sur la définition ni sur la photo du mot «chaise». Ce ne sont alors que des représentations réductrices d'une autre dimension, ne permettant qu'un rappel spirituel de l'objet.
Cette œuvre est l'illustration de la pensée de Platon[1], retranscrite dans «les trois lits», questionnant le statut de l'image. L'objet est une image du concept de chaise, la photographie est une image de l'image. L'image n'est complète qu'une fois qu'elle est soutenue par le texte. Il rend complémentaire une image visuelle et un texte, deux signifiants différents, l'un expliquant ce que l'autre ne dit pas, donnant des informations différentes.

1 Platon, (IVe s. av. J-C.), La République, livre X.

métaphore de la surprise et de la violence infligées par la réalité. L'acquisition du savoir est permise par l'appréhension des idées intelligibles. On peut y comprendre que l'image n'est qu'une forme illusoire de ce qu'elle représente. Elle s'interpose entre nous et ce qui est à connaître, étant alors un obstacle.

Dans l'allégorie des trois lits, le peintre réalisant le troisième lit produit des simulacres, des doubles fantomatiques. Il alourdit le concept, freinant sa compréhension par des ornements et des méthodes plastiques encombrantes. L'interprétation que l'artiste fait du concept peut-elle être invisible dans l'image qu'il va réaliser ? Peut-elle être vierge de toute émotion et d'appréhension subjective de l'auteur ? Si l'image visuelle est différente d'une image mentale, peut-elle être neutre ?

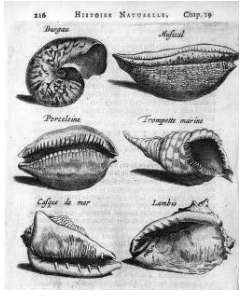
L'auteur de l'image peut décider d'ajouter des détails importants mais peu perceptibles dans la représentation exacte de l'objet, ou au contraire, en enlever pour la simplifier et la rendre compréhensible. Par exemple, l'image que l'on fait de l'atome est une simplification de ce qu'il est réellement. Cela permet

Les électrons ne «gravitent» pas autour du noyau de manière symétrique et régulière. L'interprétation de l'objet représenté permet de le comprendre. Il faut faire attention à l'utilisation d'images prototypiques comme ce dessin, ou celui d'un disque entouré d'un cercle représentant la cellule, dans l'apprentissage des sciences chez l'enfant. Cette image peut porter à confusion lorsqu'elle est la suite d'une réduction d'un concept, enfermant l'enfant dans une représentation unique.

©DR

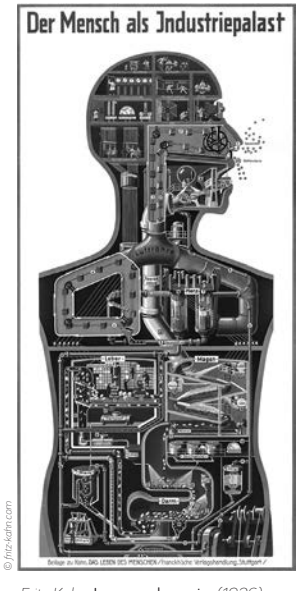
d'identifier ses différentes composantes, de le symboliser.
De la même manière, les illustrateurs biologistes accompagnant les grandes explorations dès le XV[e] siècle, dessinent l'objet de l'étude en copiant ce qu'il est réellement tout en y apportant des informations supplémentaires, en insistant sur des détails, par le choix de la ligne et de la couleur et en hiérarchisant les éléments qui composent l'objet. Le dessin a un but de ressemblance mais permet aussi de nommer et de définir, permettant de reconnaître, d'apprendre ou d'identifier un concept.

En quel sens l'image peut-elle alors être une force de transmission d'un savoir, pouvant, comme vu précédemment, être un outil de partage des connaissances et des observations



© DR

César de Rochefort, Préface de Histoire naturelle et morale des Iles Antilles de l'Amérique, *(1665)*
César de Rochefort, lors d'une des premières explorations cherchant à cartographier les différentes régions du monde et à découvrir la richesse de la faune et de la flore réalise cet ouvrage illustré. «Le discours est l'image de la pensée. Mais le portrait représente la chose même. C'est pourquoi, nous ne nous sommes point contentés de simples paroles dans cette Histoire. Nous y avons ajouté un grand nombre de figures & de tailles douces, selon les sujets qui nous l'ont permis, pour en imprimer plus puissamment l'idée dans les esprits, par une démonstration sensible et palpable…»



© fritz-kahn.com

Fritz Kahn, Le corps humain, *(1926)*
L'image ne représente pas l'intérieur du corps mais permet, par la liberté d'illustration laissée à l'auteur, de rendre le lecteur sensible à un principe et d'expliquer schématiquement un fonctionnement.

de la nature ? Elle est différente du concept qu'elle représente et elle offre un choix de création défini par son auteur. Le réchauffement climatique n'est pas fictionnel. Ce phénomène étant en cours, n'étant pas fortement visible au quotidien, l'image peut permettre de rendre perceptible les prévisions. Par sa liberté de création, elle peut proposer à voir ce qui n'est pas ou peu visible. L'image du réchauffement climatique devient un outil pour penser ce qui peut se passer, ainsi qu'un outil de transmission des observations des scientifiques et de leurs hypothèses.

L'image peut être utilisée pour approfondir et détailler une connaissance, représenter ce qui n'est pas concevable par le discours, et simplifier un objet afin d'être compris de tous. **N'est-ce qu'un outil de transmission d'une connaissance ?**

L'image matérielle n'est pas statique et permet une action cognitive de la part du lecteur, en cherchant à prendre en compte son contexte. Elle apporte une connaissance et pousse au questionnement. Ce questionnement fait partie de la connaissance. L'image apprend à penser en posant des questions plutôt qu'en apportant des réponses.

L'image est un moyen de représenter la réalité ou de concevoir une idée. De plus, par son langage universel et le plaisir qu'elle procure en étant une excitation de la vision, elle est un outil de communication. Elle pousse au questionnement, à l'envie d'apprendre et à la curiosité, en pouvant séduire le lecteur, elle l'invite à une assimilation des connaissances. Pour Platon[1], l'image n'existe que pour séduire, mais cela en fait une force de mobilisation. Elle n'est alors pas le savoir en soi, mais n'est qu'une invitation à chercher la connaissance définie par d'autres formes. Quel lien établit-elle alors avec la connaissance ? Est-ce un moyen de stimuler l'enseignement scientifique ?

1 Platon, Op. Cit.

Comment l'image peut-elle être utile en science et dans la transmission de la connaissance scientifique ?

Pouvant susciter l'intérêt, l'image permet-elle de transmettre la connaissance scientifique alors qu'elle offre une liberté de représentation ? Comment s'articule-t-elle avec la pensée rigoureuse scientifique ?

L'image permet la communication d'une idée, elle peut alors transmettre la connaissance scientifique. Par ce que nous venons de voir, l'image peut être une forme adaptée de transmission d'un savoir scientifique perçu comme compliqué, par son autonomie, son universalité, sa capacité à offrir des détails ou simplifier un concept afin de le rendre compréhensible par tous.

Nous avons pu voir que le sens de l'image est différent en fonction de l'interprétation que chacun en fait. Elle ne peut alors être réellement universelle et délivrer une connaissance très précise. Pour Bachelard[1], dans son ouvrage La formation de l'esprit scientifique, l'image est involontaire et inconsciente, ayant sa propre dynamique, son identité. Elle est subjective, laissant place à l'émotion et au ressenti du faiseur d'image, dépendant alors de l'individu qui la créée. Cela rend l'image peu apte à expliquer une théorie scientifique, car elle est dif-

1 Bachelard, Op. Cit.

férente du raisonnement logique. La science est rigoureuse et n'est jamais approximative. Le savoir scientifique n'a pas à proposer différentes interprétations possibles, or l'image ne peut apporter toutes les informations attendues pour définir une connaissance. La science étant concrète, est-ce possible de communiquer les avancées scientifiques par l'image, si celle-ci est marquée par la subjectivité ?
Cependant, afin de sensibiliser au réchauffement climatique, il est intéressant d'utiliser l'image, car, même si elle ne peut représenter que partiellement un savoir rigoureusement défini, elle ouvre à la curiosité. Ce sujet est plus facilement compris, étant transmis par un médium pouvant le simplifier. Stimuler la curiosité est requis pour sensibiliser. De la même manière, l'apprentissage des sciences ne doit pas causer la destruction de l'imaginaire chez l'apprenant. L'image n'a pas comme objectif de représenter la réalité de manière exacte mais d'inviter à en savoir d'avantage. **Elle n'a pas pour mission de convaincre mais d'informer de l'existence de la connaissance.**

Afin d'enseigner et de sensibiliser, l'image doit-elle être la copie exacte de la réalité ? L'image distribue-t-elle directement la connaissance à l'apprenant ou offre-t-elle un accès privilégié à un sujet compliqué, s'adaptant au lecteur ? Quel rapport a l'image avec la connaissance scientifique ? Qu'est-ce qu'une image scientifique ?

Pour Suzanne de Cheveigné[1], sociologue au CNRS, l'image scientifique a deux rôles. Elle est un outil entre chercheurs, servant à alimenter un travail, expliquant l'état de la recherche par l'échange d'images comme présentation de l'état des lieux. C'est aussi un outil de vulgarisation et de transmission de la connaissance du scientifique vers le public. L'image scientifique et l'image de vulgarisation, expliquant une même donnée, un même concept, n'ont cependant pas la même cible. Les deux images sont donc visuellement différentes. Mais quelles différences plastiques y a-t-il entre l'image scientifique et l'image de vulgarisation ?

1 Suzanne de Cheveigné, lors du Colloque Communiquer la science par l'image, *Institut Pasteur, (07.11.2014).*

L'imagerie

© Louise MC

L'image scientifique est issue des techniques scientifiques de recherche, telles que l'imagerie médicale (radiographie, IRM, etc.) ou la météorologie (images de satellite). Cette image est un aspect exact de la réalité à un instant précis, figeant l'instant, allant au-delà de la perception de l'œil humain. C'est un outil pour les scientifiques, montrant l'invisible, tel qu'une radiographie montrant l'intérieur du corps humain.

Cette image est codée dans un langage spécifique, seulement déchiffrable par les spécialistes du domaine. Faite par un scientifique, elle n'a pour cible que d'autres scientifiques. C'est un outil intervenant dans le processus de recherche, permettant d'établir des diagnostics, de communiquer les découvertes ou de les conserver. L'image scientifique est issue d'un procédé technique (tel que l'IRM) et permet soit l'avancée des recherches entre scientifiques, soit la diffusion d'observations, dont le langage utilisé est scientifique.

Cependant, les images servant de preuve pour les scientifiques ne sont pas les mêmes que les images permettant ensuite de prouver la vérité d'une théorie au public. L'image scientifique est différente de l'image pour expliquer la science. Afin de modifier ses habitudes de vie en conséquence du réchauffement de la Terre, ce n'est pas l'image scientifique qui doit être utilisée. Elle n'est pas lisible par le public non spécialisé. C'est l'image de vulgarisation qui doit ici être utilisée.

L'image de vulgarisation

Le langage utilisé dans l'image scientifique est technique et n'est pas compris du public. Comment le spécialiste transmet-il ses propos au public ? Quand perçoit-on un besoin de vulgarisation ?

L'***annexe 5*** propose des moyens visuels de représenter les sciences expérimentales par des supports sensibles.

L'image de vulgarisation, comme outil pour accéder à la connaissance, doit toucher le récepteur et être attrayante afin de susciter chez lui la curiosité et le désir d'apprendre. Elle doit contredire le stéréotype que l'on se fait de la science, morne, fade, inexpressive et déshumanisée. La science est difficile d'accès pour celui qui n'est pas formé et la formation est longue et promet peu de débouchés. Les citoyens se désintéressent de la science, celle-ci n'ayant pas d'application au quotidien et n'étant, pour eux, existante qu'en laboratoire. Elle est alors perçue comme fermée et réservée à une élite. L'image de vulgarisation permet d'attirer le public, de rassembler afin d'enseigner un savoir au plus grand nombre.

De plus, l'image de vulgarisation fait l'objet d'une simplification et d'une traduction d'un langage particulier. Elle demande une reformulation du discours scientifique. En s'adaptant aux différents langages des récepteurs, l'image de vulgarisation a de multiples formes (schématique, plastique, cinématographique, etc.) et plusieurs tons possibles (humoristique, dramatique, explicatif, etc.). Comment le faiseur d'images de vulgarisation peut-il transmettre une connaissance scientifique sans que celle-ci soit faussée, mal transmise ou pas assez rigoureuse ? L'image de vulgarisation peut-elle être fidèle à tous les détails scientifiques, le faiseur d'images devant appartenir au domaine afin de posséder les codes nécessaires, ou peut-elle se détacher de la rigueur scientifique dans le but premier de **séduire et attirer** ?

© Image courtesy Csotonyi

Julius Csotonyi, Acheroraptor beats Trex, *(2013).*
Cette illustration a pour intention de vulgariser une connaissance auprès du grand public, après une interprétation d'un savoir scientifique basé sur des découvertes en paléontologie.
Les couleurs, par exemple, sont choisies d'après l'imagination de l'auteur. La reconstitution est un domaine questionnant sur le lien entre imaginaire et raison : quelle place a l'imagination dans la connaissance scientifique ? La raison est-elle prioritaire ?

Contrairement aux supports que l'on trouve habituellement à l'école (tels que l'article de presse, les études statistiques, le récit, le documentaire, etc.), l'image de vulgarisation est un outil d'enseignement non-formel. La vulgarisation demande un travail de didactique des sciences. Le créateur d'images de vulgarisation va se demander comment l'apprenant va s'approprier les concepts scientifiques. Il y a alors association entre la réalisation d'un travail pédagogique (quels procédés éducatifs sont déployés pour favoriser la lecture de l'image) et un travail didactique (comment le savoir est transmis) afin de construire l'image de vulgarisation.

L'image de vulgarisation étant un outil permettant l'accès du public à la science, l'image peut être utilisée afin de sensibiliser aux menaces liées au réchauffement climatique et d'enseigner les sciences liées à ce sujet. Quels attributs doit posséder l'image afin qu'elle soit utilisée à cet effet ?

Tout d'abord, l'image de vulgarisation permet de dédramatiser la science. En touchant émotionnellement le lecteur, celui-ci conçoit que la science fasse partie de son domaine de perception du monde. La vulgarisation est un partage de connaissance.

De plus, les figures de pensée, principalement l'analogie (comparaison, connotation, correspondance, métaphore, etc.) et l'opposition (antithèse, chiasme, oxymore, etc.), présentent un lien entre les différents éléments exposés. Par exemple, l'effet « de serre » est une analogie avec la serre horticole, fonctionnant de la même manière. Les différentes figures de pensée permettent l'expression d'un fait non-visible, donc qui n'est pas transmissible par la représentation analytique.

Par exemple, la bande dessinée a l'avantage de reposer sur un scénario et de mettre en scène des personnages, des actions et un décor, avec des dessins et du texte qui interagissent.

© Duhoo, J-Y.

Duhoo, J-Y, Le Labo, *Journal de Spirou, (2014).*

Contrairement au discours seul, le rapport entre les personnages et le contexte dans lequel l'action se passe est immédiat. En amont à la création d'une image, le dessinateur doit étudier et observer le sujet traité, puis faire le tri et choisir les informations qui vont être retenues, qui ont une importance dans le déroulé de l'histoire.

Au-delà des formes d'expression utilisées, l'image est transmise par différents supports : imprimée ou projetée, en grand ou en minuscule, pour un grand public ou intime, etc. Ces canaux de transmission déterminent la compréhension et la réception que l'on va faire de l'image. Cela a un rôle afin que l'image soit transmise, puis comprise.

Les supports numériques, par leur présence récente, facilitent la communication entre apprenant et chercheur. Par exemple, les magazines en ligne et les lieux de discussion amoindrissent les frontières entre l'univers scientifique et le public. Le partage des connaissances est étalé horizontalement. Par ce mode de transmission, l'image numérique est porteuse de savoir et permet les nombreuses qualités offertes par le numérique, comme ses atouts en terme d'enseignement.
L'*annexe 7* est la synthèse du colloque *Apprendre avec le numérique*, réalisé par l'Académie de Rennes en 2014 et d'une discussion des philosophes Michel Serres et Bernard Stiegler de 2012 à propos de la place du numérique dans l'évolution de l'apprentissage chez l'enfant.

Les différents procédés de représentation utilisables et les modes de transmission d'une image de vulgarisation sont aussi définis par l'auteur. L'image peut représenter fidèlement le réel de façon analytique, mais peut aussi s'ouvrir à l'expression personnelle de l'auteur. C'est en fonction de la cible réceptrice de l'image que le choix doit être fait entre représentation analytique, fidèle à la réalité et aux résultats scientifiques, et l'image porteuse de l'expression de la personne qui l'a faite, subjective.

Quelle part de liberté a le faiseur d'image pour vulgariser la science, s'il peut aussi bien copier la réalité que représenter une connaissance de manière poétique ?
Quel degré de ressemblance avec le réel doit être conservé ?
Comment le graphiste peut-il concevoir une image sans risquer d'amoindrir la connaissance scientifique qu'il représente ?

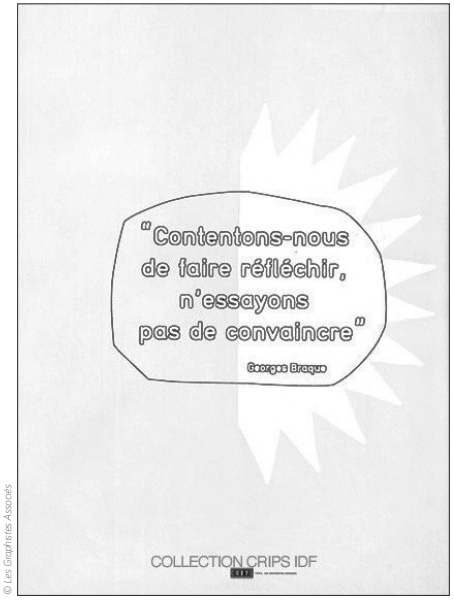
Si l'image peut représenter ce qui est de l'ordre du concret (un lit, une chaise), comment un fait abstrait, de l'ordre de l'imagination, peut-il être représenté ?
Enfin, quelle image pour représenter le réchauffement climatique, sachant que les prévisions concernant ce phénomène sont évolutives ?

Quel rôle peut avoir le graphiste dans l'enseignement des sciences ?

Le graphiste a-t-il seulement comme objectif de représenter ce qui est demandé ou peut-il interagir avec le scientifique ? Lors de la réalisation des expositions à la Cité des Sciences et de l'Industrie, un graphiste et un scénographe sont choisis pour réaliser les éléments de l'exposition.
L'*annexe 4* présente comment les musées scientifiques vulgarisent la science et ce que les centres de vulgarisation scientifique proposent de plus.
Le travail du graphiste, réalisant les images, les affiches, les cartels, n'est présent qu'à la fin de la conception de l'exposition. Il prend peu de décisions, n'ayant qu'un statut de technicien par rapport aux objectifs de l'exposition. L'organisateur des expositions collecte les données spécifiques auprès d'experts composant un comité scientifique. Il fait le choix d'objectifs précis et réalise un programme, précisant le déroulé exact du parcours. Ce programme indique quelle scénographie doit être mise en place, quelle ambiance est proposée, quels sont les objets présentés et les activités proposées. La liberté de création laissée aux designers est faible. **Le graphiste ne peut-il pas agir en amont, avec le scientifique ?**

Comment les outils visuels peuvent favoriser la transmission d'une connaissance et donc enseigner ?
(sensibiliser, communiquer, informer, révéler...)

L'image est subjective et porteuse d'émotion, ne pouvant représenter tous les détails de la rigueur scientifique. Elle est cependant une invitation à porter plus d'intérêt aux sujets primordiaux tels que le réchauffement climatique. L'image est donc un moyen permettant d'être sensiblement touché et donne envie de faire un effort pour comprendre le sujet. L'image est propice à un travail de rhétorique, c'est à dire accueillant différents procédés et règles constituant l'art de « bien parler », ou, dans le cas de l'image visuelle, l'art de « bien représenter ». Ainsi, l'image est un outil de communication, nécessitant un travail sur ce qui définit sa transmission, tel que le vocabulaire utilisé (le type d'images en fonction de la cible), l'esthétique (permettant de rendre le sujet plus attractif ou pas), le ton. Le ton utilisé pour la transmission d'un savoir en science climatique, pour annoncer les catastrophes envisagées, est à travailler prioritairement afin de ne pas entraîner le déni. Choquer le spectateur le bloque et l'immobilise, l'empêchant d'interpréter ce qu'il vient d'apprendre. **L'image de séduction doit donc aussi être force de mobilisation.**



© Les Graphistes Associés

1 Affiche des Graphistes Associés pour le CRIPS, (1996).

Cette idée que le support visuel peut être un outil de mobilisation, poussant le lecteur à agir après avoir été informé, est soutenue par les Graphistes Associés. En utilisant la citation de Georges Braque, *« Contentons-nous de faire réfléchir, n'essayons pas de convaincre »*, les Graphistes Associés expliquent l'objectif de leur travail de graphisme pour une campagne de sensibilisation au VIH du CRIPS* (*Centre ressources d'implication à la prévention du VIH et des drogues chez les jeunes)[1].

Le graphiste doit soutenir l'objectif de transmettre l'information dans un travail de prévention à un risque pour la société. Pour sensibiliser à la protection de l'environnement et pousser à l'action pour limiter le réchauffement climatique, le graphiste doit transmettre l'information et ne peut être directif dans son propos. Une information passe par des signes que le graphiste sait utiliser. Le lecteur de l'image est informé et applique ce qu'il a appris par la lecture de l'image, s'il le souhaite, au lieu d'être contraint à l'action.

C'est par l'image, support de communication sensible, que le graphiste peut toucher le public et atteindre son objectif de transmission d'un savoir.

Pour cela, il doit refuser les images stéréotypées. Il doit s'adapter aux publics, ne pouvant faire une action de masse, similaire pour tous. Les sciences afférentes au réchauffement climatique sont un sujet sensible qui demande l'engagement de chacun. Le graphisme associé à ce sujet ne peut avoir la volonté d'être universel en touchant absolument tout le monde, il doit adopter une dynamique sensible touchant chaque public afin que **chaque enfant puisse, à son échelle, appliquer une politique d'adaptation possible**.

L'image, par son intérêt émotionnel, peut sensibiliser le public au problème et le pousser à un questionnement afin qu'il recherche l'information supplémentaire, qui n'est pas fournie par l'image. C'est aussi un support privilégié pour établir un contact entre public et chercheurs, permettant au public d'explorer les questions que les scientifiques se posent, le fonctionnement de la recherche, et la façon dont les chercheurs communiquent et valident leurs résultats.

Nous avons vu précédemment que l'enseignement des sciences passait par l'expérimentation. En complément, l'image peut être utile pour la sensibilisation à un problème ainsi que pour conserver en mémoire les résultats d'une théorie. Elle joue à plusieurs niveaux de l'apprentissage. Comment relier les qualités différentes que proposent l'image et l'expérience pour l'apprentissage des sciences expérimentales ? Est-il possible de créer une expérience par l'image ? Comment passer de l'image à l'observation, l'expérimentation, la pratique, et inviter à déclencher l'action ?

Un lien doit être établi entre image et expérimentation, n'ayant pas les mêmes buts durant le déroulé logique de l'apprentissage. **L'image permet de transmettre le savoir, mais doit aussi engager**. Le faiseur d'images, le graphiste, apporte une aide à la pédagogie et dans le parcours d'apprentissage. Il doit utiliser des techniques pédagogiques, balisant ce chemin.
Afin d'amener à la connaissance par l'expérimentation, le travail du **médiateur scientifique** est nécessaire. Il vulgarise le langage scientifique et le rend accessible au public par l'accompagnement des apprenants, proposant des expérimentations et des animations. Il a, comme l'image de vulgarisation, pour objectif de faciliter la transmission de l'information, attisant la curiosité et suscitant l'intérêt chez le public visé.

Son travail consiste à animer une activité ou à présenter une exposition, allant du spectacle à la conférence. Travaillant dans des musées scientifiques et des centres culturels, des associations et des organismes de recherches, il a pour cible les scolaires ou les adultes, seuls ou en groupe. Il intervient lors de thématiques spécifiques et d'expositions ou durant une journée d'accueil de personnes (classes ou séminaires).
Il doit mettre en place une démarche pédagogique suivant un parcours établi, passant par la sensibilisation au sujet, l'apprentissage de connaissances, ouvrant vers un questionnement et une application possible.
Contrairement à l'image de vulgarisation, il a l'avantage d'être une personne, ce qui permet d'établir une connexion entre la science rigoureuse et l'apprenant sensible. Il peut adapter son discours à celui à qui il s'adresse en analysant ses réactions. Il n'est pas le chercheur mais a besoin de posséder un bagage de connaissances scientifiques. Sa qualité d'animateur permet de stimuler l'intérêt, la curiosité et le questionnement, poussant le public à rester intéressé et concentré.

Par la nécessité de créer une animation avec le public, le médiateur scientifique doit posséder une bonne expression orale et scénique. L'aménagement de l'espace doit être en accord avec l'instant de médiation, cela consistant à élaborer la scène, le déroulé de l'événement, et à mettre en forme les supports adaptés. Le médiateur doit se demander quels sont les supports nécessaires pour présenter le sujet (vidéo, exposition, jeu de rôle, etc.). Ces supports permettent de faciliter la compréhension du sujet et donc la transmission de la connaissance.

Son travail manque cependant de supports visuels permettant au spectateur d'entrer en contact plus rapidement avec l'univers scientifique utilisant un vocabulaire trop technique. Un lien entre le graphiste et le médiateur scientifique doit être

créé afin qu'un panel de supports soit proposé, que l'enseignant utilisera à destination des élèves. Ces supports combineront **la qualité du chemin didactique que le médiateur apporte** et **l'appel de l'image, sa facilité à être comprise, la liberté de représentation, son invitation à la réflexion et au questionnement et sa puissance à être mémorisable**.
Un enseignement scientifique est disponible aujourd'hui en proposant une pratique de la science, en interaction avec celle-ci avec l'aide d'un médiateur scientifique. Ces moments d'apprentissage sont cependant peu répandus, à cause d'obstacles dans l'enseignement des sciences, le coût du matériel, le manque de communication vers l'enseignant, ou le poids du programme scolaire. Cela empêche la diffusion de ces techniques. Que manque-t-il au travail de médiateur scientifique que le graphiste peut apporter ?

La médiation scientifique, comme elle est pratiquée dans les musées et les centres culturels dédiés, manque d'une approche sensible des sujets scientifiques, qui pourrait être apportée par le design.

L'expérimentation a besoin d'être complétée par ce que l'image apporte, pouvant être une approche sensible et émotionnelle du sujet ou une représentation rigoureuse du savoir, permettant d'adapter la transmission du message aux différents publics.

Précédemment, nous avons vu que l'apprenant, à l'école, doit s'immerger dans un problème afin de le rendre concret et d'assimiler la connaissance liée. L'appel à la participation de l'apprenant dans une démarche de diminution des effets causant le réchauffement climatique serait le moyen efficace de changer ses habitudes et de lui faire comprendre et apprendre les théories scientifiques liées à ce phénomène.

L'image, associée à l'expérimentation et à la participation des élèves, formerait **un module pédagogique transmetteur de connaissances, interpellant l'apprenant et l'appelant à devenir acteur de la construction de son propre savoir**. Si ce module aborde les sciences afférentes au réchauffement climatique, celui-ci deviendrait un phénomène compris et assimilé. Par exemple, le module pédagogique *Le climat, ma planète... et moi !* présenté dans l'*annexe 3* utilise très peu d'images. Le livret destiné aux enseignants propose des photographies afin d'expliquer les différents climats mondiaux, mais celles-ci semblent plus appartenir à un guide de voyage. Pourquoi ne pas utiliser des images réalisées par un photographe, valorisant un travail créatif, ou bien issues d'un catalogue fait au sein des différentes régions par les citoyens eux-mêmes ? Cela permettrait de relier théorie scientifique difficile à comprendre et environnement perceptible par l'enfant.
Le module pédagogique idéal stimulerait l'apprenant à l'envie d'apprendre davantage sur le fonctionnement du monde.

Cette volonté de lier expérimentation et esthétique graphique afin de stimuler l'apprenant et de lui donner envie d'en apprendre davantage est concrétisée par des associations de chercheurs s'associant avec des designers afin de communiquer leurs sujets de recherche, tel que, par exemple,

Conton, C., Bobroff, J., Supraconductivité, une histoire d'électrons *(livret de pliages), (2011).*

la Physique Autrement. Le graphisme déployé est original afin de surprendre, d'attiser la curiosité et de susciter l'intérêt. La Physique Autrement, constituée de l'équipe de recherche du Laboratoire de Physique des Solides (LPS) de l'Université Paris-Sud et du CNRS, développe de nouvelles techniques de vulgarisation de leurs recherches et de leur métier de chercheur pour le grand public. Pour cela, ils passent par l'image en réalisant des partenariats avec des écoles d'art et de design. Ces techniques de vulgarisation visuelles prennent la forme du court-métrage, d'expositions, de création d'objets, d'illustrations, etc. De plus, les chercheurs de la Physique Autrement proposent aux étudiants-chercheurs en physique fondamentale de suivre des cours pour vulgariser leurs travaux. Le laboratoire est donc un lieu d'échanges entre étudiants-chercheurs, étudiants-designers, et scientifiques. L'étudiant-chercheur a la volonté de rendre accessible son travail ; le designer facilite cette transmission d'un savoir par l'utilisation de supports sensibles.

© I.Bobroff

La physique autrement, Physic Circus, *(2013).*
L'enfant est motivé par l'activité ludique qui lui est proposée : un cirque en carton pour sensibiliser à la supraconductivité et un livret de pliage et découpage afin de modéliser les lois physiques. Il est séduit par l'esthétique des animations en même temps qu'il assimile ce qu'il apprend par la participation et la modélisation (une des quatre règles de la démarche d'investigation, parmi l'expérimentation, la documentation, et l'observation).

© I.Bobroff

La méthode utilisée est celle de la **transposition didactique**, utile dans l'enseignement des sciences, où le public se met à la place du chercheur. Le public doit être touché avant de transmettre la connaissance en science abstraite, ne pouvant être abordée directement. **Le design est alors un tremplin vers l'apprentissage de la science.** Cet exemple nous montre que l'esthétisme et la participation sont des vecteurs pour intéresser le public et le sensibiliser afin qu'il puisse s'engager. En transposant ces conseils vers l'enseignement des sciences liées au réchauffement climatique, un module pédagogique pourrait être créé. Il proposerait d'expérimenter et de faire participer l'apprenant, en groupe, dirigé par un médiateur scientifique. L'image, comme outil esthétique et universel de communication, stimulerait la curiosité pour appeler à s'engager et à se mobiliser.

Ainsi, l'image serait une aide à penser, exposant les enjeux environnementaux et invitant à trouver des solutions.
L'information pourrait être apportée par un module pédagogique liant image et expérimentation, graphisme et médiation. Une fois l'information transmise, chacun doit être libre de choisir son degré d'implication. La demande de mobilisation est suggérée, tout en devant être implicitement perçue comme indispensable. Sensibiliser les enfants à ce problème complexe demande de choisir un angle d'entrée, afin de guider vers un objectif précis et obtenir une victoire rapide. L'objectif à atteindre définit un cadre qui doit être fixé en préalable à la mise en place d'une action de sensibilisation.

Pourquoi ne pas créer un module de ce type, arrêté sur un objectif précis, tel que communiquer les évolutions de températures ? Cela demanderait de surmonter les obstacles d'échelle de temps (par la lecture d'une courbe d'évolution), d'échelle d'espace (en France, une hausse de température peut être faiblement perçue, alors que cela peut être dramatique ailleurs) et de comprendre la différence entre météo et climat (+2°C est une donnée importante). Ces trois enjeux font partie des difficultés de la compréhension de la problématique du réchauffement climatique. En étant explicités, ils peuvent être surmontés.

Conclusion

Le réchauffement climatique exige un changement de paradigme dans nos sociétés. Les citoyens devraient être convaincus de l'importance de leurs décisions et actions afin de lutter contre le réchauffement climatique de manière efficace. Ils doivent comprendre les théories scientifiques et les enjeux impliqués.
Pour entraîner l'action des citoyens, un enseignement dès l'école primaire doit être fait, afin de dépasser les obstacles présents qui causent le déni et l'inaction.
L'enseignement des sciences est soumis à de nombreux freins chez l'enseignant et chez l'élève. Un travail doit être réalisé pour faciliter l'accès à la connaissance, tant sur l'apprentissage, que sur la pédagogie et que sur la didactique. Les sciences afférentes au réchauffement climatique sont complexes. Le jeune enfant ne peut comprendre le détail et l'aspect conceptuel du problème, mais il est de notre devoir de l'y sensibiliser. L'élève doit assimiler des compétences et un savoir pour pouvoir concrétiser ce qu'il a appris vers un nouveau mode de vie, changeant celui qui existe actuellement.

Enseigner à l'école primaire les sciences attenantes au réchauffement climatique demande de surmonter les obstacles épistémologiques. Cela peut être fait par un apprentissage sensible et personnel. L'image est un procédé traduisant la connaissance, offrant la possibilité de représenter l'exactitude stricte de la science et la capacité de flou prévisionnel du réchauffement climatique. Elle a la capacité d'agir sur la sensibilité de l'apprenant. L'image peut amener vers l'apprentissage en étant séduisante, donc attrayante.

L'enfant doit se sentir concerné pour être informé de l'état actuel des avancées scientifique et avoir envie d'apprendre, la motivation permettant l'assimilation des connaissances. L'image pourrait transmettre les informations fondamentales. Il est important aussi de motiver l'enfant, ce qui peut passer par l'invitation à la participation, la stimulation de ses sens, l'élaboration d'un projet concret et faisant partie de son cadre de vie.

L'image est l'expression de l'imaginaire pouvant accueillir des suppositions, permettant de les conceptualiser.
Dans un deuxième temps, afin d'assimiler la connaissance, elle doit être expérimentée, travaillée, afin de la rendre palpable et de la faire exister. La pratique est nécessaire. L'image ne pouvant servir l'exactitude des sciences, surtout lorsqu'il s'agit de sciences en perpétuel questionnement, l'expérimentation permet l'acquisition du savoir scientifique que l'on veut obtenir. Elle permet aussi la participation et donc l'assimilation.
Enfin, la découverte faite pendant la période de recherche doit être conservée pour être réutilisable et réellement assimilée. L'image faisant l'empreinte de la réalité permet de garder une trace. Par sa force de séduction, elle peut mobiliser et persuader. En soutenant un discours scientifique raisonné et véritable, elle est un outil pour convaincre.

Afin d'enseigner aux enfants les sciences expérimentales et les faire se rendre compte des enjeux afférents au réchauffement climatique, le design doit rassembler l'image, force de motivation et de liberté d'expression, et l'expérimentation, permettant d'être en lien direct avec la réalité et la rigueur de la science.

Le parcours pédagogique proposé ne peut se faire sans un partage de compétences des acteurs impliqués : le scientifique, détenant la connaissance, l'enseignant, créant un contexte pédagogique permettant à l'enfant de construire son savoir, le médiateur, transposant la science vers l'enfant de manière accessible, et le designer, proposant les supports adaptés. Le graphiste doit être intégré dès la phase de conception de l'apprentissage afin qu'il interagisse avec les autres acteurs. Il peut ainsi assister à la diffusion en proposant des supports de communication pertinents et efficients afin de pouvoir personnaliser et optimiser l'apprentissage des apprenants.

Annexe 1 : *(dossier technique UE4)*

Qu'est-ce que l'effet de serre ?

L'effet de serre est un phénomène naturel dû à la présence d'une atmosphère. L'atmosphère est une enveloppe gazeuse retenue autour du globe par la force de gravité.
La Terre reçoit du soleil un rayonnement solaire. L'atmosphère terrestre arrête environ 10% du rayonnement émis par le soleil et 40% sont renvoyés vers l'espace après avoir atteint la surface de la Terre. La moitié environ de l'énergie solaire est absorbée par la Terre, énergie qu'elle réémet sous forme de chaleur, c'est à dire de rayonnement infrarouge. Le rayonnement infrarouge est renvoyé vers l'espace au contact de la surface de la Terre, par des surfaces « blanches » (désert, banquise, océan). On appelle cela l'albédo. Le rayonnement infrarouge est en partie rejeté vers l'espace, en partie absorbé par certains gaz de l'atmosphère, puis renvoyé vers le sol. Cela permet à la Terre de conserver une température permettant la vie. Il en résulte un réchauffement appelé effet de serre, par analogie avec celui qui a lieu dans une serre de jardinier exposée au soleil.

Rayonnements solaire et infrarouge

L'effet de serre est un phénomène où interviennent le rayonnement solaire et le rayonnement infrarouge. Le rayonnement solaire ne se « transforme » pas en rayonnement infrarouge, mais l'un résulte de l'autre. Quelles en sont les différences ?
Le soleil est la source principale de chaleur pour la Terre. L'axe d'inclinaison de la Terre et sa rotation autour du soleil permettent de déterminer les différences de climat entre les régions. La rotation de la Terre engendre le déroulement annuel des saisons, le rayonnement solaire étant plus ou moins important. Lorsque le rayonnement solaire entre en contact avec la Terre, il traverse l'atmosphère et est renvoyé vers l'espace, l'énergie le composant prenant la forme d'un rayon-

nement infrarouge. La Terre reçoit en moyenne 342 watts par mètre carré sous la forme de rayonnement solaire.
Le rayonnement solaire et le rayonnement infrarouge sont des rayonnements électromagnétiques qui ne se distinguent que par leur longueur d'onde. Qu'est-ce qu'est une longueur d'onde ?
Tout corps émet un rayonnement. Un objet, neutre en émanation lumineuse (corps noir), absorbe toutes les ondes électromagnétiques qu'il reçoit. Il va réémettre des ondes en fonction de sa température. Plus l'objet est chaud, plus il émettra d'ondes énergétiques. La température de l'objet exposé agit sur sa réémission d'ondes électromagnétiques. Les différentes longueurs d'ondes sont appelées spectre électromagnétique, définies par leur amplitude et leur fréquence (longueur d'onde = vitesse de l'onde / fréquence. Plus la fréquence est grande, plus la longueur d'onde sera petite).
Vers 1800, William Hershel plaça un thermomètre derrière un prisme, séparant les différentes longueurs d'ondes composant le rayonnement solaire. Il révéla le fait que les différentes longueurs d'ondes, allant de 0,3µm (violet-bleu) à 0,7µm (rouge), n'ont pas la même température. Une élévation de la température était constatée dans le domaine du visible, ainsi que dans la région au-delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le Soleil.
La théorie de l'émission de rayonnement est à l'origine de la physique quantique où Max Planck émet l'hypothèse que le rayonnement de la chaleur se déplace en quantum d'énergies, c'est à dire en ondes et en photons à la fois, qui sont émis en « paquets d'énergies ».

Effet de serre et couche d'ozone

Les élèves confondent souvent l'effet de serre et la couche d'ozone mais ce sont deux problèmes différents. La couche d'ozone empêche une partie des rayons ultraviolets (UV) en provenance du soleil de pénétrer dans l'atmosphère et de nous toucher. La vie sur Terre est possible grâce
à la couche d'ozone. On constate aujourd'hui qu'un trou dans la couche d'ozone se forme par l'observation de la diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone au-dessus de la zone antarctique. Cette destruction anormale de l'ozone est due à certains gaz produits par les activités humaines, notamment les chlorofluorocarbones. La couche d'ozone est donc liée à l'augmentation de gaz, mais le processus est différent de celui de l'effet de serre. Elle n'est pas une conséquence du réchauffement climatique mais de l'utilisation des chlorofluorocarbures (CFC), largement employés dans les systèmes de refroidissement (réfrigérateurs par exemple) et le conditionnement de certains produits (gaz propulseurs dans les bombes aérosol, aujourd'hui interdits, mais les gaz fluorés sont toujours autorisés sous certaines conditions).

Quel rapport y a-t-il entre effet de serre et réchauffement climatique ?

L'augmentation de la température sur Terre est due à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Ceux-ci absorbent le rayonnement infrarouge. Le réchauffement dû à l'effet de serre est donc un changement d'équilibre thermique à la surface de la Terre. L'atmosphère conserve plus d'énergie calorique qu'il n'en sort.
Les scientifiques du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) ont établi le lien entre la concentration de certains GES et la température moyenne sur Terre en analysant les bulles d'air enfermées dans les couches de glace et en réalisant des « familles » de modèles climatiques. Ils ont estimé le réchauffement de la planète de 2 à 6,4°C d'ici 2100.
Les divers GES possèdent un « pouvoir de réchauffement global » (PRG) qui leur est propre et qui définit comment ils se comportent dans l'environnement. En fonction de la composition moléculaire du gaz, son PRG dépendra de deux facteurs : la quantité d'énergie que le gaz peut intercepter et sa durée de vie dans l'atmosphère. La contribution d'un GES au réchauffement climatique à un moment donné dépend de sa concentration et de sa capacité à absorber l'irradiation solaire.
Le climat se réchauffe pour de nombreuses raisons climatiques en interaction. Par exemple, les océans contiennent soixante-

fois fois plus de carbone que l'atmosphère, sous différentes formes (carbone dissout dans l'eau par phénomène physico-chimique, matières organiques, minérales, etc.).
Plus la température de l'eau est basse, plus la quantité de carbone absorbée peut être élevée. C'est un cercle vicieux où l'augmentation des températures de l'air provoque un réchauffement des mers, qui absorbent moins de CO2. La température des mers a augmenté depuis 1900 de 2°C. Les océans absorbent donc moins de CO2 qu'il y a un siècle, alors que nous en produisons plus.

Pourquoi l'augmentation des GES a-t-elle un impact sur les températures de la Terre ?
Les gaz qui interviennent dans l'effet de serre sont très minoritaires ; ils constituent moins de 1 % de l'atmosphère.
Les GES naturels sont émis par des sources naturelles mais leur concentration peut être influencée par de nouvelles sources d'émission d'origine anthropique. Les différents GES naturels sont :

- L'eau (H2O), qui à l'état de vapeur est responsable de 55% de l'effet de serre naturel dans l'atmosphère. Par contre, son origine anthropique (centrales électriques, barrages et déforestation) n'a qu'une influence très limitée sur l'effet de serre.

- Le dioxyde de carbone (CO2) est le principal GES d'origine anthropique (60%). D'après le GIEC, le taux de CO2 dans l'atmosphère a fluctué au cours des 160 000 dernières années, avant de présenter une augmentation abrupte de 31% depuis la révolution industrielle. Le CO2 a une durée de vie comprise entre 100 et 200 ans dans l'atmosphère. D'origine naturelle, le CO2 est émis par tout organisme vivant et respirant, mais aussi lors de leur décomposition, ainsi que par les éruptions volcaniques et certains processus géothermiques comme les sources d'eau chaude. La principale source artificielle de cette augmentation de CO2 est la combustion des énergies fossiles.

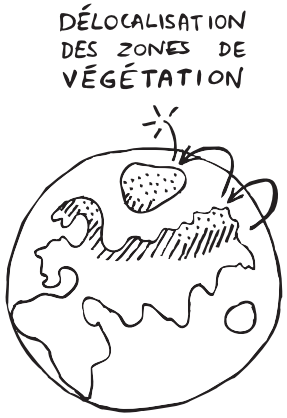
- Le méthane (CH4) est le troisième GES le plus important (15%) et celui qui a augmenté le plus depuis l'époque préindustrielle (+151%). Dans l'atmosphère, le CH4 piège 23 fois plus de chaleur que le CO2. Sa durée de vie dans l'atmosphère se situe entre 10 et 15 ans. Parmi les sources naturelles, citons les zones humides et les océans. D'après les études du GIEC, l'augmentation de CH4 est d'origine humaine, provenant principalement de l'agriculture et de la combustion d'énergies fossiles.

- Le protoxyde d'azote (N2O) représente, dans les pays industrialisés, 6% des émissions d'origine anthropique de GES. Le N2O retient 310 fois plus de chaleur dans l'atmosphère que le CO2. Bien qu'il soit naturellement produit par les forêts tropicales, les bactéries du sol et par les océans, plus de 30% des émissions totales de N2O sont d'origine anthropique et essentiellement dues à l'agriculture (engrais).

- L'ozone troposphérique (O3) a augmenté de 35% depuis l'époque préindustrielle. Sa concentration dans la haute atmosphère (stratosphère) est naturelle.

Espaces géographiques touchés

L'impact de l'effet de serre ne se fait pas ressentir directement à proximité des zones d'émission des gaz. Les GES produits dans un continent ont un impact sur tous les autres.
Cependant, les effets du réchauffement climatique ne sont pas homogènes. Certaines régions se réchauffent plus ou moins rapidement, alors que d'autres refroidissent. Le réchauffement climatique est une tendance globale qui se fait sentir davantage aux pôles de la Terre et dans l'hémisphère nord qu'à l'équateur. Cela est dû à l'inclinaison de la Terre et à la circulation océanique.



L'élévation du niveau des mers par la fonte des glaces continentales (qui fait augmenter le niveau des mers, et non la fonte des glaciers) est estimée à 30cm pour le prochain siècle. Cela conduit à de nombreux impacts, tels que l'augmentation des épisodes de fortes précipitations et du nombre de cyclones et de raz-de-marée. Les événements météorologiques seront plus importants (tempêtes, inondations, sécheresse). Ceux-ci peuvent provoquer des catastrophes dans les pays tropicaux qui n'ont pas les moyens de construire des digues ou bien d'alerter la population, et de l'évacuer à temps. Cela poussera les popu-

lations à migrer et poussera à la disparition de villes et de pays (Maldives, Tuvalu - archipel polynésien). L'élévation du niveau des mers, causant des inondations et augmentant les phénomènes d'érosion des côtes, provoquera l'inondation de certaines zones côtières (telles que les deltas) et fera disparaître les petites îles.
Au niveau de la flore, un changement climatique si brutal peut entraîner la disparition d'espèces conduisant à l'extinction de 20 à 30% des espèces animales et végétales. Cela devrait toucher surtout les régions où il pleuvra moins (le Sahel, les déserts actuels...). Par contre, certains pays comme la Sibérie ou le Canada pourraient être favorisés.
Les productions agricoles chuteront, provoquant de graves crises alimentaires, sources de conflits et de migrations.
On suppose l'apparition de ces crises dans des zones tropicales et sub-tropicales comme en Asie et en Afrique.
La transmission des maladies animales et humaines risque d'augmenter. La hausse des températures peut aider certaines maladies à se développer. Les animaux porteurs de maladies infectieuses chez l'Homme, comme le moustique, vont occuper de nouveaux espaces.
Dans la région arctique, on prédit (bien que l'on puisse déjà l'observer à certains endroits) une délocalisation des zones de végétation ainsi qu'une modification de la biodiversité. La forêt boréale remplacera lentement la toundra, et la toundra le désert polaire.
En Europe, le réchauffement sera plus visible qu'à d'autres endroits du monde. Sur le nord-est de l'Europe, les hivers seront moins froids. Les régions méditerranéennes auront des étés nettement plus chauds. Des sécheresses plus sévères sont prévues dans le centre de l'Europe, alors que des pluies violentes s'abattront sur le nord, accusant une hausse de 20%.

L'activité humaine a-t-elle un impact sur l'augmentation du réchauffement climatique ?

Les scientifiques ont observé dans l'analyse de la paléoclimatologie une relation entre l'évolution de température globale et la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère. Lorsque

l'un des deux paramètres est perturbé, l'autre l'est aussi. Il est constaté que, depuis le milieu du XIX^{e} siècle, début de l'ère industrielle, la concentration de CO2 dans l'atmosphère a augmenté de 35%, celle du méthane de 148% et celle du protoxyde d'azote de 18%.
La température du globe a augmenté de 0,6 à 0,7%. Cette augmentation est due à l'accroissement de l'utilisation par l'Homme d'énergies fossiles et à d'autres activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie, les transports. En brûlant, ces sources d'énergie émettent des GES qui s'ajoutent dans l'atmosphère et augmentent l'effet de serre naturel. Cet effet de serre d'origine anthropique est appelé « effet de serre additionnel ».
En plus de l'augmentation des gaz d'origine naturel comme le CO2 et le méthane, des GES sont exclusivement produits par l'homme, tels que les gaz halogénés à effet de serre. Ces gaz sont apparus récemment. En plus d'être considérés comme des GES, ils contribuent à la destruction de la couche d'ozone qui nous protège des rayons ultraviolets émis par le Soleil. Ils comprennent :

- les fréons CFC,
- les halons ou les hydrofluorocarbones (HFC), utilisés dans les systèmes de refroidissement,
- l'hexafluorure de soufre (SF6), employé par exemple dans l'industrie électronique,
- les hydrocarbures perfluorés (PFC), émis pendant la fabrication de l'aluminium.

Leur durée de résidence dans l'atmosphère est de loin la plus importante, puisqu'ils y demeurent durant plusieurs décennies. Leur capacité d'absorption de l'irradiation solaire est de l'ordre de 1000 à 22 000 fois celle du carbone.
Le CO2 n'est donc pas le gaz le plus puissant dans les conséquences de l'effet de serre, mais c'est le gaz le plus présent et sa présence importante dans l'atmosphère est suffisante pour expliquer le réchauffement climatique. Afin de comparer les contributions des différents GES entre eux, il faut comparer l'effet absorbant d'un gaz en terme de chaleur à celui du CO2. La concentration d'un gaz est alors exprimée en *CO2-équivalent*.

Les activités humaines émettant le plus de GES sont :

- la consommation de combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon), qui rejette beaucoup de CO2,
- la déforestation des zones tropicales, qui libère de grandes quantités de CO2 et diminue les avantages de la photosynthèse, qui diminue naturellement la densité de CO2 dans l'atmosphère,
- la production agricole (rizière, élevage de ruminants), qui est la principale cause des rejets de méthane et produit aussi du protoxyde d'azote (N2O) (engrais azotés, aliments pour le bétail),
- l'industrie utilisant les gaz fluorés (GESF) comme réfrigérants, solvants ou gaz propulseurs des bombes aérosols, toujours utilisés, mais dont les émissions sont progressivement interdites.

La moitié des GES émis en France vient de la production et du transport des produits que nous consommons, l'autre moitié étant d'origine domestique.

Quel est le calcul des émissions de GES ?

Un bilan des émissions de gaz à effet de serre (BEGES) est un calcul des émissions de GES émis par une personne morale ou un groupe (entreprise, administration, ONG) dans un périmètre géographique précis. En plus de définir l'analyse du cycle de vie d'un produit, le BEGES permet de définir l'impact environnemental d'une personne. C'est une analyse des émissions de trois catégories. La première prend en compte les émissions directes, produites par des sources appartenant à la personne dont on calcule le BEGES (par exemple, les émissions de la voiture personnelle). La deuxième catégorie est constituée par les émissions indirectes associées à l'énergie, telles que la consommation électrique (chauffage des bâtiments). La troisième catégorie est l'émission indirecte d'autres domaines (acheminement des produits, transport des salariés, etc.).
Le BEGES est obligatoire pour l'État (le bilan est réalisé par chaque département ministériel), les entreprises privées employant plus de 500 salariés, certaines collectivités et les entreprises publiques de plus de 250 personnes.

Quelles solutions pour réduire les GES ?

L'effet de serre étant un phénomène naturel équilibré, les gaz ne restent pas éternellement dans l'atmosphère et peuvent y être retirés par différents procédés naturels :

- des phénomènes physiques, tels que la pluie enlevant de la vapeur d'eau de l'atmosphère,
- des phénomènes chimiques, tels que la photosynthèse des plantes absorbant le CO2 de l'air environnant,
- des phénomènes radiatifs, avec comme exemple les rayons cosmiques qui cassent les molécules dans la stratosphère, faisant disparaître les halocarbures.

Les GES restent tout de même fortement présents dans l'atmosphère. Une partie de leur impact est compensée par l'effet des aérosols. Un aérosol est une suspension dans l'air de gouttelettes ou de poussières. La représentation la plus évidente des aérosols est sous forme de nuage. Ces nuages viennent atténuer l'effet de serre, tout simplement en empêchant la lumière de passer : la lumière est directement réfléchie vers l'espace. Bien modéliser le comportement des nuages est l'un des points les plus complexes des modèles climatiques.

Les molécules qui, par suite de diverses réactions, peuvent conduire à la formation d'aérosols sont appelées précurseurs d'aérosols. Les émissions de précurseurs d'aérosols regroupent la poussière et les divers gaz favorisant la condensation de l'eau et les nuages. Le volcanisme est une source de précurseurs d'aérosols, le nuage de poussière provoquant une baisse des températures. Le dioxyde de soufre (SO2), polluant local provoqué par la combustion de n'importe quel produit contenant du soufre, et notamment le charbon et le pétrole, est le précurseur d'aérosol d'origine anthropique le plus présent sur Terre. Les précurseurs d'aérosols d'origine anthropiques ne sont pas des solutions à une diminution responsable et durable du réchauffement climatique.
Afin de diminuer les GES dans l'atmosphère, la première chose à faire est de limiter considérablement leurs émissions. Cela remet en cause tout le système actuel, notre production comme notre consommation. Ne pouvant changer nos

modes de vie du jour au lendemain, des procédés techniques sont envisageables. Par exemple, le CO2 peut être enfoui sous terre, permettant de piéger 19% des émissions de gaz carbonique. Nous ne connaissons pas encore les retombées de ce nouveau procédé sur l'environnement, mais nous pouvons supposer que l'environnement soit pollué par une retombée des métaux lourds.

Le CO2 peut aussi être réutilisé, transformé en énergie ou en nouveaux matériaux (comme certains plastiques), leur donnant une valeur financière. Seules 0,5% des émissions de gaz carbonique sont réutilisées de cette manière.

Une diminution sensible des émissions de GES susceptible de ralentir le réchauffement climatique implique une mutation majeure des économies, des industries, des agricultures et des échanges. Des négociations ont lieu à cet effet au niveau mondial avec des résultats encore modestes. Au niveau local comme au niveau individuel, certaines actions sont déjà envisageables. Par exemple, il est possible d'avoir recours à de nouveaux modes de construction, de chauffage et d'isolation dans l'immobilier. Les avancées techniques en matière d'éco-conception sont nombreuses, comme l'exploitation de la géothermie et les avancées dans le chauffage au bois pour le domaine du chauffage. Le chauffe-eau solaire, utilisant le même processus que l'effet de serre à petite échelle, est aussi une solution.

Échange de chaleur

Comment fonctionnent les échanges de chaleur ?
La chaleur est un échange d'énergie entre deux systèmes qui peut se faire par conduction (contact physique entre les deux systèmes par agitation moléculaire), convection (échange favorisé par le mouvement d'un fluide) et par le rayonnement (échange sans contact par photons infrarouges). La présence de GES dans l'atmosphère augmente la température de la Terre par rayonnement.

Serre horticole

Une serre horticole fonctionne sur le même principe que l'effet de serre (ce qui a valu à ce dernier son nom, par analogie avec la serre horticole). Le rayonnement solaire capté par la serre est transformé en énergie, réinvestie en chaleur. L'air présent dans la serre se réchauffe. Cette chaleur est conservée par le toit de la serre, empêchant sa dispersion.

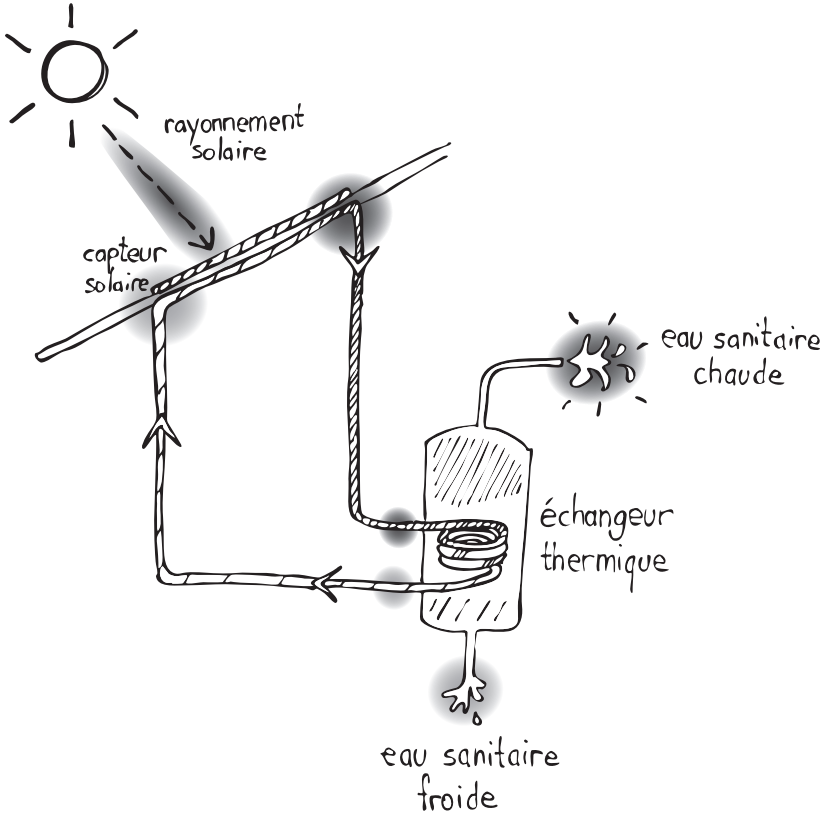
Fonctionnement du chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire fonctionne comme l'effet de serre atmosphérique. Le rayonnement solaire va être transformé en énergie, réinvestie en chaleur. Ce système de chauffage demande tout d'abord l'installation d'un capteur d'énergie solaire qui va absorber l'énergie du rayonnement et le restituer sous forme de chaleur. Le capteur solaire plan est adapté aux besoins domestiques des particuliers.
Il est composé d'un panneau de couleur noire, captant naturellement la chaleur. Un liquide va être chauffé en passant dans les tubes du capteur. Un circuit va transporter la chaleur grâce à un liquide chauffé passant dans les tubes chauds du capteur. Ensuite, l'échangeur thermique permet une transmission de chaleur entre le liquide chauffé et l'eau sanitaire. L'eau sanitaire se réchauffe et est ensuite conservée dans un ballon. Le liquide chauffé se refroidit puis se redirige par conduction naturelle vers le capteur solaire, créant une boucle, se faisant naturellement.
Un circuit de 4m² permet de chauffer 50 à 60% de la consommation d'eau chaude d'une famille de quatre personnes.

En plus d'être un dispositif exploitant l'énergie solaire, ressource naturellement présente sur Terre et indéfiniment renouvelable, le chauffe-eau solaire diminue la consommation énergétique, tout en conservant plus facilement la chaleur.

Le réchauffement climatique est expliqué en partie par une augmentation des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, leur présence ayant considérablement augmenté depuis la période préindustrielle.

Il est de notre devoir de peser pour des solutions mondiales, mais aussi de diminuer à notre échelle les émissions de GES et de trouver de nouveaux procédés adaptés à nos besoins, plus respectueux de l'environnement.



Annexe 2 :

Quels modèles pédagogiques sont utilisés aujourd'hui ?

La pédagogie est l'interaction entre l'enseignant et l'élève en vue de la transmission des connaissances. De nombreux modèles pédagogiques ont été construits en fonction des découvertes de la pédagogie cognitive. Pour Piaget et le modèle constructiviste, l'évolution cognitive chez l'enfant est sectionnée en stades, avec des étapes successives, déterminées par l'âge de l'enfant. Le développement psychique de l'enfant dépend d'une évolution génétique. Les connaissances sont construites progressivement. Pour Vygotski, l'environnement social détermine le développement cognitif. Durant son évolution, l'enfant pense en interaction avec le monde qui l'entoure. L'adulte est un « médiateur de la culture », permettant à l'enfant d'avoir accès aux connaissances.

Un autre modèle pédagogique, intéressant dans l'apprentissage des sciences expérimentales, est modélisé par Jérôme Bruner. Contrairement à Piaget qui conçoit la psychologie chez l'enfant comme une évolution en escalier, Bruner pense que le développement intellectuel de l'enfant dépend de son cadre culturel et de son milieu social, comme l'école, utilisant alors une situation d'apprentissage appropriée. L'espace d'apprentissage a un rôle primordial dans la capacité d'apprentissage.

Pour Bruner, l'enfant se construit une structure cognitive, à partir d'outils qui sont le langage, l'écriture, l'image, les actions et les symboles, permettant d'atteindre l'abstraction en étant combinés et utilisés d'après trois modes d'apprentissage. Le mode enactif ou sensori-moteur, utilisé pour enseigner un savoir-faire, est un apprentissage par l'action et la stimulation sensorielle. Pour enseigner les sciences expérimentales, il est intéressant d'utiliser ce mode, combiné au mode iconique,

où ce qui doit être appris est représenté visuellement. Par exemple, l'apprenant dessine les observations des expériences qu'il vient de faire. Enfin, le mode symbolique rend abstrait ce qui a été appris précédemment, permettant de mémoriser une connaissance. L'apprentissage est donc un échange entre une observation du réel afin de mener à une abstraction des phénomènes observés, par leur image mentale que l'on en fait, jusqu'à la traduction par des outils d'expression (langage, algèbre).

La pédagogie proposée par Maria Montessori entretient aussi l'idée que l'apprentissage où l'enseignant impose son savoir est à remettre en question. Pour elle, le rythme de l'apprentissage doit être fluide et en harmonie avec la psychologie de l'enfant. Les enfants utilisent des outils, l'enseignant leur apprenant à s'en servir. L'erreur fait partie du processus d'apprentissage. En plus d'un travail sur les outils utilisés, l'espace occupé et l'ambiance qui y est créée permettent à l'élève d'expérimenter et de répéter les gestes d'apprentissage afin qu'il avance à son rythme, qu'il soit libre de ses choix d'activités.

L'école française, basée sur la philosophie d'Émile Durkeim, a pour objectif de délivrer aux enfants une morale. Ils respectent des règles et se contraignent pour construire une société juste. Elle s'oppose à l'accomplissement individuel de l'enfant par l'éducation. L'école américaine, basée sur la philosophie de John Dewey, pragmatique, enseigne par la curiosité et la découverte. L'école doit susciter l'envie de connaissance et proposer des occasions d'éveil et d'expérimentation. Les deux modes d'enseignement doivent être rassemblés afin d'enseigner des connaissances précises et les capacités pour les appliquer.

Les méthodes d'enseignement sont aujourd'hui remises en question, principalement par des remaniements des programmes et du rythme scolaire. La place de l'évaluation est questionnée. L'évaluation a pour définition de porter un jugement de valeur sur le travail fourni par un élève. Définir le niveau d'un élève par une note entraîne un jugement subjectif de son travail, stoppant sa motivation d'apprendre, l'erreur étant vue comme négative. La sanction éteint chez l'élève son

envie de découverte, au lieu de l'encourager à poursuivre ses efforts pour réussir.

La méthode d'évaluation la plus utilisée en France est l'évaluation sommative qui note et classe les performances des individus d'un groupe. Cependant, il est nécessaire d'évaluer pour identifier ce qui n'est pas compris, pas appris, et noter les progrès. La méthode d'évaluation formative est encouragée par les nouveaux modèles pédagogiques, où l'évaluation a pour but de faire émerger les acquis et difficultés. Cela permet que les difficultés des apprenants soient corrigées et que les points de blocage soient réexpliquées par l'enseignant.

Annexe 3 :

Quels sont les objectifs pédagogiques de la Main à la Pâte ?

La Main à la Pâte (LAMAP) est une fondation créée par le physicien Georges Charpak avec l'Académie des Sciences en 1998 afin de promouvoir la démarche d'investigation à l'école primaire.

La démarche d'investigation utilisée permet de stimuler la curiosité de l'enfant, sa créativité et son esprit critique. Elle associe exploration du monde, apprentissage scientifique, expérimentation et raisonnement, maîtrise de la langue et argumentation. Les expériences, l'exploration et la discussion sont des outils utilisés pour amener à une pratique active et à une construction du savoir. Cela est possible en poussant l'apprenant à se poser des questions, donnant l'envie de pratiquer et de faire des expériences soi-même. Les activités proposées, activités d'éveil, sont organisées en séquences, permettant la progression des élèves. Les élèves sont d'abord sensibilisés à un problème en se questionnant à propos d'un sujet, en testant et en expérimentant.

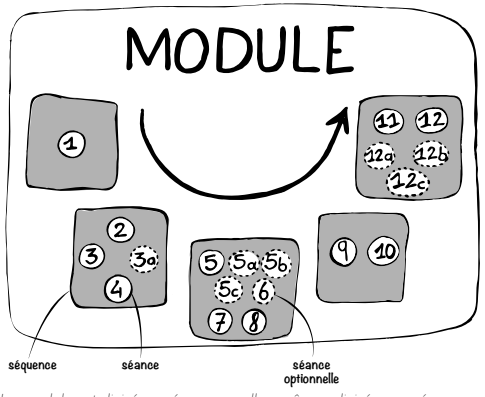
La culture scientifique permet d'aborder d'autres matières que les sciences théoriques, faisant que ce module est pluridisciplinaire. Il s'intègre à l'EDD (l'Enseignement au Développement Durable), obligatoire depuis 2008. La « pédagogie de la devinette » est à éviter. C'est à l'élève de se questionner, pas à l'enseignant de questionner les élèves. Tout au long des séances, c'est l'élève qui formule lui-même ses questions puis trouve les réponses. Le sujet n'est cependant pas abordé de manière superficielle car l'enseignant est là pour apporter les connaissances qui vont manquer.

Georges Charpak a été prix Nobel de physique en 1992. Il est reconnu, donnant une forte crédibilité au projet. LAMAP travaille en coopération avec des scientifiques et chercheurs professionnels. Les apports sont riches et d'actualité. Les modules et dossiers pédagogiques sont fait par des scientifiques mais destiné aux enfants et aux enseignants n'ayant pas de connaissances spécifiques dans le domaine. Il y a une vraie volonté de vulgarisation. Le projet a été testé sur des classes avant d'être diffusé.

Le projet est soutenu par le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Écologie, du Développement Durable, de l'Énergie, de l'Aménagement du territoire. Ce projet est novateur et prospectif, tout en étant soutenu par des instances gouvernementales.

L'Académie des Sciences soutient cette démarche et accompagne les enseignants motivés. Chaque cours est modulable en fonction du niveau des élèves, du matériel, du temps à consacrer, de la motivation de l'enseignant. Plus de 3 000 guides pédagogiques ont été distribués gratuitement aux enseignants lors du lancement du projet en 2008. Afin de soutenir et aider les enseignants dans leurs démarches, la fondation propose de nombreux outils pédagogiques en ligne. Sur le site internet de LAMAP, des experts répondent aux questions posées par des enseignants afin de mieux aborder un sujet en cours ou durant une animation.
Le site internet continue de diffuser la démarche proposée, avec le contenu du guide pédagogique, des ressources pédagogiques, une plateforme d'échanges pour les enfants (jeux, blog, images) et un dispositif d'accompagnement des enseignants par une équipe de scientifiques (animations pédagogiques, formations, conférences).

Le module pédagogique *Le climat, la planète... et moi !*, créé en 2007, a pour objectif de sensibiliser les enfants vis-à-vis des menaces liées au réchauffement climatique ainsi que de transmettre l'information dans le but de changer les habitudes de vie. Lors de ce module, l'enfant se responsabilise par l'apprentissage des savoirs scientifiques. Le parcours est progressif. Le module est destiné aux enfants de



Le module est divisé en séquences, elles-mêmes divisées en séances.

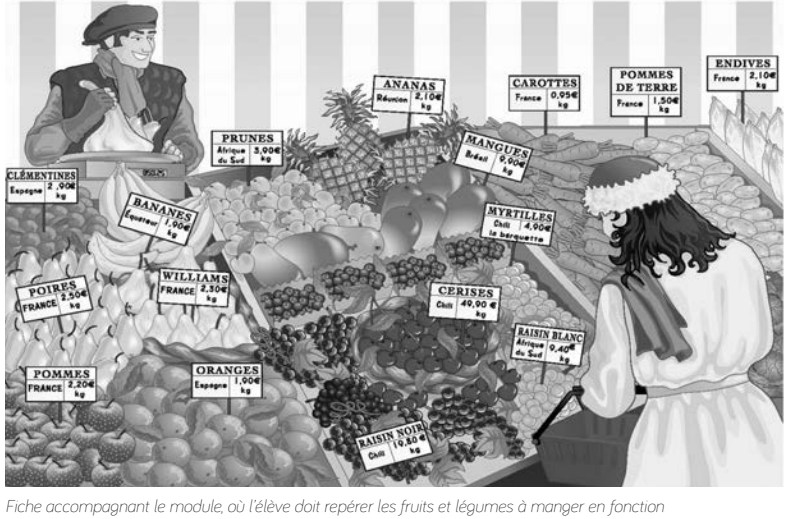
cycle 3 (CE2, CM1, CM2). Il est constitué de 12 séances, plus 8 optionnelles, organisées en 5 séquences. Chaque séance propose une ou plusieurs activités à réaliser en cours. Il est possible de scinder le module sur les trois années ou de le réaliser en une fois, en 6 semaines. Chaque séance nécessite environ 1 heure. Le module est une étude complète d'un concept précis. Il se déroulera sur plusieurs semaines. La séquence vise l'acquisition d'une compétence. La séance fait progresser l'élève vers la maîtrise des compétences visées par la séquence. L'apprenant doit suivre ce parcours avec obstacles, avec des retours en arrière et en admettant de faire des erreurs.

Le module a l'intention de transmettre quatre messages clefs, dégagés progressivement par les différentes activités :
- le changement climatique est une réalité,
- les activités humaines en sont en grande partie responsables,
- les conséquences sont multiples,
- chacun, à son échelle, peut agir. L'élève est alors invité à se questionner sur un éventuel changement de comportement. LAMAP apporte ici des solutions. L'enseignant devient porteur d'espoir de la construction de la société de demain, plus responsable.

Ce module est une réaction à l'enseignement classique où l'enseignant fait son cours, parle, sans prendre en considération ce qu'apprend l'élève. La transmission d'une connaissance demande une interaction entre l'enseignant, l'élève et le savoir. Le réchauffement climatique est un sujet peu abordé à l'école primaire alors qu'il fait partie du programme (comme dans les objectifs d'apprentissage de l'EDD) et qu'il est primordial de sensibiliser les enfants pour qu'ils agissent et limitent les impacts négatifs de l'activité humaine. Les séquences de ce

Fiche accompagnant le module. Les photographies sont stéréotypées (tel que l'ours blanc, sur son bloc de glace de très petite superficie).

module sont structurées en différents objectifs. Un apprentissage théorique et technique, tel qu'identifier l'effet de serre comme origine du changement climatique ou distinguer effet de serre d'origine naturelle et d'origine humaine, permet une première approche du sujet. Des expérimentations, telles que comprendre le fonctionnement d'une serre, fait manipuler les outils de l'expérience par les enfants, pour qu'ils se rendent compte de l'interaction entre physique, chimie, biologie, mathématiques, et le réchauffement climatique. Enfin, une application en fin de module est proposée, telle que le calcul de son propre bilan carbone.



Fiche accompagnant le module, où l'élève doit repérer les fruits et légumes à manger en fonction des saisons. Cette séance accompagne une séance voulant que les élèves comprennent l'intérêt de consommer des produits locaux et de saison.

Annexe 4 :

Comment les musées scientifiques vulgarisent-ils la science ? Quel travail complémentaire réalisent les centres de médiation scientifique ?

Les musées scientifiques proposent un accès au patrimoine scientifique par des expositions et des activités de découvertes ludiques. Les centres culturels scientifiques sont des lieux d'accueil de groupes (scolaire, familles, etc.) proposant une interaction avec la science. Ceux-ci, en plus d'être des espaces présentant de petites expositions, proposent au public des conférences, des activités (courtes ou pendant plusieurs jours), des projections de films, etc.

Les musées scientifiques français ont pour but de désacraliser le patrimoine scientifique en rendant accessible le savoir tout en présentant l'état de la recherche scientifique actuelle. À Paris, le Palais de la Découverte met en avant les expérimentations afin de faire évoluer la recherche, alors que la Cité des Sciences montre les retombées au quotidien des théories scientifiques.
La volonté des musées scientifiques est de faire vivre le savoir et d'exciter la perception du visiteur. Ils utilisent souvent la démarche d'immersion pour présenter les sciences, par une reconstitution d'environnement ou des mises en scène spectaculaires et la manipulation concrète d'objets présents au quotidien. La situation d'immersion permet de vivre une expérience forte par augmentation de l'émotion du visiteur.
Trois modes de représentation du savoir sont utilisés pour réaliser une exposition scientifique. La technique de reconstitution permet de mettre en condition le visiteur. Elle est utilisée pour des sujets du domaine de la biologie ou de la physique technique où le sujet est concret et facilement observable.
L'interprétation, mode de représentation métaphorique, est utilisée pour une science plus abstraite. La technique de création est indépendante de toute réalité où tous les sens du visiteur sont sollicités. On peut prendre l'exemple des lieux scientifiques interactifs comme le Futuroscope, où le visiteur est le chercheur, vivant une expérience.
Certains procédés aident à la réalisation des expositions comme l'identification à un personnage (uniforme, outils, ticket, jeu de rôle) et les objets multimédias (lunettes 3D, laser).
L'accès à la connaissance est ludique et plaisant, la rendant plus facile d'accès.
Une mise en scène spectaculaire permet de faire revenir le spectateur ou de lui donner l'envie de visiter le reste du musée, en dehors de l'exposition.

© Cité des Sciences et de l'Industrie

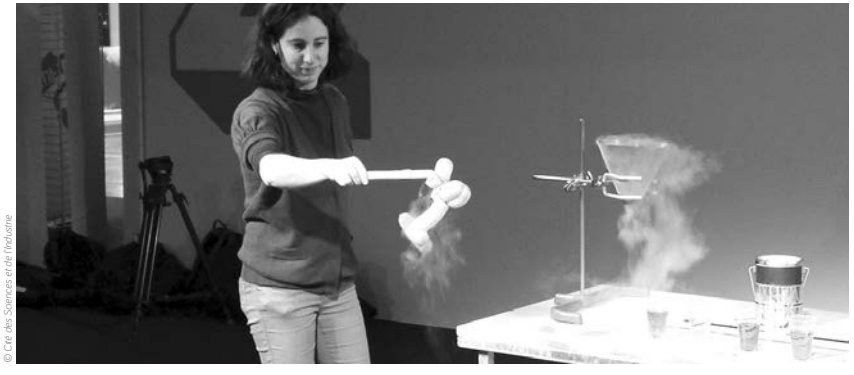
Cité des Sciences et de l'Industrie, exposition Climat, *Paris (07.2005).*

Cependant, la forme ne doit pas prendre le dessus sur le fond par une accumulation de décorations et d'ornements, le but n'étant pas l'esthétique de la forme mais le sujet du message. L'habillage médiatique de la connaissance scientifique ne doit ni altérer le savoir, ni le simplifier au point de le rendre faux.
Les musées scientifiques peuvent être considérés comme une « école parallèle », dans le sens où ils ont pour but d'enseigner et de transmettre un savoir. Ils sont complémentaires de l'école.

Les expositions à la Cité des Sciences

La Cité des Sciences de Paris est un musée scientifique et un centre d'accueil d'événements scientifiques. Il compte plus de trois millions de visiteurs par an, en faisant le quatrième lieu de fréquentation des musées parisiens. Le public est hétérogène, constitué de personnes de tous les âges, en famille, seules ou en groupe, touristes étrangers ou Parisiens habitués. La plus grosse part des visites est tout de même constituée de scolaires.

L'espace *Zone 3*, créé en mars 2014, est un endroit spécialement conçu pour les 15-25ans, proposant des expositions, des ateliers, des spectacles.



© Cité des Sciences et de l'Industrie

Animation dans l'espace Zone 3, Cité des Sciences et de l'Industrie (mars 2014).

Cité des Enfants

La Cité des Enfants, partie 5/12 ans, est composée de six îlots, abordant six domaines (l'usine, les jeux d'eau, communiquer, le jardin, le corps, studio TV).

«Bizarre ce truc. Ça prend une heure pour le faire.»
(Propos d'un enfant lors de la visite de la Cité des Enfants.)

L'usine a pour but d'expliquer certains principes du monde construit par l'Homme. Cette partie présente les théories physiques utilisées pour les machines (poulies, engrenages), la production d'énergie et sa consommation (fabrication des énergies renouvelables). Elle explique aussi la fabrication d'un emballage (modélisation, fabrication, découpage, étiquetage). Les cartels accompagnant les ateliers posent une question, puis fournissent des explications. Les ateliers proposent différentes expérimentations, faisant partie ou pas de l'îlot *l'Usine* : le jeu de rôle (Le jeu de l'Watt), la manipulation (Les Éoliennes), les expérimentations à plusieurs (Les tubes à paroles), bouger, danser (Teste tes réflexes).

Les explications doivent être courtes, pour ne pas causer l'impatience des enfants. Le bruit et les cris d'enfants obligent les jeux à ne pas demander une écoute trop précise.
La Cité des Sciences et de l'Industrie est sponsorisée par la Maif, EDF, Total, soutenant financièrement la création d'expositions. L'îlot *l'Usine* est sponsorisé par EDF, qui a choisi de sensibiliser aux énergies renouvelables.

Le travail de Maud Gouy, chargée de projet, organisatrice des expositions, avec deux collègues, est d'inventer des dispositifs de muséographie. Elle transforme une idée en concept, en produit de muséographie. Elle réalise ensuite une fiche programme avec le scénario de visite.
Réaliser une exposition demande deux ans. La première étape consiste à rencontrer des experts pour former un comité scientifique. Les organisateurs de l'exposition déblayent le sujet très largement pour s'en imprégner, par de nombreuses lectures. Le comité scientifique est composé de personnes

de toutes spécialisations. Un psycho-pédiatre aide parfois à la communication vers l'enfant.
Ensuite, des axes précis sont choisis, servant à orienter le contenu. Le cadre est alors fixé (budget, cible, espace) puis l'équipe réalise un pré-programme (définition des différents sujets à aborder, substance des objets exposés). Le comité scientifique peut relire à cette étape pour qu'il n'y ait pas d'erreurs. Enfin, le programme est réalisé (scénographie des éléments, déroulé précis de l'exposition). Une fiche est réalisée et présentée à des designers. Lors de cet appel à candidature (vingtaine de participants), un graphiste et un scénographe sont choisis.
L'exposition est structurée en îlots plutôt que proposant un chemin pédagogique au visiteur.

Il n'y a pas de contact direct entre l'équipe et les designers choisis. Ils reçoivent un descriptif précis. Le designer n'entre pas dans le discours scientifique, n'a pas force de proposition sur le contenu. Les organisateurs de l'exposition réalisent tout le travail de déblayage du sujet, pour fournir aux designers un concept digéré. Il est demandé aux designers de répondre à un cahier des charges très précis (« ici, on a besoin d'un stand de tel univers, telle ambiance…).

Les Petits Débrouillards

© Les Petits Débrouillards, DR

Les Petits Débrouillards est une association créée en 1986 ayant pour objectif de rendre la science accessible à tous, objectif représenté par leur slogan *« Aux sciences citoyens ! »*. Elle est soutenue par le Ministère de la Recherche, le Ministère du Développement Durable, le Ministère de la Culture et le Ministère de la Ville. L'association est composée de scientifiques, de pédagogues et d'animateurs.

Par des actions menées directement auprès des citoyens, les Petits Débrouillards fait découvrir la science en s'amusant. Les premiers concernés sont les enfants qui, par la démarche d'investigation, découvrent le fonctionnement des métiers scientifiques, les méthodes de raisonnement et de recherche.

L'association est composée de différentes structures, réparties dans toute la France (vingt régions). Les centres régionaux mènent des actions locales, différentes en fonction du lieu. Ils proposent des outils pédagogiques et des expositions thématiques à destination des structures éducatives (écoles, centres de loisirs, lieux d'animation, centres culturels, etc.). Quarante-sept ouvrages ont été réalisés ainsi que des CD-Roms éducatifs.

Les citoyens sont directement concernés par l'association et les sujets scientifiques proposés par le lien direct qui est établi entre l'association et le public, en étant une association régionale, organisant des actions locales. De plus, les sujets traités sont en lieu avec l'actualité. Les actions sont amusantes, participatives, éveillant la curiosité et l'intérêt de tous.

L'Exploradrôme

Situé à Vitry-sur-seine (94), ce musée de découvertes scientifiques s'adresse de manière ludique et interactive à tous publics, à partir de 4 ans. Le visiteur est invité à explorer le monde scientifique, être initié au multimédia et sensibilisé aux enjeux du développement durable via le slogan *« le musée où il est interdit de ne pas toucher »*.
Par des « visites-découvertes », le public est invité à construire son parcours de visite de manière libre en commençant par suivre les activités proposées dans un livret thématique. Par exemple, le livret axé sur l'énergie propose quatre activités à réaliser, durant en tout une demi-heure. Le livret propose, à chaque activité, une expérience à réaliser et pose une question. Des animateurs sont présents tout au long du parcours de recherches du visiteur.

L'Espace Pierre-Gilles de Gennes

L'Espace des sciences Pierre-Gilles de Gennes (ESPGG) est une passerelle entre citoyens et monde scientifique, imaginé en 1994 par Pierre-Gilles de Gennes, et ouvert en juin 2007 à Paris. Il propose des animations grand public et un laboratoire

d'innovation pour la médiation scientifique. Les chercheurs, les enseignants, journalistes, artistes, narrateurs, curieux des sciences et des cultures sont invités à se rencontrer pour échanger et réfléchir ensemble sur des sujets scientifiques d'actualité. L'espace collabore avec l'école ENSPCI ParisTech par la valorisation du patrimoine historique et les recherches de l'école.

Cet espace est un lieu ouvert proposant différentes activités. Il propose aux familles et aux scolaires de participer à des animations scientifiques en soutenant la dynamique pédagogique de La Main à la Pâte. Le grand public est invité à assister à des conférences, visiter des expositions, participer à des événements, soirées et rencontres entre art, science et culture, et propose aussi des séminaires sur la communication des sciences et la pédagogie.
L'ESPGG et l'ENSPCI ParisTech travaillent en partenariat avec l'École Nationale Supérieure des Arts Décoratifs (Ensad) de Paris, pensant que mêler art et science suscite auprès des scientifiques des interrogations et des réflexions intéressantes et inédites. L'art permet aussi de rendre la science plus accessible au grand public.

En dehors du grand public, de nombreux acteurs du monde scientifique et pédagogique sont invités à participer aux journées d'activités et leurs travaux sont valorisés.

Séquoia *(compte-rendu de stage, été 2014)*

Séquoia est une structure autonome de la Mairie de Nantes qui a pour but d'enseigner la science en la rendant accessible à tous, de valoriser un partage entre les individus par une communication directe et de quartier et d'accompagner les enfants en domaines scolaire et périscolaire. Elle est intégrée dans les démarches de la ville et soutient sa politique dynamique, valorisant les projets écologiques et prospectifs.

Séquoia accueille dans l'année une cinquantaine de classes du primaire de la ville afin de réaliser des journées ou demi-journées d'animations et d'expérimentations ayant pour but

de vulgariser la science et de sensibiliser aux problématiques environnementales. Le niveau des classes est du 2e (grande section, CP, CE1) et 3e cycle (CE2, CM1, CM2). Le mercredi, une fois par mois, les rendez-vous *« C'est quoi ça ? »* permettent des collaborations entre médiateurs scientifiques, chercheurs, étudiants, animateurs, etc. Séquoia y accueille des familles et des centres de loisirs du quartier.

Séquoia soutient le mouvement initié en 1995 par Georges Charpak, par la fondation La Main à la Pâte qui a pour objectif d'améliorer l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire et au collège, en soutenant la mise en place de la démarche d'investigation scientifique. LAMAP44 est le centre pilote de la région du Pays de la Loire. Les activités proposées par Séquoia utilisent cette démarche d'apprentissage de la science. Les thèmes abordés dans les activités proposées font parties du programme scolaire. Les sorties scolaires organisées par Séquoia sont de réels moyens de stimuler les enfants en les faisant s'interroger de manière ludique.

Mon projet phare à Séquoia pendant la durée de mon stage a été l'organisation d'un pique-nique éco-responsable pour les classes venant à la journée. Le pique-nique éco-responsable est en même temps un projet au questionnement philosophique par rapport à notre impact sur la planète et une remise en cause de nos consommations quotidiennes. Les enfants seront encouragés et accompagnés pour s'alimenter de manière écologique dans un environnement extérieur à celui de l'école et de la maison, en limitant les déchets et le gaspillage alimentaire. C'est une démarche active faite d'expérimentations, suivant la pédagogie d'investigation.

© Séquoia

Après-midi à Séquoia, animé par une médiatrice scientifique.

En menant ces projets, j'ai pu prendre conscience que la démarche d'investigation est primordiale à l'apprentissage

des sciences aujourd'hui. À Séquoia et dans d'autres structures éducatives, j'ai pu appréhender et expérimenter sa mise en place concrète. Tout d'abord, il est important de favoriser un contact direct avec la cible. Lors d'une réunion d'équipe, il a été dit qu'il était important de se rendre au déroulement d'une activité précise afin de croiser les enfants du secteur pour avoir leurs avis et réaliser une action prochaine. Nous devons être à l'écoute du destinataire par rapport à ce qui se fait actuellement pour mieux répondre à ses attentes dans le futur. Être au contact des habitants du quartier permet à Séquoia d'avoir plus de crédibilité à leurs yeux. Sensibiliser des enfants nécessite de les intéresser et de les stimuler. Leur lancer des défis, disputer un challenge, leur donne envie de fournir des efforts pour dépasser les autres et se surpasser.

© Mairie de Nantes

Animation dans les jardins, organisé par Séquoia.

L'objectif des journées d'expérimentation est d'apprendre quelque chose à l'enfant. Celui-ci va se souvenir qu'il a réalisé une action par un objet souvenir qu'il va conserver, ou par un rappel régulier de ce qu'il a fait pendant une de ces journées d'expérimentation. Cela peut prendre forme par un diplôme, le félicitant, ou par la réalisation d'une oeuvre, qu'il verra tous les jours (une fresque à l'école par exemple).

La sensibilisation au réchauffement climatique a pour but que les enfants s'engagent dans le futur. Ils doivent garder un bon souvenir des actions de sensibilisation afin de ne pas se bloquer et entrer dans le déni face au problème énoncé.

Annexe 5 :

Quels supports pour vulgariser la science en touchant la sensibilité du public ? *(quelques exemples)*

Gaia Global Circus

(sur un projet de Bruno Latour Grande salle du Théâtre du Passage, 2013)

© B. Latour 2011

Latour, B, Gaia Global Circus*, (2013)*

Le programme de 2013 du festival Reims scènes d'Europe organisé par la Comédie de Reims a pour thème l'écologie. Le philosophe Bruno Latour sera président de cette édition et pour lui, *« seul le théâtre peut permettre d' explorer la gamme des passions correspondant à ces enjeux politiques contemporains. »*

Le théâtre permet de dédramatiser le message catastrophique du réchauffement climatique. La distance critique entre le public et le message scientifique est diminuée, le public étant touché par la mise en scène et la volonté de narration. Le théâtre transmet des émotions, permettant de compléter la science qui est toujours raisonnée et objective.

Bruno Latour utilise le théâtre pour questionner notre confiance en la science. Qu'est-ce que le scientifique doit faire pour nous amener à le croire ? Comment construire notre confiance dans les scientifiques et les experts ?
En parallèle, le réalisateur demande comment la scène pourrait aider les climatologues à rendre leurs preuves convaincantes, face aux citoyens et aux climatosceptiques. Il cherche à comprendre comment une preuve devient convaincante aux yeux des témoins et comment le scientifique élabore sa preuve.
Alors qu'en écologie, la preuve n'existe pas, Bruno Latour parle pourtant de « preuve », non pas comme théorie irréfutable et absolue mais comme élément démontrant la vérité, soutenant un discours.

Les Atomes Crochus

© Les Atomes Crochus, DR

Les Atomes Crochus, pièce de théâtre Ursule FaBulle, *(2009).*

Les Atomes Crochus est une association interdisciplinaires créée en 2002 à l'École nationale supérieure. Elle réunit des scientifiques du domaine des sciences expérimentales ou des sciences humaines ainsi que des artistes.

Par des activités de médiation liant art, science et pédagogie, elle est un laboratoire d'innovations de la culture scientifique. Ses actions ont pour cible des publics de tous âges et de tous niveaux de connaissances. Leurs activités peuvent avoir la forme de spectacles où l'art n'est pas qu'un habillage pour transmettre la science plus aisément, mais sert de révélateur de science.

Par exemple, par les spectacles du « clown de science », les enfants s'identifient au personnage du scientifique, en habit burlesque. Les actions du clown qui se trompe sans honte, essaye, exagère, amènent inconsciemment les enfants à la réflexion. Il amène le spectateur à se questionner par un usage ludique des outils, souvent banals, qui sont à sa portée. La science est dédramatisée par une approche poétique qui la rend accessible.

«La science c'est expérimenter des expérimentations expérimentales, observer des observations observantes, conclure des conclusions concluantes, réfléchir des réflexions réflexives, tout cela dans un but qui ne serait pas le football.»

Mlle Renoncule,
stagiaire du professeur Spatule
(personnage joué par Anissa Benchelah, les Atomes Crochus, 2009)

© Les Atomes Crochus, DR

Les Atomes Crochus, M^lle^ Renoncule, *(2009), photo Benchelah, Y.*

Annexe 6 :

Livres, magazines, média imprimés

Les images scientifiques sont présentes dans les livres et journaux à destination de la jeunesse.

Le secteur de la jeunesse, dont les manuels scolaires, est le domaine le plus rentable dans l'édition, représentant 16,6% de la vente de livres. Les images du livre scientifique jeunesse doivent y être diversifiées pour ne pas lasser et intéresser les différents lecteurs.
Elles peuvent être des outils explicatifs qui éclairent le contenu du texte, aidant à sa compréhension, et pouvant tendre vers le schéma ou la photographie d'expériences, le document, la mise en scène. Ces images ont une fonction pédagogique.
Les images peuvent aussi prendre la forme d'outils de séduction, appelant l'œil du lecteur. Elles peuvent adopter un ton humoristique, permettant d'attirer le lectorat.

La presse scientifique jeunesse a généralement une approche plus divertissante, amusante et attrayante que le livre. Les sujets abordés sont des sujets d'actualité, politiques ou sociaux, permettant d'interpeller le lecteur et de le sensibiliser aux étapes clefs de la culture scientifique. L'image y occupe une place importante, tant pour le rythme de la lecture qui y est proposé, pour la simplification du vocabulaire employé, la taille des articles, et le style direct très souvent utilisés.
L'image peut adopter un langage professionnel et appartenir au domaine de l'image scientifique, ou avoir une volonté de vulgarisation et de séduction.

Pour ces deux média utilisant des images imprimées, la cohabitation de deux types d'image peut être confuse et peut perdre le lecteur, empêchant une compréhension et une fidélisation. Interpréter ces deux types d'images demande un effort supplémentaire à celui de la compréhension d'une connaissance. Les codes sont mélangés.

L'image doit mêler pédagogie (attirer pour intéresser le lecteur au sujet) et didactique (transmettre une connaissance).

Le livre pour enfant avec des illustrations changeant par calques et superpositions permet à l'enfant de manipuler les images et leurs sens. Il manipule symboliquement le réel. Il s'approprie ainsi la connaissance, la manipulation permettant une meilleure mémorisation ainsi qu'un effet de surprise et de découverte chez le lecteur. En tournant les pages, le lecteur réalise une exploration du savoir, par lui-même.

Marchand, P., Le ciel par-dessus nos têtes *(1993)*
Le jeune lecteur interagit avec le livre par des jeux de superpositions comme ici, par une feuille transparante.

Annexe 7 :

Quel rapport entre enseignement et support numérique ?

La télévision permet à un individu d'avoir accès à la connaissance en offrant un contact en parti direct. En effet, la télévision est le premier support de communication permettant d'attirer le public, de persuader et d'enseigner par l'image animée (par rapport à l'illustration figée).
Nous allons voir que d'autres procédés d'enseignement technologiques ont vu le jour, plus récemment.

Lors d'une rencontre filmée, les philosophes Michel Serre et Bernard Stiegler ont fait part de leur point de vue quant au développement de l'apprentissage aujourd'hui.
Les avancées technologiques se développent et permettent de penser autrement l'apprentissage, comment l'élève reçoit la connaissance, et l'enseignement, comme la con-naissance est distribuée.

Le numérique est une révolution dans l'histoire de l'expression, après l'écriture et l'imprimerie. Elle offre de nouveaux supports de pensée et de communication, étant un nouvel espace de liberté. L'état du savoir a changé du support papier au support numérique. Le support de pensée a changé, comme notre capacité à penser. Ce ne sont pas les mêmes neurones sollicités lorsque nous lisons un livre et lorsque nous sommes sur Internet. Le numérique propose une nouvelle « grammatisation », listant les outils à utiliser pour comprendre et être compris, possédant des codes et des règles.
Le numérique aide le travail de recherche scientifique et permet le savoir qui permet le développement de toute vie économique. Le numérique, en permettant un accès plus facile au savoir, contribue-t-il au développement économique ?
Les avancées numériques permettent d'être en lien avec la connaissance de manière plus rapide et plus facile. Cela aide

les scientifiques dans leur travail de recherche et permet une communication avec moins d'efforts vers le grand public. Le numérique a l'avantage de pouvoir offrir un rapport plus direct avec la connaissance. L'écriture offre une liberté de l'individu face à la connaissance nouvelle ou en devenir, qui est représentée par l'algèbre par exemple, et qui va s'accentuer par l'écriture numérique.

Le numérique est partout et se développe extrêmement rapidement. Le numérique permet de nouveaux espaces de diffusion de l'image. L'interaction avec le spectateur proposée par le numérique en fait un outil privilégié d'apprentissage. Ce principe rend les élèves acteurs et leur montre qu'ils peuvent être acteurs. Deux utilisations du numérique par l'apprenant sont possibles. Soit l'apprenant s'abandonne face au numérique et perd de son autonomie, soit il l'utilise pour augmenter sa singularité, le numérique libérant l'esprit.

De la même manière que l'image pouvant susciter l'action cognitive chez le lecteur, le numérique permet le mouvement du savoir par un questionnement permanent. Les nouveaux média n'ont jamais de fin (d'où le problème de « zapping » sur Internet). **Le numérique a-t-il nécessité d'être disponible à l'école afin d'éveiller la recherche intempestive de l'apprenant ?**

Le numérique propose de nombreuses opportunités d'établir de nouvelles relations entre la connaissance et l'apprenant. C'est un outil d'accès au savoir repensant le processus d'apprentissage. En répondant aux attentes nouvelles de l'éducation, le numérique évolue parallèlement à l'éducation et aux supports proposés. Il est judicieux de profiter des avantages que les avancées technologiques apportent. Elles mettent en cause les outils et l'usage que l'on fait d'eux, ainsi que les objectifs à atteindre et les méthodes de travail. Les outils et les savoirs évoluent, mais pas les méthodes d'enseignement ni le contenu des cours.

Le numérique ne remplace pas les outils classiques mais est complémentaire, pour une nouvelle répartition des usages, une hybridation des méthodes d'enseignement.

Le copyright de chaque image du corpus appartient aux entreprises ou auteurs respectivement cités. Malgré les recherches entreprises pour identifier les ayants droit des images reproduites, l'étudiant-rédacteur s'excuse pour les oublis éventuels et se tient à la disposition des personnes dont involontairement, il n'aurait pas cité le nom.

BIBLIOGRAPHIE

Colloques

BRGM, CEA, CNRS, Genopole, Inserm, Institut Pasteur, IRD, Irstea, IHEST, Universcience, Ministère de la recherche, concours de la CASDEN, Bellanger, F., Chabreuil, A. (07.11.14). **Colloque *Communiquer la science par l'image***. Institut Pasteur, Paris 15e.

Podcasts

Alberganti, M., Bréchignac, C., Desbordes, R., Even, P., Mortureux, M. (11.05.2011). ***L'expertise scientifique peut-elle être indépendante ?*** Science Publique, France Culture

Alberganti, M., Hamilton, C., Heyer, E., Gouyon, P-H., Treiner, J. (22.11.2013). **Climat, le catastrophisme peut-il être efficace ?** Science Publique, France Culture

Joubert, S., Bobroff, J., Montaigne, M., RFI. (17.02.2014). ***Comment vulgariser la science autrement ?*** Autour de la question, France Culture

Kahn, S., Le Treut, H. (30.10.2013). ***Sommes-nous égaux face au changement climatique ?*** Planète Terre, France Culture

Klein, E., Ameisen, J-C., Gaudry, P., Grimfeld, A. (16.04.2010). **La vulgarisation scientifique est-elle possible ?** Club Science Publique, France Culture

Klein, E. (16.07.2010). **Grippe A, nanos, climat : les temps forts de l'année.** Club Science Publique, France Culture

Klein, E. (17.04.2014). **Le monde selon Etienne Klein.** Le monde selon Etienne Klein, France Culture

Luret, L. (27.01.2013). **Homme et nature : vers un nouveau pacte.** Parenthèse, France Inter

Vidéo

Barth, B-M., Lebrun, M., Académie de Rennes (26.04.2014) **Colloque Apprendre avec le numérique.** www.canal-u.tv (consultation 08.11.14)

Klein E. (2014) **L'énergie : à la fois une grandeur physique et un défi pour notre siècle.** Cycle de conférences : Les grandes révolutions scientifiques du temps présent, Parenthèse Culture.

Serres, M., Stiegler, B., Legros, M., (23.08.2012) **Pourquoi n'apprendrons-nous plus comme avant.** Philosophie magazine, www.philosphies.tv (consultation 15.11.2014)

Livres

Bachelard, G. (1938). *Chapitre Ier.* In : ***La formation de l'esprit scientifique.*** Librairie philosophique Vrin (eds), Paris, 1999, 304p. 978-2711611508

Beattie, R. (2007). ***101 expériences étonnantes à faire chez soi.*** Le courrier du livre, Paris, 128p. 978-2-7029-0613-2

Boidy M., Coville M., Derieux C. (2014). ***Les images de la science, POLI n°8.*** Paris, 114p. 978-2-9534545-8-1

De Vecchi G., Giordan A. (2002). **L'enseignement scientifique, comment faire pour que «ça marche» ?** Delagrave (collection Pédagogie et formation), 271p. 978-2206084718

Dufresne, J-L. (2007). **Effet de serre et climat.** ; In : La Main à la Pâte (eds), *Graines de sciences n°8*, Le Pommier (collection Graines de sciences) 28p. 978-2-7465-0337-3

Dupuy, J-P. (2002). **Pour un catastrophisme éclairé : quand l'impossible est certain.** Paris : Seuil (Points) 216p. 978-2-02-06604

Hamy, B. (2012). **Même pas peur des araignées.** Minus Éditions. 22p. 979-10-91757-06-5

Harlen W. (2004). **Enseigner les sciences : comment faire ?** Le Pommier (collection Enseigner), 208p. 978-2-7465-0594-0

Jonas, H. (1990 ; 1e parution 1973). **Le principe responsabilité.** Paris : Les éditions du cerf (collection Passage) 336p. 978-2-204-04160-7

Jonas, H. (1998 ; 1e parution 1993), **Pour une éthique du futur.** Paris : Payot & Rivages (collection Rivages Poche / Petite Bibliothèque, n°235) 116p. 2-7436-0290-2

Lavaud L. (1999). **L'image,** Paris : Flammarion, 247p. 978-2-0812-6537-0

Léna, P. (2006). **Planète Terre : 50 expériences faciles à réaliser.** Albin Michel Jeunesse (collection Encyclopédie Les petits débrouillards) 324p. 978-2-2261719-0-8

Löwy M. (2011). **Écosocialisme : l'alternative radicale à la catastrophe écologique capitaliste.** Mille et une nuits (collection Les petits libres, n°77) 236p. 978-2-75550-617-4

Marchand, P. (1993). **Le ciel par dessus nos têtes, apprendre à regarder la nuit pour découvrir les merveilles du ciel.** Gallimard Jeunesse (collection Les racines du savoir) 48p. 2-07-056830-X

Ruffenach, M., Cariat, T., Mora, V., (2012). **Physique chimie : programme 2012 Tle S.** Bordas, 607p. 978-2-04-732998-6

Sicard, M. (1998). **La fabrique du regard.** Odile Jacob (collection Science humaine) 275p. 978-2738106544

Squarzini, P. (2012). **Saison Brune.** Delcourt. 478p. 978-2-7560-1808-9

Wilgenbus, D. (2008). **Le climat, ma planète… et moi !** Le Pommier (collection La Main à la Pâte), 112p. 978-2746503779

Articles

Fournier, M., Bressoux, P., Troger, V. (04.2008). **Enseigner, l'invention au quotidien.** Sciences Humaines, n°192

Dortier, F. (10.2010). **À quoi pensent les enfants.** Sciences Humaines, n°219S

Fournier, M., Dortier, J.F., Yacine, F., (10.2011). **Pourquoi apprendre ?** Sciences Humaines, n°230S

Fournier, M., Lecompte, J. (04.2009). **École, guide de survie.** Sciences Humaines, n°203

Lhérété, H., Dubet, F., Behrent, M., Meirieu, P., Marcelli, S. (10.2014). **Éduquer au 21e siècle.** Sciences Humaines, n° 263S

Réseau Idée, (06/07/08.2008). **Changements climatiques : spectateurs ou acteurs ?** Symbioses : le magazine de l'Éducation relative à l'Environnement (ErE), n°79, Bruxelles

Musso, A., (15.02.2013). **Peut-on faire confiance à l'expertise scientifique ?** L'Humanité

Ouvrages en ligne

Assemblée Nationale. (02.05.2006). **Rapport d'information : l'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire.** 71p. www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp

Commission Européenne, Rocard, M. (2007). **L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvellée pour l'avenir de l'Europe.** 22p. 978-92-79-05660-4, www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/EIST/PDF/Rapport_Rocard_On_Science_Education_fr.pdf

CRÉDOC, Bigot, R., Daudey, E., Hoibian, S., Habib, M-C., De Mengin, A., (2014). **La curiosité scientifique des français et leur désir de développer leurs connaissances.** 103p. www.credoc.fr/pdf/Rapp/R289.pdf

Dubois, L. (2010) **Enseignement des sciences : entre confusions et clarifications !** http://cms.unige.ch/Ides/?page_id=1042 (consultation : 14.11.2014)

Megalakaki, O. (2009) **Les conceptions naïves : connaissances organisées, bases des changements conceptuels.** In : Megalakaki, O., Psychologie Française, Masson, E. (eds), 8p. www.academia.edu/3162556/Les_conceptions_naives_connaissances_organisees_bases_des_changements_conceptuels

Sagaut, P. (2008-2009). **Introduction à la pensée scientifique moderne.** Paris, 267p. www.lmm.jussieu.fr/~sagaut

Sites internet

Basta ! site français d'information indépendant sur l'activité sociale et environnementale. (depuis décembre 2008) www.bastamag.net

5e rapport du GIEC illustré. (09.13/03.15/04.2014 ; consulation 03.14) www.leclimatchange.fr

Groupement d'Intérêt Scientifique. (CNRS, CEA, UVSG, UPMC, École Polytechnique, ADEME), depuis mars 2007, www.gisclimat.fr

Fondation La Main à la Pâte. www.fondation-lamap.org

Louise Maspero Carel

Mémoire édité à quinze exemplaires dans le cadre
du DSAA Design responsable et éco-conception (spécialité design graphique),
La Souterraine, janvier 2015.
Lycée des métiers du Design et des Arts Appliqués Raymond Loewy, La Souterraine.

Typographie : Libre Caslon Text Beta 34, Pablo Impallari et Bariol, fonderie Atipo.
Papier Antalis : couverture Pop'Set 240g tourterelle, intérieur Cyclus Print 115g.
Imprimeur : Agi Graphic, la Souterraine.

antalis EM
Just ask Antalis*
* Consultez-nous, tout simplement.

Alors que nous sommes face aujourd'hui à un consensus scientifique quant aux menaces liées au réchauffement climatique, nous n'agissons pas, ou pas assez. Les scientifiques sont globalement d'accord pour dire que cela est dû à l'activité humaine. Pourtant, nous ne remettons pas en cause notre mode de vie.

Sans avoir à attendre une réaction des gouvernements, nous devons agir par nous-mêmes, à notre propre échelle. Au-delà de notre incapacité à remettre en cause notre confort de vie, quels obstacles se présentent afin de comprendre le phénomène ? La climatologie est difficile à comprendre, remettant en cause notre perception du monde spatiale et temporelle. De plus, la climatologie est basée sur des prévisions évoluant constamment, nous demandant de faire confiance au scientifique et d'établir un contact particulier avec la science.

Afin d'informer les citoyens dès le plus jeune âge, la sensibilisation ne doit elle pas se faire à l'école ? Nous pouvons alors nous demander comment sensibiliser les enfants au réchauffement climatique dans le cadre de l'apprentissage des sciences, afin de les mobiliser et de les faire agir, en tant que citoyens conscients et responsables. L'enseignement a pour but de faire connaître et diffuser l'état des lieux des connaissances scientifiques, mais aussi de développer une pensée critique et un raisonnement logique. C'est pour que les citoyens puissent être en mesure de faire des choix éclairés que les enfants, futurs citoyens, ne doivent pas seulement être informés mais également sensibilisés.

De ce fait, l'enseignement doit offrir aux enfants un parcours pédagogique fait d'expérimentations, permettant l'appropriation des connaissances, mais aussi la motivation. L'image, par ses qualités subjectives. Elle facilite la compréhension de la pensée scientifique rigoureuse. Comment peut-elle s'assoWcier à l'expérimentation ? La science est universelle, mais l'intervention d'un graphiste, s'imprégnant du sujet dans le cadre d'une collaboration avec le scientifique afin de communiquer efficacement, paraît nécessaire afin que chacun soit informé.