



Changements globaux : de la recherche scientifique à la salle de classe

Une éducation au développement durable fondée sur l'expérimentation scientifique et l'enseignement par projet : ressources, méthodes, résultats et perspectives issus de la collaboration entre chercheurs et enseignants européens



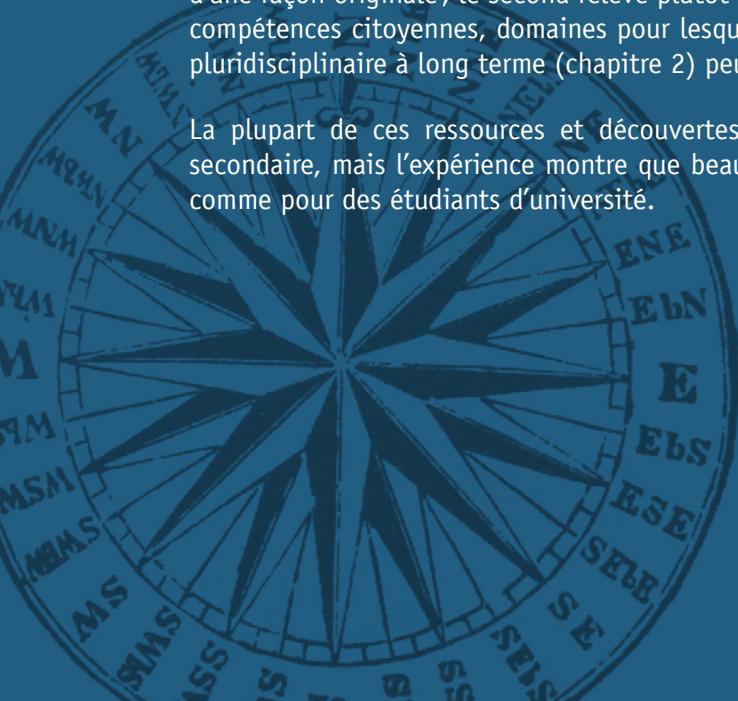
Que trouverez-vous dans cette brochure ?

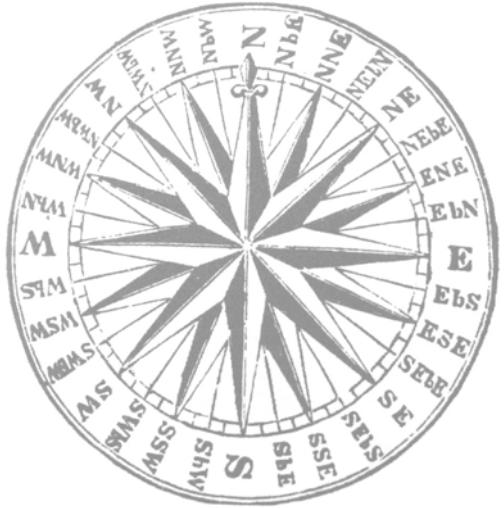
Conçue et écrite par une équipe européenne d'enseignants, de chercheurs et de médiateurs scientifiques, et s'appuyant sur les principaux éléments issus de l'expérience de CarboSchools, cette brochure propose une source d'inspiration aux professeurs souhaitant **intégrer les changements climatiques à leur enseignement** :

- le premier chapitre affirme le rôle crucial de l'éducation pour répondre à la crise climatique et souligne l'urgence de **faire passer l'éducation au développement durable de la périphérie au centre des systèmes éducatifs** et programmes scolaires dans le monde entier ;
- le chapitre 2 propose des pistes pratiques et des exemples pour **concevoir et mettre en œuvre un projet éducatif sur le sujet** : comment organiser les groupes d'élèves, comment construire un ensemble cohérent d'activités autour d'une problématique commune débouchant sur une production finale, etc. ;
- le chapitre 3 fournit des conseils pratiques et des études de cas sur la spécificité fondamentale de CarboSchools : comment mettre en place un **partenariat entre établissements scolaires et institutions de recherche**, et pourquoi le faire ?
- le chapitre 4 offre des **exemples d'expériences** illustrant le cycle du carbone dans l'atmosphère, les sols et les océans, en introduction à la bibliothèque en ligne de CarboSchools où plus de vingt-cinq expériences et activités de terrain ont été décrites et testées par des professeurs et des scientifiques ;
- le chapitre 5 présente les résultats d'une **évaluation approfondie** réalisée auprès des participants aux projets pour mesurer le succès des activités et leur impact éducatif.

Cette structure reflète le double défi auquel est confronté l'éducateur souhaitant aborder les changements climatiques : comment enseigner les faits scientifiques d'une manière efficace et motivante – par la démarche d'investigation – tout en examinant pleinement leurs implications pour la société – c'est-à-dire comment résoudre le problème climatique et s'engager dans un véritable développement durable. Le premier défi consiste essentiellement à acquérir des connaissances, et les expériences (chapitre 4) et les partenariats scientifiques-professeurs (chapitre 3) y contribuent d'une façon originale ; le second relève plutôt d'un travail sur les valeurs, les représentations et les compétences citoyennes, domaines pour lesquels le fait d'agir dans le cadre plus large d'un projet pluridisciplinaire à long terme (chapitre 2) peut faire toute la différence.

La plupart de ces ressources et découvertes résultent d'activités menées dans des classes du secondaire, mais l'expérience montre que beaucoup peuvent convenir pour des élèves plus jeunes comme pour des étudiants d'université.





Changements globaux : de la recherche scientifique à la salle de classe

Une éducation au développement durable fondée sur
l'expérimentation scientifique et l'enseignement par projet :
ressources, méthodes, résultats et perspectives issus de
la collaboration entre chercheurs et enseignants européens



www.carboschools.org



CarboSchools est financé par le VII^e Programme-cadre de recherche et développement (Science dans la société) de l'Union européenne et associé aux projets européens de recherche liés au cycle du carbone : CarboEurope et CarboOcean dans le cadre du FP6 (2004-2009), EPOCA et GHG-Europe dans le cadre du FP7 (2008-2013)

Les changements climatiques constituent des défis et des opportunités économiques, sociaux et environnementaux. Les citoyens qui ont une compréhension des sciences des climats sont mieux préparés à y répondre et mieux armés pour prendre part au débat public sur le sujet. Forts de leurs connaissances et conscients des enjeux, ils prendront dans leur vie personnelle et professionnelle des décisions qui contribueront davantage aux stratégies de lutte contre les changements climatiques.

La recherche sur le climat est la source primordiale des connaissances et des informations – le contenu – que l'éducation aux changements climatiques cherche à transmettre. Il est important que le contenu des programmes et les processus de formation reposent sur des bases fiables.

Initié par des scientifiques et des éducateurs européens, le programme CarboSchools est une tentative unique de faire entrer en classe une science des climats à la fois directement reliée à la recherche sur le terrain et inscrite dans la perspective plus large de construire des sociétés durables. Un large éventail de méthodes et de ressources ont été testées et sont maintenant disponibles pour les professeurs souhaitant consolider leur approche de ces sujets vitaux.

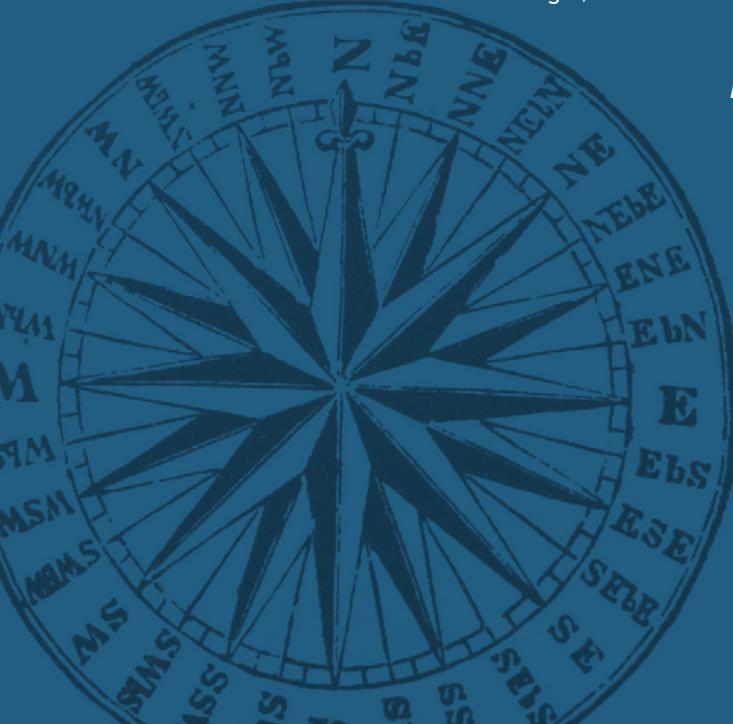
L'éducation aux changements climatiques peut contribuer à la pertinence et à la qualité de l'enseignement des sciences. L'évaluation PISA 2006 sur les connaissances scientifiques des élèves de 15 ans a conclu que bonnes performances en sciences et conscience des problèmes environnementaux globaux ont tendance à aller de pair, et que ces deux éléments sont associés à un sens des responsabilités conduisant vers la gestion environnementale durable.

En tant qu'organisation chef de file de la Décennie des Nations unies pour l'éducation au développement durable (DEDD 2005-2014), l'UNESCO soutient les efforts en faveur de l'éducation et de la sensibilisation sur la question contemporaine la plus pressante : le développement durable. Bien que les sciences des climats soient un élément crucial de l'éducation aux changements climatiques, elles doivent être complétées par l'enseignement des dimensions sociales et économiques de ces phénomènes.

Je suis convaincu que cette publication aidera à mettre en valeur l'éducation aux changements climatiques et encouragera les professeurs à établir des partenariats avec des scientifiques et des chercheurs. L'éducation est la clé pour sensibiliser les jeunes, développer leur capacité à s'adapter à des climats en train de changer, et transformer les comportements non durables.

Mark Richmond

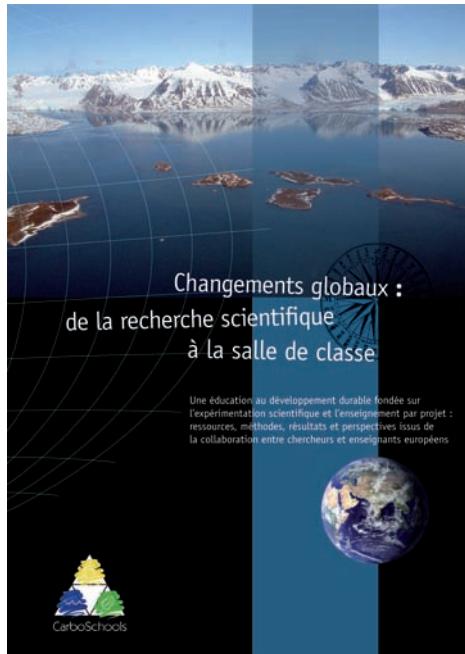
Directeur de la Division de la coordination des priorités des Nations unies en matière d'éducation, UNESCO



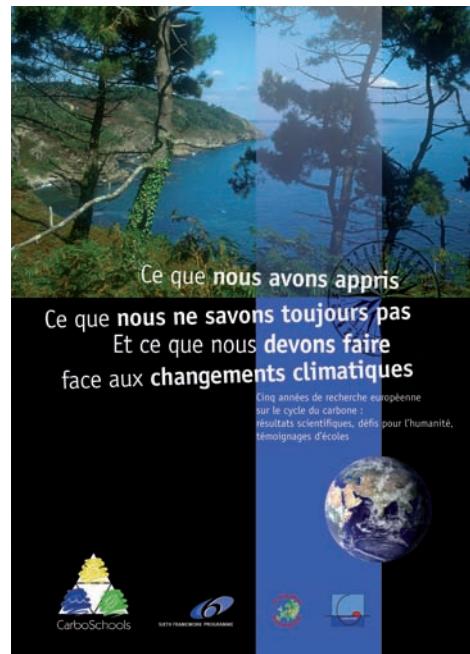
Sommaire



Chapitre 1 Enseigner les changements globaux : de l'incertitude et l'impuissance à la pensée critique et l'action	7
Le défi pour la société : parvenir à un développement durable	7
Le défi pour l'éducation : de la compréhension à l'action	8
L'EDD au cœur des systèmes éducatifs – maintenant!	9
Chapitre 2 Idées de projets et méthodologie	13
La phase de préparation	13
Commencer	16
Évaluation	17
> Cas pratique n° 1 : Intégrer un projet pluridisciplinaire sur les changements climatiques dans le cursus scolaire (Lycée Max Linder, Libourne, France)	18
> Cas pratique n° 2 : La recette du succès pour l'organisation et le travail en groupes (Lycée Max Linder, Libourne, France)	20
> Cas pratique n° 3 : Enseigner les changements climatiques en réalisant un portfolio (Isarnho-Schule Gymnasium, Kiel, Allemagne)	22
Chapitre 3 La coopération entre établissements scolaires et recherche	27
Avantages de la coopération	27
Obstacles à la coopération	28
Au-delà de l'excursion	28
Prendre l'initiative	29
Éviter les embûches	30
Les choses deviennent sérieuses	33
Finalement...	33
Quelques exemples de coopérations	35
Chapitre 4 Expériences – Un rapide aperçu de la bibliothèque CarboSchools	39
Atmosphère : comment la température globale est-elle régulée ?	40
Hydrosphère : interaction à l'interface air-eau	43
Lithosphère : le sol respire	45
La bibliothèque CarboSchools	49
Suggestions pour les professeurs	52
Chapitre 5 «J'ai tout aimé!» Comment les élèves évaluent CarboSchools et quel a été l'impact des projets sur eux	57
Des projets CarboSchools variés	58
Des élèves très positifs à propos de CarboSchools	58
CarboSchools a réveillé l'enthousiasme des filles	61
Portée de nos résultats d'évaluation	61
Attitudes envers la science et choix de carrière	61
Effets de CarboSchools sur les attitudes envers la science des élèves	63
Pourquoi les attitudes déclinent-elles alors que les opinions sont positives ?	64
Idées des élèves sur l'environnement et les changements climatiques	64
Qu'avons-nous appris ?	66



(disponible en hollandais, anglais, français, allemand et norvégien) donne un aperçu des questions auxquelles les chercheurs sont confrontés pour comprendre le fonctionnement climatique terrestre et les différentes perturbations provoquées par l'activité humaine. Cette brochure explique comment les scientifiques collectent et exploitent des données issues d'observations, d'expérimentations et de modèles, notamment dans le cadre de grands projets de recherche européens comme CarboEurope et CarboOcean. Elle donne à voir la façon dont la recherche scientifique construit pas à pas de nouvelles connaissances.



(disponible en anglais, français et italien) résume les avancées faites ces cinq dernières années par la recherche européenne sur le cycle du carbone sur terre et sur mer, et brosse le tableau des perturbations de ce cycle. Ce livret donne un aperçu des changements à grande échelle que la société doit mettre en œuvre pour parvenir à un développement durable – où l'atmosphère cesserait d'être une énorme poubelle pour nos rejets de CO₂ – et détaille comment les scientifiques, les établissements scolaires et les individus peuvent y contribuer. Le livret présente aussi 7 exemples de projets pédagogiques développés dans des collèges et lycées de différents pays.



Chapitre 1

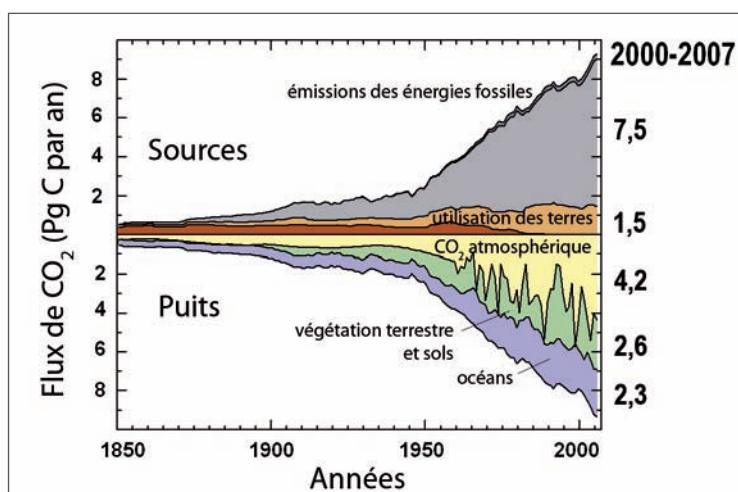
Enseigner les changements globaux : de l'incertitude et l'impuissance à la pensée critique et l'action

Par Philippe Saugier, coordinateur CarboSchools
Max-Planck-Institut für Biogeochemie (Institut Max-Planck de biogéochimie), Iéna, Allemagne

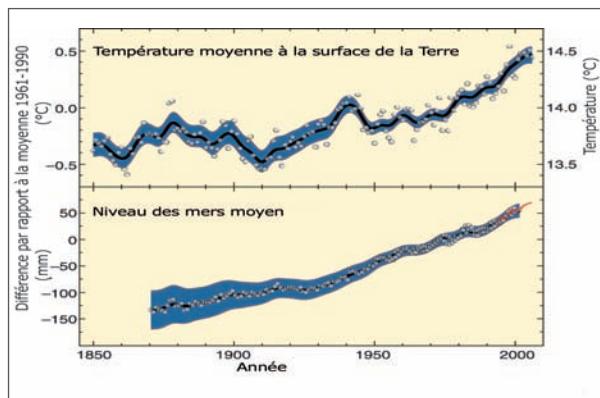
Les changements climatiques sont la manifestation la plus flagrante du déséquilibre affectant les relations que les hommes entretiennent avec leurs semblables comme avec leur environnement, et l'une des plus graves menaces qui pèsent sur la poursuite de l'aventure humaine sur terre. Ce n'est pas la planète qui est en danger – quoi que l'on fasse, elle retrouvera un équilibre – mais les conditions permettant à des milliards d'êtres humains de cohabiter pacifiquement. Un formidable effort d'éducation est nécessaire pour faire comprendre les enjeux de cette crise planétaire sans précédent, changer les mentalités et in fine rétablir l'équilibre.

Le défi pour la société : parvenir à un développement durable

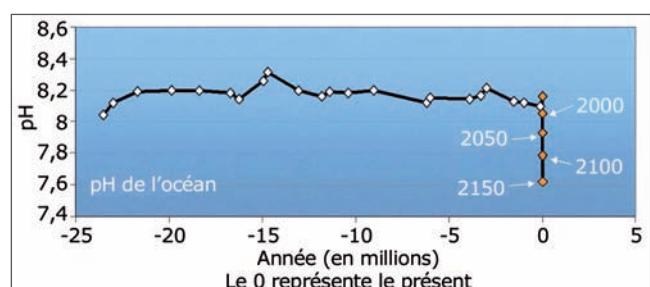
En 2010, la croissance économique mondiale reste massivement non durable. Les émissions de CO₂ résultant de la combustion des énergies fossiles et de la déforestation continuent à augmenter de façon exponentielle, présentant un défi toujours plus grand aux générations futures pour garantir leurs conditions de vie : dans l'atmosphère, ce CO₂ rajouté accentue l'effet de serre et change les



Depuis 1800, en brûlant des énergies fossiles et en coupant les forêts nous avons rejeté plus de 400 milliards de tonnes de carbone – la moitié dans les 30 dernières années seulement (partie supérieure du graphique). Ce CO₂ supplémentaire s'accumule dans l'atmosphère, la végétation et les océans (partie inférieure du graphique). (Global Carbon Project, 2008)



Dans l'atmosphère, cela change les climats et produit une augmentation de la température, qui entraîne l'élévation du niveau des mers et des changements dans les régimes de précipitations. (IPCC AR4, 2007)



Dans les océans, le CO₂ acidifie l'eau à une vitesse et à un degré qui n'ont pas été connus par les organismes marins depuis au moins 20 millions d'années. (Turley et al. 2006; Blackford & Gilbert 2007)

climats, réduisant la biodiversité et menaçant des milliards d'êtres humains que l'élévation du niveau de la mer et les modifications du régime des précipitations, combinées à l'accroissement de la population, risquent de contraindre à migrer ou à se battre pour l'eau, la terre ou le logement. Dans les océans, le CO₂ acidifie l'eau et menace la vie marine, risquant d'affecter toute la chaîne alimentaire – tout cela à un niveau et à une vitesse sans précédent.

Inverser des tendances si lourdes n'est ni une affaire d'ajustements mineurs ni un retour vers «l'âge de pierre», mais un changement de paradigme et de culture, une redéfinition complète de nos moyens de production et de consommation et de nos styles de vie. *In fine, un monde durable signifie un monde «zéro émission»*, où les ressources non renouvelables (charbon, pétrole...) ont été remplacées par des ressources renouvelables et où tous les déchets sont recyclés. L'objectif actuel de l'Union européenne (et de plusieurs autres groupes) dans les négociations internationales sur les climats est de «rester au-dessous de la limite de 2 degrés Celsius» – un niveau proposé comme un maximum qui nous éviterait «des changements climatiques dangereux». Les projections des modèles mathématiques montrent que cet objectif implique de réduire d'ici 2050 les émissions mondiales des gaz à effets de serre de moitié par rapport à leur niveau de 1990. Soit, pour une population mondiale de 9 milliards d'habitants (estimation pour 2050), des **émissions annuelles par habitant de l'ordre de 2 tonnes équivalent CO₂**, alors qu'un individu émet actuellement plus de 25 tonnes par an aux États-Unis et 10 tonnes par an en Europe¹.

En d'autres termes, **des changements drastiques sont nécessaires, d'abord et avant tout dans les pays industrialisés, mais n'ont pas encore eu lieu**. La question n'est plus de savoir s'il faut réduire nos émissions, mais comment et à quel rythme le faire, et s'il vaut mieux prendre l'initiative maintenant ou attendre que des catastrophes ou des conflits nous poussent à le faire à un prix bien plus élevé.

Le défi pour l'éducation : de la compréhension à l'action

Les émissions ne diminueront certainement pas avant que des accords internationaux ne débouchent sur des politiques mondiales ambitieuses combinant mesures incitatives (taxes) et contraintes (lois) à un niveau mondial. Mais pendant que les gouvernements négocient, chacun de nous peut agir immédiatement, et l'école est sans conteste un des meilleurs moyens de toucher les familles et les jeunes. L'engagement des individus est crucial pour faire changer les comportements, pousser les institutions à évoluer, et inciter les industries et la société à se transformer.

L'un des plus grands défis pour l'école du xx^e siècle est donc de donner aux futurs citoyens non seulement le bagage scientifique nécessaire à une compréhension rationnelle des changements globaux, mais aussi les nouvelles façons de penser et les nouvelles compétences nécessaires pour parvenir au développement durable et s'adapter aux changements déjà en cours.

De ce fait l'éducation aux changements climatiques – qui n'est autre qu'une éducation au développement durable – devrait idéalement s'articuler autour de trois piliers :

- 1) **connaissances** : comprendre les faits, l'importance du défi, les conséquences potentielles, les solutions disponibles et les stratégies de gouvernance pouvant mener à un développement durable. Cela requiert une approche interdisciplinaire de l'enseignement des sciences et une pédagogie attachée à rendre leur apprentissage plus motivant, plus concret, plus expérimental et davantage en lien avec les enjeux de la société ;
- 2) **valeurs et représentations** : forger une citoyenneté planétaire et le sentiment d'appartenir à une même humanité sur une Terre unique. Comprendre que la nature et la planète ne sont pas seules en jeu, mais les conditions permettant la cohabitation pacifique de milliards d'êtres humains. Réfléchir à la responsabilité historique des pays industriels, aux questions éthiques soulevées dans les pays en développement, aux différents sens et implications de la notion de croissance ;
- 3) **compétences citoyennes** : créer des situations dans lesquelles les élèves font l'expérience du processus démocratique d'imaginer, débattre, mettre en place et évaluer des changements concrets aux niveaux individuel et collectif. Donner aux élèves une expérience positive de ce type est d'une valeur inestimable pour leur rôle futur de membres actifs de la société.

1 – Plus d'informations sur les faits et solutions concernant les changements climatiques sont disponibles sur Internet – ou dans les deux premières brochures de CarboSchools.

Climato-scepticisme : développer l'esprit critique

Le climato-scepticisme est inquiétant, surtout quand les médias lui donnent un poids excessif pour faire monter l'audience et augmentent ainsi la confusion du public sur l'étendue des incertitudes. Mais il peut aussi se révéler très intéressant à des fins éducatives ! L'éducation ne vise en aucun cas à dire aux gens ce qu'ils doivent penser et faire, mais à leur donner les moyens et les connaissances pour développer leur propre pensée, forger leurs opinions et décider de leurs choix. Analyser différents points de vue sur la responsabilité humaine dans la crise climatique et les discuter (par exemple par des jeux de rôles) peut être à cet égard extrêmement instructif.

En lisant des articles controversés, certains élèves peuvent facilement être induits en erreur par des titres accrocheurs comme «Le GIEC* avait tort». Les professeurs ont un rôle

crucial à jouer pour les aider dans leur réflexion sur les rapports entre science et politique. Le GIEC n'a ni raison ni tort, il produit simplement des synthèses régulières de ce que la science a trouvé – et par nature, la science n'a jamais raison ! La science essaie seulement de décrire et d'interpréter ce que nous voyons et ce qui se cache derrière. Chaque jour, de nouvelles découvertes soulèvent de nouvelles questions, qui parfois sèment le doute sur ce que l'on croyait savoir. C'est pourquoi il est important d'apprendre aux élèves que l'essentiel n'est pas tant de discuter de la «véracité» d'une affirmation scientifique que d'en examiner la fiabilité, le contexte et les hypothèses sous-jacentes.

* Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat : la principale source d'informations scientifiques des gouvernements et décideurs mondiaux.

Savoir ne suffit pas !

On pourrait penser que si les gens savent combien le CO₂ est polluant et nocif, ils changeront leur comportement. Mais les choses sont plus compliquées que cela : la connaissance des risques influe peu sur les choix personnels et les styles de vie (ainsi, savoir que le tabac tue est loin de suffire à empêcher les gens de fumer). Alors que les courbes sont toujours exponentielles, apprendre les faits sur les changements climatiques peut être très anxiogène pour les enfants et les adolescents, à l'âge où ils construisent leur vision de l'avenir et se positionnent quant à leur rôle dans la société et à l'engagement collectif. La question centrale «Que peut-on faire?» peut

mener à un sentiment d'impuissance ou même de culpabilité, puis à l'immobilisme.

Éviter une telle séquence est bien sûr l'une des priorités fondamentales des éducateurs quand ils abordent les changements climatiques. Nous avons besoin que les enfants quittent l'école en étant non seulement instruits du problème, mais aussi décidés à rechercher de nouvelles solutions, et confiants et préparés pour y parvenir. **L'éducation aux changements climatiques doit avoir pour objectif de faire passer les élèves du stade de la prise de conscience à celui de la compréhension puis de l'action.**

Les deux derniers piliers constituent un défi d'autant plus grand pour l'école qu'elle est traditionnellement moins préparée (avec certes des nuances selon les pays) à travailler sur les valeurs, les comportements et les compétences qu'à transmettre des connaissances. Les contraintes des programmes, des emplois du temps et des disciplines sont de gros obstacles à ce type d'approche dans la plupart des systèmes scolaires : l'enjeu n'est pas seulement d'intégrer de nouveaux contenus dans les enseignements, mais aussi d'engager des transformations culturelles et structurelles en profondeur.

L'EDD au cœur des systèmes éducatifs – maintenant !

Les systèmes éducatifs du monde entier sont ainsi face à ce formidable défi : préparer les générations futures à transformer nos sociétés pour que ce monde massivement dépendant du carbone et générateur de déchets devienne un monde véritablement durable, qui ne compromette plus la capacité des générations suivantes à vivre ensemble et à subvenir à leurs besoins.

C'est là la mission centrale de l'éducation au développement durable (EDD), qui repose largement sur l'expérience accumulée depuis les années 1970 par l'éducation à l'environnement mais aussi sur d'autres courants historiques d'innovation pédagogique comme l'éducation à la paix, à la santé, au développement, etc., afin de prendre en compte tous les aspects de la «durabilité».

Toutefois, malgré d'énormes progrès, l'EDD reste souvent perçue comme une activité annexe entre les mains de quelques professeurs passionnés, très souvent en dehors des heures scolaires. **Il est grand temps de mettre l'EDD au cœur de l'éducation formelle**, à l'heure où les courbes du changement climatique montrent à quel point nous nous éloignons chaque jour davantage du développement durable.

La Conférence mondiale sur l'éducation au développement durable : vers un « GIEC de l'EDD » ?

L'importance primordiale de l'EDD a été rappelée par la Conférence mondiale des Nations unies sur l'éducation en vue du développement durable qui s'est tenue à Bonn (Allemagne) en 2009* : les participants à l'atelier consacré aux changements climatiques ont insisté sur la nécessité d'investir à grande échelle pour une éducation « transformatrice », fondée sur le développement de l'esprit critique et la participation des élèves, formant des citoyens capables de passer de l'apprentissage des faits à l'action, et cela non plus aux marges mais au centre des pratiques scolaires quotidiennes partout dans le monde. Les intervenants ont aussi pointé l'absence de l'éducation dans l'agenda des négociations internationales sur le climat et exhorté l'UNESCO à donner la priorité au développement d'une stratégie globale pour l'EDD.

Ils ont notamment mis en avant que :

- le cadre conceptuel de l'EDD est posé et « nous devons maintenant mettre cette connaissance en action »;

- malgré d'énormes progrès dans de nombreux pays, l'EDD est encore à ses débuts ;
- l'EDD confronte souvent les élèves aux contradictions entre les valeurs et connaissances et la réalité quotidienne ;
- le développement de l'EDD requiert des investissements massifs en personnels et en bâtiments pour lesquels il n'existe jusqu'à maintenant aucun instrument de financement à grande échelle.

De cette conférence est née l'idée prospective d'un « Groupe d'experts intergouvernemental sur l'EDD » – un pendant éducatif du GIEC –, qui serait destiné à accélérer la formation des futurs citoyens à la durabilité partout dans le monde, en mettant en place les moyens nécessaires pour la recherche et la formation et les instruments de financement correspondants au niveau national et international (par exemple en affectant à l'EDD une partie des revenus escomptés de futures taxations et ventes de quotas de carbone).

* Voir la déclaration de Bonn : http://www.esd-world-conference-2009.org/fileadmin/download/ESD2009_BonnDeclaration080409.pdf.

Les changements climatiques sont l'un des problèmes les plus touffus que l'homme ait jamais rencontré : pas de certitudes sur les conséquences des décisions que l'on prend (ou pas) aujourd'hui ; pas de solution connue n'attendant qu'à être mise en œuvre ; pas d'autorité en place qui puisse prendre les rênes et dire aux gens ce qu'ils doivent faire. Dans le même temps, c'est aussi une opportunité sans précédent de dépasser les intérêts individuels, nationaux et économiques et de construire les mécanismes de solidarité et de gouvernance mondiale dont l'humanité a besoin non seulement pour préserver l'environnement dont elle dépend, mais aussi pour contenir sa violence et la domination des intérêts privés. Le chemin sera long et chaotique, mais tôt ou tard les impératifs de survie nous contraindront à trouver les nouvelles formes de régulation planétaire capables de rétablir l'équilibre.

Au-delà de la compréhension scientifique, sortir de l'impasse climatique est ainsi avant tout une question de gouvernance mondiale – et nous ne bâtirons pas une véritable gouvernance mondiale sans citoyenneté planétaire. Dans un pays comme la France, l'éducation a construit la conscience nationale aux XIX^e et XX^e siècles. Elle doit maintenant forger notre conscience planétaire et notre identité d'habitants responsables de la Terre. Au XXI^e siècle, les fondamentaux à l'école sont désormais lire, écrire et compter... et aussi vivre en paix parmi 9 milliards d'hommes sur une seule et fragile planète.

La contribution de CarboSchools

CarboSchools est une goutte d'eau dans l'océan d'initiatives qui tentent d'élever l'EDD à l'échelle du défi climatique. Ce programme a commencé en mars 2005 avec un appel lancé par un groupe de scientifiques et d'éducateurs réunis à Sainte-Croix (France) par CarboEurope et CarboOcean, deux grands projets européens de recherche sur le cycle du carbone respectivement sur terre et sur mer, qui considéraient « qu'ils avaient non seulement le devoir contractuel, mais aussi l'obligation morale d'apporter les résultats de leurs travaux en contribution à la discussion publique sur les changements globaux ».

À la suite de cet appel, un nombre croissant de projets éducatifs ont fleuri au sein d'une partie des quelque cent instituts de recherche impliqués, et ils ont inspiré des présentations très remarquées lors de réunions scientifiques annuelles. En 2007, un concept testé sur le terrain, un premier ensemble de ressources et un réseau humain enthousiaste ont servi de support pour soumettre une proposition plus ambitieuse au programme Science dans la société de l'Union européenne. De 2008 à 2010, neuf instituts se sont joints à cette initiative pour « rendre l'enseignement des sciences

plus attrayant et mobilisateur pour les jeunes générations qui seront les travailleurs, consommateurs et citoyens de demain»; ils répondent ainsi également à la désaffection croissante des étudiants pour les filières scientifiques. Ce livret est la publication finale de ce cycle d'activités.

Le principe de CarboSchools est de promouvoir des partenariats directs entre les professeurs du secondaire et les scientifiques travaillant sur les changements globaux pour que les élèves acquièrent des connaissances sur les changements climatiques, fassent l'expérience de la recherche et agissent localement pour réduire les émissions des gaz à effet de serre. Les deux principaux objectifs sont *a*) de stimuler l'intérêt des élèves pour la science et les études scientifiques et *b*) de les doter d'une bonne compréhension de ce défi scientifique majeur et de ses enjeux sociaux.

Ce type de partenariats permet d'impliquer les élèves dans un processus de plusieurs semaines, mois, voire années, fondé sur une relation directe entre les chercheurs et les professeurs, et leur donnent l'occasion de faire une expérience concrète de la recherche. Il ne s'agit plus seulement ici d'informer ni de transmettre des connaissances, mais d'encourager le questionnement des jeunes et de nourrir leur désir de comprendre et leur volonté de construire un futur dans lequel nous parviendrons à répondre au défi du changement global – dans une tentative de combiner les trois piliers de l'éducation aux changements climatiques évoqués plus haut.

Ces partenariats peuvent comporter différentes activités comme des expériences en temps réel (en laboratoire, sur le terrain ou en classe), des visites de sites, des conférences, des débats, l'accès à des résultats de recherche, des échanges par mail, etc. Une production finale – article, exposition, conférence, page Web, résultats de mesures et leur interprétation – conclut le travail des élèves par le partage de leurs découvertes avec une audience plus large (parents, amis, communauté locale, ville...).

Ainsi, alors que de nombreux projets éducatifs sur les changements climatiques sont essentiellement fondés sur la transmission d'informations, CarboSchools s'appuie avant tout sur le contact humain et replace les questions scientifiques dans leur contexte social et citoyen. Les jeunes sont submergés d'informations sur les changements climatiques, mais on ne leur offre pas si souvent l'opportunité de mener à l'école des activités qui les mettent en relation directe avec les spécialistes de ces sujets à la fois passionnants et terriblement préoccupants, illustrant de première main les incertitudes de la science.

La science à l'école est souvent décrite comme ennuyeuse, théorique, déconnectée non seulement des questions sociales et de la vie réelle mais aussi de la science authentique. À l'inverse, la recherche sur les changements climatiques est très internationale, systémique, interdisciplinaire et pleine d'inconnues étudiées par des gens passionnés dans des régions souvent lointaines et exotiques; elle influence de plus en plus les décisions prises à tous les niveaux économiques et politiques, et a un impact direct sur la vie quotidienne de chacun; elle est exceptionnellement populaire dans les médias. Face à ce constat, CarboSchools tente d'intégrer dans l'enseignement scolaire un apprentissage scientifique concret reposant sur :

- le questionnement et l'expérimentation plus que la simple transmission de connaissances,
- l'étude d'une question complexe qui concerne toute la société,
- le développement de contacts personnels étroits avec des chercheurs pour découvrir comment ils travaillent, sortir des stéréotypes et voir les scientifiques comme des gens ordinaires.

Les institutions qui ont développé CarboSchools étant spécialisées en géosciences, les sujets couverts ont le plus souvent



À Iéna, printemps 2010, les élèves présentent leur action de sensibilisation (street art) à la presse locale.

à voir avec la compréhension des éléments et des mécanismes du système climatique. Hormis en géo-ingénierie, les instituts de géosciences n'étudient pas ce qui touche à la prévention ou à la lutte contre les changements climatiques, ce qui explique que la plupart des ressources et activités développées dans le cadre de CarboSchools ne traitent pas ces aspects. Quoi qu'il en soit, étant donné la persistance de la controverse sur la réalité des changements climatiques, un de nos objectifs était de doter les élèves de faits et d'idées claires pour qu'ils puissent prendre part à ce débat.

Ce que le projet transmet à la communauté enseignante

Grâce aux encouragements et à l'appui sans faille des coordinateurs régionaux de CarboSchools recrutés dans chacun des neufs instituts partenaires, un total de quelque 2 500 élèves, 230 professeurs et 220 scientifiques ont participé à cette expérience entre 2008 et 2010, dans le cadre de projets présentant une grande variété d'approches et un large éventail de sujets, d'âges et de durées. La vitalité du projet a atteint son apogée lors d'un festival des sciences sur les changements globaux qui a réuni en avril 2010 plus de 100 élèves, professeurs et scientifiques venus d'écoles de toute l'Europe. Expériences, posters, films, présentations et pièces de théâtre ont envahi le hall de l'institut Max-Planck de biogéochimie à Iéna (Allemagne), dans une incroyable atmosphère de partage d'idées et de projets. La mise en réseau et la formation des enseignants s'est avérée un facteur essentiel de succès ; à chaque étape, les enseignants ont participé aux réunions de projet au niveau tant local qu'européen, créant une communauté de pratique et une plateforme de coopération sans laquelle le projet n'aurait jamais atteint une telle ampleur.

Tous ces projets ont constitué un laboratoire pédagogique probablement sans précédent, renforcé par la coopération permanente entre les différents partenaires européens : des outils et des méthodes innovantes y ont été testés et systématisés, et ils sont désormais disponibles pour de nombreux établissements au-delà du noyau initial de participants. Ces ressources sont toutes en accès libre dans la bibliothèque en ligne du site Web de CarboSchools (www.carboschools.org). La présente brochure tente d'illustrer leur valeur, leur intérêt et leur contexte, dans l'espérance qu'elles seront largement utilisées, traduites et complétées.

CarboSchools en un clin d'œil

CarboSchools a été initié par CarboEurope et CarboOcean, deux projets de recherche européens majeurs sur le cycle du carbone, puis rejoint par EPOCA, qui étudie l'acidification des océans, et plus récemment par GHG-Europe, qui analyse le bilan des gaz à effet de serre sur le continent européen.

Phase pilote : 2004-2008

- ~ 90 k€ financés par CarboEurope et CarboOcean + ~ 260 k€ financés par Socrates/Comenius pour un projet de formation des professeurs coordonné par l'Institut für Bildungswissenschaft (Institut des sciences de l'éducation) de l'université de Heidelberg
- plusieurs projets de partenariat actifs au Danemark, en Finlande,

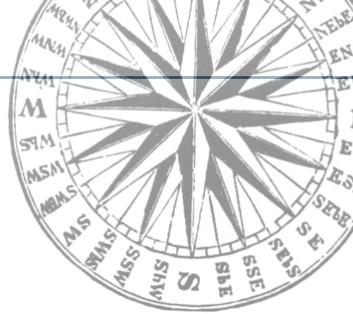
France, Allemagne, Hollande, Italie, Norvège, Pologne, Espagne et Suède

- principales productions : un premier site Web, deux brochures en différentes langues, un guide du partenariat chercheurs-professeurs en versions courte et longue.

Phase de développement :

2008-2010

- 980 k€ financés par le programme Science dans la société de l'Union européenne
- 2 500 élèves, 230 enseignants et 220 scientifiques directement impliqués dans des projets de partenariat
- des coordinateurs régionaux dans 9 instituts pour accompagner les professeurs et les scientifiques enga-
- gés dans les projets (en France, Allemagne, Italie, dans les Pays-Bas, en Norvège, en Espagne, au Royaume-Uni, plus un partenaire associé en Roumanie)
- une coopération intensive entre les projets régionaux par des réunions de projet, des conférences téléphoniques et des communications régulières
- le projet « SchoolCO2web » de mesure du CO₂ atmosphérique rassemblant des données de capteurs de CO₂ et de stations météo installés dans les établissements scolaires
- l'évaluation par des chercheurs en sciences de l'éducation de l'impact des projets sur les élèves
- un nouveau site Web présentant toutes les expériences pratiques et les activités des projets.



Chapitre 2

Idées de projets et méthodologie

Par Vibeke Birkmann
Greve Gymnasium, Danemark

L'un des objectifs de l'enseignement des sciences est de donner aux élèves une compréhension du monde complexe dans lequel nous vivons et d'augmenter leurs compétences pour agir en tant que citoyens d'un monde globalisé. Pour saisir les différents aspects des changements climatiques les élèves doivent réaliser que les phénomènes scientifiques interagissent étroitement avec les intérêts de la société, et pour étudier ces changements ils doivent utiliser des méthodes et des théories issues à la fois des sciences naturelles et des sciences humaines et sociales. Cet enseignement doit aussi permettre aux élèves de penser de manière responsable les défis posés par les changements climatiques, qu'ils relèvent de causes anthropiques ou naturelles.

Ce chapitre fournit des suggestions sur la manière d'utiliser des projets interdisciplinaires pour enseigner les questions liées aux changements climatiques et au développement durable. Il explique à grands traits comment les projets peuvent être proposés, complétés et évalués, en insistant sur les projets pluridisciplinaires.

La phase de préparation

Combien de disciplines impliquer ?

Selon l'âge des élèves et les sujets étudiés, vous pouvez choisir deux ou trois disciplines pour structurer votre projet. Cependant, ayez conscience qu'il n'est pas toujours facile de trouver le temps pour préparer quelque chose à plusieurs professeurs. Si vous avez de jeunes élèves, il est plus prudent de limiter le projet à une matière dans un premier temps, pour que les élèves s'adaptent à cette façon de travailler; mais dès que ces méthodes leur semblent familières, vous pouvez introduire le travail pluridisciplinaire.

Quelles disciplines choisir ?

Bien sûr, l'association des disciplines dépend des programmes locaux, mais en général l'étude des climats se prête bien aux combinaisons suivantes : biologie, mathématiques et sciences sociales ; géographie, économie et langue maternelle ; ou encore physique, chimie et histoire. Si le projet a un aspect international, on peut inclure une langue étrangère ce qui constitue une occasion de développer par une pratique concrète les aptitudes des élèves (sur ce point, voir l'exemple du lycée Max Linder en France, cas pratique n° 1).

Comment choisir le thème du projet ?

Il est important d'impliquer les élèves autant que possible à chaque étape du projet, y compris lors de sa préparation, afin qu'ils se l'approprient et se sentent responsables de ce qui sera fait. Dans le cadre des thèmes au programme, des étudiants de 16-18 ans sont capables de soulever eux-mêmes les problèmes précis sur lesquels ils souhaitent travailler. Pour les élèves plus jeunes, les professeurs devront suggérer quel sujet d'actualité aborder.

Quelles préparations sont nécessaires ?

Avant la phase de projet proprement dite, il peut être nécessaire d'apporter un socle de connaissances afin que les élèves puissent communiquer entre eux aussi bien qu'avec les scientifiques, les décideurs, les agriculteurs et autres conseillers de façon informée. Des leçons en classe à partir d'ouvrages ou de recherches Internet permettent de construire très facilement ce savoir commun.

Mettre en place une plateforme commune ou un wiki – par exemple sur l'intranet de l'établissement – pour sauver tous les documents peut se révéler un gain de temps considérable tout en permettant au professeur de suivre le travail des élèves.

Les professeurs peuvent avoir l'impression que cette phase de préparation pré-projet prend beaucoup de temps car, surtout avec de jeunes élèves, tout doit être pensé, les voyages sur le terrain planifiés à l'avance, etc. Mais, une fois le projet commencé, tout aura déjà été fait lors de cette étape très intensive et les choses seront plus calmes. Les enseignants qui travaillent avec des élèves plus mûrs ayant déjà l'expérience de ce type de projets pourront faire le pari de les laisser établir leur propre planning et prendre leurs rendez-vous avec les scientifiques et les autres partenaires.

L'habitude qu'ont de nombreux professeurs de travailler seuls – un professeur, une classe, une matière – est aussi importante à prendre en compte. Même s'ils ne sont pas accrochés à leurs prérogatives, de nombreux enseignants ont coutume d'être entièrement responsables du résultat des activités menées en classe et il peut être difficile pour eux d'abandonner cette responsabilité sans bien savoir ce que sera le résultat final. Les établissements qui veulent encourager le travail sur projets et n'en ont pas encore fait l'expérience doivent veiller à prévoir les ressources nécessaires pour qu'il y ait assez de temps pour préparer et évaluer les projets. Quoi qu'il en soit, pensez à rester simple au début. Deux matières concernées, la visite d'un site de recherche et un simple rapport de la part des étudiants constituent un bon début. Si le projet met trop de monde à contribution, les élèves comme les professeurs risquent de perdre de vue son idée générale et son objectif.

Combien de temps doit durer un projet ?

Cela dépend de plusieurs facteurs comme l'âge des élèves, le nombre de matières concernées, le programme scolaire, le nombre de contacts extérieurs (conférences de chercheurs et visites de terrain) et le type de productions attendues (rapport, présentation aux élèves ou article de journal). Les exemples décrits dans les encadrés et les cas pratiques qui terminent ce chapitre correspondent à des projets de durées variées.



Élèves mesurant la respiration du sol

Combien de groupes faut-il former ?

Pour que le projet fonctionne bien, il faut que les élèves éprouvent du plaisir à travailler ensemble. Idéalement, les étudiants devraient pouvoir former eux-mêmes leurs groupes et travailler en parfaite harmonie, mais tous les professeurs savent que ce n'est pas toujours possible : certains élèves trop bons amis risquent de passer plus de temps à s'amuser qu'à travailler vraiment, tandis que d'autres resteront à l'écart car personne ne les veut dans son groupe (pour un développement sur ce point, voir l'exemple du Lycée Max Linder en France, cas pratique n° 2). Il est donc indispensable que le professeur organise la répartition des élèves, en prenant en compte les dynamiques de chaque classe.

Quelques exemples de la manière de former les groupes :

- les élèves se répartissent eux-mêmes en plusieurs groupes, puis optent pour un thème (à l'intérieur d'un cadre défini bien sûr) ;
- différents sujets sont proposés aux élèves qui choisissent celui sur lequel ils veulent travailler, formant ainsi des groupes ;
- les professeurs tirent au sort les groupes ;
- les professeurs forment des groupes selon les compétences des élèves, soit en rassemblant des élèves d'aptitudes semblables, soit au contraire en mélangeant différents types de capacités.

Quelle que soit la méthode utilisée, il sera impossible d'éviter que les élèves d'un ou deux groupes aient du mal à coopérer. C'est pourquoi, il est souvent intéressant de discuter des dynamiques de

groupes avec les étudiants. Sauf s'ils ont déjà travaillé ainsi, il peut s'avérer très productif de prendre le temps d'examiner la façon dont quatre personnes peuvent se partager le travail : désigner un chef, un secrétaire, etc., sachant que les rôles peuvent changer en cours de projet. Il est important d'insister sur le fait que chacun est responsable de la bonne marche de l'équipe, et que quiconque ne réalise pas la tâche qui lui a été impartie ne se contente pas de se faire du tort mais en cause au groupe entier.

Exemple 1 : un simple « projet débutant »

TITRE : l'effet de serre

MATIÈRES : biologie et sciences sociales (géographie)

DURÉE : 10 séances de 50 minutes chacune

CONNAISSANCES PRÉALABLES, acquises en cours avant le début du projet

- Biologie : cycle du carbone, photosynthèse, respiration, gaz à effet de serre
- Sciences sociales : besoins en énergie dans les pays développés, énergies fossiles et commerce international, utilisation des terres

DÉROULEMENT DU PROJET

SÉANCES 1-2 : Les étudiants travaillent en groupe de quatre. Chaque groupe choisit un sous-thème parmi trois à l'intérieur du thème général, par exemple conséquences pour l'agriculture, conséquences pour le commerce du combustible fossile ou sources d'énergies renouvelables. Les groupes préparent les questions qu'ils poseront aux chercheurs lors des visites.

SÉANCES 3-5 : Visites de laboratoires de recherche. Démonstration de mesures du CO₂. Les différents groupes rencontrent les chercheurs et peuvent leur poser leurs questions.

SÉANCES 6-8 : Chaque groupe prépare une présentation PowerPoint pour les autres. Il est important que chaque groupe montre dans quelle mesure les approches des deux matières (dans cet exemple biologie et sciences sociales) peuvent contribuer à éclairer leur sujet.

SÉANCES 9-10 : Présentation et évaluation. L'évaluation peut consister en une discussion entre élèves aussi bien qu'en une évaluation formelle par les professeurs.

Après le projet, l'ensemble est évalué collectivement par les professeurs et les élèves.

Exemple 2 : un projet plus avancé incluant plusieurs disciplines, mais dont les questions et tâches sont définies par les professeurs

THÈME : *Une vérité qui dérange*, film d'Al Gore, ex vice-président des États-Unis

MATIÈRES : biologie, géographie, anglais, histoire, rhétorique, étude des médias

DURÉE : une semaine

ÉNONCÉ DU PROBLÈME

Présentez et évaluez le film *Une vérité qui dérange*. Votre rapport devra être cohérent et inclure l'examen des points suivants :

- quels effets Al Gore utilise-t-il dans le film pour souligner son point de vue ?
- Discutez la pertinence scientifique du film. Toutes les conséquences présentées ont-elles des fondements scientifiques solides et manque-t-il des éléments ?
- Relevez les figures de style utilisées dans le discours du film.
- Donnez une analyse du film ; à quel genre cinématographique appartient-il ?
- Comment les valeurs fondant la société américaine sont-elles évoquées dans le film ?
- Analysez les liens entre les faits et les croyances dans le film.

Exemple 3 : un projet libre dans un cadre donné

TITRE : un monde en changement – l'homme et la nature

DURÉE : six semaines entre le jour où l'on donne le feu vert aux élèves et celui où ils remettent leur synopsis écrit. Pendant cette période, sept jours de classe sont libérés pour le travail sur le projet. Une présentation orale finale est prévue pour les examens de fin d'année.

CONSIGNE :

Choisir deux ou trois sujets/thèmes, en se souvenant qu'ils doivent combiner sciences et sciences humaines et sociales. Pour obtenir une bonne note dans ce projet, les élèves doivent remettre un synopsis de quatre ou cinq pages qui peut aussi leur servir de base pour la présentation orale. Cette dernière doit consister en une discussion scientifique approfondie du sujet choisi montrant que l'étudiant :

- est capable de combiner les approches de plusieurs disciplines pour traiter une question,
 - parvient à identifier et discuter les apports et les limites des différentes disciplines et des méthodes utilisées dans l'étude,
 - a appris à mobiliser les connaissances issues de plusieurs matières pour forger son jugement sur des questions complexes.
- Les élèves travaillent en groupe de deux.

EXEMPLE DE PROJET CHOISI

Un groupe a par exemple décidé de travailler sur « Les biocarburants, une solution durable aux problèmes d'énergie dans le monde ? » dans les matières biologie, chimie et histoire (sciences sociales).

En plus de mener de nombreuses lectures, ils ont visité deux universités où, sous la conduite de scientifiques et d'étudiants, ils ont expérimenté la production de bioéthanol par des procédés divers à partir de sucre, paille, coton et lentilles d'eau (*Lemna*). Ces expériences ont constitué le point de départ de l'enquête.

Si la mise en place de groupes sur une longue durée pose trop de problèmes, on peut travailler en faisant tourner les élèves dans différents groupes, selon une méthode appelée au Danemark *matrix groups*. Il s'agit alors de constituer d'abord par exemple cinq groupes de cinq élèves. Chaque groupe étudie un aspect du sujet traité, de manière à contenir cinq spécialistes en son domaine. Ensuite, on forme cinq nouveaux groupes contenant chacun un des membres de chacun des groupes précédents. De cette manière, chaque nouveau groupe est la somme des compétences acquises dans la première partie et peut rassembler les connaissances de chacun de ses membres par exemple en faisant différentes formes de présentations (PowerPoint, article de journal, newsletter de l'établissement, quizz, poèmes...).

Commencer

Une fois les groupes formés, ils doivent définir (avec l'aide des enseignants pour les plus jeunes) quelle problématique ils aborderont à l'intérieur du thème général étudié – une affirmation qui semble paradoxale ou une question comme «Est-il possible de produire des biocarburants pour couvrir nos besoins en énergie sur un mode durable?»

L'étape suivante consiste à identifier quelles questions sous-jacentes soulèvent la problématique principale et à définir quelles méthodes, disciplines, expériences, interviews et informations écrites utiliser pour y répondre. Il est important pour maintenir l'intérêt des élèves de leur faire prendre conscience, dans la mesure du possible, qu'il ne s'agit pas de reproduire des données étudiées des centaines de fois, mais de s'investir dans une démarche d'investigation scientifique.

Sur ces bases, les groupes peuvent lister soigneusement ce dont ils vont avoir besoin :

- de la documentation (articles, livres et informations trouvées sur le Net),
- des expériences,
- des contacts extérieurs (scientifiques, industriels, agriculteurs, hommes politiques, etc.),
- des informations sur le public qui va voir, lire ou entendre leur projet,
- la connaissance des règles pour écrire un rapport, faire une présentation PowerPoint, etc.

Exemples de productions finales

(autres qu'un rapport de projet ou une présentation orale)

- Inviter un homme politique local à une conférence
- Produire son wiki ou sa page Web
- Mettre en place un court échange (deux jours par exemple) avec les élèves d'un autre pays ou d'une autre région pour présenter ses résultats
- Rédiger un article pour Jeunes reporters pour l'environnement
- Mettre en œuvre des règles de développement durable dans l'établissement
- Écrire une «Lettre ouverte» dans un journal local
- Écrire des éco-poèmes
- Inviter les enfants des écoles primaires locales à essayer divers jeux et expériences préparés par les collégiens et lycéens
- Réaliser une vidéo pour YouTube
- Engager une compétition entre les classes pour trouver les meilleures idées pour économiser l'énergie («être» durable) et les mettre vraiment à exécution
- Organiser une «fête de l'économie d'énergie» à l'école (nourriture bio cuisinée à l'énergie solaire, musique non électrique, lumière générée par des dynamos activées par les élèves, pas de vaisselle jetable...)
- Former son propre panel d'experts et inviter les parents à une soirée éducative
- Produire son bioéthanol

Regarder tout cela une ou deux semaines avant le début effectif du projet peut être une bonne idée et permettre que tout soit prêt quand le travail proprement dit commence.

Démarche ou résultat ?

L'une des étapes clés du lancement de votre projet consiste à discuter des productions finales. Cela peut être un rapport final, mais cela peut aussi prendre d'autres formes (voir encadré) et il faudra garder cela en tête en préparant votre projet (sur la manière dont un projet peut être défini et évalué en réalisant un portfolio, voir l'exemple d'Isarnho-Schule en Allemagne, cas pratique n° 3).

Il est très important à cet égard de décider si le centre du projet est la démarche ou le résultat. Si le projet est orienté sur la démarche, on insistera sur l'apprentissage du travail en équipe, la pluridisciplinarité, la collaboration avec les chercheurs, les voyages d'étude et la recherche d'informations sur un sujet donné. Initier les élèves à cette façon d'apprendre avec des projets à court terme centrés sur une étape particulière peut se révéler une bonne idée, mais ne dispense pas d'avoir un bon sujet qui intéresse vraiment les élèves.

Une fois les élèves familiers de ces « outils », ils sont en mesure de se concentrer sur les productions, qui peuvent prendre des formes aussi variées que des rapports, des articles de journaux, de petites vidéos, des présentations PowerPoint, des démonstrations devant les parents ou d'autres publics, ou encore des cours donnés à d'autres classes. Il est souvent possible d'associer deux ou trois de ces productions et, si les élèves participent à des projets internationaux comme CarboSchools ou Jeunes reporters pour l'environnement, le projet peut être centré à la fois sur les sciences et sur une langue. En cours de lettres par exemple, on pourra travailler la rédaction de rapports ou d'articles cohérents, dans lesquels la conclusion correspond vraiment aux questions posées en introduction et qui savent capter l'intérêt du lecteur dès le début.



Une expérience sur l'énergie solaire

Évaluation

Si le projet entre dans le programme scolaire, les notes des productions finales compteront dans la notation générale de l'année (la façon dont cela peut être fait et les examens requis varient d'un pays à l'autre) et une épreuve écrite aidera les élèves à montrer ce qu'ils ont vraiment appris.

Pensez à garder du temps pour les évaluations. Il est indispensable d'avoir des retours des élèves, individuellement et en groupes, pour évaluer le projet et réunir les suggestions à mettre en œuvre la prochaine fois. Qu'est-ce qui allait bien et quels ont été les obstacles ? Faudrait-il assigner plus de temps aux dynamiques de groupes ? Les élèves ont-ils compris les présentations des scientifiques ? Si les élèves ont présenté leurs travaux à d'autres classes, évaluez ces présentations, elles sont un outil très précieux.

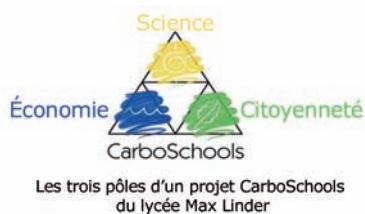
Intéresser les professeurs et la direction de l'établissement

Un des plus grands bénéfices que tirent les professeurs de ce type de travail, outre le partage d'expériences avec d'autres enseignants, est la récompense de voir quel travail les élèves sont capables de faire quand ils s'approprient vraiment un projet.

Comme nous l'avons dit, l'un des meilleurs moyens de motiver les professeurs est de réserver des ressources extraordinaires ou des fonds pour ce travail. Mais il ne faut pas oublier qu'entendre parler de projets réussis et disposer d'une plateforme fournissant des idées et des séquences complètes peut aussi être très incitatif.

Le temps et l'argent sont les obstacles courants du travail de projet. Selon les pays et les établissements, les moyens de convaincre l'administration de réserver du temps et de l'argent pour travailler sur des projets diffèrent. Il est toujours plus facile d'être plusieurs professeurs car cela vous permettra de garantir à la direction que le temps et l'argent dépensés pour le projet auront une large répercussion dans l'école.

Une application réussie démontrera que le projet proposé remplit une partie des objectifs de l'établissement, lui fournira des relations intéressantes et lui fera une bonne publicité. Si possible, trouvez un projet national ou international et demandez à y participer. Par de tels projets, vous pourrez entrer en contact avec d'autres professeurs qui travaillent sur les mêmes thèmes et ainsi, collaborer et partager plus facilement des idées.



Cas pratique n° 1

Intégrer un projet pluridisciplinaire sur les changements climatiques dans le cursus scolaire

Lycée Max Linder, Libourne, France

Par Mauricette Mesguich et Stephanie Hayes

Les changements climatiques sont un sujet complexe qui intéresse à la fois la science, l'économie et la citoyenneté et ne peut pas être étudié selon une seule approche sans être incomplet ou incorrect. C'est pourquoi, au lycée Max Linder, les élèves travaillent sur les changements climatiques en associant ces trois aspects complémentaires dans le cadre d'un projet intégré dans le cursus scolaire de façon pluridisciplinaire.

Comment faire ?

L'équipe de professeurs comprend six enseignants volontaires de différentes disciplines, qui ont intégré les changements climatiques dans leur programme. Un professeur principal réunit et synthétise les travaux effectués dans les différentes matières.

Enseigner le même sujet dans deux disciplines différentes est un des aspects innovants de cette façon de travailler. Par exemple, si les élèves étudient un capteur, le professeur de physique expliquera les mécanismes de fonctionnement de l'appareil tandis que le professeur de sciences de la vie et de la Terre (SVT) analysera les données recueillies. Une autre innovation consiste à partager les travaux réalisés par les élèves et les professeurs dans les différentes disciplines dans le cadre du projet CarboSchools sur un espace numérique de travail ENT ouvert aux membres du projet et au reste de l'établissement.

Le projet CarboSchools s'est étendu sur une année, mais chaque discipline n'y a consacré que quelques heures à différents moments ; seuls les professeurs de SVT et de physique-chimie pouvaient travailler sur CarboSchools toute l'année s'ils le souhaitaient dans le cadre de l'enseignement de MPI (mesures physiques et informatiques).

Quelles activités impliquer ?

Le projet a donné à chaque élève une chance de réussir en trouvant sa place parmi les diverses activités proposées dans les différentes matières :

– Enseignement de Mesures physiques et informatiques associé aux Sciences de la vie et de la Terre (MPI/SVT)

En collaboration avec l'unité de recherche EPHYSE de l'INRA, les élèves ont assisté à une conférence sur l'effet de serre et le cycle de carbone ; ils ont visité le site expérimental de l'unité EPHYSE où sont menées les recherches sur le cycle du carbone dans les forêts de pin maritime. Puis ils ont étudié les mécanismes physiques et électriques de certains capteurs et exploité les données mesurées par ces appareils. Nous avons aussi installé une station météo et un capteur de CO_2 à l'extérieur du bâtiment du lycée ce qui nous a permis de recueillir nos propres données et de les diffuser dans toute l'Europe via le site SchoolCO2Web.



Une manifestation annuelle de sensibilisation

Chaque année, les élèves du lycée Max Linder participant au projet CarboSchools organisent une grande manifestation de sensibilisation au cours de laquelle ils présentent leurs travaux de l'année. La manifestation comprend une exposition, une conférence, des ateliers, des démonstrations et des jeux. Elle est ouverte à tous les élèves du lycée et des environs, aux parents, aux professeurs et aux journalistes – soit près de 250 visiteurs au total.

Activités proposées pendant cette journée

- Une exposition de posters présentant les différents sujets étudiés – climat, effet de serre, cycle du carbone, développement durable (dans notre ville, notre région, etc.), empreinte écologique – ainsi que le laboratoire de l'INRA, notre partenaire scientifique.
- Diverses démonstrations d'expériences qui :
 - simulent l'effet de serre ;
 - montrent comment l'on peut mesurer la photosynthèse et la respiration de différentes plantes ;
 - simulent la croissance diamétrale des arbres afin de comprendre comment les arbres absorbent le carbone ;
 - montrent comment on peut mesurer l'acidification d'une eau enrichie en CO₂ ;
- Différents stands où les visiteurs peuvent :
 - calculer leur empreinte écologique ;
 - regarder des présentations sur plusieurs sujets ;

- déguster les en-cas ou les boissons biologiques qu'ils ont gagnés en répondant au Quizz (voir plus bas) ;
- se plonger dans *Carbonews*, un journal écrit par les élèves ;
- laisser un commentaire sur « l'arbre des visiteurs ».

- Un Quizz : les visiteurs sont invités à répondre à un questionnaire en parcourant l'exposition et en visitant les différents stands. Pour chaque réponse correcte, ils gagnent un jeton qu'ils peuvent échanger contre un en-cas ou une boisson au stand de restauration biologique.

- Un Jeu de l'oie qui a été adapté par les élèves pour inclure des questions concernant l'empreinte écologique (transport, alimentation et économie de la maison).

Cette manifestation est le résultat d'une année de travail. Les élèves la préparent en groupes avec leurs professeurs, en utilisant ce qu'ils ont appris dans les différentes disciplines. Chaque groupe a une tâche bien définie, mais le jour J, tout le monde prend part à l'ensemble des activités. Cet aspect est très important car il signifie que tous les élèves doivent se sentir concernés ; or le succès de ce type d'événement dépend de la cohésion de l'équipe.

Les élèves comprennent combien les manifestations collectives importent pour sensibiliser le public aux changements climatiques. Ce faisant, ils prennent eux-même conscience de ce que seules des actions communes peuvent entraver le cours des changements globaux.

- SVT

L'effet de serre, le cycle du carbone, les changements climatiques et l'impact des activités humaines sur l'environnement sont des sujets au programme pour les 15-16 ans (classe de seconde). C'est pourquoi les thèmes CarboSchools s'intègrent facilement dans le cursus de SVT.

Nous avons mené des expériences pour simuler l'effet de serre, les processus biologiques de la respiration et de la photosynthèse, ainsi que les phénomènes chimiques de dissolution et de précipitation du carbone dans l'eau. Tous ces thèmes ont été abordés pendant les conférences des scientifiques puis étudiés par une approche expérimentale en classe.

- Enseignement civique juridique et social (ECJS)

Cette matière a pour principal objectif de faire analyser aux élèves les droits et les devoirs des citoyens en les laissant travailler de la façon la plus indépendante possible. Pour le projet CarboSchools, les thèmes sont liés au développement durable. Les élèves étudient les changements climatiques dans leurs différentes dimensions et envisagent le rôle de chaque citoyen : consommateur, élève, homme d'affaires, homme politique, etc. Ils calculent leur empreinte écologique et celle de l'établissement, et ils les comparent avec celles des autres pays.

- Économie

Les élèves doivent comprendre que la question des changements climatiques a de multiples facettes (économiques, sociales, politiques, législatives...) et prendre conscience que le développement durable repose sur trois piliers : l'économie, l'environnement et la société. Pour cela, ils visitent et étudient une entreprise locale qui illustre ces aspects, par exemple une entreprise de gestion des déchets. Pour enseigner l'économie de marché, le professeur prend l'exemple du marché d'émissions de carbone.

- Anglais et espagnol

En étudiant divers thèmes liés aux changements climatiques comme l'empreinte écologique, les gaz à effet de serre, la nourriture, la gestion des déchets, etc., les élèves pratiquent l'anglais et

l'espagnol et développent leurs aptitudes à lire, écrire, écouter et parler, tout en approfondissant la grammaire. Ils participent à des jeux interactifs, des jeux de rôles et des débats, visionnent des films et des documentaires, et réalisent des expériences en associations avec les cours de SVT.

– Mathématiques

Pour étudier les statistiques, les graphiques, les taux de variation et les fonctions mathématiques, les élèves exploitent différentes données météorologiques et atmosphériques téléchargées de sites Web ou recueillies par nos propres capteurs (station météo et capteurs CO₂).



Cas pratique n° 2

La recette du succès pour l'organisation et le travail en groupes Lycée Max Linder, Libourne, France

Par Stephanie Hayes et Mauricette Mesguich

Ingrédients (l'ordre importe peu) :

Personnes

- Une équipe de professeurs volontaires
- Un partenaire scientifique (dans notre cas, l'INRA)
- Des élèves motivés et intéressés
- Des scientifiques abordables et enthousiastes
- Un coordinateur régional efficace et disponible

Moyens

- Soutien et reconnaissance administrative pour :
 - les fonds (transport, achat de matériel, production de posters, etc.)
 - le temps (réunions préparatoires pour les professeurs, avec les scientifiques et le coordinateur, etc.)
- Aide technique et logistique des techniciens des laboratoires impliqués

La **motivation** est l'ingrédient indispensable de cette recette.

Méthode

Structure de la classe CarboSchools

Au début de chaque année, une classe de trente-cinq élèves de 15-16 ans est formée, les deux tiers des élèves étant volontaires.

Toute la classe a mathématiques, SVT, enseignement civique juridique et social, anglais et espagnol. Environ une moitié des élèves ont choisi l'option économie et sciences sociales, l'autre moitié faisant l'option mesures physiques et informatique (MPI).

Toute la classe étudie donc les aspects scientifiques des changements climatiques (SVT) et leurs aspects citoyens sous l'angle du développement durable (ECJS) ; une moitié s'intéresse à l'angle économique et social (SES) et l'autre moitié aborde les questions scientifiques de manière plus approfondie (MPI/SVT). Ainsi, les trois aspects des changements climatiques mentionnés plus haut sont couverts par le projet. L'emploi du temps est organisé pour faciliter le travail : les deux options SES et MPI/SVT sont enseignées séparément avec différents professeurs mais aux mêmes horaires, de façon à ce que les deux groupes puissent se retrouver ensemble quand c'est nécessaire.

Le partenaire scientifique

INRA (Institut national de recherche agronomique), unité de recherche EPHYSE, Bordeaux

Les activités exercées par les scientifiques comportent :

- avec la classe : donner des conférences interactives, guider des visites de sites expérimentaux et de laboratoires, participer à des activités de classe (expériences) ;
- avec les professeurs : fournir et mettre à jour les connaissances scientifiques, prêter et installer du matériel, donner des conseils techniques.

Travail en groupe

Au début de l'année les élèves ne se connaissent pas, c'est pourquoi nous favorisons les interactions par des groupes de travail dès le commencement du projet. Il importe de motiver et d'impliquer les élèves. Nous le faisons en leur posant des questions afin d'introduire le thème des changements climatiques et de leurs conséquences au *xxi^e siècle*. Cette étape est fondamentale pour que les élèves s'approprient le projet CarboSchools, ce qui s'accomplit grâce au travail en groupes. Les élèves s'associent par trois pour répondre à l'une des questions suivantes :

- La température moyenne à la surface de la Terre est de 15° C. Expliquez pourquoi. *Cette question conduira le groupe à décrire l'effet de serre.*
- À quoi ressembleront nos climats dans le futur ?
- Pourquoi dit-on que la température moyenne à la surface de la Terre va augmenter de 1 à 6° C d'ici 2100 ? *Ces deux questions devraient conduire les élèves à décrire les impacts des activités humaines sur le cycle du carbone et sur l'effet de serre.*
- Comment l'écosystème terrestre réagit-il à la hausse des températures : en absorbant ou en émettant du CO₂ ? *Les élèves devront s'intéresser au rôle des forêts et des eaux douces continentales dans le cycle du carbone.*
- Est-ce que mon comportement influence mon environnement local ? Quelle est mon empreinte écologique ? *Ces questions conduiront les élèves à définir le concept d'«empreinte écologique» et à trouver des calculateurs en ligne.*
- Les êtres humains absorbent-ils ou rejettent-ils du CO₂ ? Est-il vraiment raisonnable de manger des cerises à Noël dans notre pays ? *Ces questions peuvent amener les élèves à décrire l'impact des activités humaines sur le cycle du carbone et sur l'effet de serre.*

Au commencement du projet, les élèves essaient de trouver des réponses immédiates en observant et en faisant des recherches en groupe (sur Internet, dans des ouvrages de référence, etc.). Toutefois, au cours de l'année, ils approfondissent ces questions, ce qui est un résultat de leur participation au projet. En effet, ils :

- prennent des mesures en suivant des protocoles scientifiques et en utilisant des instruments scientifiques,
- font des expériences et utilisent des modèles pour tester et valider les hypothèses qu'ils ont formulées,
- analysent des données fournies par des équipes scientifiques,
- partagent des résultats et des données avec les chercheurs et avec d'autres élèves, via une plateforme Internet.

Pendant le projet, les élèves peuvent changer et reformer leur groupe selon le sujet qu'ils veulent explorer ou les personnes avec qui ils veulent travailler mais ils doivent conserver leur place dans le groupe dès que commence la phase de réalisation des productions destinées à l'exposition finale. La préparation de ce moment constitue en effet un défi pour les élèves qui ne doivent pas seulement s'organiser et se partager le travail en petites équipes, mais aussi agir tous ensemble pour créer une exposition cohérente. Les élèves travaillent de façon autonome dans leur groupe, seulement guidés par le professeur, et cette façon d'apprendre développe les capacités d'écoute et de respect mutuel quand il s'agit de prendre des décisions et de faire des suggestions.



Visite à l'usine d'incinération

Cas pratique n° 3

Enseigner les changements climatiques en réalisant un portfolio : lier connaissance scientifique, technologie et transformations de la société Isarnho-Schule Gymnasium, Kiel, Allemagne

Par Bernd Blume

Le réchauffement global est un thème précis du programme scolaire. Dans notre projet, les élèves travaillent de façon expérimentale et responsable, par des investigations scientifiques

et techniques, pour produire un portfolio sur les causes, les effets et les conséquences des changements climatiques. Cette approche permet aux élèves de développer leur autonomie et d'approfondir la question en fonction de leurs propres intérêts. De toute façon, les questions liées aux gaz à effet de serre sont trop variées pour que l'on puisse les traiter toutes.

Objectifs du projet

Il s'agit de conduire les élèves à :

- prendre conscience, par leurs propres recherches, des relations entre science, technologie et société ;
- mettre en œuvre un travail expérimental individuel pour montrer : le réchauffement de l'air par les gaz à effet de serre qui transforment, absorbent et émettent certaines radiations électromagnétiques ; comment ces gaz sont produits naturellement et par des activités humaines ; les dangers de changer la circulation océanique globale et la biosphère par un réchauffement climatique ; les dangers de l'acidification des océans qui perturbe les écosystèmes marins ;
- augmenter, par des recherches plus poussées, leurs connaissances des technologies susceptibles de réduire les émissions de gaz à effet de serre
- prendre conscience de leur propre responsabilité face aux changements climatiques et être capables de définir des priorités pour agir.

Connaissances préalables requises

Une discipline complexe comme la climatologie requiert des connaissances de base en physique, chimie et biologie, mais aussi en géographie et en histoire. Le système scolaire du secondaire en Schleswig-Holstein (Allemagne) permet d'associer ces matières et de dégager du temps pour travailler ensemble sur des projets.

Le tableau ci-contre synthétise les connaissances à fournir aux élèves avant le début du projet.

Biologie	Chimie	Physique	Géographie
Cytologie et physiologie : la cellule, les bases de la vie.	Équations chimiques ; principe de Le Chatelier ; réactions des oxydes non métalliques avec l'eau ; réaction protéolytique des acides inorganiques et leurs sels ; théorie de Brønsted-Lawry (acide-base).	Le rayonnement solaire : son absorption, sa réflexion, son émission et sa transformation.	Réchauffement climatique et global ; zones climatiques et végétation ; le Gulf Stream et ses effets sur les climats.
CO ₂ , métabolisme et échanges d'énergie : photosynthèse et respiration cellulaire.	Le CO ₂ : son caractère soluble dans l'eau ; influence de la température sur cette solubilité.	Composition et rôle des piles solaires ; transformations d'énergie (par exemple, utilisation de la force du vent pour produire de l'électricité).	

Activités et voyages sur le terrain

Une discipline complexe comme la climatologie nécessite des connaissances techniques sur les relations qu'entretiennent la science, la technologie et la société, c'est pourquoi il est nécessaire de visiter des centrales électriques et des expositions sur les moyens d'économiser l'énergie. Comme toutes les technologies liées aux problématiques climatiques ne peuvent évidemment pas être étudiées, il est recommandé de profiter des opportunités locales.

Nous avons organisé les visites suivantes dans le cadre de notre projet :

1. Usine d'incinération d'ordures (Kiel)
2. Centrale thermique au charbon (Kiel)
3. Salon des économies d'énergie (organisé par une autre classe)
4. Conférence scientifique à l'IFM GEOMAR sur le projet SUGAR (Submarine Gas Hydrate Reservoirs) : la séquestration du CO₂ à partir d'hydrates de méthane

NB : Toutes ces visites peuvent être étalées dans le temps.

Travail expérimental

Pendant leur travail expérimental, les élèves enquêtent sur divers aspects du contexte scientifique des climats et des changements climatique en menant un travail individuel.

Ils réalisent au moins 10 ou 12 expériences décrites dans la bibliothèque en ligne¹ de CarboSchools :

- expériences de physique sur le lien entre rayonnement électromagnétique et température,
- expériences de biologie sur le métabolisme (physiologie),
- expériences de chimie sur le cycle du carbone,
- expériences de chimie et physiologie sur la combustion et le métabolisme.

Ils doivent choisir au moins trois expériences à dominante physique, deux à dominante chimique et deux à dominante biologique. Toutes les expérimentations permettent en partie aux élèves de tirer des conclusions sur des questions climatiques.

Les expériences, observations, résultats et erreurs sont faits par équipes de deux élèves qui s'aident mutuellement, mais les conclusions sur les questions climatiques et les recherches additionnelles doivent être réalisées individuellement pour permettre une réflexion personnelle et une évaluation. Des recherches complémentaires doivent être effectuées sur cinq expériences au choix.

NB : même quand des mesures sont réalisées, seules des conclusions qualitatives peuvent être tirées dans un contexte scientifique. De même, appliquer les connaissances acquises au cours des séances au contexte climatique exige prudence et esprit critique.

1 – <http://www.carboeurope.org/education/libraryHome.php>, aller à « Activités »/ « In-door hands-on » puis utiliser l'ascenseur jusqu'à « collection of experiments on CO₂ and greenhouse effect ».

Rassembler le portfolio

Pour préparer le portfolio, les élèves doivent commenter les points suivants :

(NB : le contexte climatique des expériences n'est pas donné, chaque élève doit le déduire à partir de ses propres connaissances et observations.)

1. L'effet de serre peut être démontré.
2. Le dioxyde de carbone est un des gaz à effet de serre et il est donc aussi responsable de l'effet de serre.
3. Le dioxyde de carbone de l'atmosphère fait partie du cycle naturel du carbone ; il existe un effet de serre naturel.
4. Les activités humaines augmentent la quantité des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, notamment le dioxyde de carbone, et ainsi, elles accentuent l'effet de serre naturel.
5. L'effet de serre naturel a un effet sur les climats de la Terre.
6. Des quantités supplémentaires de gaz à effet de serre provoquent des changements climatiques sur l'ensemble du globe.
7. Un réchauffement global peut entraîner une modification de la circulation océanique.
8. Les gaz à effet de serre et les changements climatiques peuvent modifier la biosphère.
9. Il existe des techniques pour réduire la quantité de dioxyde de carbone qui s'ajoute chaque année dans l'atmosphère.
10. Il est indispensable d'effectuer des recherches scientifiques pour mettre au point des méthodes susceptibles de réduire les gaz à effet de serre et le réchauffement climatique.

Instructions aux élèves

1. Réalisez les expériences préparées (équipes de deux élèves).
2. Décrivez vos observations et résultats. Présentez-les graphiquement si possible (équipe de deux).
3. Analysez vos erreurs (équipe de deux).
4. Expliquez les résultats de cinq expériences au choix, en vous appuyant sur vos connaissances scientifiques. Les aspects physiques, chimiques et biologiques doivent figurer dans le rapport final (travail individuel).
5. Trouvez le contexte climatique des dix expériences choisies en renvoyant à vos affirmations précédentes (travail individuel).
6. En choisissant une expérience, décrivez et expliquez un point actuel de la recherche sur le réchauffement ou les changements climatiques (travail individuel).
7. En focalisant sur un aspect et en développant le contexte technique, rédigez un rapport sur les solutions de géo-ingénierie et autres visant à réduire la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ainsi que sur les moyens et technologies mis en œuvre par l'homme pour réduire ses émissions (travail individuel).

Notation (évaluation)

Étant donné les différences dans les systèmes de notation des divers pays, c'est au professeur de déterminer quelle part le portfolio prendra dans la note finale.



Recueil des gaz d'échappement

Nous proposons de faire compter la note finale du portfolio pour 10 % de la note finale en physique, chimie, biologie et géographie.

Des notes intermédiaires sont données à chaque expérience, et aux recherches individuelles ; les questions 7 et 8 sont évaluées à différents stades d'élaboration, respectivement deux et trois fois. La note finale correspond à la moyenne des notes intermédiaires sur 20.

Nous recommandons que les professeurs des différentes disciplines impliquées dans le projet se partagent l'évaluation du portfolio en fonction de leur spécialité.

NB : les résultats des recherches doivent être formulés individuellement en incluant les sources.

Organisation

Commencement

JOUR 1 : présentation du projet

JOUR 2 : visite de la centrale thermique au charbon de Kiel et conférence scientifique sur la séquestration de CO₂ à partir d'hydrates de méthane à l'IFM GEOMAR

JOUR 3 : visite de l'usine d'incinération des ordures.

L'après-midi, éclaircissement du contexte physico-chimique et technique des processus à l'œuvre dans les deux usines visitées

JOUR 4 : visite d'un salon des économies d'énergie

Travail expérimental

JOURS 5 et 6 : expérimentations et interprétation (salle de travaux pratiques)

Travail sur le portfolio

JOURS 7 et 8 : finalisation du portfolio. Recherche de documentation sur le contexte scientifique et technique (bibliothèque de l'école, salle d'information)

Remarques personnelles

La visite de deux usines apporte peut-être trop d'informations aux élèves qui n'ont pas assez de temps pour assimiler les contextes physico-chimiques et techniques des processus. C'est pourquoi, il est recommandé de ne visiter qu'une usine.

La qualité des résultats des travaux d'expérimentation a été très variable : Certains élèves n'avaient pas des résultats clairs parce qu'ils avaient travaillé trop vite. Cependant, leurs analyses et leurs erreurs étaient acceptables et ils ont associé leurs expériences à un contexte climatique raisonnable.

Il est absolument nécessaire que les professeurs des différentes matières collaborent pour organiser, coordonner et évaluer le portfolio. Sinon, la charge de travail est bien trop importante pour un seul professeur.

Documentation et sites Web

<http://www.gkk-kiel.de/> (german only)

<http://www.mvkiel.de/> (german only)

<http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=sugar#>

<ftp://ftp.ifm-geomar.de/downloads/NaT/Dokumente/VersuchsanleitungGolfstrom.pdf>



Mesure du CO₂ dans les gaz d'échappement

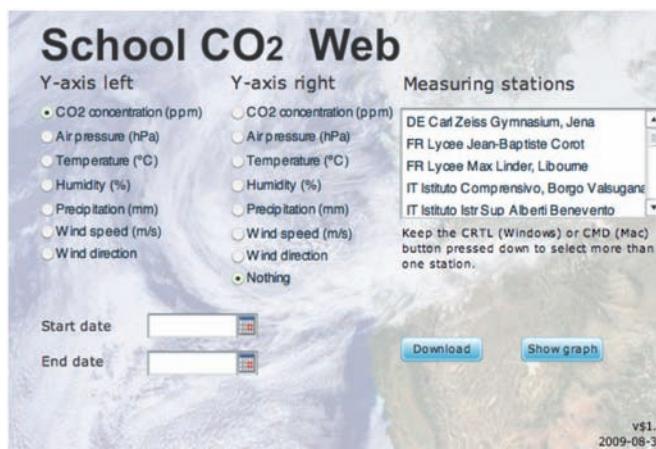
Un exemple remarquable de collaboration entre établissements d'enseignement secondaire et instituts de recherche : le SchoolCO2web

Initié en 2005 par le Center for Isotopic Research (CIO) et le département de l'éducation (IDO) de l'université de Groningue (Pays-Bas), le SchoolCO2web a débuté en équipant les collèges et lycées de capteurs CO₂ et en installant une station météo sur leur toit. Toutes les dix minutes, ces appareils enregistrent automatiquement la concentration de CO₂ et les conditions atmosphériques et envoient les mesures dans une base de données centrale. Les données collectées sont accessibles à la fois aux élèves et aux chercheurs, et peuvent donc être utilisées dans un but scientifique ou éducatif.

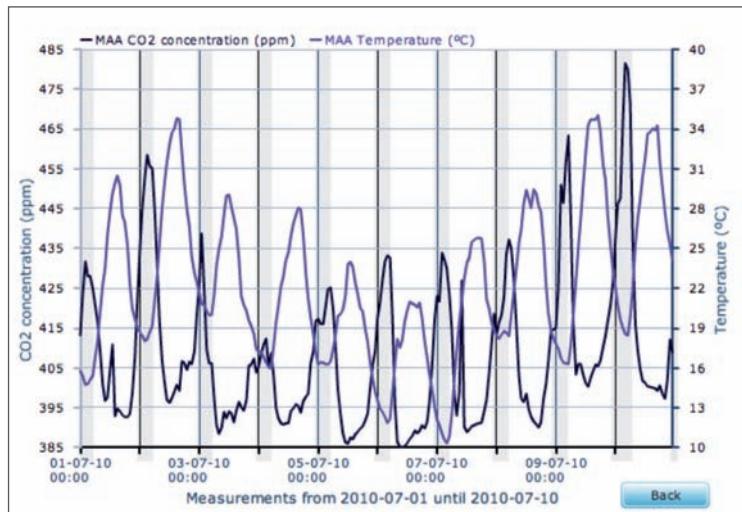
Au total, dix-sept stations de mesure sont actives dans sept pays, et fournissent aux élèves l'occasion de « voir » le CO₂, de réaliser leurs propres mesures, de comparer des données issues de différents lieux et de discuter leurs résultats et partager leurs impressions.

La base de données SchoolCO2web est accessible à quiconque est intéressé et offre une interface conviviale à l'adresse suivante : <http://www.carboeurope.org/education/schoolsweb.php>.

Les élèves apprennent à interpréter ces données. Ils prennent conscience des conditions requises pour obtenir de bonnes mesures, c'est-à-dire des données pertinentes, reproductibles et fiables. Ils apprennent aussi comment en extraire des informations précieuses en se servant de tableurs et de calculs statistiques. Ceci constitue un point d'entrée pour l'analyse de données, qui est une compétence importante utilisée en recherche scientifique. Utiliser le SchoolCO2web fournit une excellente occasion, sur un thème pluridisciplinaire, de familiariser les élèves avec une pratique scientifique intéressant à la fois les mathématiques, la physique, la chimie et la biologie.



Cet exemple de graphique obtenu à partir des données issues de SchoolCO2web (ici les concentrations de CO₂ et les températures relevées pendant une semaine en juillet 2010 dans un collège néerlandais) illustre bien la relation entre température et concentration de CO₂ : pendant la journée, la température monte, l'air se mélange bien et le CO₂ se répartit, d'où une concentration près du sol plus faible; pendant la nuit, la température chute, l'air se mélange moins bien et le CO₂ est plus concentré dans les premiers mètres de l'atmosphère.



Chapitre 3

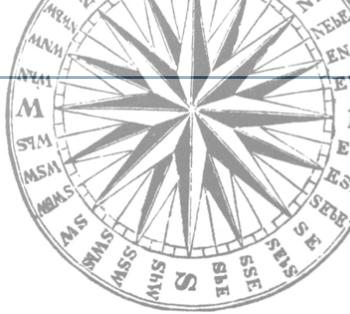
La coopération entre établissements scolaires et recherche

Par Joachim Dengg,

IFM-GEOMAR, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften

(Institut Leibniz des sciences océaniques), Kiel, Allemagne

jdengg@ifm-geomar.de



Malgré l'impact massif de la science dans notre vie quotidienne, l'attrait pour l'apprentissage des concepts scientifiques semble décliner. À quoi bon réfléchir sérieusement aux téléphones portables, aux médicaments ou au popcorn au micro-ondes puisqu'ils font ce qu'on attend d'eux ? Pourtant, continuer de les faire fonctionner et de les améliorer suppose qu'interviennent sans cesse de nouveaux scientifiques et ingénieurs ayant une compréhension fondamentale des principes sous-jacents à ces appareils. Mais dans le monde d'aujourd'hui, même au niveau des non-spécialistes, suivre les discussions publiques sur des sujets comme l'ingénierie génétique, le réchauffement global ou les radiations des téléphones cellulaires nécessite au moins une connaissance basique des réflexions scientifiques.

Développer un meilleur niveau de connaissances scientifiques constitue un énorme défi pour les établissements scolaires. Comment attirer les élèves vers les sciences avec les moyens généralement disponibles – du matériel pédagogique peut-être dépassé et des savoirs d'hier confinés dans des livres déjà obsolètes ? Le poids des investissements en matériel d'enseignement et en formation des professeurs nécessaires pour coller à la vitesse des développements actuels en sciences risque de rapidement accabler n'importe quel budget d'éducation.

Avantages de la coopération

Pour résoudre ce problème de l'enseignement des sciences, de plus en plus d'établissements scolaires s'allient avec des universités ou l'industrie : collèges et lycées peuvent ainsi accéder à des ressources et à des savoir-faire complémentaires, tandis que les entreprises et les institutions de recherche gagnent en visibilité auprès des jeunes.

Les avantages de ces collaborations sont assez évidents pour les établissements scolaires : les élèves découvrent une institution de recherche et bénéficient d'informations de première main sur les recherches en cours ; ils rencontrent des chercheurs et ils ont même une chance de participer à certains aspects de la recherche, en utilisant des équipements qui ne sont pas disponibles à l'école. Ceux qui pensent mener des études scientifiques par la suite peuvent se renseigner sur les carrières et vérifier que ce type de métier leur plaît vraiment. Les professeurs, d'un autre côté, peuvent disposer d'un contexte pratique pour les concepts théoriques qu'ils font étudier en classe, et ainsi ajouter une nouvelle dimension à leur enseignement. Apprendre sur les théories, méthodes et instruments récents est enrichissant pour eux aussi, surtout pour ceux qui sont restés à l'écart des nouveaux développements de la science. Et après une visite dans un laboratoire de recherche, les enseignants repartent souvent avec une bonne quantité d'illustrations ou du matériel qu'ils peuvent utiliser en classe. (Bien sûr, tout ceci n'est qu'une partie des avantages retirés par les écoles. Selon les circonstances d'une coopération donnée et les partenaires impliqués, cette liste peut s'allonger considérablement.)



Étudiants en sciences montrant à des élèves visitant un laboratoire comment on analyse une carotte de sédiments



Chercheur discutant d'expériences pratiques avec les élèves lors de la rencontre CarboSchools à Iéna, printemps 2010

Du côté de l'industrie et de la science, c'est surtout le manque aigu de ressources humaines (c'est-à-dire d'étudiants ayant une bonne formation) ou un besoin de visibilité publique qui motivent la coopération avec les établissements scolaires. En collaborant avec un collège ou un lycée, les scientifiques ont l'opportunité d'attirer de futurs étudiants dans leur champ d'expertise, d'expliquer l'intérêt de leur travail au public et d'attirer l'attention des médias. Les jeunes chercheurs notamment apprécient aussi la chance d'apprendre comment faire passer leur science à des non-spécialistes en termes simples.

Il apparaît donc assez évident qu'une coopération étroite entre la science (ou l'industrie) et les écoles peut être bénéfique aux deux parties. Pourquoi, alors, les exemples de projets communs sont-ils encore si inhabituels ?

Obstacles à la coopération

L'obstacle au lancement d'une collaboration école-recherche le plus souvent cité est le temps... suivi de peu par l'argent, bien sûr. Et puis, le manque d'occasion ! On est souvent conduit à croire que beaucoup de collèges ou lycées et d'institutions scientifiques monteraient de merveilleux projets si seulement ils avaient plus de temps... d'argent... d'occasions... vous savez... Désolé !

Certes, le temps, l'argent et l'occasion sont des facteurs sur lesquels nous avons peu de prise. Mais ne leur donne-t-on pas trop d'importance ? Et si, à leur place, des qualités individuelles comme la motivation, l'initiative et la persévérance jouaient un rôle plus décisif dans la mise en place de collaborations écoles-recherche ?

Ce chapitre s'adresse à des lecteurs qui – en dépit des limites extérieures – souhaitent faire démarrer des projets entre leur établissement et la science et ont besoin d'un peu de motivation, de quelques suggestions pour leurs premières initiatives et d'encouragements pour persévéérer dans leurs projets. (Bien sûr, vous pouvez continuer à le lire si vous avez du temps et de l'argent mais pour le moment, il sera entendu que ce sont des denrées très limitées.) Nous tenterons de donner des conseils sur les premières étapes pour commencer les initiatives, les erreurs à éviter et les options qui s'offriront peut-être finalement pour aborder les problèmes de temps et d'argent une fois que les premières opportunités auront été créées.

Au-delà de l'excursion

Pour éviter les confusions, nous entendrons par «coopération école-recherche» les partenariats à long terme entre les établissements scolaires et la science (ou l'industrie) qui mettent conjointement en place des projets dans lesquels les élèves expérimentent certains aspects de la science. Même si une conférence donnée par un scientifique dans une classe peut en faire partie, nous ne parlons pas ici d'événements ponctuels, mais nous nous focalisons sur les structures dans lesquelles différents types d'activités sont rassemblées pour créer une coopération qu'il sera éventuellement possible de poursuivre bien au-delà de l'année scolaire. Par ailleurs, il sera entendu que les chercheurs eux-mêmes sont impliqués dans le projet : même si un porte-parole ou un chargé de communication est capable de donner une bonne description de la science, ils ne peuvent pas enseigner les sujets traités au niveau qui est souhaité ici.

Les projets mis en œuvre par CarboSchools dans divers pays sont notre principal point de référence. Pour les élèves et les professeurs, ces activités ouvrent une nouvelle voie dans l'apprentissage du contexte scientifique des changements climatiques en les mettant en contact direct avec les chercheurs sur le long terme. Au lieu d'étudier seulement la théorie des changements climatiques dans le huis clos de la salle de classe, les élèves ont la chance de vivre la science sur le terrain ou au laboratoire. De plus, les scientifiques peuvent aussi venir à l'école, rendre compte de leurs

travaux et apporter des données issues des dernières campagnes d'observations pour que les élèves les analysent et les discutent. (Certains de ces projets sont brièvement décrits dans cet article.)

C'est une extraordinaire façon de travailler (comme les citations d'enseignants et de scientifiques le montrent dans le chapitre 5), mais démarrer se révèle souvent un obstacle insurmontable. Sauf si vous avez la chance d'être dans un établissement où les collaborations de ce type sont instituées comme projet fondateur, soutenues par un sponsor généreux ou suscitées par quelque autorité, la grande question est en général de savoir comment procéder une fois émise la première idée.

Prendre l'initiative

L'encadré 1 « Démarrer » fournit quelques suggestions applicables dans la plupart des situations. En gros, il s'agit de prendre l'initiative, d'établir le contact et de rédiger – idéalement dans un

1 Démarrer

Donc, vous avez en tête un beau projet qui peut être réalisé avec un scientifique, un professeur et quelques élèves d'une école locale. Mais, même si vous avez accès à l'un d'eux, vous ne savez pas comment approcher les autres. Et si vous le saviez, comment les convaincre de vous aider ? Voici quelques suggestions :

Utilisez vos relations pour prendre des contacts. On connaît souvent des gens qui accepteraient de faire les présentations. Les professeurs peuvent avoir des amis d'université qui ont continué dans la recherche, les élèves ont des parents qui peuvent connaître des scientifiques. De l'autre côté de la barrière, les scientifiques peuvent avoir des enfants à l'école dont les professeurs seraient intéressés par une collaboration, ou des collègues qui connaissent un professeur.

Ne comptez pas sur les canaux officiels. Un courrier officiel à un établissement scolaire ou à un institut de recherche peut parfois donner un résultat, mais le plus souvent il restera sans effet. Ces deux types d'institutions sont inondées de courriers de toutes sortes et souvent des secrétaires sont chargées de filtrer les plus urgents. Votre requête passera de mains en mains sans que personne ne se sente tenu d'y répondre. Essayez dans la mesure du possible d'établir un contact personnel avec des collaborateurs potentiels.

Cherchez des gens déjà impliqués ailleurs. Les médias rendent souvent compte de projets réalisés dans un collège ou un lycée, ou de gens engagés dans la vulgarisation scientifique. Contacter des personnes impliquées n'aboutira pas forcément à un projet, mais, même si elles n'ont pas le temps de s'occuper de vous personnellement, elles pourront vous aiguiller vers des collègues intéressés. Surtout si des coopérations écoles-recherche sont déjà en place (même si c'est dans un tout autre domaine), les personnes engagées sauront rediriger votre demande à la bonne adresse.

Renseignez-vous, utilisez Internet. Les sites Web révèlent beaucoup des intérêts des établissements scolaires et des institutions de recherche. Si un collège ou un lycée affiche avoir engagé un projet extrascolaire, il peut être intéressé par d'autres opportunités. Si une entreprise ou une université ont des pages témoignant d'un intérêt pour le grand public, il y a des chances pour qu'elles se précipitent sur une proposition intéressante de projet commun.

Prenez garde au fossé des générations. Tous les scientifiques ne sont pas capables de travailler avec des élèves et ces derniers offrent selon leur âge différents types de difficultés. Les plus jeunes sont en général plus enthousiastes et plus prompts à poser des questions, mais ils requièrent des approches plus ludiques et un encadrement important. Les élèves plus âgés sont plus indépendants pour travailler et ont plus de connaissances, mais ils peuvent être plus réservés et sont soumis à des contraintes de temps plus fortes. Surtout dans un premier projet, il est important que les scientifiques se sentent bien avec la classe d'âge des élèves avec lesquels ils vont travailler.

Commencez simple, commencez petit. Pour la première fois, mieux vaut éviter de s'engager dans une activité trop importante. En commençant par de petits projets, l'obstacle n'est pas trop haut et la confiance et l'expérience peuvent grandir. Inviter un chercheur local à faire une conférence à l'école, ou inviter un petit groupe d'élèves à visiter un laboratoire de recherche demande un effort limité et peut servir de tremplin pour d'autres activités futures.

Restez bref. Ni les professeurs ni les chercheurs n'ont un temps illimité à consacrer à l'organisation et la mise en œuvre de projets. C'est pourquoi les premiers projets doivent être courts, concis et bien organisés à l'avance.

Sondez les attentes et tâchez de les satisfaire. Discutez de ce que vous avez à « offrir » en contrepartie de la collaboration. Si un chercheur espère gagner en visibilité en visitant l'école, faites en sorte que sa conférence devienne un petit événement en prévenant un journaliste local. Si un professeur recherche du matériel pédagogique en venant à l'institut de recherche, fournissez-lui un petit nombre de brochures ou un CD avec la présentation que vous avez préparée pour les élèves.

N'attendez pas de financement. Si on attend un financement pour commencer, le projet ne verra jamais le jour. Cependant, de petits projets peuvent réussir de grandes choses même sans fonds considérables. Comme point de repère, on pourrait dire que si un chercheur doit demander de l'argent pour le matériel qu'il utilisera lors de travaux pratiques avec les élèves, le projet est déjà trop ambitieux pour une première étape. De même, si un professeur a besoin de fonds spécifiques pour payer un voyage de classe dans le laboratoire de recherche, cette coopération posera problème à long terme ; il faudra la reconsiderer et tenter de trouver un moyen plus simple.

commun effort du ou des enseignant(s) et du ou des scientifique(s) – un premier projet simple qui ne nécessite pas trop de temps ni de ressource.

Pour cette première étape, cependant, il est important de bien garder à l'esprit que vos interlocuteurs ne seront pas encore bien conscients des avantages qu'une activité commune peut offrir. En général, les scientifiques ne sont pas rémunérés pour venir en aide aux établissements scolaires et les professeurs n'ont pas forcément envie d'enseigner la démarche scientifique. Pour surmonter cette répugnance initiale, avoir identifié la « valeur ajoutée » (signalée plus haut) devient vital. Ainsi, tout contact permettra de donner un aperçu des avantages que les deux parties ont à tirer de l'entreprise.

Éviter les embûches

Une fois la décision prise de donner une chance à la collaboration, le défi suivant est de faire du projet une expérience dont tous les participants garderont un bon souvenir. Pour des raisons de place, nous tiendrons pour certain que de telles activités ne sont initiées que si le professeur est sûr qu'il y a une demande de la part des élèves, mais ce facteur ne devrait jamais être considéré comme acquis. Idéalement, les questions abordées devraient susciter la curiosité des élèves et être en lien direct avec les programmes.

Pour impulser et maintenir l'élan initial, différents éléments ont fait la preuve de leur efficacité avec le temps. Ils sont détaillés dans l'encadré 2 « Considérations pratiques » et les lecteurs

2 Considérations pratiques

Une fois le projet engagé, des considérations variées aident à en faire un succès :

Rendez-vous. Même si le temps en tant que tel n'est pas un facteur rédhibitoire dans un projet, l'organisation du temps est souvent cruciale. Les calendriers scientifiques et scolaires diffèrent et ne sont pas toujours faciles à synchroniser : les scientifiques n'ont pas forcément en tête les dates de vacances ou d'examen, et les professeurs ignorent tout de l'agenda des congrès. Planifier à l'avance devient alors indispensable si l'on veut éviter les mauvaises surprises.

Motivation. Alors que les professeurs doivent s'occuper de tous leurs élèves, quelle que soit leur motivation ou leur degré de réussite, les scientifiques ne peuvent pas se permettre de perdre leur temps avec des élèves qui ne sont pas intéressés ou qui n'ont pas les connaissances minimales requises. C'est pourquoi, surtout si c'est la première fois qu'un chercheur travaille avec un établissement scolaire, mieux vaut choisir (si c'est possible) des élèves volontaires et qui se sentent aptes à s'investir dans le projet. Si cette présélection est impossible à réaliser, il est souvent préférable de prévenir le scientifique que tous les élèves ne montreront pas la même participation et de prévoir d'autres tâches pour les élèves moins motivés (par exemple, affecter un sous-groupe à la recherche iconographique).

Organisez ensemble. La collaboration des scientifiques et des professeurs lors de la phase d'organisation permet d'éviter les discordances sur les attentes et les objectifs du projet dès sa conception.

Tenez compte des contraintes. L'établissement scolaire comme le laboratoire scientifique doivent compter avec des contraintes extérieures qu'il ne faut pas négliger comme la taille des laboratoire, les horaires de travail des techniciens, les problèmes d'assurance ou même

des considérations aussi fuites que le nombre de sièges disponibles dans une salle de conférence. Souvent, ces questions sont survolées lors de la phase d'organisation et réapparaissent au moment le plus gênant.

Variété. Si les élèves doivent subir une succession de longues présentations, leur intérêt va sans doute faiblir. Ponctuer avec des pauses est important, mais avoir des choses pratiques à faire est encore mieux. Idéalement, les élèves devraient pouvoir réaliser tout seuls des mesures, des expériences et prélever des échantillons.

Utilisez les compétences disponibles. Même si cela va sans dire, rappelons que les scientifiques sont les experts pour la partie recherche du projet, et les professeurs les spécialistes pour la pédagogie : ils savent mieux quelle durée une conférence doit avoir pour un groupe de l'âge de leurs élèves, et de combien de pauses les enfants ont besoin pour évacuer leur trop-plein d'énergie... Planifiez en conséquence. Gardez aussi à l'esprit que les connaissances factuelles des scientifiques ne sont pas leur seul champ d'expertise : pour les élèves ils peuvent être aussi un exemple inestimable de ce qu'est la réflexion scientifique et de la méthodologie qui en découle.

Clarté. Avant la visite effective, les scientifiques doivent avoir une idée claire du niveau de détail approprié aux élèves qu'ils vont rencontrer. Selon l'âge du groupe, une présentation trop simple peut être aussi préjudiciable qu'une approche trop compliquée.

Liens avec le programme. En général, si un sujet scientifique est assez intéressant, il n'est pas absolument nécessaire qu'il soit lié au programme. Cependant, si une activité enthousiasmante peut s'accrocher au programme, les élèves ne vont certainement pas se plaindre de faire d'une pierre deux coups en accomplissant une partie de leur travail de cours sous la forme d'une expérience nouvelle et intéressante. De même, ce lien facilitera la tâche des professeurs en limitant leur travail supplémentaire et en leur permettant d'intégrer le projet à leur enseignement et à leurs évaluations.

N'essayez pas de remplacer l'enseignement scolaire.

Quelque intéressants que soient les liens avec le programme, les collaborations école-science doivent seulement accompagner, et non remplacer, l'enseignement des sciences dans le secondaire. Les chercheurs manquent en général de bagage pédagogique et l'enseignement n'est pas leur métier. De plus, la recherche ne doit pas relever les autorités scolaires de leur responsabilité à garantir une bonne éducation scientifique à l'école.

Interdisciplinarité. Travailler de façon transdisciplinaire est bien, mais pas strictement obligatoire. Si cela peut s'arranger, partager le projet entre plusieurs professeurs de différentes matières élargit le point de vue, distribue la charge, et produit plus de flexibilité. Notez que la plupart de la recherche est interdisciplinaire par nature, parce qu'elle requiert des compétences en mathématiques et en informatique aussi bien qu'en langues étrangères (anglais surtout).

Ne divisez pas seulement. Il devrait être bien clair pour les élèves que la visite d'un laboratoire de recherche ou un projet avec un chercheur n'a rien à voir avec une sortie dans un parc de loisirs. Pour souligner ce point, il est utile d'assigner des tâches aux élèves et d'exiger d'eux des rapports. Les élèves devront avoir été préparés à la visite par le professeur et pouvoir en discuter et y réfléchir au retour.

Explorez de nouvelles voies. Dans ce type de projets, même si cela demande plus de travail, mieux vaut laisser de côté les ouvrages standard déjà maintes fois utilisés par les étudiants lors de la définition des activités et des tâches. Si les projets s'appuient sur des aspects du travail actuel des scientifiques, il paraîtront plus sérieux et plus motivants à toutes les personnes impliquées.

Évitez de créer de fausses attentes. Surtout si les élèves s'engagent dans une véritable démarche scientifique, ils doivent être prévenus que cela ne sera peut-être pas toujours aussi formidable qu'ils l'espéraient : parfois, il faut reprendre les mesures encore et encore ; les résultats n'apparaissent pas toujours immédiatement, soit parce que les échantillons nécessitent des semaines d'analyse, soit parce que le signal mesuré est absent par malchance, ou encore parce que l'hypothèse de départ était fausse. Pourtant, surtout en ce qui concerne les futures carrières, cette expérience peut être importante pour les élèves. Quoi qu'il en soit, il est bon d'avoir un plan B pour rebondir si les choses ne se passent pas comme on l'espérait.

Faites le point. Si le projet cherche seulement à donner une première expérience de la science, ce point peut ne pas être appliqué, mais si le transfert de connaissances récentes et de compétences est important, il est important de ménager des occasions régulières de récapituler. Gardez à l'esprit que les élèves du secondaire sont moins indépendants que les étudiants d'université.

Notation. Si le projet est lié au programme, la question de la notation va se poser. Les professeurs peuvent se

retrouver face à des rapports si spécialisés qu'il sera difficile de juger s'ils sont écrits par les élèves ou recopis d'après des sources connues des seuls scientifiques. Pour les élèves, il est important de savoir dès le début si le chercheur référent prendra part à la notation car ils construiront des relations différentes selon la situation. Ce qui sera noté et sur quels critères devra aussi être défini d'entrée de jeu. Les expériences produisant des résultats négatifs peuvent être bonnes en science si elles sont faites et interprétées correctement, et cela devra se refléter dans les notes.

Modérez les attentes des chercheurs. Pour des chercheurs, il est difficile de juger du niveau de réussite qu'on est en droit d'attendre d'un élève d'un âge donné. Ils peuvent avoir une bonne surprise, mais peuvent aussi appliquer inconsciemment les mêmes critères que pour leurs étudiants diplômés. C'est pourquoi le professeur doit leur donner une référence au début du projet, par exemple un rapport d'élève de l'année précédente.

Communication. Même si le projet semble bien se dérouler, garder le contact aide à confirmer à toutes les personnes concernées que leur travail est apprécié et à les assurer de l'intérêt des autres partenaires, donc à renforcer leur motivation. Si les choses tournent mal, les signaux d'alarme peuvent être relevés et traités tôt.

Favorisez les expériences extra-scolaires. Même si un chercheur ne voit aucune objection à venir dans un collège ou un lycée pour travailler avec les élèves, gardez en tête qu'il est dans un environnement différent de la classe laisse un souvenir bien plus vivace que n'importe quel diaporama. C'est là un élément qui devrait être inclus, si possible, dans toute coopération entre science et établissements scolaires.

Pensez aux carrières. Souvenez-vous que les scientifiques ne sont pas seulement des chercheurs, mais aussi des hommes qui peuvent tenir le rôle de modèles. Ne ratez pas la chance de

laisser les élèves découvrir comment «leur» chercheur en est venu à faire ce métier et par quelles étapes il est arrivé à sa position actuelle. Les élèves sont souvent stupéfaits d'apprendre que tel chercheur consciencieux a d'abord voulu être footballeur ou steward, que tel autre était mauvais en maths ou qu'il a passé plusieurs années à l'étranger.

Impliquez de jeunes chercheurs. Même s'il est bon que le directeur d'une institution scientifique de premier plan parle voire travaille avec des enfants, ces personnalités aux postes importants ont rarement du temps pour ces sortes de choses et auront tendance à déléguer ces activités à des gens plus jeunes de leur équipe comme des post-doctorants ou des jeunes diplômés. C'est en fait souvent mieux, car ces jeunes chercheurs sont plus disponibles pour les projets et souvent plus accessibles pour les élèves que des personnes de l'âge de leurs grands-parents.

Définissez les productions. Bien qu'une «simple visite occasionnelle d'un laboratoire de recherche» puisse paraître très satisfaisante aux personnes impliquées,



Chercheur interviewé par des élèves

il est souvent préférable de réfléchir à la forme que pourrait prendre un résultat tangible. Si on parvient à le définir de façon à ce que l'établissement scolaire et les chercheurs y trouvent leur compte, la motivation pour y arriver sera encore plus grande. Ainsi, plutôt que de demander simplement aux élèves d'écrire un rapport, on choisira de leur faire concevoir un poster que les chercheurs pourront afficher dans leur bureau. Ou bien d'assigner à un « groupe d'information » la tâche de faire un reportage photo ou filmé sur le projet. Dans certains cas, avec un peu d'entraînement, les élèves pourront même être capables de recueillir des données qui contribueront à une étude scientifique. De cette façon, tous les participants auront quelque chose à montrer de leurs efforts.

Reconnaissez la participation. Avoir participé à une activité de ce type peut être important dans le CV des élèves et des étudiants d'université. Leur fournir des certificats est un bon moyen de reconnaître leur participation. Même une simple mention de remerciement à toutes les personnes impliquées fait une différence.

Permettez aux chercheurs d'accéder aux rapports des élèves. À la fin d'un long projet, les élèves doivent en général donner une présentation ou rédiger un rapport.

S'il est clair pour eux que les chercheurs liront leur rapport, cela peut les dissuader de passer sous silence certains points dans l'espérance que le professeur ne le remarquera pas. Et d'un autre côté, c'est un bon moyen pour les chercheurs de voir comment les informations ont réellement été saisies et comment « leurs » élèves s'en sortent.

Engagement. Une chose doit être fixée très clairement : la coopération entre science et école ne fonctionne presque jamais sans une bonne dose d'engagement supplémentaire. Si les scientifiques et les chercheurs sont seulement prêts à faire ce pour quoi ils sont payés, mieux vaut qu'ils continuent leur travail comme d'habitude sans s'embêter avec des projets de ce genre. Cela a bien sûr des répercussions immédiates sur les attitudes : si une partie des partenaires investit du travail supplémentaire dans le projet, ils ne seront pas très heureux de voir l'autre partie ne rien faire et observer tranquillement le processus. Ainsi, en général, les projets qui fonctionnent le mieux sur le long terme sont ceux pour la réussite desquels tous les participants (chercheurs, professeurs et élèves) sont prêts à faire des heures supplémentaires.



peuvent décider quelle suggestion fonctionnera le mieux pour leur projet. L'aspect le plus important cependant est la communication : attentes et objectifs doivent être clairs des deux côtés, il doit y avoir des allers-retours continuels entre les différents participants pour éviter les impasses et les malentendus, et à la fin – surtout si d'autres projets sont envisagés – une évaluation critique commune doit aider à déterminer ce qui était bien et ce qui ne l'était pas.

Un objectif central du projet CarboSchools consistait à placer la science dans un contexte social. Les élèves adolescents en particulier ne sont pas forcément intéressés par l'étude de la science pour elle-même. Ils sont conscients des problèmes qui affectent le monde autour d'eux et ils veulent avoir un impact sur le futur. Par conséquent, ils désirent savoir comment la science influe sur l'avenir.

Il découle de cela que la science considérée avec ses implications sociales attire plus les élèves que la connaissance abstraite. « Pourquoi sommes-nous en train de changer les climats et comment la science peut-elle aider à lutter contre cela ? » est une question bien plus motivante que « Comment fonctionne la photosynthèse ? », même si toutes deux sont très proches. Il résulte aussi de cela que les chercheurs et les professeurs seront questionnés sur les implications sociales de leur science et peut-être confrontés à des discussions sur ces sujets. (De fait, l'aspect citoyen de l'éducation était une des conséquences souhaitées de nombre d'activités CarboSchools.) De nombreux chercheurs

se réjouissent de cette approche, mais parfois les codes de conduite en public ou les règles institutionnelles peuvent inhiber un échange ouvert. Le problème devra donc être abordé tôt dans l'organisation d'un projet reposant sur des questions de société.

Par ailleurs, alors que les élèves sont généralement prêts à accepter que les expériences qu'ils réalisent aient déjà été faites et mènent à un résultat connu, ils peuvent réagir plus violemment s'ils ont l'impression qu'ils sont aiguillés vers une conclusion prévisible. Ainsi, mêler enseignement de la science avec un «Agenda» (quelles que soient ses bonnes intentions) peut se retourner contre le projet.

S'ils ont du succès, ces projets ont vite tendance à devenir plus ambitieux que prévu. En soi, ce n'est pas une mauvaise chose et cela peut fournir un défi à toutes les personnes concernées. Cependant, il faut veiller à rester réaliste en termes de niveau des connaissances disponibles, d'objectifs et de temps investi.

Les choses deviennent sérieuses

Après les premières activités réussies, il peut arriver que l'initiative prenne de l'ampleur : les projets sont devenus plus élaborés, d'autres professeurs s'y sont intéressés et veulent s'y joindre ou commencer un projet de leur côté.

C'est le moment où les facteurs de temps et d'argent entrent finalement en scène, s'ils ne l'ont pas fait avant. En passant du stade de «projet» à celui de «coopération établie», les initiatives quittent le domaine où une ou deux personnes peuvent les gérer pendant leur temps libre ou arrivent à les faire entrer dans leur emploi du temps régulier. Dans l'expérience CarboSchools, le rôle d'un coordinateur devient essentiel pour faire le lien entre les professeurs et les scientifiques, trouver des fonds et organiser les plannings. L'encadré 3 «Pérennisation des projets» tente d'examiner quelques questions clés dans ce contexte.

C'est aussi le stade où le retour institutionnel devient un souci, à la fois dans les collèges et les lycées (le chef d'établissement soutient-il ce travail?) et dans les laboratoires (est-ce qu'une institution est prête à prendre part à ces projets sur des bases plus pérennes?). Dans la plupart des cas, il n'y a pas de véritable cadre institutionnel pour les coopérations science-école et des constructions particulières doivent être mises en place. Souvent, cela prend la forme d'une «suite continue de solutions intermittentes» (par exemple, des propositions pour un financement par une tierce partie), un mode opératoire qui n'est pas étranger aux chercheurs car une bonne part de la recherche se passe de cette façon.

Finalement...

Nous espérons que ce chapitre vous a convaincu que le temps et l'argent ne sont pas seuls à déterminer le succès des collaborations école-recherche. Cependant, après tous ces avertissements et toutes ces recommandations, on ne peut pas finir sans dire que les projets entre l'école et la recherche peuvent être très amusants et gratifiants ! Après un projet bien mené, tous les participants se sentiront bien entendu exténués, mais aussi très heureux et vraiment fiers d'eux. Ce devra être votre objectif !



Élèves français réalisant un film lors de la rencontre CarboSchools à Iéna, printemps 2010

3 Pérennisation des projets

Si toutes les parties en présence décident que leur travail vaut la peine d'être poursuivi, de nouvelles questions peuvent être soulevées :

Gestion du temps. Bien que les écoles ne puissent pas affecter le temps des élèves et des professeurs à leur guise, les emplois du temps peuvent tenter de mieux répondre aux besoins du travail de projet. Ainsi, placer deux heures de sciences en fin de journée permet aux élèves d'aller dans un laboratoire de recherche et de continuer à travailler un peu plus tard. De plus, un cours de deux heures laisse plus de temps pour les expériences en classe ou dans le laboratoire de l'école.

Financement. Il arrive un moment où ces partenariats requièrent de l'argent que l'on ne peut pas éternellement « prendre » à d'autres activités. En général, il n'est pas facile d'obtenir des financements solides, il faut donc chercher des sponsors, des subventions ou autres financements par une tierce partie. Dans bien des cas, obtenir de l'argent pour des équipements, des voyages ou des consommables n'est pas trop difficile, mais c'est une tout autre histoire quand il s'agit d'argent pour du personnel. Il n'est malheureusement pas possible de donner des recommandations générales en matière de financement, car les situations diffèrent trop d'un pays à l'autre. Cependant, dans la plupart des cas, il est sage d'étudier plusieurs possibilités et de ne pas se focaliser seulement sur une option « traditionnelle ».

Visibilité. Quel que soit celui qui paye, la visibilité est le facteur clé du financement : les sponsors veulent être reconnus et les fondations veulent pouvoir montrer des résultats. C'est pourquoi il est important d'établir un dossier sur le public atteint dans le contexte des projets d'école. Participer à des concours (au niveau individuel des élèves ou entre projets d'écoles) peut aider à faire prendre conscience de capacité de réussite portée par un projet.

Événements. Même si participer aux activités peut sembler suffisamment gratifiant à chacun, les moments plus marquants sont toujours les bienvenus. Puisque, surtout en sciences, les opportunités de « briller » par une réussite extraordinaire sont assez rares, créer des événements où les résultats remarquables peuvent être montrés ou reconnus publiquement aide à maintenir l'intérêt pour le projet. En même temps, les événements spéciaux peuvent augmenter la visibilité de l'institution de recherche ou le prestige de l'établissement scolaire.

Coordination. Quand plusieurs projets sont menés de front, la coordination devient un problème. Si une douzaine de professeurs proposent au même chercheur un projet de coopération, son enthousiasme déclinera vite. De même, si on décide d'organiser ensemble une exposition ou d'écrire une proposition commune, quelqu'un doit prendre cela en mains. Tôt ou tard, la présence d'un coordinateur devient vitale.

Créez une structure. Une juxtaposition inorganisée d'activités sans objectif clair et sans nom ne paraît pas très attractive pour des sponsors éventuels. Toute collaboration devrait se construire une identité et rester à l'intérieur d'un contexte bien défini. Cependant, il est important de garder le sens des proportions : trop restreindre le cadre limite les activités tandis que trop le diversifier déconcerte les clients et les soutiens.

Impliquez des chercheurs en sciences de l'éducation. À certains moments, il peut être profitable d'impliquer des chercheurs en sciences de l'éducation dans un projet. Ils peuvent vous conseiller sur la façon d'intégrer les projets aux programmes, vous aider à évaluer vos actions ou suggérer des méthodes utiles. Souvenez-vous cependant que vous dirigez le projet d'abord pour les élèves et les professeurs, pas pour les sciences de l'éducation.

Déouragez la « consommation passive ». Être capable de fournir des projets clés en mains aux écoles et aux chercheurs peut paraître tentant mais à long terme cela réduit leur motivation pour proposer des contributions originales. Finalement, les collaborations deviennent asymétriques et même forcées. Partager les responsabilités entre tous les participants produit des relations plus saines.

Évitez les répétitions. Dans des coopérations comme celles-là, la « routine » a du bon mais la « répétition continue » tue l'enthousiasme de tous. Ne dirigez pas le même projet encore et encore avec les mêmes professeurs. Les élèves ont besoin de sentir qu'ils font quelque chose de neuf, et les chercheurs en particuliers aiment essayer de nouvelles choses. Réinventez vos projets d'une fois à l'autre.

Posez des limites. Quelle que soit la tentation d'accueillir quiconque est intéressé, il y aura toujours des limites à ce qu'un établissement scolaire ou un institut de recherche peut faire. Se donner pour règle d'admettre ces limites et de les respecter délibérément évite que certains participants se sentent exploités. De plus, cela réduit le risque de disperser de trop maigres ressources et de perdre la qualité de l'approche. Apprenez à dire « non » aux requêtes et à laisser respirer vos partenaires.

N'attendez pas de miracles. Même avec le meilleur tutorat et des encouragements, tous les élèves ne deviendront pas des passionnés de science bardés de diplômes. Et même si certains le deviennent, cela ne sera pas avant plusieurs années. Le mieux à espérer à court terme est que les élèves apprécient les activités, qu'ils aient bien compris certaines notions, que les professeurs aient le sentiment d'enrichir leur enseignement et que les chercheurs aient envie de renouveler l'expérience.

Visez un résultat. Diriger des projets attrayants est bien beau mais s'il n'y a pas de résultat visible, il n'y a rien à montrer quand la nécessité s'en fait sentir. Des statistiques de participation, des coupures de presse, des pages Web, des photos, des rapports d'élèves ou des résultats d'évaluation sont autant d'éléments qui peuvent aider à attester le bon déroulement d'un projet.

Quelques exemples de coopérations

Kiel, Allemagne

À Kiel, le Leibniz Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) a hébergé des élèves isolés pour des «stages» depuis le début des années 1990. Bien qu'aucune coopération officielle n'ait existé avec des établissements scolaires ou des professeurs, ces stages étaient offerts en réponse aux demandes continues adressées par des élèves qui en avaient besoin pour leur CV. Les stages comprenaient une période d'une ou deux semaines au cours de laquelle les élèves réalisaient des travaux pratiques dans différents départements de l'institution, avec l'objectif d'avoir une première expérience du métier et d'apprendre différents aspects de l'océanographie. En 1998, l'institut a exploré une nouvelle voie en donnant aux stagiaires la possibilité d'écrire des pages Web pour le grand public (et notamment les scolaires) sur des questions spécifiques d'océanographie. Les résultats ont rapidement convaincu les scientifiques qui encadraient l'expérience du bien-fondé de cette approche et quand, en 2003, la Fondation Robert-Bosch a proposé à IFM-GEOMAR d'établir un projet commun «NaT-Working» (du nom du plan de financement) entre les collèges et lycées et la recherche océanographique, le terrain était bien préparé pour cette collaboration officielle.

L'initiative qui en a résulté a reçu de la Fondation Bosch un financement de départ pour trois ans, puis encore deux ans, et elle a encore cours aujourd'hui. Ses principes sont : rendre les sciences plus attractives pour les élèves, impliquer des scientifiques au cœur de ce travail, engager les professeurs dans les projets, adapter chaque projet aux chercheurs et aux sujets de recherche disponibles, mais aussi au temps et à l'âge des élèves, et enfin attacher fermement ce travail au contexte du développement public des projets de sciences. Avec le temps, un partenariat entre plusieurs établissements scolaires et l'institution de recherche s'est développé, qui a jeté les bases pour des propositions de financement supplémentaire dans le cadre du 7^e programme cadre européen (CarboSchools) ou de programmes allemands (German Excellence Initiative, Collaborative Research Centre).



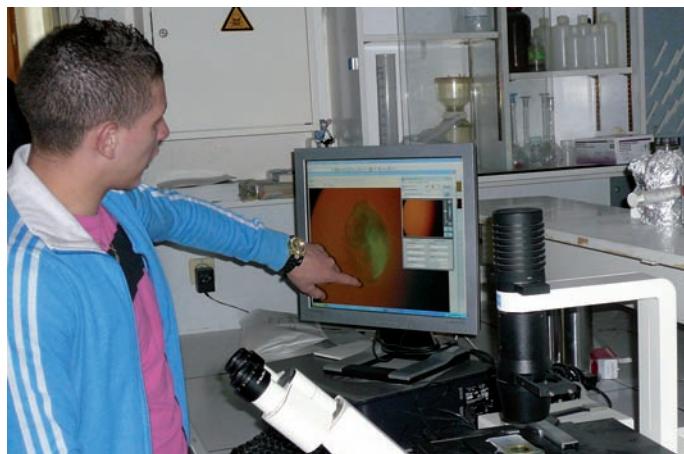
Visite de l'IFM-GEOMAR, Kiel, Allemagne

Aujourd'hui, le NaT-Working Marine Research s'est étendu bien au-delà d'une initiative locale et dirige des projets qui traversent les frontières et même les continents. Les projets couvrent un large spectre d'activités, depuis les interventions ponctuelles en fin d'école primaire (par exemple, expériences après l'école sur des aspects choisis de l'environnement marin) jusqu'à des travaux à plus long terme (un an et plus) en terminale, au cours desquels les élèves peuvent participer à des expéditions internationales de recherche dans l'océan Atlantique équatorial ou en Amérique du Sud.

Le noyau dur de l'équipe est constitué actuellement de quatre personnes (pour la plupart employées à mi-temps sur le projet), avec la collaboration de professeurs de dix collèges ou lycées partenaires et de chercheurs de l'IFM-GEOMAR. Comme le projet s'attache à faire réaliser un travail expérimental sur des sujets pointus, le nombre des élèves impliqués est relativement faible (de l'ordre d'une centaine par an), mais des événements au cours desquels ces élèves exposent leur travail au grand public élargissent considérablement cette audience.

Paris, France

Près de Paris, les chercheurs du LSCE (Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement) participent à des activités scolaires depuis longtemps. Ils sont souvent parents d'élèves et ils ont commencé par aller parler de leur travail devant la classe de leurs enfants et par montrer des



Élève expliquant une expérience destinée à déterminer l'effet de l'acidification sur la calcification des organismes

expériences. Jusqu'en 2006, ces activités étaient relativement spontanées, occasionnelles et sans lien les unes avec les autres. Pendant l'année scolaire 2006-2007, avec le soutien de la région Île-de-France aux projets CarboEurope et Carbo-Ocean, des actions plus continues ont eu lieu. Un coordinateur a été recruté pour établir des coopérations entre les professeurs du secondaire et les scientifiques autour du cycle du carbone. Ces actions se sont étendues depuis trois ans dans le cadre de CarboSchools. Des scientifiques d'autres laboratoires de l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace, un institut de recherche en sciences des climats qui regroupe six laboratoires dont le LSCE) ont été aussi impliqués.

Les premiers contacts ont été établis avec l'aide des inspecteurs de l'Éducation nationale qui ont permis au coordinateur de présenter une proposition devant les professeurs de sciences du secondaire, puis le bouche à oreille a pris le relais. Les activités scolaires ont duré de trois semaines (trois séquences hebdomadaires de trois heures) à toute l'année scolaire, avec des élèves de 11 à 18 ans. Une visite à la classe par le coordinateur ou un scientifique pour stimuler les élèves ; des expériences en classe, incluant travail sur la littérature scientifique et les données, rédaction de protocole d'expérimentation, critique du protocole, expérimentation elle-même ; des visites de laboratoires ; et enfin la présentation des résultats : telle fut à l'usage la meilleure séquence d'activités.

Pendant les trois années scolaires, plus de 800 élèves, 50 professeurs et 10 scientifiques ont participé à ces projets. De ces activités, nous avons appris que des échanges entre scientifiques et professeurs hors de la présence des élèves sont absolument nécessaires, de même que la présence d'un coordinateur, recruté par le laboratoire pour assurer le lien entre les enseignants et les chercheurs, veiller à la bonne marche de tous les projets et favoriser les synergies.

Florence, Italie

Dans les années 1990, en réponse au besoin des professeurs d'intégrer les outils et la méthodologie scientifiques dans leurs cours, l'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (institut de biométéorologie du Conseil national des recherches) a démarré des projets expérimentaux sur la météorologie dans le primaire et le secondaire. Ces collaborations ont commencé sous l'impulsion d'amitiés entre scientifiques et professeurs ou parents d'élèves. Au début, la plupart des activités étaient organisées sous la forme de séminaires et de cours magistraux, un mode d'enseignement fortement ancré dans le système éducatif, tout comme l'usage des ouvrages scolaires. Par ailleurs, des projets d'éducation locaux et régionaux financés par des institutions publiques (Région toscane, Province autonome de Trente) menèrent à la publication de résultats comme des livrets ou des vidéos pour les élèves et les professeurs.

La motivation des scientifiques et des enseignants et les bons échos recueillis par les initiatives ont soutenu les partenariats à travers le temps. Par ailleurs l'intérêt croissant pour les changements climatiques a entraîné la mise en œuvre d'un large éventail d'activités et de projets, parfois aussi par des équipes de recherche extérieures au partenariat CarboSchools.

En 2006 le projet international « partenariat professeurs-scientifiques » a commencé, grâce auquel des collaborations plus solides entre chercheurs, enseignants et élèves se sont développées sur les bases de formations pour les professeurs et d'activités pratiques pour les élèves.

Les projets CarboSchools sont caractérisés par une approche éducative innovante : en plus de l'acquisition classique de connaissances, l'utilisation d'équipements techniques pointus fournis par les

chercheurs permet aux élèves de réaliser sur le terrain des expériences sur certains aspects précis du cycle du carbone et des changements climatiques. Le processus d'apprentissage par des projets de terrain à long terme rapproche les élèves des véritables activités de recherche. De plus, puisque le travail de terrain demande en général de la patience et des compétences spécifiques, cette expérience peut aussi permettre d'identifier les aptitudes personnelles, intérêts et dispositions de chacun d'entre eux.

Le noyau dur de l'équipe de CarboSchools est composé d'un chercheur senior et de deux jeunes chercheurs qui soutiennent le partenariat (sur la base d'un mi-temps) et collaborent avec d'autres chercheurs, sept établissements scolaires et dix professeurs.

Bergen, Norvège

À Bergen, la coopération entre les scientifiques du Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) et les professeurs du secondaire a débuté en 2005. L'initiative est venue de deux programmes cadre de recherche FP6, CarboOcean et CarboEurope, qui avaient l'obligation contractuelle de transmettre leurs résultats de recherche au public, et notamment aux jeunes qui sont les décideurs de demain. Les scientifiques du BCCR qui étaient impliqués dans des projets scolaires travaillaient avant tout sur le cycle du carbone marin, par exemple en mesurant le CO₂ dans l'eau de mer.

Le contact entre scientifiques et professeurs a été établi en envoyant par email une demande générale à un petit nombre de professeurs et établissements scolaires de Bergen. La coopération a commencé avec un professeur du lycée Bergen Katedralskole, un chercheur et un technicien du BCCR; au cours du projet, les élèves ont réalisé des expériences en mer et participé à l'analyse des données recueillies dans le laboratoire de l'institut. Avant cela, des visites réciproques avaient eu lieu entre professeurs et scientifiques; ces rencontres et discussions initiales avaient été capitales pour mettre en œuvre le projet, et décider par exemple comment l'ajuster au programme ou comment y préparer les élèves et les motiver. Malheureusement, en l'absence de notation la première année, il a été difficile d'obtenir des élèves qu'ils finissent leur rapport final. Le projet n'avait pratiquement aucun financement la première année, mais à partir de 2008, il entra dans CarboSchools, avec un financement du 7^e programme cadre européen. La première année, la collaboration a été relayée par un journal local et un film, et des posters ont été réalisés et montrés dans plusieurs colloques internationaux.

Depuis 2008, la coopération a été étendue et nous avons obtenu une aide du Centre for Science Education à l'université de Bergen pour entrer en contact avec plus de professeurs et d'établissements. À présent, trois lycées de Bergen sont concernés par une coopération. Le thème central des projets varie selon la discipline enseignée par les professeurs – biologie, technologie et sciences, géosciences, etc. – et leur durée va de trois semaines à une année scolaire complète. Les projets reposent avant tout sur le travail expérimental à l'extérieur, à l'école et dans les laboratoires de recherche, mais des conférences introducives, des présentations en classe et des calculs sont aussi réalisés. Le travail est noté, ce qui est de toute évidence un progrès par rapport à la première année.

Ces trois dernières années, deux scientifiques (à mi-temps) se sont occupés de CarboSchools à Bergen. En général leurs collègues de recherche sont aussi tout à fait disposés à participer à des activités ponctuelles, comme donner une conférence, participer à des débats, être interviewés par des élèves, etc.



Remontée d'un filet à plancton lors d'une expédition en mer



CarboSchools
CarboSchools library

[Regional projects](#)
[SchoolCO2web](#)
[Contacts](#)
[Partners](#)

Description in:


[Activity reports](#)
[Subscription to news](#)





Welcome to the CarboSchools library

Resources for teachers and people involved in climate change projects at school

December 2010: New CarboSchools' educational booklet: [Global Change: from research to the classroom](#)

Activities

[Indoor hands-on](#)
[Outdoor hands-on](#)
[Using scientific data](#)

Carboschools brochures

[First educational booklet](#)
[Second educational booklet](#)
[Third educational booklet](#)
[Teacher-scientist partnership guide](#)
[Ocean acidification, the other CO₂ problem](#)

Other resources

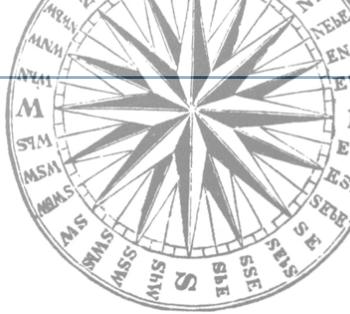
[Scientific reports](#)
[Links, tools and videos](#)





CarboSchools is funded by the 7th EU Framework Programme for research & technological development, Science in Society - contract 217551

Page d'accueil du site de la bibliothèque en ligne de CarboSchools



Chapitre 4

Expériences – Un rapide aperçu de la bibliothèque CarboSchools

Par Sally Soria-Dengg,

IFM-GEOMAR (Institut Leibniz des sciences océaniques), Kiel, Allemagne
et Marc Jamous, LSCE-IPSL, Paris, France

Faire des expériences est un moyen motivant et stimulant de faire découvrir et d'enseigner la science, que les élèves adorent parce que c'est « amusant ». Il est rare d'avoir l'occasion d'apprendre en s'amusant, et il faut saisir cette chance chaque fois qu'elle se présente. L'expérimentation permet aux élèves de visualiser les idées abstraites dont ils ont entendu parler dans les livres ou en cours. Pourtant en Europe, les opportunités de réaliser des expériences en classe, différentes selon les pays, sont le plus souvent réduites par les contraintes des programmes et surtout, hélas, par manque de ressources. Dans un pays comme l'Allemagne, où le système éducatif est sous l'autorité de plusieurs États, les différences de programmes entraînent aussi différentes approches d'une discipline.

Les élèves croient souvent à tort que faire une expérience consiste à exécuter un ensemble de gestes définis pour aboutir à un résultat attendu. Pourtant, un des charmes de l'expérimentation est précisément que les choses peuvent aller mal et que l'on est autorisé à se tromper – car ces « accidents » augmentent la valeur des expériences en permettant aux élèves d'apprendre de leurs erreurs. Idéalement, on devrait laisser aux élèves la possibilité de formuler leurs propres questions et hypothèses et, sous la conduite d'un professeur, de trouver comment les tester à travers leurs propres expériences – un fonctionnement difficile à mettre en œuvre dans le cadre de l'école car il demande beaucoup de temps et d'efforts.

L'un des objectifs des expériences développées par CarboSchools est de fournir aux professeurs un large éventail d'activités pour introduire le concept de cycle du carbone en classe. Ces activités peuvent être utilisées directement ou modifiées et adaptées pour des besoins spécifiques. Les expériences peuvent servir de base aux élèves pour approfondir leur réflexion sur le cycle du carbone et inspirer leurs propres expériences.

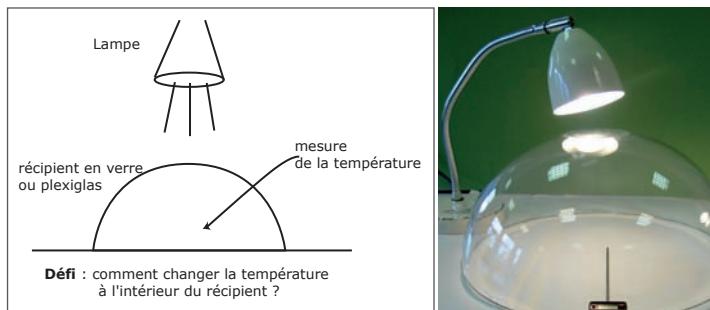
La majorité des expériences développées par CarboSchools peuvent être réalisées à faible coût et ne requièrent aucun équipement spécifique. On a pris soin de s'assurer qu'elles peuvent être reprises en classe avec un temps de préparation minimal pour le professeur. Pour certaines expériences cependant, des instruments coûteux sont nécessaires et il faudra alors chercher l'aide d'un institut de recherche, ce qui permettra par ailleurs de mettre les élèves en contact avec le monde de la recherche et les chercheurs, dans un véritable laboratoire (le chapitre 3 décrit en détail comment trouver et établir des contacts avec les instituts de recherche). La diversité des approches dans les différents projets CarboSchools se reflète dans la variété des activités et expériences développées. Des descriptions détaillées de toutes les expériences sont disponibles dans la bibliothèque en ligne de CarboSchools (www.carbo-schools.org/libraryHome.php).

Dans ce chapitre, trois expériences représentatives ont été choisies ; elles concernent des phénomènes en jeu dans respectivement l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, trois compartiments de la structure terrestre qui jouent un rôle majeur dans le cycle du Carbone. Ces exemples veulent montrer la structure et la présentation des expériences dans la bibliothèque ; ils rendent compte de la diversité des ressources disponibles.

Atmosphère

Comment la température globale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale

Voici une première expérience très simple pour introduire l'étude des changements climatiques. Le modèle expérimental qui suit résume la régulation de la température à la surface de la Terre.



La terre ou le sable dans le récipient représentent la surface terrestre, la lampe représente le soleil. Le récipient représente les gaz à effet de serre (mais PAS l'atmosphère), parce que le verre ou le plexiglas ont la même transparence et les mêmes propriétés d'absorption que ces gaz vis-à-vis de la lumière : transparence à la lumière visible mais opacité aux radiations infrarouges. Cette expérience illustre aussi l'origine du nom « gaz à effet de serre » car il s'agit en effet de créer une serre.

Objectif

Aider les étudiants à comprendre les phénomènes en jeu lors de la régulation de la température à la surface de la Terre.

TEMPS DE PRÉPARATION : 10-15 minutes

DURÉE DE L'ACTIVITÉ : 2 heures

TYPE D'ACTIVITÉ : pratique expérimentale

ÂGE DES ÉLÈVES AYANT TESTÉ L'ACTIVITÉ : 14-17 ans

APPLICATION : physique, absorption et réflexion de la lumière

DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 1-2 heures

CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISSES : bases sur les gaz à effet de serre et l'atmosphère

COÛT : faible ; les matériaux nécessaires sont disponibles dans les établissements scolaires

DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : facile

Matériel

- Récipients transparents du type saladier (en verre ou en plexiglas) qui peuvent s'emboîter les uns dans les autres
- Thermomètres
- Sable et terre de différentes couleurs (du papier noir et blanc peut suffire)
- Lampes de bureaux

Procédure

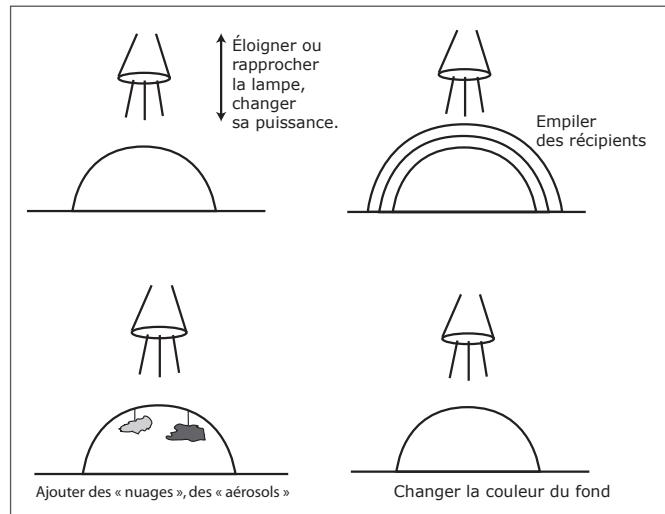
1. Installez le récipient retourné, la lampe et le thermomètre comme sur la photo ci-dessus.
2. Demandez aux élèves comment changer la température dans le récipient en restant réaliste : puisque la lampe représente le Soleil, l'éteindre pour réduire la température n'est pas une solution possible, car elle reviendrait à éteindre le Soleil.
3. Si vous le souhaitez, posez un défi encore plus précis aux élèves : augmenter la température de 1 degré en suggérant différentes solutions. Cet exercice est intéressant parce qu'il montre que différents phénomènes peuvent avoir le même résultat ; la température à la surface de la Terre peut varier pour diverses raisons.

Solutions possibles (mais laissez les élèves les trouver seuls)

- Placer la lampe plus ou moins loin du récipient correspond à l'éloignement plus ou moins grand du Soleil par rapport à la Terre en fonction de sa trajectoire, ou à la variation d'intensité de ses

rayons. Modifier la puissance de la lampe peut aussi être accepté comme une représentation du même phénomène.

- Augmenter le nombre des récipients correspond à une augmentation des gaz à effet de serre. Afin d'observer un gradient de température similaire à celui de l'atmosphère (ou de la troposphère pour être précis), placez un thermomètre entre chaque récipient.
- Changer la couleur de fond représente les changements de couleur de l'atmosphère (du fait de la présence de nuages par exemple) ou de la surface terrestre (la fonte des glaces contribue à assombrir la couleur moyenne de la surface terrestre alors que l'extension des déserts l'éclaircit).
- Ajouter des morceaux de feuilles d'aluminium représente les nuages et les aérosols. C'est intéressant car les résultats sont imprévisibles. Les nuages et les aérosols constituent de grandes inconnues dans les modèles de prévisions des changements climatiques.



Comment réaliser les mesures ?

La difficulté de cette expérience est que la température sous le récipient met du temps à se stabiliser (plus de 50 minutes). Cela oblige soit à attendre la stabilisation pour obtenir des températures comparables, soit à commencer l'expérience avec les mêmes températures initiales et à prendre note des changements de température. La seconde solution est plus simple à mettre en œuvre en classe car elle permet aux élèves de voir rapidement les différences de température (entre 2 et 5 minutes). Elle donne en outre l'occasion d'aborder la notion d'équilibre : lorsque l'on change un paramètre, une variable change lentement, jusqu'à atteindre une nouvelle valeur, qui est le résultat d'un équilibre. Il en va de même pour les changements climatiques : même si on arrête maintenant nos émissions de gaz à effet de serre, la température continuera d'augmenter.

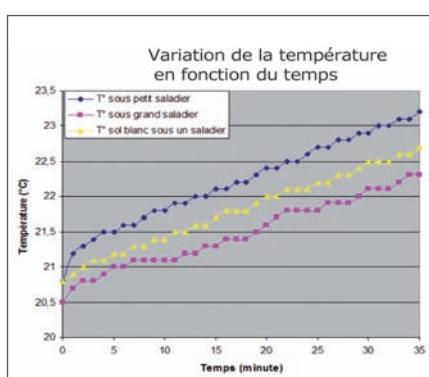
Quelques exemples de dispositifs mis en place

Ces exemples sont issus de travaux réalisés par une classe de seconde (lycée de Vilgenis, Massy) en cours de SVT, lors de deux séances d'une heure et demie incluant le temps nécessaire à la prise de photos et à la réalisation de posters. Les élèves ont opté pour la deuxième façon de mesurer (noter les changements de température) puisqu'ils n'avaient pas le temps d'attendre que la température se stabilise.

1) Augmentation de la concentration de gaz à effets de serre

MODÈLE EXPÉRIMENTAL :

les élèves ont choisi d'empiler deux récipients. La température était mesurée sous les deux bols (courbe bleue du graphique ci-dessous) et entre les deux (courbe rose).

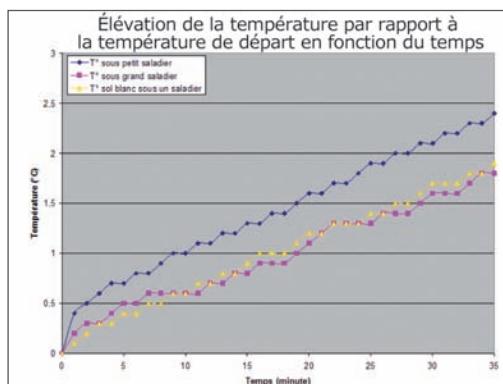


RÉSULTATS

Le graphique ci-contre rend compte des variations des températures mesurées en fonction du temps :

- Courbe jaune : température sous un seul récipient, courbe témoin
- Courbe bleue : température sous les deux récipients (correspondant à une situation dans laquelle la concentration en gaz à effet de serre a augmenté)
- Courbe rose : température entre les deux récipients (correspondant aux températures mesurées au milieu de la troposphère)

On observe sur le graphique que les températures varient dès le début de l'expérience. Pour obtenir des résultats comparables, les élèves produisent un graphique montrant l'augmentation de la température en relation avec le début de l'expérience (graphique ci-dessous).



Augmentation de la température au cours du temps par rapport aux conditions initiales :

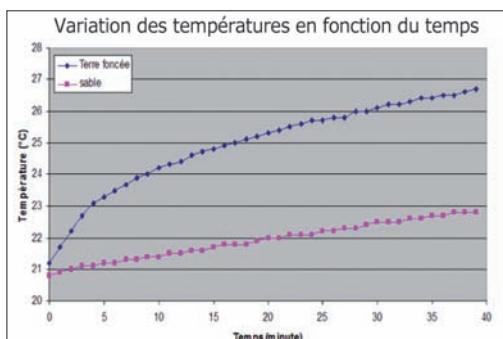
- Courbe jaune : température sous un seul récipient, courbe témoin
- Courbe bleue : température sous les deux récipients (correspondant à une situation dans laquelle la concentration en gaz à effet de serre a augmenté)
- Courbe rose : température entre les deux récipients (correspondant aux températures mesurées au milieu de la troposphère)

Ces expériences montrent qu'en augmentant le nombre de récipients entre la lumière et la terre, les températures de la terre augmentent. En outre, un gradient de température est créé en augmentant les couches de verre. Ce modèle expérimental est donc une bonne analogie des gaz à effet de serre.



2) Changer la couleur de la surface de la Terre

- MODÈLE EXPÉRIMENTAL : a) sous un récipient avec un sol sombre,
b) sous un récipient avec un sol de sable clair.

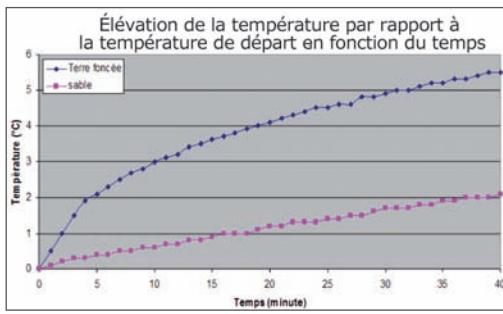


RÉSULTATS

Le graphique ci-contre rend compte des variations des températures mesurées en fonction du temps :

- Courbe rose : température mesurée avec un sol de sable clair
- Courbe bleue : température mesurée avec un sol sombre

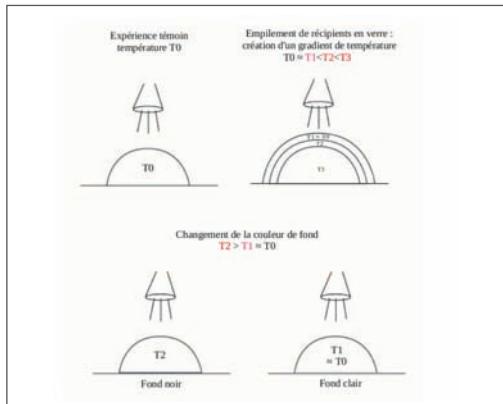
Là encore, comme les conditions de température initiales diffèrent un peu, les élèves ont produit un second graphique pour montrer la hausse de température par rapport à ce qu'ils avaient mesuré au début de l'expérience.



Augmentation de la température au cours du temps par rapport aux conditions initiales :

- Courbe rose : température mesurée avec un sol de sable clair
- Courbe bleue : température mesurée avec un sol sombre

Ces expériences montrent que la couleur du sol a une influence sur ses températures : plus le sol est sombre, plus la température est haute. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que les surfaces sombres absorbent davantage l'énergie de la lumière visible.



Lors d'une discussion avec les élèves, il a été souligné que la fonte des glaces a un effet aggravant sur la hausse des températures : une augmentation de la température conduit à la fonte des glaces aux pôles, qui provoque un assombrissement de la couleur moyenne de la Terre (le blanc est remplacé par le bleu sombre de l'océan ou le brun des continents) ; en conséquence l'énergie absorbée par la Terre augmente, d'où hausse des températures, fonte des glaces, etc. Un cercle vicieux connu sous le nom de «retour positif» a commencé.

Hydrosphère

Interaction à l'interface air-eau

Que se passe-t-il à la surface d'un plan d'eau (lac ou mer) quand du dioxyde de carbone se dissout dans l'eau? Les surfaces d'air et d'eau sont le lieu d'échanges gazeux constants. La température est l'un des facteurs susceptibles d'affecter ces échanges. Dans une large étendue d'eau, qu'arrive-t-il aux gaz qui sont dissous à la surface et ne sont pas transportés dans des couches plus profondes? Ils resteront à la surface et s'équilibreront avec la concentration en gaz de l'atmosphère.

Objectifs

Démontrer les échanges gazeux à la frontière entre l'air et l'eau pour les relier à ce qui arrive à l'interface air-océan. Montrer comment la température affecte ce processus.

TEMPS DE PRÉPARATION : 15 minutes
 DURÉE DE L'ACTIVITÉ : 15-45 minutes
 TYPE D'ACTIVITÉ : pratique expérimentale
 ÂGE DES ÉLÈVES AYANT TESTÉ L'ACTIVITÉ : 10-12 ans
 APPLICATIONS : physique, chimie
 DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 20 minutes
 CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISES : interactions acide-base, concept de marqueur coloré
 COÛT : marqueur coloré (15 euros/250 ml), bougies flottantes (3 euros)
 DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : facile



Matériel nécessaire à l'expérience

Matériel*

- 6 saladiers de même diamètre (deux d'entre eux servent de témoins)
- Eau distillée à température ambiante
- Eau distillée glacée (cubes de glace)
- Allumettes
- 12 bougies flottantes blanches
- Papier blanc (fond)
- Marqueur universel (McCrum)

* Pour économiser du matériel, vous pouvez faire les expériences une par une. Vous n'aurez alors besoin que de 2 saladiers et 4 bougies.



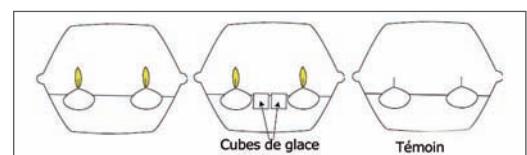
Quatre bougies flottantes allumées sont placées dans un saladier plein d'eau. Notez la couleur de l'eau à l'interface air-eau.

Procédure

1. Placez trois saladiers sur un fond blanc. Remplissez-les avec le même volume d'eau distillée environ aux trois quarts. Refroidissez un saladier avec des cubes d'eau distillée glacée. Ajoutez quelques gouttes de marqueur coloré dans les saladiers. Assurez-vous qu'ils ont la même intensité de couleur verte.
2. Allumez 8 bougies flottantes et placez-en 4 dans chaque saladier. Mettez les 4 dernières bougies non allumées dans le troisième saladier, cela servira de témoin. Couvrez les saladiers avec les trois saladiers restant. Notez la couleur de l'eau au début de l'expérience.
3. Observez les changements de couleur de l'eau dans les trois saladiers. Pour les voir, regardez à la limite entre l'air et l'eau.



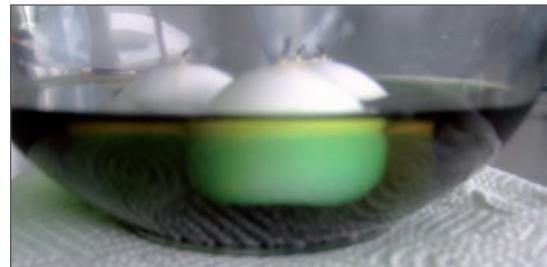
Le saladier est couvert par un autre saladier. Au bout de quelques minutes, après avoir consommé tout l'oxygène, les bougies s'éteignent. Le dispositif témoin est le même avec les bougies éteintes.



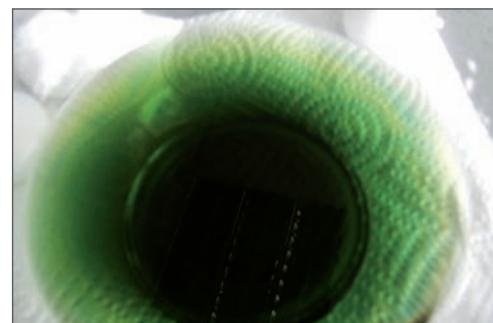
Les trois dispositifs

Résultats et points de discussion

- Quels changements de couleur observez-vous ? Qu’indiquent-ils ?
- Où se passent les changements de couleur ? Est-ce que toute l’eau du saladier change de couleur ? Que peut-on en conclure concernant les océans ?
- Dans quel saladier le changement de couleur est-il le plus visible ? Comment expliquez-vous cela ?



Quelques minutes après l’extinction des bougies, une fine couche jaune se forme à la surface de l’eau. Cela indique une acidification de la surface en raison de la dissolution du dioxyde de carbone.



Couleur de l’eau avant et après l’expérience avec les bougies allumées

Remarques

- I. Le passage du vert au jaune (basique à acide) se produit seulement à la surface de l’eau qui est en contact direct avec l’air. La surface de l’eau est rendue acide par la dissolution du dioxyde de carbone dégagé par la combustion des bougies. C’est pourquoi, elle ne change pas dans le saladier témoin, où il n’y a pas d’augmentation de CO_2 (pas de combustion de bougie).
- II. Si l’eau n’est pas du tout remuée, la couleur reste à la surface et ne se diffuse pas dans les profondeurs du saladier. Dans l’océan, le CO_2 dissous à la surface disparaît effectivement de l’atmosphère s’il est transporté physiquement dans les couches plus profondes par convection.
- III. L’eau refroidie d’un des saladiers devrait être plus jaune car les gaz sont plus solubles dans l’eau froide. Toutefois, comme l’eau dans le saladier a une température uniforme, il n’y a pas de transport de l’eau acide vers le fond du saladier.
- IV. Dans cette expérience, on utilise délibérément de l’eau distillée pour montrer que le pH change à la surface de l’eau en utilisant le marqueur universel McCrumb. L’eau de mer ne fonctionne pas dans cette expérience car le marqueur n’est pas assez sensible pour mesurer un faible changement de pH. Le pouvoir tampon de l’eau de mer conduira à un changement de pH plus petit que celui qui est obtenu avec de l’eau distillée.

Expériences complémentaires

Retirez le saladier-couvercle et laissez le dispositif pendant un moment. Observez le changement de couleur à la surface de l’eau. Après quelques minutes, la couleur jaune disparaît car il se crée un équilibre avec l’air ambiant, moins concentré en dioxyde de carbone. Ce phénomène est plus rapide si vous remuez le contenu du saladier.

Pour montrer le phénomène de la convection, retirez le saladier-couvercle du dispositif qui ne contient pas les cubes de glace. Ajoutez des cubes de glace et replacez le couvercle : une partie de l’eau de surface va refroidir, et commencer à plonger au fond du saladier.

Les expériences qui précèdent requièrent un matériel simple, facile à trouver dans un collège ou au magasin d'à côté, et peuvent être réalisées en classe. Cependant, plusieurs projets CarboSchools ont été conçus pour des élèves de lycées qui avaient acquis suffisamment de connaissances sur le cycle du carbone pour comprendre des expériences plus complexes. C'est pourquoi certaines expériences décrites dans la bibliothèque CarboSchools nécessitent des équipements spécifiques qui peuvent être fournis par un laboratoire partenaire.

L'expérience qui suit sur la respiration des sols en est un exemple. Nous donnons toutefois une méthode alternative utilisant un matériel moins onéreux que l'analyseur de gaz. La méthodologie décrite ci-dessous est utilisée dans la recherche actuelle, ce qui la rend encore plus intéressante pour les élèves.

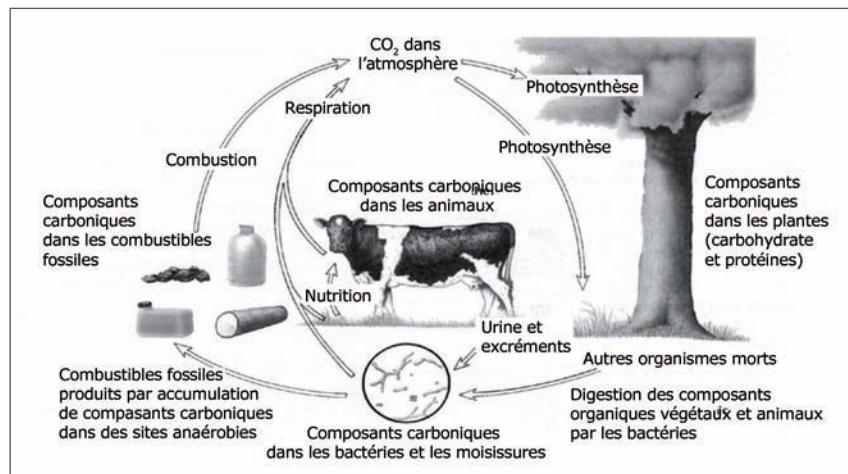
Seule la partie concernant la respiration des sols est décrite dans ce chapitre. La définition des autres paramètres comme l'humidité du sol, sa densité, son pH, etc. peut être téléchargée de la bibliothèque en ligne.

Lithosphère

Le sol respire

Les sols représentent un énorme stock de carbone et jouent un rôle important dans le cycle du carbone. Le dioxyde de carbone est absorbé par la végétation et est transformé en matière organique dans les écosystèmes marins et terrestres.

Le dioxyde de carbone retourne aussi à l'atmosphère à partir des sols. Les sols sont en fait le substrat dans lequel les organismes vivants interagissent avec les matériaux non vivants, les processus de décomposition et de minéralisation par les microorganismes et les bactéries ont lieu, et dans lequel d'autres échanges se développent entre le sol et l'atmosphère. On appelle la production de dioxyde de carbone et sa diffusion dans l'atmosphère « la respiration des sols ».



Le cycle du carbone

La respiration du sol dépend des caractéristiques de la matière organique d'un sol donné, des conditions pédoclimatiques et de la présence d'organismes. La transformation de la matière organique peut mettre de un à dix ans selon l'écosystème végétal. L'humidité et la température du sol influencent les processus de minéralisation produits par les organismes vivants, donc, par conséquent, la libération de CO₂ vers l'atmosphère. Les échanges de CO₂ sont augmentés aussi par une grande porosité des sols.

L'activité décrite ici ne montre pas seulement les échanges de dioxyde de carbone entre l'atmosphère et les sols, mais aussi comment la végétation influence ces échanges. Les élèves vont comparer des utilisations et des couvertures différentes des sols. Par exemple, ils peuvent réaliser leurs mesures dans une forêt naturelle, dans un champ cultivé, dans un jardin ou dans un potager.

TEMPS DE PRÉPARATION : il consiste à s'habituer au matériel.
Compter une séance de 45 minutes pour cela.

DURÉE DE L'ACTIVITÉ : cette activité peut être étalée sur plusieurs mois en refaisant l'expérience régulièrement si l'objectif consiste à observer la respiration des sols au cours des saisons.
Chaque reprise dure environ 20 minutes.

APPLICATIONS : sciences de la terre, chimie, biologie

DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 20 minutes

CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISES : connaissances de base en chimie ; des connaissances en science de la terre sont appréciables ; photosynthèse

COÛT : la sonde pour mesurer le CO₂ (EGM1 de PPSystem, Hitchin, Royaume-Uni) est fournie par le centre de recherche. D'autres sondes peuvent être utilisées à la place (prêtées par un laboratoire, ou équipant déjà certains établissements scolaires). Le détecteur colorimétrique de gaz coûte environ 30 euros.

DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : Moyen à élevé

Matériel

- Sonde à CO₂ EGM-1 avec sa chambre d'analyse, ou tout autre analyseur à infrarouge équipé d'une chambre d'analyse

Comme alternative, on peut utiliser :

- Une chambre cylindrique en PVC, de 10 cm de diamètre et 15 cm de hauteur
- Des cylindres de caoutchouc ajustés pour fermer la chambre
- Deux tubes en plastique souple
- Un marteau et un bloc de bois
- Un bâton de 1 mètre
- Un chronomètre
- Un tube de détection de gaz colorimétrique
- 2 aiguilles et une seringue de 150 ml
- Un thermomètre pour mesurer la température du sol
- Carnets de note et crayon

Procédure

En utilisant l'EGM-1

EGM-1 est un analyseur de gaz à infrarouge qui mesure les échanges de dioxyde de carbone entre le sol et l'atmosphère. Il est équipé d'un filtre à eau qui extrait la vapeur d'eau du flux d'air et ainsi ne mesure pas l'absorption par les infrarouges de l'eau contenue dans le sol. L'appareil est connecté à une chambre cylindrique d'une hauteur de 15 cm et d'un diamètre de 10 cm, placée sur le sol juste avant le début des mesures.

Une fois la chambre placée sur le sol (avec précautions, voir plus bas), le CO₂ dégagé par le sol est mesuré automatiquement par l'analyseur de gaz. Un ventilateur intérieur automatique assure la circulation continue de l'air dans la chambre, garantissant une valeur représentative du flux mesuré. L'appareil mesure la concentration en CO₂ et s'arrête après 120 secondes ou dès qu'une différence de 60 ppm avec la valeur initiale est atteinte.

L'appareil mesure la concentration en dioxyde de carbone (ppmv) et les échanges de dioxyde de carbone depuis le sol (g/m²/h)

1. Découpez un morceau de terre d'environ 10 cm de profondeur dans un jardin ou une forêt. Essayer de garder l'échantillon intact et compact, ou si vous pouvez, faites l'expérience dehors en choisissant un ou plusieurs sites avec des caractéristiques différentes.

2. Retirez les résidus végétaux et supprimez toute végétation dans un périmètre d'environ 15 cm de diamètre afin d'éviter de mesurer du CO_2 provenant de la respiration des feuilles.
3. Placez la chambre de l'EGM sur le sol en bouchant l'ouverture avec la main jusqu'à ce que la chambre soit posée pour éviter que de l'air n'y entre; attendez jusqu'à ce que la mesure soit terminée. Répétez la mesure sur tous les sites préparés (une mesure dure environ 120 secondes).
4. Relevez les valeurs sur un carnet.

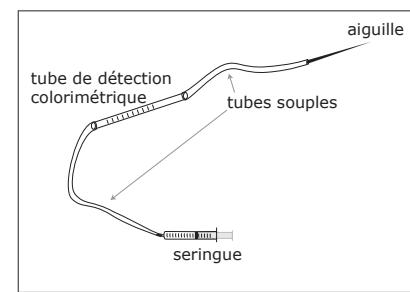
Procédure utilisant une méthode alternative

(source : *Soil quality test kit guide*, 1999, du Natural Resources Conservation Service du Department of Agriculture des États-Unis d'Amérique)

1. Nettoyez la surface du sol de la végétation et des résidus végétaux. Enfoncez la chambre cylindrique dans le sol d'environ 10 cm, en vous aidant éventuellement d'un marteau et du bloc en bois. Si le sol est rocheux, enfoncez la chambre seulement jusqu'à ce que vous sentiez la résistance des cailloux.
2. Estimez de quelle hauteur la chambre est enfoncée (en centimètres) en mesurant la hauteur qui dépasse (faites 4 estimations et prenez la moyenne).
3. Couvrez la chambre avec le couvercle et attendez **exactement** 30 minutes.



4. Pendant que vous attendez, préparez l'appareil qui va mesurer le CO_2 :
 - a. plantez une aiguille à l'extrémité d'un des tubes de plastique souple (la pointe doit sortir du tube),
 - b. ouvrez les deux extrémités du tube de détection de gaz colorimétrique,
 - c. reliez le tube de détection de gaz colorimétrique à l'extrémité libre du tube de plastique souple dans lequel vous avez planté l'aiguille,
 - d. prenez le second tube en plastique souple et reliez-en un bout à l'extrémité libre du tube de détection de gaz colorimétrique, l'autre à la seringue.



5. Après les 30 minutes, enfoncez l'aiguille dans le couvercle de la chambre et la deuxième aiguille dans le second couvercle pour permettre un flux d'air dans l'espace supérieur pendant le prélèvement du gaz. La deuxième aiguille doit être plantée juste avant que l'espace supérieur ne soit prélevé.
6. Prélevez doucement 100 cc d'air dans la seringue (100 cc = 100 ml)
7. Si le tube de détection de gaz colorimétrique indique une valeur inférieure à 0,5 %, prélevez quatre autres échantillons de 100 cc à travers le même tube de détection de gaz colorimétrique. Pour réaliser ces opérations, débranchez le tube de la seringue pour retirer l'air et rebrancher le tube à la seringue. Prélevez à nouveau un échantillon de 100 cc.
8. Notez le pourcentage de CO_2 mesuré par le tube de détection de gaz colorimétrique : lisez le résultat dans la colonne « n = 1 » si 100 cc ont été prélevés ou dans la colonne « n = 5 » si 500 cc ont été prélevés. On estime que le pourcentage de CO_2 présent dans la chambre correspond au plus haut point présentant une couleur violette facilement visible.
9. Mesurez la température du sol le plus proche de la chambre. Retirez le couvercle quand les mesures sont terminées.
10. Calculez la respiration du sol

La respiration du sol (RS) est la quantité de CO_2 qui est libérée pour une surface du sol pendant un temps donné ($\text{g/m}^2/\text{h}$).

La première étape consiste à convertir le pourcentage de CO_2 mesuré en grammes de CO_2 par m^3 :

- Masse molaire du CO_2 : 44,01 g/mol
- On considère qu'une mole de CO_2 occupe $22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (loi des gaz parfaits)
- On calcule le nombre de moles de CO_2 dans la chambre à l'aide du volume au dessus de cette chambre : nombre de moles de CO_2 = % de CO_2 x volume au-dessus du sol (en m^3) / ($22,4 \times 10^{-3}$)
- Volume au-dessus du sol : Surface de la chambre x hauteur **en mètres** de la chambre au-dessus du sol = $(0,1^2 \times \pi/4) \times$ hauteur **en mètres** de la chambre au-dessus du sol ($0,1^2$ car le diamètre de la chambre est de 10 cm et on souhaite obtenir le volume en m^3) = volume en m^3
- Masse du CO_2 dans la chambre = nombre de moles de CO_2 x 44,01 (masse molaire du CO_2)

Le calcul précédent fonctionne pour les gaz parfaits dans des conditions standard (15°C et une pression de 1013 hPa). Comme vous ferez rarement vos mesures à 15°C , cela entraînera une petite erreur dans le nombre de moles (les différences de pression sont trop faibles pour être considérées). Il faut donc ajouter un facteur correctif : le facteur de température, FT.

- Le facteur de température (FT) est exprimé en degrés Kelvin (°K). Il est égal à la température mesurée en °C plus 273,15, le tout divisé par 273,15 (0°C = 273,15°K). Donc $FT = (T \text{ en } ^\circ\text{C} + 273,15) / 273,15$
- Et ainsi, la masse du CO₂ dans la chambre correspond au résultat précédent multiplié par FT.

Vous avez la masse du CO₂ dans la chambre à la fin de l'expérience. Pour connaître la masse de CO₂ au départ de l'expérience, vous devez refaire le calcul précédent avec un pourcentage de CO₂ correspondant à l'air ambiant. C'est pour cette raison qu'il est important de mesurer la concentration en CO₂ avant le début de l'expérience. À la fin de votre calcul, n'oubliez pas de multiplier la masse de CO₂ trouvée par le même facteur de température (FT) utilisé pour la masse de CO₂ calculée en fin d'expérience.

Une fois la masse de CO₂ en début et en fin d'expérience calculée, faites la différence entre les deux masses, divisez par la surface de la chambre puis par le temps de l'expérience (en heure) et vous obtiendrez la respiration du sol en grammes de CO₂ par m² par heure.

Le calcul complet se réalise ainsi :

$$RS = [(T + 273,15) / 273,15] \times (\% \text{ CO}_2 \text{ fin exp.} - \% \text{ CO}_2 \text{ début exp.}) \times (44,01 / 22,4 \times 10^{-3}) \times (0,1^2 \times \Pi / 4) \times H / [(0,1^2 \times \Pi / 4) \times 0,5]$$

T est la température du sol, en **degrés celsius**. H est la hauteur de la chambre au-dessus du sol, exprimée en **mètres**. Nous rappelons que $0,1^2 \times \Pi / 4$ est le calcul de la surface, en **m²**, d'une section de la chambre, qui a un diamètre de 10 cm (0,1 m). Et le dernier 0,5 correspond à la durée de l'expérience en heure (30 minutes, donc 0,5 heure).

Comme le calcul de la surface d'une section de la chambre se retrouve à la fois dans le numérateur et le dénominateur, on peut l'enlever et obtenir un calcul simplifié :

$$RS = [(T + 273,15) / 273,15] \times (\% \text{ CO}_2 \text{ fin exp.} - \% \text{ CO}_2 \text{ début exp.}) \times (44,01 / 22,4 \times 10^{-3}) \times H / 0,5$$

Après les mesures, les échantillons de sol peuvent être analysés : on estime le nombre de racines, la masse des microorganismes et certaines caractéristiques physico-chimiques : pH, humidité...



Élèves effectuant les mesures avec une sonde EGM-1 sur un sol herbeux

Comparaison des données et discussion

- Dressez un tableau pour comparer la respiration des sols en fonction de leur nature ou de leur utilisation. Différents facteurs peuvent produire ou influencer la production de CO₂ : comparez, pour les différents emplacements, la biomasse, la couverture, la densité et la texture du sol.
- Faites un autre tableau pour comparer les concentrations de CO₂ du sol et la concentration atmosphérique juste au-dessus.

Discussion des résultats

1. Quels sont les facteurs qui produisent du CO₂ dans le sol et qui influencent sa libération vers l'atmosphère ?
2. Quels sont les facteurs limitants ?
3. Réfléchissez sur la gestion des sols et leur couverture. Quel est l'écosystème le plus actif pour la respiration des sols ?
4. Que pensez-vous des sols agricoles ?

Exemples de tableaux remplis par nos élèves

15 janvier 2009	CO ₂ (ppmv)	RS (g CO ₂ /m ² /h)
Couverture : herbe	447,2	0,73
Sol exploité	473	3,64

Tableau 1 : concentration du CO₂ et respiration d'un sol herbeux (2^e ligne) et d'un sol préparé pour une plantation (3^e ligne). La sonde EGM-1 a été utilisée.

Le tableau 1 (données obtenues par des élèves) montre une respiration importante pour les sols préparés à être plantés. Cette préparation change les caractéristiques du sol, notamment sa porosité ; des fractions de sol habituellement enfouies sont exposées à

l'atmosphère ; des réactions d'oxydation et des processus de minéralisation s'accélèrent. La production de CO₂ augmente, ainsi que sa libération vers l'atmosphère. Ce résultat stimule des hypothèses et des discussions sur les relations entre les techniques agricoles et le stock de carbone. Dans des sols non perturbés, la respiration augmente avec la température.

Date	Couverture du sol	CO ₂ (ppmv)	+/-	RS (g CO ₂ /m ² /h)	+/-	HR (%)	+/-	T (°C)	+/-
28/11/09	herbes	482,5	24,82	2,33	1,45	17,9	0	10,75	0,5
16/01/10	herbes	411,2	6,13	0,38	0,16	42,5	0,06	3	0
10/02/10	herbes	397,5	27,86	0,58	0,57	33	0,1	3,75	0,5
23/02/10	herbes	432,5	13,82	0,97	0,19	17,6	0	8	0
13/03/10	herbes	467,5	55,65	0,83	0,63	18,1	0	3	0

Tableau 2 : Exemples de résultats obtenus pendant l'année 2009-2010 sur des sols herbeux : moyennes et écart-types (+/-) de la concentration en CO₂ (CO₂), de la respiration du sol (RS), de l'humidité relative (HR) et de la température du sol (T).

Les données du tableau 2 montrent une forte baisse de la concentration en CO₂ et de la respiration des sols au milieu de l'hiver (février). La faible température des sols réduit l'activité biologique, ce qui influence le relâchement de CO₂. Pendant les saisons plus chaudes, l'humidité relative joue un rôle plus important dans l'importance de la respiration des sols (si on exclut les conditions extrêmes de saturation en eau ou de sécheresse).

La bibliothèque CarboSchools

Parvenir à développer et concevoir du matériel que les professeurs et autres éducateurs puissent utiliser pour enseigner le cycle du carbone à l'école constitue une des clés de la réussite de CarboSchools. C'est pourquoi nous avons collecté dans la bibliothèque en ligne toutes les expériences, les protocoles, la littérature et tout autre matériel utile développé au cours des différents projets régionaux.

Les projets régionaux de CarboSchools étaient principalement destinés aux élèves du secondaire, âgés de 14 à 18 ans, mais nombreuses d'expériences peuvent être adaptées à des élèves plus jeunes. Certains professeurs peuvent trouver difficile d'introduire l'étude du cycle du carbone en classe parce qu'ils n'ont pas les connaissances nécessaires en sciences ou, dans certains cas, en mathématiques, ou bien parce qu'ils n'ont pas l'habitude de travailler avec des ordinateurs. Pour surmonter ce problème, des références bibliographiques complémentaires sont fournies à la fin des expériences pour orienter les professeurs vers la littérature pertinente. Bien que ce ne soit pas une obligation, le soutien d'un institut de recherche et l'implication de chercheurs peut aussi aider les professeurs à affronter cet obstacle.

Pour faciliter la recherche d'expériences et d'activités adaptées aux besoins et envies des utilisateurs, chaque description comporte les éléments suivants :

- temps de préparation,
- durée de l'activité,
- type d'activité,
- âge des élèves ayant testé l'activité,
- applications (partie du programme ou matières dans le cadre desquelles l'expérience peut être réalisée),
- durée de l'analyse des données et de la discussion,
- connaissances préalables requises,
- coût,
- degré de difficulté.

Beaucoup d'expériences figurant dans la bibliothèque de CarboSchools sont simples, à usages multiples et adaptables. Les activités ont été testées sur des élèves d'âge donné ; des chercheurs ont validé leur pertinence scientifique et des professeurs ont confirmé qu'elles étaient bien appropriées à un usage scolaire. Chaque description d'activité comporte une courte introduction aux sujets en jeu. Des conseils et suggestions pour adapter l'activité à différentes situations y figurent aussi. Par exemple, si des appareils très spécifiques sont requis pour une expérience, une alternative avec d'autres instruments

plus courants peut être proposée. Certaines descriptions peuvent inclure les notes d'un professeur ayant réalisé l'expérience pour aider l'utilisateur à organiser l'activité dans sa propre classe.

On trouvera ci-dessous une liste partielle des expériences qui figurent dans la bibliothèque en ligne de CarboSchools. Pour des raisons pratiques, les expériences sont classées sur le site en trois catégories : activités à l'intérieur, activités à l'extérieur, travail avec des données. À l'intérieur de cette simple classification, on peut trouver les expériences suivantes :

Expériences démontrant les propriétés de base du dioxyde de carbone



Comment produire du CO₂ et tester ses propriétés ?

Les élèves découvrent comment produire du CO₂ et réalisent des expériences simples pour étudier certaines de ses propriétés.



Effet de serre in vitro !

Pour démontrer que le CO₂ absorbe des rayonnements thermiques et est responsable du réchauffement atmosphérique.



L'effet de serre

Dans cette expérience, les élèves observent et comparent comment deux gaz à effet de serre, le CO₂ et la vapeur d'eau, absorbent les rayonnements thermiques.



Interactions à l'interface air-eau

Un jeu d'expériences très simples utilisant du matériel peu onéreux et facilement disponible pour observer les échanges gazeux entre l'air et l'eau et l'équilibre qui se crée à la frontière de ces deux éléments. Ces expériences ouvrent aussi à l'étude de l'acidification des océans.



Comment la température affecte-t-elle la solubilité du CO₂ dans l'eau ?

Ces expériences explorent les effets de la température de l'eau sur la solubilité du CO₂ et analysent leurs conséquences sur l'ensemble du cycle du carbone.

Expériences montrant le comportement du dioxyde de carbone dans les différentes « sphères » de la Terre



Comment la température mondiale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale

Des expériences simples pour aider les élèves à comprendre comment des paramètres comme la couleur du sol et la concentration atmosphérique en CO₂ régulent la température à la surface de la Terre.



Régulation du pH de l'eau de mer : le rôle du carbonate (CO₃) et du bicarbonate (HCO₃)

Une expérience simple avec des indicateurs colorés pour montrer comment les différentes formes de carbone inorganique dissous régulent le pH de l'eau de mer.



Effets de l'augmentation du CO₂ dans l'air sur l'eau de mer et l'eau distillée

Dans cette expérience, les élèves comparent les effets de l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ sur les étendues d'eau de mer et sur celles d'eau douce comme les lacs et les cours d'eau. Cela leur donnera un aperçu de l'importance de l'océan comme puits de carbone.



Le sol respire

Dans cette activité, on mesure trois paramètres du sol et on analyse leurs effets sur les flux de CO₂ : la respiration du sol, son humidité et sa densité. D'autres activités suggérées permettent de déterminer le rôle de la végétation, des racines et des organismes du sol dans les flux de CO₂ produits par la lithosphère.



Activités recueillies lors de projets CarboSchools sur le cycle du carbone

Quelle concentration de CO₂ y a-t-il dans ma classe ?

En utilisant un capteur de CO₂ les élèves mesurent les concentrations de dioxyde de carbone dans la classe et examinent les facteurs qui peuvent les faire varier.

Sélection d'expériences utilisant un capteur de CO₂

Des démonstrations d'expériences qui peuvent être réalisées en classe avec un capteur de CO₂.

**Expériences pratiques pour les élèves du secondaire**

Une sélection d'expériences pour encourager les élèves et les professeurs à concevoir leurs propres expérimentations ou à améliorer certaines de celles qui sont présentées. La plupart ont été collectées par la section « Physique » du lycée Neufeld à Berne, Suisse.

**Série d'expériences sur le CO₂ et l'effet de serre**

Douze expériences pour découvrir et démontrer différents aspects des changements climatiques : expériences de physique sur les rayonnements émis par le Soleil et la température ; expériences de biologie sur le métabolisme (physiologie) ; expériences de chimie sur le cycle du carbone ; expériences de physiologie-chimie sur la combustion et le métabolisme.

**Expériences qui montrent comment une biocénose affecte et est affectée par les concentrations de CO₂***Capture de dioxyde de carbone par les plantes aquatiques*

Cette expérience démontre le rôle des plantes pour atténuer l'acidification causée par la dissolution de CO₂ dans l'eau. Elle sert aussi à mettre en évidence la photosynthèse aquatique.

*Fertilisation de cultures de micro-algues marines (Dunaliella) par du dioxyde de carbone*

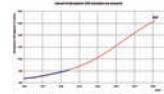
Une expérience conçue pour illustrer l'effet du dioxyde de carbone sur la croissance de micro-algues.

*Le CO₂ atmosphérique peut provoquer l'acidification des océans*

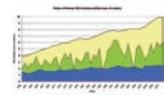
Ces expériences démontrent que de fortes concentrations de CO₂ atmosphérique provoquent l'acidification des océans et elles illustrent les conséquences possibles de ce phénomène pour les organismes marins.

**Expériences impliquant l'utilisation de données provenant de la recherche récente***Introduction aux principes de la modélisation climatique*

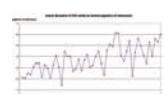
En travaillant dans un tableur avec des données récentes du cycle du carbone, les élèves créent un premier modèle climatique, découvrent le bilan mondial du carbone et font leurs propres prévisions de l'évolution future de la concentration atmosphérique du CO₂.

*Bilan mondial du carbone entre 1958 et 2008*

En travaillant avec les données réelles du cycle du carbone, les élèves réalisent des graphiques pour trouver la meilleure représentation de ce cycle et pour prévoir l'évolution du CO₂ atmosphérique pour le prochain siècle. Cette activité est aussi une belle application des pourcentages.

*Estimation des puits naturels de carbone*

À partir de données réelles du cycle du carbone, les élèves recherchent quelle part du CO₂ émis par les activités humaines vers l'atmosphère est absorbée par les puits naturels (cette activité suit les deux précédentes).



Suggestions pour les professeurs

Les plans de cours qui suivent sont des suggestions pour aider les professeurs à organiser un projet sur le cycle du carbone. Ils proposent une suite d'expériences en précisant quand et comment elles peuvent être réalisées en classe. La première séquence a été conçue et testée pour des élèves de 10-14 ans et requiert un minimum de connaissances préalables sur le cycle du carbone. Elle permettra aux élèves de se familiariser avec le cycle du carbone de façon ludique. Le second plan de cours a été conçu et utilisé pour des élèves de 14-18 ans.

Le cycle du carbone pour des élèves de 10 à 14 ans : séquence indicative utilisant des expériences CarboSchools

Dans la plupart des cas, les plus jeunes élèves ont rencontré le terme CO_2 à l'école primaire, associé avec des informations sur leur respiration ou sur la photosynthèse des plantes. Il est aussi probable, qu'étant exposés à une foule d'informations sur les changements climatiques par différents médias (radio, télévision, magazines, jeux électroniques, Internet, etc.), ils soient capables d'associer le CO_2 avec la question actuelle des changements globaux. Cependant, à cet âge, où les élèves n'ont pas encore eu de cours de chimie, physique ou biologie, le CO_2 reste une chose abstraite qu'ils ne connaissent qu'en théorie. Peut-être peuvent-ils réciter ou répéter ce qu'ils ont lu ou vu à la télévision, et impressionner leurs professeurs par leurs connaissances «théoriques», mais «voir» réellement de quoi il retourne dans un contexte expérimental est une autre question. La séquence d'expériences présentée ci-dessous a été conçue pour aider les élèves à mieux comprendre le cycle du carbone, tout en partant du principe que l'on peut apprendre en s'amusant.

NB : Les entrées en italiques ne sont pas disponibles dans la bibliothèque mais elles sont décrites brièvement dans le tableau. Les expériences/activités en gras peuvent être téléchargées depuis le site. Les sujets sont présentés selon un ordre logique d'enseignement, mais ces suggestions peuvent être adaptées car aucune expérience n'est dépendante de la précédente. Le professeur peut choisir de n'en réaliser qu'une ou d'en combiner autant qu'il veut.

Sujet	Logique	Durée (en heures)	Activités/expériences suggérées	Objectifs pour les élèves
Introduction	Orienter les élèves	1	<p><i>Séance de questions-réponses avec les élèves : le professeur demandera aux élèves ce qu'ils savent sur le cycle du carbone.</i></p> <p><i>Les questions peuvent aussi être formulées par les élèves disant ce qu'ils aimeraient savoir.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Formuler leurs propres questions sur ce qu'ils veulent savoir Attiser leur curiosité sur le cycle du carbone <p>(Cette activité donnera aussi aux professeurs une idée plus précise des connaissances des élèves sur le CO_2.)</p>
Qu'est-ce que le dioxyde de carbone?	Faire «voir» aux élèves le CO_2	1	<p>1. <i>Des élèves équipés de capteurs de CO_2 peuvent mesurer le CO_2 dans différents endroits de l'école</i></p> <p>2. <i>Comment produire du CO_2 et tester ses propriétés ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser que le CO_2 est mesurable, qu'il existe ! Se familiariser avec le maniement du capteur de CO_2 Voir que les concentrations de CO_2 peuvent varier
Influer sur les concentrations de CO_2	Faire réaliser aux élèves qu'ils peuvent avoir un effet sur les concentrations de CO_2 de l'air qu'ils respirent	4*	<p>1. <i>Quelle concentration de CO_2 y a-t-il dans ma classe ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Découvrir quels facteurs peuvent agir sur la concentration en CO_2 de l'air ambiant Expérimenter pour la première fois une démarche d'investigation (expérimentation, relevé de données, analyse des données, documentation et présentation des résultats)

* La durée de cette activité dépend des idées des élèves et des paramètres qu'ils souhaitent tester. L'activité en ligne correspond à une période de une à trois semaines mais le professeur peut ajuster la durée selon les besoins.

L'atmosphère et le cycle du carbone	Permettre aux élèves de suivre et voir les conséquences des émissions de CO ₂ vers l'atmosphère	3	1. L'effet de serre <i>in vitro</i> 2. L'effet de serre 3. Comment la température mondiale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale	<ul style="list-style-type: none"> – Comprendre en quoi consiste «l'effet de serre» – Observer et mesurer la hausse des températures quand la concentration en CO₂ augmente – Découvrir que d'autres facteurs peuvent aussi amplifier ou limiter cet effet
La lithosphère et le cycle du carbone	Faire comprendre aux élèves le rôle des plantes et du sol dans le cycle du carbone	3	1. L'expérience 8 de la « Collection d'expérience sur le CO₂ et l'effet de serre » 2. Le sol respire (version simplifiée)	<ul style="list-style-type: none"> – Apprendre les notions de sources et puits de carbone – Prendre conscience de l'importance de la végétation dans le cycle du carbone – Avoir un premier contact avec la microbiologie ; comprendre l'importance du rôle des bactéries dans le cycle du carbone
Acides et bases	Avoir une connaissance grossière de ce que sont les acides et les bases avant d'étudier l'hydroosphère	2	1. Réaliser l'expérience classique du chou rouge : préparer un jus de chou rouge et l'utiliser comme indicateur coloré pour les acides et les bases 2. Laisser les élèves tester l'acidité de différentes substances grâce à du papier pH ou des indicateurs colorés 3. Laisser les élèves faire la même chose avec un pH-mètre	<ul style="list-style-type: none"> – Apprendre comment distinguer les acides des bases – Apprendre à utiliser des indicateurs colorés de pH, du papier pH et un pH-mètre – Apprendre le concept de pH
L'hydroosphère et le cycle du carbone	Introduire l'importance de l'océan et des autres étendues d'eau dans le cycle du carbone	4	1. Interactions à l'interface air-eau, parties 1 et 2 2. Effets de l'augmentation de CO₂ dans l'air sur l'eau de mer et l'eau distillée 3. Comment la température affecte la solubilité du CO₂ dans l'eau ?	<ul style="list-style-type: none"> – Comprendre ce qu'il advient du CO₂ quand il entre en contact avec l'eau (océans ou lacs) – Voir les conséquences de l'augmentation du CO₂ sur l'environnement aquatique – Comprendre l'importance des océans dans le cycle du carbone

Autres activités «ludiques» suggérées :

1. Les élèves peuvent calculer leur empreinte écologique. S'il y a assez d'ordinateurs dans l'établissement, cette activité nécessite une heure. Il y a de nombreux liens sur Internet vers des calculateurs.
2. Pour l'activité «acides-bases», les élèves peuvent fabriquer leur propre papier pH. Laissez tremper des filtres à café (ou n'importe quels filtres de papier blanc) dans du jus de chou rouge pendant 30 minutes à 1 heure. Faites sécher le papier. En utilisant différentes substances et différentes méthodes d'application les élèves peuvent créer une «œuvre» colorée.
3. Faites construire par les élèves des cuisinières et des fours solaires. Les instructions sont disponibles sur <http://solarcooking.wikia.com/wiki/CooKit>. D'autres types de cuisinières solaires sont décrits sur Internet. Si le temps le permet, faites un repas cuisiné : les élèves seront fiers de leurs cuisinières et les hot-dogs seront bien meilleurs s'ils sont cuits dedans.

**Le cycle du carbone et ses liens avec les changements climatiques :
séquence indicative d'expériences
du projet CarboSchools destinées à des élèves de 14-18 ans**

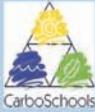
Cette séquence comprend des activités qui ont été décrites dans ce chapitre ainsi que d'autres disponibles sur le site CarboSchools. Elle peut être adaptée selon les besoins au cours de l'année. Toutes les entrées se trouvent dans la bibliothèque en ligne.

Sujet	Logique	Durée (en heures)	Activités/expériences suggérées	Objectifs pour les élèves
Évolution de la température	Réfléchir sur la température à la surface de la Terre	1-2	Travail sur les données disponibles de la température à la surface de la Terre depuis 1850	Comprendre et retenir la valeur de la température terrestre et son évolution relative
Régulation de la température terrestre	Chercher les facteurs qui agissent sur la régulation de la température à la surface de la Terre	2	Comment la température mondiale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale	Découvrir que différents facteurs peuvent produire les mêmes effets sur la température et que la hausse de la température et l'augmentation du CO ₂ ne se produisent pas toujours dans le même ordre
Utiliser des données pour découvrir le cycle du carbone	Travailler et réfléchir sur les données véritables du bilan carbone	3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction aux principes de la modélisation climatique 2. Le bilan mondial du carbone de 1958 à 2008 3. Estimation des puits de carbone naturels 	Travailler sur les données réelles concernant les émissions de CO ₂ et apprendre sur la concentration de CO ₂ dans l'atmosphère et son absorption par les puits naturels
Mesurer le CO ₂ dans la classe dans différentes conditions	Se familiariser avec le CO ₂ et les facteurs qui font varier sa concentration	2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quelle concentration de CO₂ y a-t-il dans ma classe ? 	Apprendre plus sur le CO ₂ qui les entoure
Étudier les plantes et/ou la régulation du cycle du carbone océanique*	Mettre en œuvre des recherches plus poussées sur les échanges de CO ₂ entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydroosphère, une fois comprises les notions de puits et sources de carbone	3 heures par « réservoirs » (plantes et océans)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expériences mettant en jeu la photosynthèse. 2. Interactions à l'interface air-eau, parties 1 et 2 3. Le CO₂ atmosphérique peut produire l'acidification des océans 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre le rôle des différents compartiments (biosphère, hydroosphère, atmosphère) sur le cycle du carbone - Apprendre à écrire des protocoles* - Apprendre à conduire ses propres expériences*
Faire des prévisions pour le prochain siècle	Activité de conclusion : les questions suivantes peuvent être discutées <ul style="list-style-type: none"> - l'activité des puits de carbone va-t-elle se modifier ? - les émissions anthropiques de CO₂ vont-elles continuer d'augmenter ? À quelle vitesse ? 	2	Les élèves reviennent sur leur travail précédent sur les données (« Utiliser des données pour découvrir le cycle du carbone ») et améliorent leurs prévisions. C'est une occasion de revoir les faits importants.	Utiliser les connaissances acquises au cours des expériences pour envisager des scénarios plus crédibles

- * Assurez vous que les élèves aient assez de temps pour mener ces activités. Prévoyez du temps pour :
- réaliser une recherche documentaire s'il le faut,
 - écrire des protocoles expérimentaux,
 - construire un bon montage expérimental,
 - mener les expériences et, souvent, les répéter,
 - analyser les résultats et arriver à une conclusion, qui peut être générale pour la classe.

L'écriture des protocoles est souvent une tâche difficile. Les élèves ont tendance à écrire quelques mots puis pensent avoir fini. Nous avons testé deux méthodes pour améliorer cette étape :

- fournir aux élèves un guide qui donne des indications pas à pas pour l'écriture de protocoles,
- faire des échanges de protocoles : un groupe d'élèves est chargé de réaliser l'expérience écrite par un autre groupe.



**THE CO₂ MONITORING IN SEVERAL SITES OF CLUJ-NAPOCA AREA:
STUDY MADE BY "NICOLAE BĂLCESCU" COLLEGE**

**IN THE FRAME OF FP 7 CARBOSCHOOLS PROJECT
WE CARE ABOUT CLIMATIC CHANGES**

Teachers: Manuela Zamfir, Mihaela Burdujan, Dorel Chitor, Adriana Chiriac,
Students: Alexandra Radu, Alexandru Don, Vlad Mirel, Andra Coldea, Diana Pepene, Oana Cosma, Andrei Gadsalean, Mihai Costiug, Mihai Anton, Cristian Anton, Radu Soraica
Researcher: Valeriu Mihai Mihai
National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies

I.N.C.D.T.I.M.



Carboschools project at "Nicolae Balcescu" High School

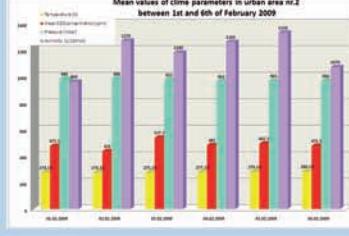
The project basic: The project is a cooperation between teachers from "Nicolae Balcescu" High School and scientists from National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies (I.N.C.D.T.I.M.) to study the climate changes and to make a monitoring of the CO₂ concentration in the urban areas of Cluj-Napoca. The students will be encouraged and motivated by the teachers and the scientists to learn more about the climate changes and to be more responsible for the environment's protection. They will learn how they can play a role in the reduction of the emissions of greenhouse gases (GHG) and how the others can play a role in the reduction of the emissions of greenhouse gases.

Age of pupils involved in the project: 16-17

The planned activities:

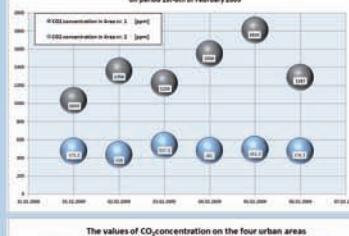
- A first meeting in order to introduce the project basic, to make a analysis of the needs, to call an open meeting for the students and teachers.
- To organize a workshop to discuss the future projects.
- How can we identify and quantify the sources and sinks of CO₂
- Adapt the curriculum and teaching materials, for the disciplines and classes involved in the project to the climate changes.
- With the scientific tools of researches with the experiments and techniques that are used for measurements.
- Types and evidence activities in order the student can identify the environmental issues and to measure the CO₂ concentration in the urban areas.
- Observation and interpretation of the results. The pupils will make the data processing, they will be involved in the analysis of the data and the interpretation of the results.
- Organizing a round table with the representants of local authorities, companies, persons, NGO, in order to elaborate the end-products and discussions about the results of the project activities and how to Promote them.
- Dissemination of the project and its impact.

Mean values of CO₂ concentration in urban areas nr.2 between 1st and 6th of February 2009



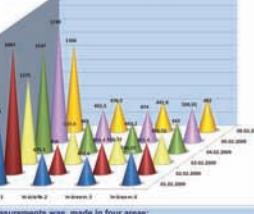
Date	Mean CO ₂ concentration (ppm)
01.02.2009	245.1
02.02.2009	245.1
03.02.2009	251.0
04.02.2009	251.0
05.02.2009	251.0
06.02.2009	251.0
07.02.2009	245.1

Mean values of CO₂ concentration on period 1st-6th of February 2009



Area	Mean CO ₂ concentration (ppm)
Area nr. 1	245.1
Area nr. 2	315.1

The values of CO₂ concentration on the four urban areas



Area	Mean CO ₂ concentration (ppm)
nr. 1	245.1
nr. 2	315.1
nr. 3	245.1
nr. 4	245.1

The measurements were made in four areas:

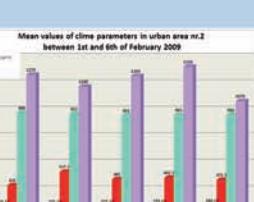
- Area nr. 1: Laboratory of National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies
- Area nr. 2: Outdoors in proximity of the laboratory
- Area nr. 3: The Institute's yard
- Area nr. 4: The cross road

• The monitoring was performed in an area of Cluj-Napoca (46°7' N; 23°59' E). CO₂ concentration was measured using an EGM-4 Environmental Gas monitor for CO₂. The EGM-4 is designed for applications that demand portability and a high degree of accuracy and control with minimal maintenance. This technology ensure long term stability, accuracy and analyser calibration.









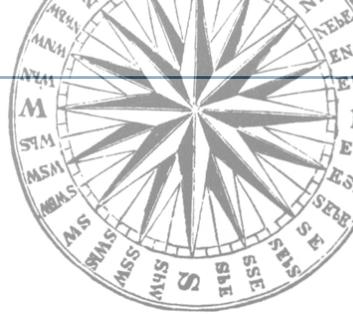
Un des nombreux posters réalisés par les élèves lors de projets CarboSchools

56

Chapitre 5

«J'ai tout aimé!» Comment les élèves évaluent CarboSchools et quel a été l'impact des projets sur eux

Par Elma Dijkstra et Martin Goedhart
Université de Groningen



CarboSchools a été un projet complexe mettant en œuvre un large éventail d'activités dans neuf régions différentes et sept pays. Recueillir les opinions des élèves, des professeurs, des scientifiques et des coordinateurs régionaux sur les projets ne s'est pas fait sans peine. Tous les élèves ont rempli des formulaires d'évaluation que nous avons analysés pour chaque projet régional. En outre, nous avons mené des entretiens avec les professeurs, les élèves, les chercheurs et les coordinateurs.

Il est apparu que les élèves étaient très positifs sur les projets CarboSchools. Résultat encore plus important, CarboSchools a atteint deux de ses principaux objectifs : les élèves sont plus intéressés par les carrières scientifiques et ils ont mieux pris conscience de l'importance pour la société de la recherche sur les changements climatiques. Il est intéressant de voir que les filles en particulier ont profité des projets. Les entretiens ont confirmé les évaluations positives et souligné certains bénéfices ou contraintes spécifiques des projets.

Les évaluations livrent des opinions personnelles sur les projets. Pour recueillir des informations plus objectives sur l'impact des activités nous avons utilisé des questionnaires d'attitude. De cette façon, nous avons mesuré les changements dans les attitudes des élèves à l'égard de certains aspects de la science et de l'environnement pendant la période où ils travaillaient sur les projets. Parce qu'il est généralement observé que les attitudes des élèves envers la science déclinent au cours des années de lycée, nous voulions savoir si nous pouvions contrer cette tendance. Nos résultats montrent que nous n'y sommes pas parvenus : les attitudes n'ont pas changé significativement, elles ont même encore baissé dans certains cas. Cela ne veut pas forcément dire que nos suppositions initiales sur l'effet positif de CarboSchools étaient fausses. Le contraste entre les opinions très positives des élèves participants et cette absence d'effet sur le déclin habituel des attitudes envers la science suggère plutôt que les autres expériences, en particulier les cours de sciences classiques, ont une influence dominante sur les positions des élèves ; les projets CarboSchools, que les enseignants décrivent comme étant fortement contraints et limités par les questions d'emploi du temps, de programmes et autres facteurs structurels, ne parviendraient pas à contrecarrer cet effet. En revanche, les résultats font apparaître une augmentation significative des connaissances des élèves sur les changements climatiques. Enfin, les évaluations montrent à quel point la collaboration entre instituts de recherche et établissements scolaires ouvre de nouvelles voies dans l'enseignement des sciences. CarboSchools n'a été qu'un début dans ce développement.

Dès le début de CarboSchools, nous avons été soucieux d'apprendre de nos projets. Les résultats correspondaient-ils aux attentes ? Comment les acteurs vivaient-ils le projet ? Quelles étaient les contraintes les plus importantes ? Qu'est-ce que les élèves pensaient du projet ? Pouvions-nous influencer les sentiments des élèves à propos de la science et des changements climatiques ? Comment pouvions-nous améliorer nos projets ? Ainsi, CarboSchools n'a pas eu seulement pour objectif de mettre en œuvre des projets s'intégrant dans la pratique scolaire, mais aussi d'évaluer leurs effets et d'identifier leurs avantages.



Elèves remplissant les questionnaires à la fin du projet

Dans ce chapitre, nous décrirons comment nous avons traité ces questions. Nous montrerons que tous les élèves n'ont pas le même avis sur CarboSchools et nous expliquerons ces différences d'opinions importantes. De plus, nous donnerons quelques aperçus de leurs sentiments sur la science et sur les changements climatiques. Sachant que la plupart des élèves adolescents ont une opinion négative profondément ancrée sur la science en général et sur la manière dont elle est abordée en classe, nous souhaitions voir si nos projets pouvaient les faire changer d'avis. Nous croyons que cette évaluation peut contribuer à la recherche sur l'approche expérimentale dans l'enseignement des sciences dans et en dehors de l'école, et nous espérons que nos résultats seront utiles aux décideurs et professeurs intéressés par la mise en place d'un projet comme CarboSchools.

Des projets CarboSchools variés

1 Projets carboschools évalués en 2009

Projets	52
Élèves dont filles et garçons	1 354 721 622
Âge des élèves	12-21 ans (moyenne : 16,2 ans)
Établissements	60
Instituts de recherche	8
Pays	6
Temps consacré au projet	1 à 100 heures (moyenne : 36 heures)
Nombre de visites à l'institut de recherche	0 à 8 par projet (moyenne : 1)
Nombre d'intervention des scientifiques dans l'établissement scolaire	0 à 20 par projet (moyenne : 4,4)

Il a été demandé à la plupart des élèves participant à des projets CarboSchools de fournir des informations factuelles comme leur âge, leur sexe, ainsi que leurs opinions sur les activités. Ces données aident le coordinateur régional à identifier les contraintes et à améliorer les projets ; elles donnent d'autre part un aperçu de l'appréciation générale du projet par les élèves. Pour les besoins de notre analyse, nous distinguons plusieurs groupes, par exemple les garçons et les filles, les élèves jeunes et les moins jeunes, les élèves qui ont de bonnes notes en science...

Comme on peut le voir dans l'encadré 1, nous avons évalué 52 projets, auxquels un total de 60 écoles et 1 354 élèves ont participé. Les projets différaient en plusieurs points comme l'âge des élèves impliqués et le nombre d'heures qu'ils consacraient au projet. Des projets consistant en une heure d'expérimentations ou de présentation comme d'autres à plus long terme sont inclus dans l'évaluation. Nous avons trouvé de grandes disparités dans le degré de collaboration entre les instituts de recherche et les établissements : dans la grande majorité des cas, les élèves ont visité l'institut au moins une fois, mais parfois ils y sont allés beaucoup plus souvent ; de même, si les chercheurs se sont rendus en moyenne dans les établissements six fois par projet, certains l'ont fait jusqu'à vingt fois.

Les autres différences (qui n'apparaissent pas dans l'encadré 1) portent sur les sujets, la nature des projets (projets de recherche ouverts ou expériences en classe plus standardisées) et la façon dont les projets étaient reliés au programme de sciences.

Des élèves très positifs à propos de CarboSchools

Les questions sur les opinions du questionnaire peuvent être regroupées en quatre catégories : organisation, plaisir, difficulté et impact du projet. L'encadré 3 liste les questions du questionnaire et l'encadré 2 explique comment il a été élaboré.

2 Comment mesurons-nous l'opinion des élèves sur CarboSchools ?

Nous avons conçu un outil d'auto-évaluation (SET, pour *self-evaluation tool*) qui a fourni aux coordinateurs régionaux des informations importantes sur les avantages et les difficultés de chaque projet spécifique et, plus largement, nous a permis de mieux savoir ce que les élèves pensaient de nos activités. Un seul questionnaire a été réalisé pour l'ensemble des projets, quelle qu'ait été leur diversité.

Le questionnaire comporte trois parties :

- La partie A contient 12 questions destinées à situer l'élève : âge, sexe, notes en sciences, intérêt pour la science, etc.
- La partie B (14 questions) mesure l'opinion de l'élève sur les projets scientifiques et consiste donc en des questions fermées selon une échelle de Likert à 4 choix (pas du tout d'accord, pas d'accord, d'accord et tout à fait d'accord). Sont évaluées dans cette partie du questionnaire les opinions sur l'organisation des projets, leur caractère agréable, leur difficulté et l'impact des projets régionaux.

Exemple de question de cette partie B :

Les consignes étaient claires

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- D'accord
- Tout à fait d'accord

- La partie C est formée de 4 questions ouvertes, que les coordinateurs régionaux peuvent réorganiser en fonction de leurs projets spécifiques. Les réponses à cette partie du questionnaire peuvent inclure les idées personnelles des élèves sur le projet, etc. Les réponses à ces questions aideront le coordinateur régional à améliorer le projet.

Le questionnaire a été traduit dans toutes les langues des participants (norvégien, catalan, italien, allemand, hollandais, français et anglais). Il a été soumis aux élèves vers la fin du projet, pas plus d'une semaine après la fin des activités. Des informations supplémentaires sur les projets (nombre de visites à l'institut de recherche, temps consacré au projet par les élèves, etc.) étaient fournies par le coordinateur régional. Pour obtenir plus de détails, nous avons aussi mené de nombreux entretiens avec les élèves, les scientifiques, les professeurs et les coordinateurs. Cela nous a permis d'obtenir des précisions sur les conditions locales spécifiques qui pouvaient influer sur la collaboration entre les écoles et les instituts de recherche.

3 Opinions des élèves sur CarboSchools

Question	Pas du tout d'accord %	Pas d'accord %	D'accord %	Tout à fait d'accord %
Organisation				
Ce projet était bien organisé	4	12	50	34
Les consignes étaient claires	4	18	53	25
Les explications du responsable m'ont aidé à comprendre le projet	4	13	59	24
J'ai une bonne opinion générale du projet	2	10	53	34
Plaisir				
J'ai beaucoup aimé ce projet	4	14	58	24
J'aimerais travailler plus souvent sur des projets de ce type	7	21	47	25
J'aime apprendre les sciences de cette façon	4	13	46	37
Difficulté				
Ce projet était trop difficile	21	58	16	4
Mes connaissances étaient suffisantes pour comprendre ce projet	4	21	49	25
Impact				
J'ai appris beaucoup de nouvelles choses grâce à ce projet	3	14	51	32
Ce projet m'a fait comprendre que les études sur les changements climatiques sont très importantes pour l'avenir de l'humanité	4	11	42	43
J'ai beaucoup appris de la part des scientifiques	3	17	53	27
Ce projet m'a fait réaliser que nous pouvions agir sur les changements climatiques	4	14	44	38
Ce projet a développé mon intérêt pour une carrière scientifique	18	36	33	13

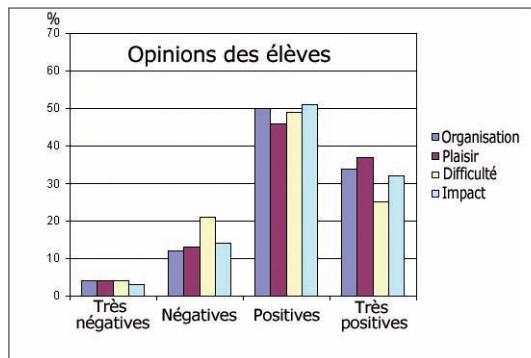


Fig. 1 : Opinions des élèves sur les projets CarboSchools

de la difficulté des projets mais environ un cinquième d'entre eux les ont trouvés trop difficiles. Il semble que l'appréciation des élèves sur cette façon d'enseigner les sciences soit très bonne.

Les effets positifs du projet sur l'intérêt des élèves pour les carrières scientifiques méritent d'être notés, surtout vu les objectifs principaux de CarboSchools : presque la moitié des élèves (46 %) ont déclaré que les projets ont augmenté leur intérêt pour les carrières scientifiques. Nous avions en outre ajouté quelques questions ouvertes dans le questionnaire, pour permettre aux élèves de commenter les projets et d'appuyer ainsi les réponses positives aux questions fermées. L'encadré 4 fournit quelques exemples de leurs commentaires.

Les évaluations ont aussi fourni des informations sur les opinions des élèves sur la science et les scientifiques. Il est apparu que les élèves étaient plutôt positifs vis-à-vis de la science : la plupart (au moins 70 %) s'intéressent aux disciplines scientifiques, ont de bonnes notes en sciences, font beaucoup de science à l'école et préfèrent les cours de sciences aux autres cours. Bien que la plupart des élèves ne trouvent pas les scientifiques ennuyeux, une large proportion d'entre eux (45 %) pense que les scientifiques sont difficiles à comprendre.

Comme on pouvait s'y attendre, les élèves ayant de bonnes notes en sciences et ceux qui sont intéressés par la science ont tendance à avoir des opinions plus positives sur les projets et vice versa. Ces élèves se sont déclarés stimulés par le projet CarboSchools à choisir une carrière scientifique. La minorité d'élèves ayant des sentiments négatifs envers les sciences a aussi une opinion moins positive du

4 Que pensent les élèves de CarboSchools ?

Qu'avez-vous appris durant ce projet ?

«L'effet de la pollution sur l'océan, et à quel point il est important d'en découvrir plus sur ce sujet.» (Bergen)

«Je comprends mieux maintenant pourquoi les océans sont si importants pour la préservation de notre terre (espace de vie).» (Kiel)

«Comment fonctionnent les instruments et comment les scientifiques font leur travail.» (Bergen)

«Pendant ce projet, j'ai appris à travailler avec tous mes camarades et j'ai appris plus sur le CO₂ dans l'atmosphère. Et nous avons réalisé que le travail de scientifique est intéressant et difficile quelquefois.» (Barcelone)

Qu'avez-vous préféré ?

«Faire des expériences, puis comparer les résultats et en tirer des conclusions.» (Paris)

«Les présentations à l'IFM-Geomar.» (Kiel)

«La plongée en scaphandre.» (Paris)

«L'interaction avec les scientifiques et la recherche.» (Barcelone)

«Le moment où nous avons voyagé en bateau.» (Bergen)

«Travailler en groupe et mener à bien notre propre projet. Et travailler avec des scientifiques et voir comment ils travaillent. C'est une autre façon de travailler; c'est très intéressant, une nouvelle voie.» (Bordeaux)

Qu'est-ce que vous avez le moins aimé ?

«C'était un projet long et parfois difficile.» (Paris)

«Le temps passé sur ce projet.» (Groningen)

«Parler anglais.» (Florence)

«Écrire un rapport était ennuyeux.» (Bergen)

«Qu'on ne m'ait pas donné les choix de participer ou non.» (Bordeaux)

«Rien, j'ai tout aimé.» (Paris)

projet, notamment concernant le plaisir. Malheureusement, il semble que les projets n'aient pas réussi à convaincre ces élèves que CarboSchools est agréable.

La figure 2 montre que les appréciations sur les projets diffèrent beaucoup selon que les élèves ont eu ou non le choix d'y participer. Les élèves qui ont décidé eux-mêmes de prendre part aux projets ont des opinions bien plus positives sur l'agrément, l'organisation et l'impact de ces derniers que ceux à qui les activités ont été imposées par un professeur de sciences. Ce résultat indique que la motivation peut avoir une influence importante sur les opinions des élèves.

CarboSchools a réveillé l'enthousiasme des filles

Des recherches qui ont été menées en sciences de l'éducation, il ressort que les garçons ont en général une opinion plus positive sur la science que les filles. En moyenne, l'intérêt des filles pour la science est plus centré sur la biologie que sur les sciences physiques. Par ailleurs, il est connu que les filles ont une image plus négative des scientifiques.

Ces données diffèrent des résultats de nos évaluations, dans lesquelles les filles sont aussi positives à propos de CarboSchools que les garçons. Cela peut s'expliquer par la nature de nos projets : ils visent en effet à examiner la pertinence de la science pour la société et à créer un environnement d'apprentissage plus coopératif que dans les cours de sciences habituels, des facteurs qui, de nombreuses études l'ont montré, séduisent plus les filles que les garçons. Comme en témoigne la figure 3, les filles sont nettement plus positives que les garçons sur la pertinence de la recherche sur les changements climatiques pour le futur de l'humanité. Cependant, elles ont trouvé les projets un peu plus difficiles que les garçons.

Portée de nos résultats d'évaluation

Comme l'indiquent les données, les élèves CarboSchools étaient plus positifs sur la science que l'étudiant européen moyen. Mais il ne faut pas oublier que certains professeurs et coordinateurs ont fait une présélection des élèves et des projets. Ils devaient décider si le projet était approprié aux élèves et si les élèves montreraient assez d'intérêt, d'enthousiasme et s'ils auraient les connaissances requises pour les tâches demandées. Dans certains cas, les élèves participants étaient volontaires. Cela signifie que nos étudiants n'ont pas été choisis au hasard et que nos découvertes ne reflètent pas les opinions de « l'élève moyen ».

Il est tentant de comparer les données des évaluations de chaque projet pour chercher à savoir ce qui fonctionne le mieux. Mais il faut être prudents en tirant ce type de conclusions. N'oublions pas que la force de CarboSchools repose dans le fait que chaque projet est le résultat d'une collaboration entre un institut de recherche et un établissement particuliers, et que son succès dépend de ce groupe spécifique d'élèves, de professeurs et de chercheurs. Pour cette raison, nous ne pouvons pas transférer un projet réussi d'une région à une autre. De même, nous ne pouvons pas généraliser les découvertes portant sur une région à d'autres situations.

Attitudes envers la science et choix de carrière

Nos évaluations sont centrées sur les opinions des élèves sur les projets CarboSchools. Elles fournissent des informations valables pour les coordinateurs régionaux et toutes les personnes

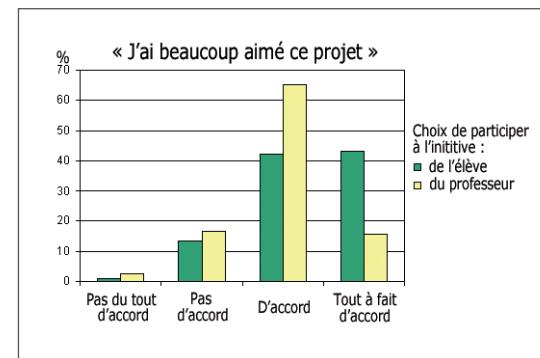


Fig. 2 : Appréciation du projet par les élèves selon leur motivation initiale

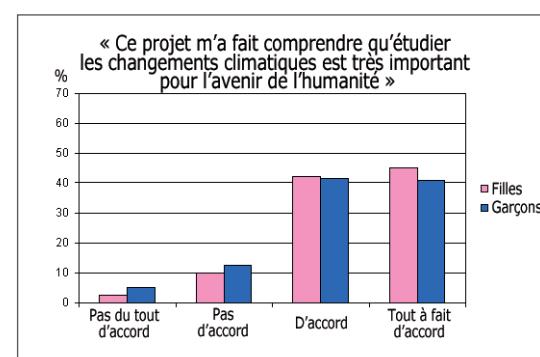


Fig. 3 : Effet des projets CarboSchools sur les élèves selon leur sexe : opinions sur les changements climatiques

impliquées dans l'organisation des projets. Cependant, nous voulions obtenir une mesure plus objective des effets des projets CarboSchools, et nous avons pour cela conduit une étude d'attitudes. «L'attitude envers la science», notion bien connue des sciences de l'éducation, nous intéresse car elle influe sur le choix de carrière et les performances scolaires.

Qu'entendons-nous par «attitude envers la science»? Un sentiment à l'égard de la science; par exemple, approuver l'affirmation «J'aime la science» est l'expression d'une attitude positive envers la science. «L'attitude envers la science» comprend de nombreux éléments. C'est pourquoi nous distinguons les attitudes envers la science enseignée en classe, envers les scientifiques, envers les carrières scientifiques, et envers les implications sociales de la science (voir encadré 5 pour plus d'informations).

5 Comment mesurons-nous les attitudes des élèves envers les sciences et les changements climatiques ?

Pour mesurer ces changements d'attitudes, nous avons développé le Questionnaire d'attitudes (QA) et nous l'avons soumis aux élèves avant le début du projet puis une fois le projet terminé, afin de voir ce qui avait changé. La première partie contient 12 points concernant différentes variables pour situer l'élève comme le sexe, l'âge ou le niveau d'études de ses parents. La seconde partie contient 39 déclarations d'attitudes.

Exemples

Échelle d'attitude	Exemple de déclaration d'attitude
- envers la science à l'école	Les cours de sciences sont amusants
- envers les implications sociales de la science	La science aide à rendre la vie meilleure
- envers les scientifiques	Les scientifiques sont moins gentils que d'autres gens
- envers une carrière scientifique	Le métier de scientifique doit être intéressant
- envers l'urgence des changements climatiques	Les changements climatiques sont une menace pour le monde
- Conscience de l'environnement	Il est important de bien protéger l'environnement

Pour mesurer ces attitudes, nous avons utilisé la méthode de Likert des degrés d'accord, c'est-à-dire que l'élève pouvait choisir pour chaque affirmation, entre les cinq réponses suivantes : pas du tout d'accord, pas d'accord, indifférent, d'accord, tout à fait d'accord. La plupart des affirmations ont été reprises de questionnaires qui avaient déjà été utilisés avec les élèves. Nous avons testé ces outils d'évaluation et toutes les échelles ont été considérées comme fiables. Toutes les échelles d'attitudes listées ont été choisies dans les domaines susceptibles d'être influencés par une initiative comme celle de CarboSchools.

La troisième partie du questionnaire est un test de connaissance sur les changements climatiques en 12 points. En les mesurant, nous pouvons voir si la connaissance a un effet sur les attitudes des élèves. Le test de connaissances sur les changements climatiques est présenté dans l'encadré 6.

Nous avons mis en pratique un plan presque expérimental. Cela veut dire que nous avons mesuré les différences entre les résultats sur les questionnaires préliminaires et finaux sans utiliser de groupe de contrôle. Pour des raisons à la fois pratiques et méthodologiques, l'inclusion de groupes de contrôles équivalents aux groupes expérimentaux était trop difficile dans ce projet. Les différences entre les questionnaires préliminaires et finaux et entre les différents groupes d'élèves ont été analysées par des tests de Student, par étude de la variance à un degré de signification $p < 0,05$ (bilatéral).

Le déclin de l'intérêt pour la science en Europe a suscité un nombre considérable d'études menées sur les attitudes des étudiants envers la science. Ces recherches ont établi que les filles ont des attitudes plus négatives que les garçons. L'âge des élèves est aussi important : les attitudes envers la science sont encore assez positives chez les enfants d'école primaire, puis elles se dégradent dans le secondaire, ce déclin étant plus prononcé chez les filles que chez les garçons. La chute la plus accentuée concerne l'attitude envers la science enseignée en classe. Les expériences de la science à l'école entre 11 et 14 ans sont donc cruciales dans la formation de l'attitude des élèves et des comportements qui en résulteront concernant le choix des matières étudiées plus tard.

Autre résultat important de ces recherches, les élèves de lycée ont des attitudes plus positives envers la science qu'envers les cours de science. Des études ont montré que des expériences de science extra-scolaires ont une influence positive sur l'attitude envers les sciences. Cela rend intéressante la question de savoir si les projets CarboSchools modifient l'inflexion négative des attitudes envers la science.

Effets de CarboSchools sur les attitudes envers la science des élèves

Dans un certain nombre de projets CarboSchools (voir en encadré 6 les principales caractéristiques des projets concernés) nous avons enquêté sur les attitudes des élèves envers la science à deux moments différents : au départ (questionnaire préliminaire) et juste après la fin des projets (questionnaire final). De cette façon, nous pouvons voir si les attitudes des élèves ont changé de façon significative pendant la période où ils ont travaillé sur le projet. Une différence entre les résultats des tests avant et après projet est considérée comme statistiquement significative si elle ne peut être attribuée au hasard.

Les résultats des enquêtes préliminaires montrent que les élèves avaient déjà des attitudes positives envers la science avant le démarrage du projet. Tous les résultats dépassent la moyenne avec un score supérieur à 3 pour une évaluation de 1 à 5 (1 = très négatif, 5 = très positif). Cependant, si avant de commencer leur projet CarboSchools, nos élèves avaient des attitudes positives envers les cours de science, les implications sociales de la science, les scientifiques et les carrières scientifiques, tous ne pensaient pas la même chose. Pouvons-nous expliquer certaines des différences trouvées dans les questionnaires préliminaires ? Comme cela apparaît sur la figure 4, avoir de bonnes notes en sciences, des parents ayant un haut niveau d'études et des travaux pratiques fréquents en sciences est corrélé positivement avec les attitudes envers la science. En outre, plus les élèves sont jeunes, plus ils sont positifs à l'égard des sciences telles qu'elles sont enseignées, des scientifiques, et d'une carrière dans la science (voir figure 5). Nous ne trouvons pas de différence significative entre les résultats des filles et des garçons sur les attitudes.

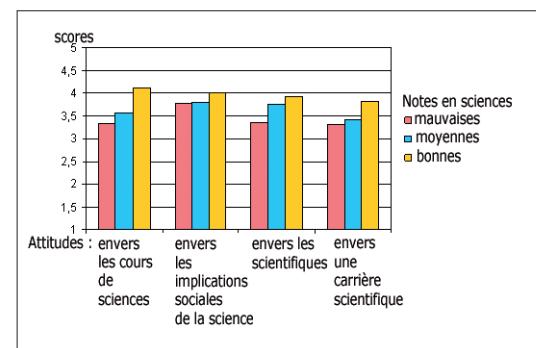


Fig. 4 : Attitudes des élèves envers la science en fonction de leurs notes en sciences

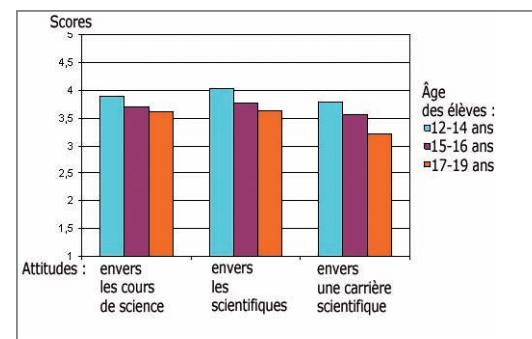


Fig. 5 : Attitudes des élèves envers la science en fonction de leur âge

6 Projets carboschools 2009-2010 ayant fait l'objet d'une enquête d'attitudes

Tous les projets CarboSchools n'étaient pas inclus dans notre analyse. Nous n'avons gardé que ceux qui avaient duré au moins 10 heures par élève, parce qu'un certain degré d'exposition est nécessaire pour changer les attitudes. De plus, nous avons exclu les projets pour lesquels nous n'avions pas le même nombre de questionnaires préliminaires et finaux. Il est important de souligner que les projets de Bordeaux sont sur-représentés (10 sur 17 projets).

Projets	17
Élèves dont filles garçons	369 200 167
Âge des élèves	12 à 21 ans (moyenne : 15,6 ans)
Établissements	16
Instituts de recherche	5
Pays	4
Nombre d'heures de cours de sciences par semaine	1 à 20 heures par élève (moyenne = 6,7)
Temps consacré au projet	22 à 100 heures par élève (moyenne = 59)
Nombre de visites à l'institut de recherche	0 à 3 par projet (moyenne = 0,5)
Nombre d'interventions des scientifiques dans l'établissement scolaire	0 à 15 par projet (moyenne = 2)

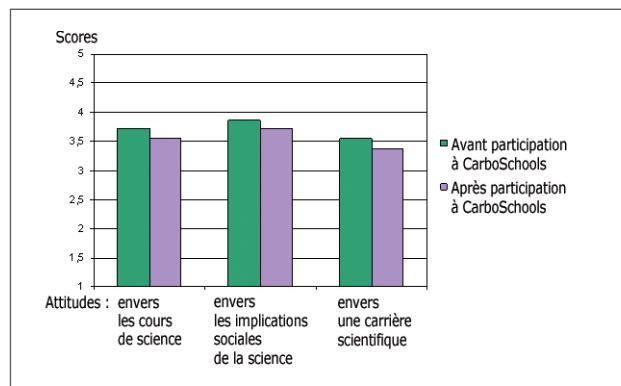


Fig. 6 : Moyenne des scores des attitudes envers la science avant et après participation des élèves à un projet CarboSchools

L'étude des différences entre les réponses aux questionnaires préliminaires et aux questionnaires finaux nous renseigne sur l'influence que les projets ont eue sur les attitudes des élèves. Contrairement à nos espérances, nous avons trouvé que la plupart des attitudes liées à la science avaient légèrement décliné après les projets. Nous n'avons pas relevé de changement significatif dans l'attitude envers les scientifiques pour l'ensemble du groupe des élèves, bien que les garçons aient mis des notes plus basses sur l'attitude envers les scientifiques dans le questionnaire final. Une synthèse des scores moyens obtenus avant et après participation est présentée dans la figure 6.

Pourquoi les attitudes déclinent-elles alors que les opinions sont positives ?

Il est important de réaliser que les attitudes – mesurées par des observateurs externes – et les opinions sur les projets – exprimées directement par les participants eux-mêmes – sont des catégories différentes, qui ne se correspondent pas forcément. Il est possible que les élèves aient des opinions positives sur les projets, mais que leurs images de la science (c'est-à-dire leur attitude envers la science) restent négatives. Cela s'applique particulièrement à l'échelle mesurant les attitudes des élèves envers la science. Il y a peu de chance que cela soit influencé par nos projets, quand bien même ils sont très appréciés par les élèves.

Nous savons par la littérature que les attitudes sont assez stables – et pour cela difficiles à changer par des facteurs externes – et qu'elles deviennent encore plus négatives à mesure que les élèves vieillissent. Ce déclin souvent observé chez les élèves de lycée est dû à de nombreux facteurs, le plus important étant sûrement leur expérience des cours de science. Malgré les jugements positifs des élèves sur les projets CarboSchools, la tendance reste inchangée. Une autre raison de la non-amélioration des attitudes est que ces dernières étaient déjà très hautes chez les élèves participants avant que le projet ne démarre, ce qui signifie que notre groupe d'élèves ne reflétait pas la pensée d'un groupe d'élèves moyen.

L'un de nos résultats les plus curieux est que les élèves se disent plus disposés à choisir une carrière scientifique grâce au projet CarboSchools alors même que leurs attitudes envers les carrières scientifiques déclinent – les filles notamment ont des scores plus bas dans les attitudes envers les carrières scientifiques après qu'avant le projet. Ici encore il faut réaliser qu'opinions et attitudes sont des catégories différentes. Les élèves peuvent avoir une bonne opinion des carrières scientifiques tout en ayant une attitude négative envers ces mêmes carrières. Ce n'est pas une contradiction et cela peut aussi s'expliquer par l'impact d'autres facteurs, vraisemblablement les expériences scolaires.

Idées des élèves sur l'environnement et les changements climatiques

Nous avons aussi utilisé les questionnaires préliminaire et final pour découvrir ce que les élèves pensent de l'environnement et de l'urgence des changements climatiques (voir encadré 5). Nous espérions que la participation à des projets CarboSchools aurait une influence sur la conscience environnementale des élèves, leurs attitudes envers l'urgence des changements climatiques et leurs connaissances sur ces questions.

La littérature nous dit que les attitudes et les connaissances influencent le comportement vis-à-vis de l'environnement. Cependant, les connaissances sur l'environnement semblent être un élément important, mais non suffisant, d'un comportement responsable; des attitudes positives envers

l'environnement sont donc nécessaires. Par ailleurs, il est connu que les filles se montrent plus concernées que les garçons par l'environnement. Mais les élèves garçons ont plus de connaissances sur l'environnement que les filles... Notre étude nous permet de préciser la relation entre connaissances, attitudes et conscience environnementale.

Les résultats de notre enquête préliminaire montrent que les élèves avaient des attitudes positives envers l'urgence du changement climatique et une conscience environnementale élevée avant que ne commence le projet. Les moyennes de tous les résultats sont au-dessus de 3. Cependant, le test de connaissances sur les changements climatiques (voir encadré 7) semble être difficile pour les élèves, qui donnent en moyenne 48 % de réponses correctes seulement.

7 Test de connaissances sur les changements climatiques

	Vrai	Faux	Je ne sais pas
1. Les gaz à effet de serre émis par les activités humaines sont la cause principale des changements climatiques actuels.			
2. Si ma ville connaît des vagues de chaleur cet été, cela signifiera que le climat est en train de changer.			
3. Les changements climatiques sont définis seulement comme une augmentation de la température à la surface de la Terre.			
4. Les changements climatiques sont le résultat de la diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone.			
5. Les changements climatiques sont dus en partie à l'augmentation de l'émission des métaux lourds.			
6. L'augmentation du niveau des mers et les sécheresses résultent des changements climatiques.			
7. Il y a un lien direct entre les changements climatiques et les cancers de la peau.			
8. Les océans peuvent absorber du CO ₂ émis par les activités humaines.			
9. Un déficit en oxygène peut apparaître à cause des changements climatiques.			
10. À cause des changements climatiques, l'eau des mers et des océans va se dilater.			
11. L'acidification des forêts est une conséquence des changements climatiques.			
12. Certains animaux et plantes vont disparaître à cause des changements climatiques.			

Au niveau préliminaire, nous n'avons trouvé aucune différence dans les attitudes sur l'urgence des changements climatiques ou la conscience environnementale entre les élèves ayant de bonnes, moyennes ou mauvaises notes en sciences. La connaissance sur les changements climatiques n'est pas corrélée avec la conscience environnementale des élèves ni avec les attitudes envers l'urgence des changements climatiques. Nous avons relevé des différences intéressantes dans les opinions des élèves : les garçons ont des résultats significativement meilleurs que les filles au questionnaire sur les changements climatiques, et les plus jeunes élèves ont des attitudes plus positives envers l'urgence des changements et montrent une plus grande conscience de l'environnement que les autres élèves, comme l'indique la figure 7.

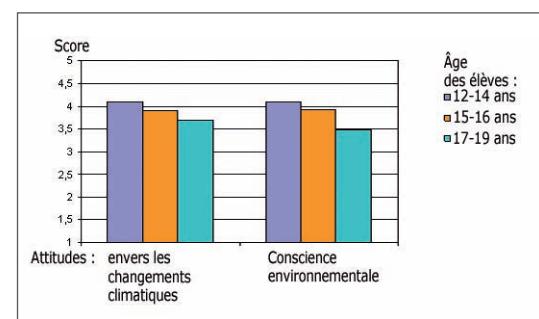


Fig. 7 : Attitudes envers les changements climatiques et conscience de l'environnement des élèves selon leur âge

Les résultats d'ensemble des questionnaires finaux montrent des attitudes inchangées envers l'urgence des changements climatiques et la conscience de l'environnement, mais des connaissances

significativement augmentées sur le sujet : dans le test de connaissances, les élèves choisissent moins souvent l'option «Je ne sais pas», il semble donc qu'ils soient plus confiants dans leur savoir. Ainsi, dans CarboSchools, l'augmentation des connaissances sur les changements climatiques n'a pas eu pour résultat de faire monter le sentiment d'urgence des changements climatiques ni la conscience de l'environnement, contrairement à ce que la littérature décrivait pour d'autres contextes.

Qu'avons-nous appris ?

Pour résumer, les élèves ont fait des évaluations positives de tous les projets. Les résultats des recherches sur les attitudes montrent que nos élèves dans toutes les régions avaient une conscience élevée de l'environnement et des attitudes très positives envers différents aspects de la science et

8 Que pensent les professeurs et les scientifiques de CarboSchools ?

Collaboration entre professeurs et scientifiques

«Je pense que cela fonctionne bien. Bien sûr, l'un des défis est que chacun de nous a des choses à faire et qu'il faut trouver le temps. Nous devons nous dire "D'accord, je parle au professeur qui est très occupé, donc je n'aurai pas toujours les réponses rapides que j'espérais." Nous faisons notre propre travail et c'est quelque chose d'entretemps. Mais je dois dire que je suis très satisfait des professeurs que nous avons contactés, c'est très positif et très encourageant.» (Coordinateur régional, Bergen)

«En Italie, il n'est pas simple de mener des activités de laboratoire à l'école. Ça ne fait que quelques années que nous avons un laboratoire et ça fait trois ou quatre ans que j'essaie de débuter un programme avec des expérimentations. Avant, nous n'avions que des cours théoriques et des recherches sur Internet ou en bibliothèque. Tout ça était très théorique. J'enseigne depuis 18 ans, mais c'est nouveau pour moi. L'année dernière, nous avons mené des expériences sur le CO₂ : Qu'est-ce que le CO₂? Quel est son effet sur les océans, sur les roches, etc.? Et dans notre établissement, nous avons maintenant une Semaine de la science avec une exposition. Alors les élèves aiment beaucoup ça.» (Professeur, Italie)

«Quand ils visitent un site, ce qu'ils font dépend vraiment du professeur. Certains sont vraiment bien préparés et veulent que leurs élèves fassent des activités précises et ils organisent cela avec moi et les chercheurs concernés. Dans ce cas, les visites sont plus appréciées par les élèves que quand le professeur laisse juste le chercheur faire faire un tour aux élèves.» (Coordinateur régional, Bordeaux)

«Les scientifiques sont vraiment faciles à approcher. En Norvège, il n'y a pas de grande distance entre les scientifiques et les autres gens, ni entre les professeurs et les élèves. L'autorité ne crée pas de fossé comme dans les autres pays et ne joue pas sur les contacts entre les gens. On ne se sent pas inférieurs aux scientifiques. Quand les chercheurs interviennent à l'école, ce sont juste de

nouveaux intervenants. Les élèves n'ont pas peur de leur poser des questions...» (Professeur, Bergen)

«La collaboration entre professeur et scientifique est très utile, parce que les données sur le sujet évoluent tout le temps, et seul le scientifique dispose des dernières informations. Et les élèves peuvent rencontrer des chercheurs, ce qui donne du poids au projet.» (Professeur, Paris)

Le travail des scientifiques avec les élèves

«Un des scientifiques est un ami mais les autres ne le sont pas – nous travaillons avec cinq chercheurs différents. Ils sont très précieux pour les élèves [...]. Le contact avec eux est très facile. Ils veulent montrer leur travail, et ce qu'ils montrent est intéressant. Pour moi, le problème est qu'ils sont très occupés.» (Professeur, Bordeaux)

«Je pense que cela peut donner aux scientifiques une nouvelle vision. Par exemple, après la conférence finale, tous les chercheurs ont dit qu'ils n'auraient pas imaginé que les élèves pourraient aller si loin dans le cycle du carbone. Ils étaient très surpris de ce que les professeurs et les élèves avaient réussi à faire. C'est pourquoi je pense que cela a changé l'idée qu'ils se faisaient des professeurs et des élèves.» (Coordinateur régional, Paris)

«Je suis contente quand les élèves réalisent des mesures. On leur montre ce que nous faisons vraiment au bureau et sur le terrain, on apporte en classe nos activités quotidiennes de recherche pour aiguiser leur intérêt et aussi bien sûr, leur donner des connaissances scientifiques.» (Coordinateur régional, Florence)

«Ça a été stimulant de travailler et de communiquer avec des adolescents.» (Coordinateur régional, Bergen)

«J'ai appris quel type d'activités peuvent fonctionner avec des élèves. Par exemple, ils peuvent travailler avec des fichiers Excel, ils peuvent faire des calculs, ils peuvent mesurer du CO₂. Mais ce projet est trop long. C'est difficile de mener à bien des projets de plus de trois mois. Les élèves veulent changer de sujet. Et je me suis rendu compte qu'il est difficile pour eux de retenir ce qu'ils ont appris parce qu'ils font d'autres choses – les scientifiques ont tendance à oublier cela. Ils parlent et une semaine plus tard, ils croient que les élèves ont retenu tout ce qu'ils ont dit.» (Coordinateur régional, Paris)

9 Obstacles aux activités CarboSchools identifiés par les professeurs participants

- Les heures consacrées au projet sont seulement volontaires et donc forcément limitées (nos programmes scolaires ne prévoient pas de temps pour des activités "hors programme").
- Notre hiérarchie ne soutient pas ces projets ni les idées individuelles ; elle est débordée par les tâches administratives et n'a pas le temps de s'occuper d'activités qui sortent du cadre ordinaire.
- Les autres professeurs de la classe ne sont pas très coopératifs ni pour nous, ni pour les élèves (ils sont peut-être envieux?).
- Les problèmes pour trouver de l'argent, lever des fonds, trouver des sponsors.
- Les difficultés à obtenir l'accord de l'administration pour les voyages, sorties, etc. Vous devez demander la permission pour tout et toute activité, tout matériel, doivent être contrôlés, ce qui rend les choses difficiles car il faut expliquer encore et encore.
- Les problèmes liés aux emplois du temps donnés par le chef d'établissement : par exemple, un professeur réalisant ce type de projet peut avoir besoin de deux ou trois heures de suite de cours, mais ne pas les obtenir.
- Les horaires des élèves : le nombre d'heures par matière alloué à chaque élève obéit à des règles très strictes, ce qui signifie qu'il peut être difficile d'emmener les élèves pour un travail de terrain d'une journée entière par exemple. La plupart du temps, on peut s'en sortir si l'on veut seulement deux ou trois jours dans toute l'année, mais il est impossible d'avoir des tâches spécifiques à accomplir toutes les trois semaines.
- La collaboration avec les collègues : il est relativement facile de rencontrer des professeurs prêts à travailler ensemble, mais il est difficile de trouver le temps de mettre en place cette collaboration. Nous avons plein de réunions aux ordres du jour très longs et très généraux, et même si nous demandons du temps pour nous réunir entre collègues qui enseignent la même matière ou qui veulent discuter de leurs matières, il y a toujours de nombreux points à régler avant.
- Tous les élèves ne sont pas motivés, beaucoup d'entre eux ne le sont pas du tout. Et si je veux faire un projet de ce type, je dois inclure toute la classe, ou bien le faire sur mes temps libre et sur le temps libre des élèves. Cela signifie que le projet doit être facile à inclure dans le programme.

(Affirmations écrites par les professeurs pendant une séance consacrée aux obstacles structurels lors d'un colloque CarboSchools à Iéna, en avril 2010)

des changements climatiques mais que, en dépit de leur expérience positive de CarboSchools, cette attitude suit le déclin habituel observé pendant l'adolescence.

Ces découvertes ne signifient pas que les attitudes déclinent à cause des activités CarboSchools, c'est-à-dire que les expériences pratiques et l'implication de scientifiques dans les établissements scolaires aient une influence négative sur les attitudes – elles sont tout au contraire plébiscitées par les élèves. Ces résultats indiquent que la proportion, durée et portée de ces activités par rapport aux activités scolaires quotidiennes (et d'autres facteurs plus larges) a été insuffisante pour contrer l'effet dominant.

Les informations supplémentaires recueillies lors d'entretiens avec les élèves, les professeurs, les scientifiques et les coordinateurs régionaux (voir encadrés 4 et 8) confortent cette analyse. Elles mettent en particulier l'accent sur la collaboration entre les écoles et les instituts de recherche, et entre les professeurs et les chercheurs. C'est un résultat important qui peut avoir un gros impact sur la manière dont la science est enseignée dans le secondaire. Développer ces types de partenariats professeurs-scientifiques à l'échelle régionale et nationale influera sur les programmes de sciences à un large degré. Cela contribuera à combler le fossé entre la science telle qu'on la pratique en classe et la recherche scientifique, et cela pourra avoir des effets positifs sur les choix d'études puis de carrière des élèves.

Dans le même temps, les interviewés ont aussi identifié de nombreuses contraintes. Du côté des scientifiques, le manque de temps a été mentionné, ainsi que le sentiment de ne pas avoir toujours vu leur implication auprès des élèves du secondaire valorisée par leur hiérarchie. Les professeurs ont souligné que les projets externes sont difficiles à intégrer au programme scolaire : ils nécessitent de délicats aménagements d'emplois du temps et se heurtent souvent à des limites de temps et de moyens. De plus, des activités hors programmes, comme celles offertes par CarboSchools, semblent parfois peu attractives aux élèves qui ne veulent pas consacrer plus de temps à des activités périscolaires. La hiérarchie éducative n'a pas toujours soutenu la participation des écoles aux projets CarboSchools (voir encadré 9).

En fin de compte, développer des projets fondés sur des activités pratiques et impliquant des scientifiques reste un vrai défi dans le contexte contraignant des systèmes éducatifs. Cela montre les limites de telles expériences au sein du système scolaire actuel et de sa culture dominante. CarboSchools illustre une fois encore ce que les praticiens de l'Éducation au développement durable (EDD) constatent partout : pour remplir leurs promesses (et pouvoir ainsi un jour toucher un grand nombre de professeurs), de telles activités ne devraient pas être proposées comme un ajout à des programmes et emplois du temps surchargés, mais être pleinement intégrées, ce qui supposerait de profonds changements dans l'ensemble du système éducatif.

Le contact personnel entre les élèves et les scientifiques, la pertinence des questions traitées dans les projets CarboSchools, la démarche d'investigation mise en œuvre dans certains projets et enfin le travail en équipe, tout ces éléments ont donné aux élèves une nouvelle expérience très positive de la science. CarboSchools a montré aux élèves que la science est différente de ce qu'ils connaissent à l'école et qu'elle peut vraiment être intéressante et importante pour leur avenir, à la fois en tant que travailleurs et en tant que citoyens.

Troisième livret CarboSchools

Version française février 2011 © CarboSchools consortium – www.carboschools.org

Coordination : Philippe Saugier et Marc Jamous

Traduction : Évelyne Séguy

Conception graphique : Silvana Schott

Mise en pages : Évelyne Séguy

Toutes les illustrations sont reproduites avec l'aimable autorisation des partenaires de CarboSchools.

Photo de couverture par Michael Meyerhöfer – IFM-GEOMAR (Printemps au Spitzberg)

Photo de 4^e de couverture par Sally Soria-Dengg – IFM-GEOMAR

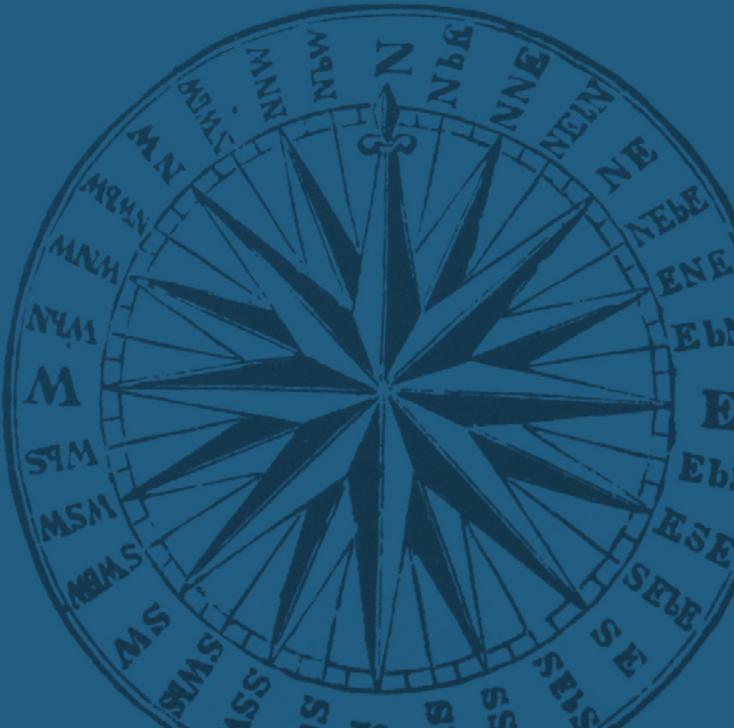
Nous remercions spécialement la DG Centre commun de recherche de la Commission européenne pour la conception graphique initiale des livrets CarboSchools.

Cette publication a été financée par le VII^e Programme-cadre de recherche et développement de l'Union européenne (conventions 217751 CarboSchools et 244122 GHG-Europe) et est protégée par la license Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 : vous êtes libres de reproduire, distribuer et communiquer cette création au public à condition de l'attribuer à CarboSchools, de ne pas en modifier le contenu et de ne pas l'utiliser à des fins commerciales. Pour plus de détails, voir <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

En mesurant la concentration de CO₂ en classe avec un capteur de CO₂, des élèves de collège apprirent les effets des fortes concentrations de gaz carbonique. Le lendemain, en entrant dans la classe, le professeur de mathématiques les trouva en train de courrir sur place et de souffler. Quand il demanda ce qui se passait les élèves répondirent : « Nous voulons atteindre une concentration de 5000 ppm de CO₂ dans la classe pour que cela nous endorme et nous empêche de nous concentrer... donc de faire le contrôle de maths ! »

**L'éducation est ce qui reste
quand on a oublié tout ce qu'on a appris à l'école.**

A. EINSTEIN



CarboSchools associe des chercheurs de plusieurs laboratoires phares de la recherche sur le cycle du carbone avec des professeurs du secondaire. Dans ces partenariats, de jeunes Européens mènent des expériences sur les impacts des gaz à effet de serre et découvrent la recherche sur les climats et la réduction des émissions de CO₂. Les scientifiques et les professeurs coopèrent pendant plusieurs mois pour donner aux élèves une expérience pratique de la recherche combinant expérimentations, rencontres avec les chercheurs et présentations publiques.

Entre janvier 2008 et décembre 2010, neuf instituts de recherche de sept pays différents se sont mobilisés pour motiver, initier et soutenir de tels partenariats dans leurs régions respectives, avec un large éventail de contextes culturels, thèmes scientifiques et groupes d'âges. Une coopération intensive au niveau européen leur a permis de comparer leurs résultats, d'apprendre les uns des autres et de mettre au point les pratiques applicables à ce genre de démarches. Au total, plus de quatre-vingt-dix établissements ont été impliqués dans ce « laboratoire pédagogique », explorant une large gamme d'activités et d'expériences réalisables dans le cadre scolaire, les évaluant et les publant dans une bibliothèque de ressources en ligne.

Ce livret présente le fruit de cette expérience éducative à l'attention de la communauté enseignante en Europe et dans le reste du monde. Il propose aux professeurs intéressés des idées concrètes et des conseils pour rendre l'enseignement de la science plus attractif et plus engageant, pour encourager les élèves à prendre conscience de leur impact sur le système terrestre et à rechercher des solutions pour contribuer à rétablir l'équilibre.



Kiel, avant une campagne en mer