

[cover]

Ontario

GUIDE

d'apprentissage de

L'ÉCOLOGIE

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

EN SCIENCES, 11^e ET 12^e ANNÉES

[PAGE II]

[INSIDE COVER]

Remerciements

Le Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada est un important partenaire financier du programme EcoSchools de l'Ontario. La liste de tous les partenaires ayant participé à l'élaboration de ce programme figure à l'endos de la couverture.

Programme EcoSchools de l'Ontario : Les changements climatiques en sciences, 11^e et 12^e années

Conception : Lessa Blake, Toronto District School Board; Jon McGoey, London Catholic DSB

Matériel supplémentaire : Jon McGoey, London Catholic DSB

Révision : Robert Dickson, Waterloo DSB; Lewis Molot, Faculty of Environmental Studies, Université York

Édition : Eleanor Dudar, Toronto District School Board

Traduction : Louis Courteau

© 2004 York University

Les écoles, conseils scolaires, établissements d'enseignement post-secondaire et organismes du gouvernement de l'Ontario sont autorisés à reproduire et à adapter la présente publication, en tout ou en partie, à des fins éducatives, sans autorisation spéciale du titulaire du droit d'auteur, avec mention de la source. Il est interdit de revendre cette publication ou de l'utiliser à quelque fin commerciale que ce soit sans en obtenir au préalable l'autorisation écrite de l'Université York. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec le Bureau de l'administration de la recherche au 416-736-5055.

Toutes les précautions raisonnables ont été mises en œuvre afin de retracer les titulaires des droits d'auteur sur le matériel et d'en faire dûment mention. Nous nous ferons un plaisir de rectifier toute omission éventuelle dans une édition subséquente.

Conception graphique : Comet art + design

[page 0]

Les sciences en 11^e et en 12^e années et le programme EcoSchools

Les cours de sciences en 11^e et en 12^e années amènent les élèves sur des voies divergentes. Certains en feront un apprentissage très théorique; d'autres mettront leurs connaissances en application de façon aussi directe qu'explicite dans leur vie quotidienne. Idéalement, chaque cours suit un peu chacune de ces deux voies. Le présent guide choisit un échantillon de cours aux destinations variées et suggère aux enseignants des façons de voir en partie le contenu du cours et ses objectifs d'apprentissage dans l'optique des changements climatiques.

Il est plus important que jamais de sensibiliser les élèves à l'éducation scientifique. Rares sont ceux qui croient que la science et la technologie peuvent à elles seules résoudre adéquatement nos problèmes environnementaux. En enseignant à nos citoyens le fonctionnement de la nature – et les effets que nous avons sur elle –, nous jetons les bases d'un avenir durable. Voilà la mission du projet EcoSchools.

Les changements climatiques en sciences, 11^e et 12^e années propose un choix d'idées maîtresses relatives aux changements climatiques et, pour chacun des cours, une liste d'attentes et contenus d'apprentissage, une série de questions d'orientation et de réponses en lien avec les changements climatiques, des suggestions d'enseignement et des ressources sur Internet.

Trois présentations multimédia ont été élaborées en complément aux ressources du programme EcoSchools. *Changements climatiques, changement d'attitude* présente un aperçu général de la question, tandis que *The Impacts of Climate Change* et *The Science of Climate Change* [en anglais] en approfondissent certains aspects. Au moins une de ces présentations pourra convenir à chacun des cours traités dans ce guide et animer les débats en classe. Ces présentations sont offertes sur cédérom. Pour commander, consultez la page <www.yorku.ca/fes/envedu/ecoschools.asp>.

AOÛT 2004

[P. i-iii already translated]

GUIDE

d'apprentissage de

L'ÉCOLOGIE

Les changements climatiques en sciences, 11^e et 12^e années

Table des matières

Les changements climatiques en sciences, 11 ^e et 12 ^e années	3
Aperçu	4
Idées maîtresses pour la compréhension des changements climatiques	6
Principaux éléments du système des changements climatiques	9
SBI3C – Biologie, 11 ^e année, cours précollégial	10
SBI4U – Biologie, 12 ^e année, cours préuniversitaire	17
SCH4U – Chimie, 12 ^e année, cours préuniversitaire	22
SCH4C – Chimie, 12 ^e année, cours précollégial	27
SPH4C – Physique, 12 ^e année, cours précollégial	32
SNC3M – Sciences, 11 ^e année, cours préuniversitaire/précollégial	36
SNC3E – Sciences, 11 ^e année, cours préemploi	40
SNC4M – Sciences, 12 ^e année, cours préuniversitaire/précollégial	43
Annexe 1 <i>Résumé du Protocole de Kyoto</i>	47
Annexe 2 <i>El Niño, La Niña et les changements climatiques</i>	48

[p. 2]

La *recherche* en écologie révèle que nous dépendons tous du bon fonctionnement des systèmes vivants de la Terre, qui nous fournissent l'air, l'eau, les sols, les aliments et toutes les autres ressources sur lesquelles nous comptons. En saisissant l'interdépendance des formes de vie, nous pourrions en savoir plus sur les moyens de protéger la Terre pour les générations à venir. Une meilleure *sensibilisation* à l'écologie

nous aidera à comprendre la nécessité de développer, de protéger, de conserver et de rétablir les systèmes naturels qui sont touchés par nos activités quotidiennes.

[page 3]

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN SCIENCES, 11^e ET 12^e ANNÉES

Bon nombre de résultats du curriculum en sciences de l'Ontario peuvent être atteints par l'intégration d'idées relatives aux changements climatiques aux cours de sciences de 11^e et 12^e années (2000) cités dans le présent guide. Des recherches ont prouvé que lorsque l'enseignant présente un cadre général ou un ensemble d'idées maîtresses, la compréhension qu'ont les élèves des faits et du « tableau d'ensemble » s'en trouve améliorée. Ce guide décrit le tableau d'ensemble tout en précisant les points du curriculum existant qui peuvent s'envisager du point de vue des changements climatiques.

Les changements climatiques sont un domaine interdisciplinaire complexe marqué par la recherche et la compréhension permanentes. Même si les élèves du secondaire n'en comprendront pas nécessairement toute la complexité, ce domaine comporte des notions importantes qu'ils peuvent apprendre. Le dialogue public doit s'éloigner d'un relativisme faiblard (« Tout est affaire d'opinion et toutes les opinions sont égales ») et gagner en rigueur, les opinions personnelles s'enrichissant de preuves empiriques et des conclusions de l'ensemble de la communauté scientifique. Le présent guide correspond à une partie de l'effort nécessaire à ce changement.

Ce guide aidera l'enseignant à répondre à quatre préoccupations communes en classe :

a) **Proposer des activités sommatives pertinentes** : L'interdisciplinarité qui caractérise les changements climatiques donne à l'enseignant l'occasion de construire d'excellentes activités sommatives.

b) **Assurer la pertinence du traitement et la mémorisation** : L'enseignant traite encore des faits et notions du cours; seulement, il se sert d'exemples en rapport avec les changements climatiques. La perception qu'ont alors les élèves que la matière est pertinente et d'actualité rehausse leur intérêt et améliore leur mémorisation.

c) **Aider les élèves à intégrer les connaissances acquises dans les autres modules et les autres cours** : Quand un point de vue sur les changements climatiques sert de contexte aux modules d'apprentissage en classe, les notions sont plus faciles à retenir et à importer d'autres modules. Le même principe s'applique si une de vos collègues enseigne une autre matière à l'aide du même ensemble d'idées maîtresses.

d) **Préparer les élèves à devenir des citoyens avisés et responsables** : L'éducation aux changements climatiques aidera les élèves à devenir des consommateurs, des intendants et des électeurs avisés et dotés d'un bon sens critique.

Aperçu

Le présent guide propose des idées et des suggestions particulières sur la façon de traiter bon nombre des attentes et contenus d'apprentissage de huit cours de sciences en 11^e et en 12^e années. Il vise à servir de complément aux manuels, aux profils de cours et aux nombreuses activités qui se déroulent déjà en classe. Le regard qu'il porte sur les changements climatiques brosse un tableau d'ensemble cohérent qui favorise la rétention par les élèves des idées maîtresses d'un module à l'autre et d'une matière à l'autre.

Le guide comprend :

Une vue d'ensemble de quatre « idées maîtresses » qui sous-tendent l'étude des changements climatiques et servent de boussole pour la planification de l'orientation à donner au cours.

Des sections portant sur huit cours de 11^e et 12^e années. Chaque section contient :

- un bref aperçu;
- une liste des attentes et contenus d'apprentissage pertinents du curriculum (quand nous ne donnons que la liste des attentes d'un domaine, c'est que la totalité ou presque des contenus d'apprentissage sont couverts par les questions d'orientation proposées);
- des questions d'orientation en lien avec ce groupe d'attentes et de contenus d'apprentissage : ces questions ouvertes visent à favoriser la discussion plutôt que la recherche d'une réponse irréfutable (pour mieux répondre à la question d'orientation, l'enseignante ou l'enseignant et les élèves devront convenir d'une série de questions plus spécifiques et plus faciles à traiter; ces questions conviendront surtout aux classes dont l'enseignant veut engager ses élèves dans une étude indépendante [au laboratoire, dans Internet ou à la bibliothèque] pendant environ 25 % du temps consacré au module);
- un résumé des réponses aux questions d'orientation, comprenant notamment les consensus à l'égard des changements climatiques que l'élève est censé adopter;
- des suggestions pour l'enseignement qui supposent une connaissance de plusieurs techniques courantes en classe en en laboratoire (p. ex., penser, grouper, échanger; les groupes d'experts; le titrage; l'équilibre acide-base);
- un choix de ressources Internet.

Conseils pour l'emploi des questions d'orientation

L'enseignante ou l'enseignant qui préfère une planification axée sur l'enseignant préparera ses leçons en fonction de son interprétation des questions d'orientation. La planification de ses leçons de sciences quotidiennes se fera principalement dans l'optique du curriculum de l'Ontario en sciences. Cela ne l'empêche pas de citer des exemples relatifs aux changements climatiques pour illustrer une notion dans le cadre d'exercices en classe ou de devoirs. (Les élèves peuvent aussi bien s'entraîner à tracer des diagrammes de Lewis d'un CFC que du chlorure

d'aluminium.) L'enseignant peut choisir de ne pas faire porter les tests sur des applications particulières des changements climatiques ou d'y inclure les idées maîtresses proposées dans le résumé de chaque cours que présente le guide.

L'enseignant qui préfère favoriser le travail autonome pourra présenter la question d'orientation dans le cadre d'un remue-méninges et la faire suivre d'une série de questions secondaires. Ces questions secondaires feront l'objet soit d'un travail en classe auquel tous participeront ensemble, soit de questions données à chacun comme sujet d'une étude autonome et d'une présentation (affiche, devoir, exposé oral). L'enseignant peut produire des questions ouvertes pour l'évaluation formelle ou mettre en commun les résultats des recherches et en faire une matière à examen. Chaque résumé passe en revue les idées de ce genre.

Ces questions et les idées qu'elles englobent sont un moyen de recentrer le curriculum existant sous la lentille de la viabilité écologique. En changeant de point de vue sur le contenu et les aptitudes de ces quelques cours choisis, on présente aux élèves une façon différente de comprendre les notions et d'interpréter l'information. Pendant le temps consacré à une section d'un module ou à un module entier, voire pendant tout le cours, ces questions peuvent littéralement réorienter la compréhension acquise par les élèves dans leur traitement du contenu et leur apprentissage des compétences. Ces questions d'orientation mettent en valeur tout le sens des attentes et contenus d'apprentissage et favorisent le développement de la pensée critique chez les élèves.

[page 6]

IDÉES MAÎTRESSES POUR COMPRENDRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les idées maîtresses permettent de dégager quelques notions fondamentales de la science des changements climatiques : l'équilibre énergétique de la Terre, les échelles de temps, le rôle du carbone et les facteurs qui contribuent à atténuer les sources et les puits de carbone. Beaucoup de ces idées se répètent d'un cours à l'autre. On peut varier la mesure dans laquelle on explore ces idées afin de répondre aux besoins des élèves et de respecter l'orientation du cours.

Les équilibres naturels : la vitesse du transfert d'énergie et de l'écoulement moléculaire

Plutôt que de parler d'un « équilibre de la nature », il vaut mieux penser *aux* « équilibres naturels », où les intrants doivent équilibrer les extrants. Ces équilibres mettent en jeu *la vitesse à laquelle l'énergie et les molécules se transforment* au cours des processus physiques, chimiques et biologiques. Par exemple, les forces newtoniennes, les équilibres chimiques et les équilibres métaboliques reposent tous sur la vitesse de réaction. Si l'équilibre de l'énergie rayonnante sur Terre est demeuré relativement constant jusque peu avant 1900, il arrive quand même que l'équilibre se déplace, à des niveaux de gravité ou de conséquence variés.

L'énergie du Soleil pénètre dans les systèmes de la Terre, puis retourne dans l'espace : c'est là le parcours fondamental du transfert d'énergie. Tout comme la composition de l'atmosphère a évolué avec le temps, les transferts d'énergie entre les systèmes terrestres ont changé aussi. La quantité d'énergie qui quitte la Terre est moindre qu'avant et, comme l'énergie n'est ni créée ni détruite, un nouvel équilibre s'établit par le stockage de cette énergie sous forme de chaleur dans l'atmosphère terrestre et les océans. Aujourd'hui, la production accrue de produits chimiques de dégradation lente par les humains contribue pour une bonne part à ce déplacement de l'équilibre. En bout de ligne, notre mode de vie et nos choix technologiques et économiques ont une forte influence sur des équilibres énergétiques et moléculaires essentiels.

Les échelles de temps géologiques, évolutionnaires, générationnelles et politiques

Notre planète est rythmée par plusieurs échelles de temps. Les échelles géologiques, qui couvrent des millions d'années, mettent en jeu la production et l'élimination d'hydrocarbures et de minéraux. L'évolution se fait sur un grand nombre de générations dont la durée varie de quelques jours à plusieurs décennies. On aborde souvent les choix économiques et de mode de vie selon une échelle de temps humaine; quant aux décisions politiques, elles ne portent que sur quelques années. La reconnaissance et l'intégration explicites de ces échelles de temps permet de conserver la matière et la rigueur scientifiques sans tomber dans un relativisme sans issue ou dans les idées reçues.

[page 7]

Les composés du carbone et le bilan du carbone

Les gaz à effet de serre (GES) sont nombreux, mais les plus importants sont les composés gazeux du carbone tels que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et les chlorofluorocarbures (CFC). La cadence du cycle des composés gazeux du carbone subit plusieurs influences : 1) les processus biologiques naturels d'oxydoréduction (la respiration et la photosynthèse, la décomposition aérobie et anaérobie); 2) l'activité humaine (la combustion de carburants fossiles); 3) les processus biogéologiques (le rejet et la séquestration de carbonate de calcium). Leurs propriétés biochimiques et physiques a une incidence sur la production biotique et abiotique et sur les taux d'élimination, qui influent à leur tour sur le taux de rétention de la chaleur dans l'atmosphère. En étudiant diverses propriétés de ces composés du carbone, les élèves comprendront où et comment l'équilibre s'établit.

Le bilan du carbone

« L'une des façons les plus faciles de comprendre comment et pourquoi les activités humaines influent sur le climat mondial consiste à se représenter l'atmosphère terrestre comme un compte de carte de crédit. Le relevé annuel donne la liste des achats et des paiements, et la différence entre les deux totaux correspond à l'accroissement de la dette totale. Dans le cas du dioxyde de carbone, qui est le plus important des gaz à effet de serre persistants, ce relevé s'appelle le bilan du carbone. Les émissions correspondent à des achats et les puits de carbone, à des paiements.

Le plus récent bilan du carbone, produit par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)[...] pour les années 1980 à 1989 [...] indique que presque la moitié du dioxyde de carbone émis par les humains dans l'atmosphère chaque année y reste. Autrement dit, nous ne payons que la moitié de la facture. Si nous voulons que les concentrations dans l'atmosphère cessent d'augmenter, il nous faut soit réduire de moitié la quantité totale de nos émissions, soit renforcer les puits par lesquels nous remboursons notre dette¹. »

À l'échelle moléculaire, le carbone est la principale monnaie d'échange de la Nature; les substances comme le CO₂, les hydrocarbures et les CFC ne sont que d'autres types de devises. Nos émissions de carbone sont trop nombreuses et nos puits, trop rares : l'accumulation de carbone dans l'atmosphère signifie que notre bilan global du carbone n'est pas viable.

¹ Site Web *Climate Change Solutions* (notre traduction). On trouvera un tableau des sources et puits de GES à <www.climatechangesolutions.com/science/greenhouse/budget.shtml?o=gases&r=budget>. Sources de renseignements : Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques et Environnement Canada.

[page 8]

Les facteurs de changement dans les sources et puits de carbone

En comprenant 1) comment les composés gazeux du carbone pénètrent dans l'atmosphère, 2) à quel rythme ils se génèrent et 3) en quoi ils modifient le flux d'énergie dans les systèmes de la Terre, les élèves peuvent discuter en connaissance de cause de stratégies visant à réduire les émissions de carbone ou à améliorer l'élimination du carbone de l'atmosphère. La réduction du nombre de *sources* et de leur rythme de production de composés gazeux du carbone limite l'accumulation de GES dans l'atmosphère. L'augmentation du nombre de *puits* et de leur rythme de production de composés du carbone réduit la teneur en GES dans l'atmosphère. Dans les deux cas, en vertu de la loi de la conservation de l'énergie, ces stratégies influent sur le bilan radiatif et, en bout de ligne, sur le rétablissement d'un équilibre chimique et biologique plus favorable.

La puissance du calcul infinitésimal et le point de vue de l'ingénieur

Il y a des gens qui croient que les changements climatiques sont un phénomène bien trop complexe pour être compris. Ce n'est pas l'avis de beaucoup de celles et ceux qui étudient le génie et les sciences. Le point de vue de l'ingénieur, axé sur le rythme de changement, nous permet de mesurer, de surveiller et de prévoir les résultats de problèmes incroyablement complexes.

La compréhension du rythme auquel l'énergie se transforme et les molécules à base de carbone sont émises, stockées et transformées est un élément essentiel de la compréhension des changements climatiques.

Bien des problèmes écologiques et climatiques que nous connaissons aujourd'hui étaient déjà connus et prévus depuis des années. Nous savions que nous pêchions trop de morue, que la couche d'ozone s'amincissait et que l'énergie nucléaire causerait des problèmes d'élimination à long terme. De même, il est scientifiquement prouvé que la quantité de CO₂, de CH₄ et de CFC produits par les humains entraîne un déplacement du bilan radiatif et une hausse des températures moyennes sur Terre. Le point de vue de l'ingénieur, axé sur le rythme de changement, est d'une importance vitale pour la compréhension des phénomènes complexes mais connaissables qui entourent la durabilité et les changements climatiques.

[page 9]

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DU SYSTÈME CLIMATIQUE

[figure : see Science 10, page 5]

Réchauffement de la planète ou changements climatiques?

Les termes « réchauffement de la planète » et « changements climatiques » sont souvent employés de façon interchangeable. Qu'est-ce qui les distingue? Le premier aspect des changements climatiques sur lequel les scientifiques se sont penchés est la hausse persistante des températures sur plusieurs décennies : c'est donc le « réchauffement » qui a d'abord attiré l'attention. Le terme « changements climatiques » est plus général et, aujourd'hui, d'usage plus courant. Il englobe la tendance du réchauffement de la planète, mais il renvoie aussi à d'autres phénomènes climatiques tels que les événements météorologiques violents, la fonte des calottes polaires et les vents violents.

La présentation multimédia *The Science of Climate Change* [en anglais] a été élaborée spécialement en complément au curriculum de sciences, 10^e année, mais elle donne un aperçu du sujet qui motivera tout aussi bien les élèves de classes plus avancées. Pour la commander, consultez le dos du présent guide.

[page 10]

SBI3C – BIOLOGIE, 11^e ANNÉE, COURS PRÉCOLLÉGIAL

Aperçu

La biodiversité de la plupart des écosystèmes naturels viables offre un modèle évolutif pour les systèmes conçus par les humains. Les chaînes de pénétration redondantes et les boucles de rétroaction sont absentes des modèles, basés sur l'efficacité, de la Révolution industrielle; pourtant, beaucoup de systèmes informatiques et économiques de l'ère moderne en font usage. Les écosystèmes ne se soucient pas de répondre à des besoins extérieurs; ils sont de fait assujettis de l'intérieur aux lois physiques de la nature. Dans un écosystème durable, par exemple, le rythme de production de déchets de phosphore régit en général le rythme auquel une substance

est produite à partir de ce phosphore. Dans les réseaux alimentaires stables, c'est le rythme net de la reproduction des formes de vie « inférieures » qui a une incidence significative sur la subsistance des organismes situés aux maillons supérieurs de la chaîne alimentaire. Notre compréhension actuelle des multiples interactions entre les prédateurs et leurs proies nous permet d'anticiper l'effet des diverses contraintes qui s'exercent sur tout le système.

On peut généraliser assez facilement les principes homéostatiques régissant les microbes, les plantes, les animaux et les écosystèmes (dans la perspective d'une activité finale) en se penchant sur la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère.

Attentes et contenus d'apprentissage

Microbiologie

- 3.05

Structure et physiologie végétales

- 0.03, 2.02, 2.03, 2.04, 3.01, 3.03, 3.04, 3.05

Sciences environnementales (tout le module)

- 0.01, 0.02, 0.03

Questions d'orientation : la filière climatique

1. Quelle analogie y a-t-il entre la circulation des biens et de l'énergie dans notre société et la transformation de la matière et de l'énergie dans les écosystèmes?

Dans un écosystème naturel, les organismes emploient diverses substances comme matières premières et produisent en retour des déchets. Dès que ces déchets sont éliminés par un organisme, d'autres organismes de l'écosystème s'en servent comme matière première pour leur propre métabolisme.

Certains organismes consomment des composés en principe toxiques et les transforment en particules plus petites et inoffensives dans leurs déchets. La biorestauration, qui s'inspire de ce processus naturel, consiste à trouver et à mettre en valeur des organismes capables de métaboliser des substances toxiques en substances inoffensives. Cependant, l'introduction dans l'environnement d'un organisme d'assainissement en quantité suffisante risque d'exercer d'importantes pressions sur d'autres points d'équilibre.

L'oxygène (O₂), à l'état gazeux ou dissous dans l'eau, peut être considéré comme un polluant toxique du point de vue des bactéries anaérobies, mais c'est une composante essentielle à la vie pour tous les organismes aérobies, y compris l'humain. Les atomes d'oxygène et l'oxygène gazeux se déplacent par cycles entre les organismes photosynthétiques et aérobies; ces deux formes d'oxygène sont nécessaires à la survie de tous les organismes.

[page 11]

Beaucoup de procédés technologiques comme les CFC, les BPC et la production d'huiles de raffinage produisent des déchets dont le mécanisme de biodégradation est insuffisant ou trop lent. Parfois, le rythme de production est trop élevé (p. ex. la production de dioxine par la combustion des déchets solides des municipalités). Ces produits toxiques s'accumulent dans l'atmosphère, le sol ou les organismes vivants; leur seule présence modifie l'équilibre écologique et réduit la diversité des organismes vivants capables de survivre dans le milieu touché.

Suggestions pour l'enseignement

Prenez comme système modèle une cuisine, soit chez l'élève, soit à l'école. Formez des groupes d'élèves qui détermineront et calculeront 1) la quantité de matières qui entrent dans la cuisine et en sortent chaque semaine; 2) le volume de l'espace de rangement et le rythme auquel l'espace se remplirait ou se viderait si l'un des processus (l'entrée ou la sortie) se ralentissait de 25 %. Pour partager les tâches, un groupe peut s'occuper des produits de boulangerie, un autre des viandes, un troisième des contenants en plastique, etc. Vous pouvez élargir les limites du système pour y englober la cafétéria et inclure aux calculs le volume et le rythme de remplissage des poubelles. Demandez aux élèves de construire un diagramme à bandes indiquant le débit d'entrée et de sortie. (La hauteur des bandes sera proportionnelle au débit.)

2. Quel effet l'activité humaine (l'agriculture, l'exploitation forestière, l'urbanisation) a-t-elle sur la durabilité des populations naturelles et des écosystèmes? Quels facteurs permettent à une forêt naturelle diversifiée de mieux supporter les contraintes qu'une forêt reboisée à monoculture? Dans quelle mesure les scientifiques peuvent-ils vraiment comprendre le fonctionnement d'un écosystème? (Une approche par l'analyse des systèmes exige de recenser, de quantifier et de classer les facteurs prépondérants et mineurs qui influent sur les systèmes en général.)

Un écosystème, une plante en santé, une cellule représentent chacun un système en soi. Chaque système transforme la matière en différentes composantes et consomme de l'énergie pour alimenter ces processus. Les systèmes complexes ont des chaînes et des ramifications multiples.

Une grande diversité de facteurs peuvent perturber un système. Si une ou plusieurs composantes d'un système sont menacées ou retranchées, le système lui-même peut changer, voire se détraquer complètement. Les systèmes complexes sont en général plus résilients et s'adaptent à l'ajout ou au retrait de certaines composantes. Certains changements surviennent naturellement, mais l'activité humaine peut mettre rapidement un système en péril au point qu'il risque de s'effondrer.

L'agriculture, l'exploitation forestière, l'urbanisation sont des cas particuliers dont l'étude permet de comprendre en quoi l'activité humaine modifie la biodiversité d'un territoire. Toutes ces activités tendent vers la réduction de la biodiversité et la croissance des monocultures.

[page 12]

Suggestions pour l'enseignement

Demandez aux élèves de dresser la liste des procédés utilisés dans leur cuisine pour préparer les

brûle). En général, la seule différence réside dans le débit : l'arbre prend simplement plus de temps à libérer la même quantité de CO₂ en se décomposant qu'en brûlant.

4. Que pourrions-nous faire pour réduire certains problèmes causés par l'utilisation de produits chimiques? Quelles leçons pouvons-nous tirer des systèmes naturels afin de concevoir des interactions plus efficaces? En quoi les composantes des systèmes naturels peuvent-elles contribuer à réduire l'impact des systèmes sociaux sur l'environnement?

Les environnements naturels prospères et résilients, avec leurs multiples interactions entre divers organismes et facteurs physiques, peuvent servir de modèles pour la création immédiate d'un environnement plus durable. Les milieux naturels en péril témoignent d'une extrême vulnérabilité et d'une diversité réduite. En observant les différences entre ces modèles, nous pouvons apprendre à concevoir et à adapter les systèmes humains afin de réduire les effets négatifs des activités humaines et d'accroître la durabilité des systèmes.

Suggestions pour l'enseignement

Servez-vous de l'exemple de la cuisine pour établir un parallèle. Parfois nous introduisons en trop grande quantité dans l'écosystème une substance impossible à traiter par les « chaînes » de l'écosystème. Demandez aux élèves de répondre à des questions comme celle-ci : « Quelles seraient les conséquences dans nos cuisines si nous ne pouvions plus jeter les contenants en polystyrène? » Exigez des réponses en termes de débits et de quantités. Demandez aux élèves de réfléchir au traitement des déchets dans un système bâti par les humains et à ce qui arrive aux « déchets » dans un système naturel. (Pour aider les élèves à mieux comprendre les avantages de la complexité ou de la redondance dans un système naturel, rappelez-leur les éléments de réponse à la question 2, à propos des procédés de préparation des aliments.)

[page 15]

Consensus à l'égard des changements climatiques

Les plantes jouent un rôle significatif dans le bilan planétaire du carbone. Même si un développement urbain respectueux de l'environnement peut réduire l'effet d'îlot de chaleur d'une ville, son impact sur le bilan du carbone est limité. La séquestration du carbone à long terme est nécessaire à la réduction de la quantité de carbone dans l'atmosphère; les forêts sont en général d'importants puits de carbone. L'établissement de nouvelles zones forestières afin de créer des puits de carbone est une façon pour le Canada de remplir ses engagements envers le Protocole de Kyoto.

Le milieu naturel est un système complexe, dont les composantes multiples ont des interactions très variées. Les façons dont ce type de système *fonctionne, s'adapte et évolue* dans le temps forment un vaste ensemble de propriétés et de particularités. Pour comprendre un système si complexe, nous devons étudier ses composantes : les écosystèmes, les peuplements, les organismes. La végétation, en particulier, est une composante essentielle de tous les systèmes naturels. Elle compte pour beaucoup dans le bilan mondial du carbone. La compréhension des différents rôles joués par les plantes et par d'autres organismes dans un milieu naturel nous sensibilise à certains effets de notre présence sur le milieu agricole et forestier. L'examen du débit de transformation de l'énergie ou du débit des émissions ou de la séquestration de carbone permet de mieux comprendre le rôle de la diversité dans un système et nous aident à prévoir ce qui se produira si un écosystème subit des contraintes.

L'activité humaine continue d'épuiser les ressources naturelles, y compris les habitats naturels et les nombreux organismes qui y vivent. Cette activité peut avoir des effets inattendus : la réduction du rendement agricole et forestier, l'évolution de l'incidence des intempéries sur le milieu (l'érosion du sol due au ruissellement de l'eau de pluie), l'augmentation éventuelle des risques pour la santé. Les gestes que nous posons peuvent donc entraîner une multitude de petits changements qui ont au total des effets dévastateurs.

[page 16]

Autres suggestions pour l'enseignement

Comparaison

En équipe, les élèves peuvent analyser les composantes de divers systèmes (et leurs interactions) :

- les systèmes naturels – riches (forêt dense humide), limités (toundra) ou perturbés (régions désertifiées comme Haïti, un pays autrefois boisé et aujourd'hui désertique);
- un milieu agricole (une ferme de production céréalière, un élevage de bovins, etc.).
Demandez aux élèves d'analyser l'un de ces systèmes et de le comparer aux systèmes naturels. Trouvez ensuite des stratégies visant à complexifier le système. Sachez cependant qu'il peut être très difficile de mesurer ou de quantifier ces stratégies; demandez donc plutôt à vos élèves une présentation bien étayée de ce qu'ils considèrent comme l'influx le plus important dans le système, le rejet le plus faible, etc.

La communauté scientifique dispose de connaissances précises sur ce type d'information sur les écosystèmes (voir <seagrant.gso.uri.edu/coasts/symposium/program1.html> [en anglais] ou, dans un moteur de recherche, entrez des mots clés comme « flux », « étang », « écosystème », « nitrate »). Cependant, le vaste champ de cette recherche se situe au-delà des capacités de la plupart des élèves. On peut se contenter de faire la nécessaire démonstration que ces connaissances sont à la portée des écologistes.

Étude de cas et présentation des résultats

Les élèves étudient et analysent les différentes pratiques forestières et identifient les stratégies ayant un impact accru ou moindre sur la durabilité à long terme de la forêt.

Ressources

<www.renewingindia.org/clighg.html> [en anglais]

<www.ec.gc.ca/pdb/ghg/overview_f.cfm>

<www.total.com/ho/en/csr/developpement/download/fs04_GHG.pdf> [en anglais]

<www.sci.sdsu.edu/classes/iscor310/ppt/Pp09.ppt> [en anglais]

<www.carbon.cfs.nrcan.gc.ca/tracking/afforest_reforest_f.html>

SBI4U – BIOLOGIE, 12^e ANNÉE, COURS PRÉUNIVERSITAIRE

Aperçu

La perspective évolutive montre qu'un stress écologique grave engendre l'adaptation, la spéciation ou la disparition des espèces. La disparition peut survenir très rapidement, alors que l'adaptation, de type génétique, est en général relativement lente à se produire et s'étale sur des centaines de générations. La connaissance du flux énergétique biologique (notamment la catalyse) offre des modèles pour le développement de systèmes artificiels durables.

Attentes et contenus d'apprentissage

Processus métaboliques

- 0.03, 1.01, 3.01, 3.02, 3.03

Génétique moléculaire

- 3.02

Dynamique des populations (les trois attentes seulement)

- 0.01, 0.02, 0.03

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Les études évolutives et géologiques démontrent qu'il existe différents changements à climatiques l'échelle des biomes et de la planète. Le choix conscient d'une adaptation du comportement est exclusif aux humains. L'adaptation génétique est un processus lent qui entraîne souvent la disparition d'écoformes inadaptées aux nouvelles conditions. Combien de temps faudra-t-il aux stocks alimentaires d'Amérique du Nord (p. ex. le blé, l'avoine) pour s'adapter à l'évolution du climat? Combien de temps faudra-t-il aux bactéries pour faire de même? Combien de temps faudra-t-il aux humains pour s'adapter?

L'histoire de la Terre est marquée par d'importants changements planétaires sur le plan de l'énergie (température planétaire), de la composition atmosphérique et des processus biologiques. Certains changements ont été catastrophiques (la production d'oxygène et d'ozone libres a modifié l'impact du rayonnement solaire sur la surface de la Terre). D'autres changements sont cycliques et certaines oscillations continues sont prévisibles (changements dans la température planétaire, périodes glaciaires).

Il est possible de relier l'évolution récente de la composition atmosphérique et du bilan radiatif à la croissance démographique et à la consommation des ressources. L'examen des conditions ayant prévalu dans le passé nous donne un aperçu des avenir possibles pour la Terre.

Le changement évolutif se fait généralement très lentement (au rythme des ères géologiques). L'élévation initiale du niveau d'oxygène dans l'atmosphère, il y a environ 2,2 milliards d'années, est la cause manifeste de l'apparition soudaine d'oxydes de fer dans le paléosol. La teneur en oxygène de l'atmosphère a passé de 1 % à 15 % environ sur une période de 400 000 ans. Sans lien avec un processus métabolique (p. ex. la respiration aérobie) qui aurait pu transformer ce

nouveau gaz à grande capacité oxydante, celui-ci s'est accumulé, modifiant l'environnement de tous les organismes vivants, dont certains n'ont pas pu survivre. Le développement de la respiration aérobie, par laquelle les organismes consomment de l'oxygène pour libérer l'énergie nécessaire aux processus cellulaires, a contribué à boucler le cycle de la matière par la photosynthèse.

L'activité humaine, par contre, peut amener un changement dans la concentration des gaz dans l'atmosphère à un rythme beaucoup plus rapide que celui des ères géologiques.

[page 18]

Suggestions pour l'enseignement

Demandez aux élèves d'établir une ligne de temps graduée indiquant la durée relative de 1 000 générations chez différents organismes. Par exemple, 1 000 générations humaines = 20 000 ans, ce qui, à une échelle de 1 cm = 1 000 ans, équivaut à 20 cm sur la ligne de temps. Mille générations de plantations de riz = 1 000 ans ou 1 cm. Mille générations de champignons microscopiques représentent en gros 1 000 jours ou 3 ans, soit 0,003 cm. À l'aide de ce modèle gradué, montrez que les stocks alimentaires disponibles ne peuvent s'adapter rapidement, contrairement aux organismes « inférieurs », qui s'adaptent et s'adapteront toujours rapidement. Si les humains ont la capacité d'adapter leur comportement aux changements climatiques, l'adoption d'un bon comportement n'améliorera pas la composition de nos stocks alimentaires à temps! La discussion en classe portera sur la problématique entourant le rythme des changements climatiques et ses conséquences : la leçon à en tirer est qu'il est grand temps d'agir afin de réduire les émissions de CO₂ dans l'atmosphère et d'accélérer la séquestration du carbone.

2. Comment tirer parti de notre compréhension des processus énergétiques biologiques pour réduire la quantité d'énergie que nous libérons dans les systèmes terrestres?

Comment font les systèmes vivants (cellules, organismes, écosystèmes) pour recycler la matière et réduire au minimum la transformation d'énergie en chaleur résiduaire?

Comment l'apprentissage de ces processus peut-il nous aider à concevoir des activités plus durables?

L'énergie solaire, sous forme de rayonnement électromagnétique (REM), frappe la surface de la Terre, puis retourne dans l'espace sous forme de rayonnement et de chaleur. Les principales formes d'énergie solaire sont la lumière, la chaleur et les rayonnements ultraviolet et infrarouge.

La lumière visible est captée par les plantes qui la transforment en sucres. La surface de la planète transforme aussi la lumière en rayonnement infrarouge, dont l'absorption par le CO₂ gazeux génère de la chaleur, ce qui influe à son tour sur la température de la Terre.

Outre l'énergie solaire, qui est essentiellement constante et stable, l'énergie produite par l'activité humaine contribue aussi aux changements climatiques.

Dans les organismes vivants, les transformations énergétiques passent par l'activité enzymatique, qui permet aux réactions de se produire à une température plus basse (ou à un niveau d'énergie moindre) et dans des conditions moins rigoureuses qu'ailleurs.

La cadence rapide des procédés de fabrication industriels nécessite généralement une température élevée. Le recours à des procédés à base d'enzymes pourrait permettre la fabrication de produits pharmaceutiques ou alimentaires avec une quantité d'énergie (électrique ou calorique) moindre, ce qui générerait moins de gaz à effet de serre que les procédés actuels.

Suggestions pour l'enseignement

Demandez aux élèves de préparer individuellement ou en équipe un projet illustrant des réactions catalysées dans le contexte de la production industrielle. Précisez-leur qu'ils devront exprimer les économies d'énergie réalisées en dollars ou en kilojoules. Ils doivent aussi éviter de limiter leur étude aux réactions chimiques; la principale leçon à tirer de cet apprentissage est que la catalyse biologique permet d'économiser un certain nombre de kilojoules d'énergie (ce qui diminue d'autant la production de CO₂). Plus l'enseignant et les élèves parviendront à quantifier ou à expliciter ce résultat, mieux cela vaudra. Ne vous inquiétez pas de savoir si le résultat de vos calculs est réaliste; même s'il est entendu qu'il s'agit d'une estimation, il n'en ressort pas moins qu'on obtient une économie d'énergie. Il sera toujours temps de discuter des valeurs exactes. Voir le tableau 1 à <www.chemicalprocessing.com/Web_First/cp.nsf/ArticleID/THON-4LSMVS?OpenDocument&Click=> [en anglais], ou faites une recherche sur les mots-clés « catalyse enzymatique » ou « économies d'énergie ». Un autre site utile pour cette activité est <www.schoolscience.co.uk/content/5/chemistry/catalysis/catsch3pg1.html>. Ce site explique en détail [et en anglais] quelques-unes des principales réactions catalysées employées dans l'industrie chimique, en précisant pour chacune son utilité, le catalyseur utilisé et la réaction chimique en cause.

[Translator's note : broken link in yellow.]

3. En quoi la croissance démographique modifie-t-elle le bilan énergétique et la production de carbone dans les systèmes terrestres? Sommes-nous en train de créer un nouvel « âge carbonifère »?

Les fluctuations à court et à long termes dans la démographie et la variation génétique sont des phénomènes naturels; la disparition d'une population aussi. L'évolution n'est pas un progrès vers la conception humaine de ce qui est bon. L'évolution signifie simplement que les organismes doivent s'adapter pour préserver ou accroître leur compatibilité avec les facteurs environnementaux changeants dont dépend l'espèce.

Avec le temps, les populations d'organismes évoluent en fonction de facteurs physiques ou biologiques. La croissance rapide de la population est une propriété qui caractérise les espèces envahissantes prospères et celles qui sont à la base de la pyramide alimentaire. Toutes les populations ont un potentiel biotique de croissance infini, mais les espèces sont habituellement limitées par des facteurs négatifs, qu'ils soient abiotiques (la disparition des habitats, une régulation caractérisée par une courbe en J) ou biotiques (les maladies causées par la surpopulation, une régulation caractérisée par une courbe en S).

Les populations humaines, au contraire, n'ont apparemment aucune capacité de limiter leur croissance dans le temps. La croissance démographique constante (sans parler des progrès de la technologie) a fait évoluer l'impact qu'ont les humains sur leurs écosystèmes, ce qui influe sur la résistance des différents milieux naturels aux contraintes associées à divers changements, notamment les phénomènes météorologiques violents.

Les populations humaines consomment les ressources énergétiques et alimentaires à un rythme très élevé et contribuent à la fois à l'énergie de rayonnement dans les systèmes terrestres et à la production de composés de carbone à l'état gazeux dans l'atmosphère.

Suggestions pour l'enseignement

Une conception erronée, mais répandue, veut qu'à mesure que la teneur en CO₂ augmente dans l'atmosphère, le taux de prolifération des plantes augmente lui aussi, puisque le CO₂ est habituellement le facteur limitant. Cependant, lorsque le CO₂ devient plus abondant, un autre déterminant abiotique quelconque (le phosphore ou l'espace vital disponible, par exemple) devient éventuellement le facteur limitant de la croissance. Demandez à toute la classe de faire une expérience sur le taux de croissance des algues en fonction de la présence de CO₂ et de phosphore. Injectez des algues (faciles à prélever dans un aquarium ayant besoin d'un nettoyage) dans des bouteilles à boisson gazeuse transparentes de 2 litres. Répartissez la matrice de l'expérience entre les élèves : un groupe de quatre élèves introduira dans ses bouteilles 50 mg de CO₂ et 0,5, 5, 50 ou 500 mg de phosphore; un autre groupe de 4 élèves emploiera 500 mg de CO₂ avec la même échelle de quantités de phosphore. Faites-les travailler par facteurs de 10. Faites-leur verser 2 cuillerées à table de compost stérilisé au fond de chaque bouteille pour l'enrichir suffisamment en micronutriments. On peut remplacer le CO₂ par le NaHCO₃, le Na₂CO₃ ou le CaCO₃, qui permettent aussi de contrôler le niveau de carbone présent.

On trouvera d'autres recettes dans E. Morholt et P. Brandwein, *A Sourcebook for the Biological Sciences*, 3^e édition, San Diego, Harcourt Brace Jovanovich, 1986. Une autre ressource utile est disponible à <www.ases.org/hydrogen_forum03/OverendF.pdf> [en anglais]. Ce document décrit la production d'hydrogène à partir d'algues.

Cette expérience est une bonne activité finale : on y trace des diagrammes de croissance exponentielle et de croissance tributaire ou non des facteurs abiotiques et de densité (courbe de croissance en J). L'analyse de l'expérience vous permet de faire un lien entre la chimie et la génétique. Les élèves devront évaluer la population en retirant des aliquotes des bouteilles d'algues préalablement bien agitées et en procédant au décompte des populations en utilisant un microscope. On peut procéder par analyse spectrophotométrique au moyen d'un spectrophotomètre ou même d'un photomètre; dans le premier cas, une absorbance dans la région rouge autour de 670 nm est recommandée.

Consensus à l'égard des changements climatiques

Les processus de transformation de l'énergie des organismes vivants tendent à libérer moins de chaleur résiduaire que les systèmes de conception humaine. On peut dire des cellules qu'elles *recyclent* la matière en tirant le meilleur parti des molécules, à la manière des Amérindiens qui utilisent chaque partie du cerf ou de l'élan. Dans ces processus naturels, les interactions des différentes composantes sont des modèles d'efficacité et de durabilité.

La connaissance des chaînes par lesquelles l'énergie de rayonnement circule dans les écosystèmes terrestres est un savoir essentiel à la compréhension des changements climatiques. Une très faible proportion du rayonnement qui atteint la Terre entre dans le cycle des organismes vivants. Cependant, cette petite quantité de rayonnement est la source fondamentale d'énergie de presque tous les processus biologiques (les organismes thermophiles et chémothrophes utilisent des sources d'énergie différentes). Ces processus biologiques sont intimement liés à la formation de composés de carbone; les organismes vivants peuvent servir de modèles pour une utilisation efficace de l'énergie et du cycle du carbone. Ces modèles ouvrent des perspectives sur la nature du rayonnement énergétique et sur différentes formes de composés du carbone.

[page 21]

L'évolution de la composition de l'atmosphère réduit la quantité d'énergie qui s'en échappe; une proportion accrue de cette énergie est absorbée par les gaz à effet de serre et convertie en chaleur. Puisque la quantité d'énergie provenant du soleil continue d'entrer dans le système pratiquement au même rythme, l'énergie se concentre davantage et en permanence sous forme de chaleur dans l'atmosphère de la Terre. La Terre se réchauffe.

Plus la population humaine s'accroît, plus notre impact sur l'environnement naturel s'alourdit. L'analyse de cet impact sur les différents milieux naturels est un premier pas vers la découverte de stratégies permettant à l'activité humaine de se poursuivre sans détruire davantage la diversité des milieux naturels. La surveillance des changements dans le milieu (p. ex. le niveau de peuplement d'une espèce clé) aide à déterminer les impacts, mais il est plus compliqué d'établir des liens avec une activité humaine spécifique.

Pour évaluer l'évolution actuelle de l'environnement, nous pouvons tirer des leçons des changements évolutifs historiques. Les modifications significatives de l'environnement dans le passé ont eu d'importantes conséquences, telles que la prolifération ou la disparition d'espèces. L'évolution historique de la composition de l'atmosphère a eu des effets sur les systèmes biologiques. À l'âge carbonifère, la teneur de CO₂ dans l'atmosphère et les températures ambiantes étaient plus élevées qu'aujourd'hui. Cette période se caractérise par la production intense de composés carbonés sous forme de charbon, ce qui équivaut à la séquestration de la biomasse végétale.

Autres suggestions pour l'enseignement

Proposez un plan d'action

Demandez aux élèves d'examiner un problème environnemental local, comme les nouvelles espèces envahissantes ou la gestion des déchets solides. L'analyse du problème choisi peut prendre en compte l'incidence de la croissance démographique sur l'environnement, les conséquences prévisibles et les gestes à poser pour atténuer les changements.

Schéma chronologique

Demandez aux élèves de faire une recherche sur l'évolution, au cours d'une longue période géologique, de facteurs environnementaux comme la composition atmosphérique, la fréquence des chutes de météores, la température moyenne de la planète et les phylums dominants. Ils devront fournir les données sur lesquelles repose leur présentation (comme la teneur en oxydes de fer du paléosol).

Ressources

<www.renewingindia.org/clighg.html> [en anglais]

<www.climate.kz/engl/o_problem.htm> [en anglais]

<www.atmos.washington.edu/2003Q4/211/Lecture_Slides/Wk04_2x3.pdf> [en anglais]

<www.ucmp.berkeley.edu/precambrian/proterostrat.html> [en anglais]

[page 22]

SCH4U – CHIMIE, 12^e ANNÉE, COURS PRÉUNIVERSITAIRE

Aperçu

Les gaz à effet de serre peuvent servir à orienter la recherche sur les propriétés des composés organiques, notamment leur capacité à retenir le rayonnement infrarouge. Le bilan mondial du carbone offre un cadre de réflexion sur les choix que nous faisons et qui mènent à la production de GES.

Attentes et contenus d'apprentissage

Chimie organique

- 1.02, 1.03, 1.04, 1.05, 2.05, 3.02, 3.03, 3.04

Électrochimie

- 1.01

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Quelles sont les propriétés des gaz à effet de serre? Comment les molécules de CO₂ (ou d'autres GES) absorbent-elles le rayonnement?

On peut faire de la recherche sur divers composés à base de carbone, plus les gaz à effet de serre qui influent sur les changements climatiques, afin d'en analyser les propriétés physiques. La comparaison entre la capacité qu'ont différents composés (CO₂ et CH₄) d'absorber le rayonnement infrarouge et l'abondance relative de ces gaz peuvent alimenter la discussion sur les propriétés en évitant qu'on se perde dans des de longueur d'onde. L'étude de cette capacité d'absorption du rayonnement aide les élèves à comprendre en quoi ces composés contribuent à modifier le bilan radiatif mondial.

Suggestions pour l'enseignement

Prenez comme exemples le dioxyde de carbone, l'ozone, le méthane (CO₂, O₃, CH₄) et différents halométhanes lorsque vous aborderez les domaines de la chimie organique et des liaisons chimiques. Utilisez les réactions de ces composés lorsque les élèves en seront à « décrire divers types de réactions organiques, dont les réactions de substitution, d'addition, d'élimination, d'hydrolyse et d'oxydation ». Ne vous bornez pas à présenter ces réactions comme de simples moyens d'intéresser les élèves : servez-vous-en pour illustrer les concepts que les élèves ont à apprendre de toute façon, puis faites-en une matière à examen.

[page 23]

2. Quelle est la solubilité du CO₂? Quelle influence la concentration de Ca²⁺ dans un système a-t-elle sur la concentration du CO₂ dissous? Comment l'océan intervient-il dans le cycle et le bilan du carbone? Quelle influence l'équilibre thermodynamique exerce-t-il?

Les élèves déterminent la solubilité du CO₂ à différentes températures de l'eau. (Pour obtenir les meilleurs résultats possibles, il est préférable de disposer d'une sonde à CO₂; les méthodes par titrage sont trop complexes pour une classe moyenne.) À mesure que la température des océans

fluctue, ces dernières peuvent devenir soit des sources de production de carbone, soit des puits de carbone.

L'état d'équilibre entre les carbonates, les bicarbonates, le dioxyde de carbone et l'eau est une composante importante de l'équilibre chimique de la Terre. *Cet état d'équilibre est aussi important et omniprésent que la photosynthèse et la respiration cellulaire.* Prenez comme exemples des carbonates (en particulier de lithium et de calcium) lorsque vous aborderez et appliquerez les règles de solubilité et la constante K_{sp} .

Suggestions pour l'enseignement

L'état d'équilibre entre CO_3^{2-} , HCO_3^- , CO_2 et H_2O signifie qu'une augmentation du calcium dissous augmente d'autant la capacité du réservoir marin de séquestrer le CO_2 sous forme de HCO_3^- et de CO_3^{2-} . Les élèves calculent la quantité de CO_2 libérée par l'acidification de différentes quantités de carbonate de calcium. Faites travailler des groupes d'élèves sur des quantités différentes (p. ex. le groupe 1 acidifie de façon exhaustive 10 g de CaCO_3 , le groupe 2, 15 g et ainsi de suite). Ensemble, les élèves compilent les résultats de la classe dans un tableau. On peut aussi utiliser la température comme variable.

3. Les procédés de fabrication de produits chimiques génèrent des quantités de résidus qui dépassent parfois la capacité de recyclage des systèmes naturels. Certains de ces procédés sont des séquences de réactions organiques. La compréhension de ces réactions chimiques peut-elle conduire à de nouveaux moyens de réduire l'impact environnemental de la production industrielle de produits chimiques? Quels sont les risques et les avantages de ces procédés?

La production d'un composé organique synthétique peut aussi générer des déchets sous forme de gaz à effet de serre. Cette situation illustre bien les différentes étapes par lequel passe un procédé artificiel de conception humaine et les produits intermédiaires qui en résultent. Ce qui différencie un système naturel d'un système artificiel, c'est l'isolement de ce dernier du réseau environnemental qui relie plusieurs phénomènes ensemble, formant le système naturel.

Dans un sous-système naturel, les déchets sont liés à d'autres processus ou sous-systèmes qui les utilisent dans des réactions supplémentaires. Dans un système artificiel, on pourrait relier les déchets à d'autres systèmes où ces déchets serviraient à un nouveau procédé.

Un système artificiel est conçu de façon à produire des matériaux à un rythme plus rapide qu'un système naturel, ce qui amène une concentration accrue de matières résiduelles. Il faudrait donc que les procédés d'assainissement traitent ces matières à un rythme beaucoup plus rapide que celui qu'on observe normalement dans un système naturel.

[page 24]

Suggestions pour l'enseignement

Demandez aux élèves de préparer individuellement ou en équipe un projet illustrant des réactions catalysées dans le contexte de la production industrielle. Précisez-leur qu'ils devront exprimer les économies d'énergie réalisées en dollars ou en kilojoules. Ils doivent aussi éviter de limiter leur étude à la théorie : la représentation graphique des réactifs et des produits intermédiaires est nettement préférable! La principale leçon à tirer de cet apprentissage est que la catalyse permet d'économiser un certain nombre de kilojoules d'énergie (ce qui diminue d'autant la production de CO_2).

Il existe une documentation abondante au sujet de l'oxydation des hydrocarbures catalysée par le platine. Demandez aux élèves de préparer une présentation sur la technologie des piles à combustible (il existe beaucoup d'autres fabricants que Ballard, bien que celui-ci offre un bon lien avec l'activité canadienne).

Plus l'enseignant et les élèves parviendront à quantifier ou à expliciter ce résultat en détail, mieux cela vaudra. Ne vous inquiétez pas de savoir si le résultat de vos calculs est réaliste; même s'il est entendu qu'il s'agit d'une estimation, il n'en ressort pas moins qu'on obtient une économie d'énergie. Il sera toujours temps de discuter des valeurs exactes. (Voir le tableau 1 à www.chemicalprocessing.com/Web_First/cp.nsf/ArticleID/THON-4LSMVS?OpenDocument&Click=, > [en anglais], ou faites une recherche sur les mots-clés « catalyse industrielle », « catalyse » ou « économies d'énergie ».)

4. Comment se forment les gaz à effet de serre?

- Par le biais de réactions d'oxydoréduction, les composés de carbone produisent du CO₂ et d'autres GES. Certaines réactions organiques illustrent la production de nouvelles substances par oxydoréduction. La réduction du bois ou du charbon produit des oxydes.
- Les concentrations accrues de GES réduisent la quantité d'énergie qui s'échappe de l'atmosphère terrestre; cette énergie reste emprisonnée dans l'atmosphère sous forme de chaleur.
- Le bilan planétaire du carbone exprime essentiellement les nombreuses réactions chimiques qui produisent soit des composés gazeux de carbone (les sources : les combustibles fossiles ou les biocarburants), soit des liants carbone sous formes non gazeuses (les puits : la photosynthèse et la formation des carbonates).

Suggestions pour l'enseignement

Servez-vous de réactions de composés de GES comme exemples de types de réactions. Présentez ou donnez à chercher en devoir les réactions qui se produisent dans un convertisseur catalytique (<www.schoolscience.co.uk/content/5/chemistry/catalysis> [en anglais]) et faites-en une matière à examen.

[page 25]

Consensus à l'égard des changements climatiques

Les gaz à effet de serre ont des propriétés qui les distinguent des autres composés gazeux de l'atmosphère. Ces gaz influent sur le rayonnement de l'énergie de la Terre vers l'espace. L'efficacité d'absorption du rayonnement d'énergie thermique varie selon le type de GES. Bien que la capacité d'absorption du dioxyde de carbone (CO₂) ne soit pas très grande, sa présence en fait un gaz appréciable et sert aussi d'indice pour comparer l'absorption relative des autres GES. D'autre part, le méthane (CH₄) est un GES plus efficace que le CO₂, mais sa vie est courte et il se retrouve à des concentrations nettement moindres.

Le carbone est un élément essentiel des organismes vivants et ses composés sont au cœur des changements climatiques. Plus nous accumulons de carbone gazeux dans l'atmosphère, plus le bilan planétaire du carbone s'alourdit. Pour réduire la teneur en CO₂ de l'atmosphère, il faut le stocker ou le séquestrer ailleurs, probablement sous une forme différente. Les océans sont capables d'emmagasiner le CO₂ dissous, mais sa présence dans un océan est tributaire de différents facteurs, notamment la température et la concentration atmosphérique en CO₂.

À mesure que la température à la surface de la Terre s'élève, les océans se réchauffent, ce qui réduit d'autant la quantité supplémentaire absorbable de CO₂ provenant de l'atmosphère.

L'étude d'une réaction chimique se fait le plus souvent en vase clos, dans un système isolé. En dehors du laboratoire, cependant, les réactions chimiques sont omniprésentes; on peut considérer chacune comme un sous-système faisant partie d'un système plus vaste, le milieu naturel. À mesure que les élèves comprendront le déroulement des réactions chimiques, il leur sera possible d'imaginer des façons de modifier et de réduire les activités humaines responsables de la production de déchets chimiques. Les procédés de conception humaine calqués sur les processus chimiques naturels ont en général un impact moindre lorsqu'on transforme les déchets en matières inoffensives. Là où la présence des gaz à effet de serre due à la production de déchets se fait sentir sur l'environnement, la technologie agit en réduisant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

Ce cours apprend aux élèves comment les GES se forment lors des réactions d'oxydoréduction. Le carbone s'oxyde par la respiration et la combustion des matières fossiles et se réduit par la photosynthèse. L'oxydation partielle est un procédé qui peut servir à réduire la production de certains GES.

Autres suggestions pour l'enseignement

Applications scientifiques

La pression influe aussi sur la solubilité des gaz comme le CO₂ (loi de Henry). La solubilité d'un gaz est proportionnelle à la pression ambiante. L'application de la loi de Henry explique pourquoi le CO₂ est séquestré dans les profondeurs d'un océan et non à sa surface.

Examen de l'impact des choix de carburant

Présentez aux élèves une liste de substances (et leur abondance relative) obtenues à partir de l'oxydation d'un combustible fossile (le diesel) et d'un combustible de remplacement (un gaz obtenu à partir de la biomasse). Utilisez l'absorption d'énergie relative de certains produits chimiques pour déterminer la quantité d'énergie absorbée par chacun des combustibles.

[page 26]

Ressources

<cdiac.esd.ornl.gov/pns/faq.html> [en anglais]

Cette page présente une foire aux questions relatives au carbone dans l'atmosphère. On y donne des réponses précises en terme de quantités et certains renseignements sont d'un niveau technique approprié pour ce cours.

<www.renewingindia.org/clighg.html> [en anglais]

Bref aperçu des GES.

<www.mna.hkr.se/~ene02p3/atmosfera.htm> [en anglais]

Renseignements de base sur les gaz atmosphériques.

<www.trentu.ca/ers/files/445H_lecture02.pdf> [en anglais]

L'explication de la télédétection et du rayonnement électromagnétique; l'accent est mis sur le rayonnement infrarouge.

www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html [en anglais]

Cette page présente et affiche les constantes de différents gaz.

www.chooseclimate.org/benphd/chap1.html [en anglais]

Ce texte explique que les océans servent de puits de CO₂, mais qu'ils peuvent devenir des sources si la température s'élève.

www.lbl.gov/Publications/LDRD/2001/ESD.htm [en anglais]

Cette page présente la relation carbone-eau-climat comme une source permanente de recherche et de collecte de données.

chemmovies.unl.edu/chemistry/smallscale/SS038c.html [en anglais]

Ce site explique comment la réduction de la pression atmosphérique libère un gaz (CO₂) à partir d'une solution. Les illustrations aident l'élève à s'initier au laboratoire et la description de la procédure lui permet d'essayer l'expérience.

www.recoveredenergy.com/d_greenhouse.html [en anglais]

Ce site explique comment extraire de l'énergie sans combustion à partir des déchets.

cdiac2.ornl.gov [en anglais]

Tout sur la séquestration du carbone.

www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/description/task38folder.pdf [en anglais]

Comment réduire les émissions de carbone par l'utilisation de la biomasse et de la bioénergie afin d'atténuer les changements climatiques.

www.ghgonline.org/otherco.htm [en anglais]

La présence de monoxyde de carbone influe sur la capacité de l'atmosphère d'éliminer les GES.

www.ieagreen.org.uk/pwrngen99.htm [en anglais]

L'oxydation partielle du gaz naturel afin de réduire les émissions de CO₂.

www.edison.com/files/2003_EME_ghg_report.pdf [en anglais]

Par des exemples intéressants et quantifiés, ce document montre comment calculer les coefficients d'émissions.

cator.hsc.edu/~mollusk/ChemArt/redox.html [en anglais]

Ce site explique les réactions d'oxydoréduction qui produisent des composés de carbone (comme le monoxyde de carbone).

SCH4C – CHIMIE, 12^e ANNÉE, COURS PRÉCOLLÉGIAL

Aperçu

Les gaz à effet de serre sont des composés qui peuvent servir à l'enseignement de notions essentielles comme la fixation par liaison covalente, la concentration des gaz, la propriété de la solubilité et les stratégies visant à modifier les chaînes de production afin d'atténuer les émissions de GES.

Attentes et contenus d'apprentissage

Matière et analyse qualitative

- 1.04

Chimie organique

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.01, 1.04, 2.03, 2.04, 2.05, 3.04

Calculs chimiques

- 1.0, 2.05, 3.01

Chimie de l'environnement

- 0.01, 0.03, 1.07, 3.01, 3.02, 3.03

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Qu'est-ce que la théorie des liaisons chimiques et les formules de Lewis nous apprennent des propriétés des gaz à effet de serre?

Les liaisons chimiques des CFC et du méthane sont moléculaires plutôt qu'ioniques; par conséquent, ils ne se dissolvent pas dans l'eau et restent « intacts » dans l'atmosphère. Les formules de Lewis de CO_2 , H_2CO_3 et HCO_3^- illustrent comment l'eau réagit avec le CO_2 pour former de l'acide carbonique.

Suggestions pour l'enseignement

Faites des GES une matière à examen. Servez-vous-en comme exemples lorsque vous aborderez les liaisons covalentes et les formules de Lewis. Révissez ces composés en particulier avant d'expliquer les propriétés des molécules et les types de liaisons formées.

2. Quelle est la concentration des GES dans l'atmosphère?

Servez-vous de GES comme exemples pour expliquer la concentration des gaz, exprimée en ppm et en parties par 10^{12} .

Comparez les concentrations des différentes substances présentes dans l'atmosphère et déterminez dans quelle mesure elles contribuent aux changements climatiques.

Suggestions pour l'enseignement

Utilisez cette question pour illustrer la « nature de la science ». Selon une conception erronée mais répandue chez les élèves et le public, si « les scientifiques ne s'entendent pas » sur une question, cela veut dire que « personne ne le sait au juste » et, par extension, que « toutes les opinions se valent ».

[page 28]

Faites de cette question le sujet d'un devoir d'une activité en classe sur Internet. Organisez une « course » : vous ne cherchez pas qu'une seule réponse; vous tentez plutôt d'obtenir 30 réponses à la même question. Dès qu'une source est trouvée, elle devient utilisable par tous. L'élève qui trouve une réponse satisfaisante inscrit aussitôt l'adresse Web au tableau; aucun autre ne peut alors la citer. Pour calmer le jeu, vous pouvez consulter vous-même un moteur de recherche et mettre « hors-jeu » les 10 premiers résultats qu'il donne.

Les sites ne donnent pas tous exactement la même réponse, mais le type de variation est primordial pour comprendre ce qu'est un « consensus » et dans quelle mesure les estimations des scientifiques se rapprochent. Une majorité d'estimations qui s'entrecroisent constituent un « consensus ». La plupart des estimations se situent entre 380 et 340 ppm, ce qui signifie qu'une valeur de 100 ppm devrait être considérée avec prudence. Qui plus est, un consensus (p. ex. 340-380 ppm) indique que les estimations des scientifiques se rapprochent de la valeur réelle, laquelle se situe probablement autour de 360 ppm. Il reste qu'on peut fonder sa prédiction sur la valeur maximale, la valeur minimale ou la valeur moyenne. Une prédiction basée sur l'une de ces valeurs vaut toujours mieux qu'une autre qui ne repose que sur une opinion.

3. En quoi la combustion du charbon contribue-t-elle aux changements climatiques? Quelle quantité de charbon brûle-t-on chaque année en Chine? En quoi les types de charbon diffèrent-ils? À quel rythme les déchets de la combustion du charbon sont-ils recyclés dans les systèmes naturels?

En Ontario, les centrales alimentées au charbon sont considérées comme un moyen inefficace de produire de l'électricité. Dans d'autres parties du monde, au contraire, le charbon est encore une source importante d'énergie. Le charbon n'est pas une substance pure, mais un mélange de substances, ce qui signifie que les différents types de charbons produisent des émissions variées.

Suggestions pour l'enseignement

Donnez ces questions en devoir collectif lorsque les élèves sont branchés sur Internet en classe. Commencez par une session de remue-méninges (n'oubliez pas que ce sont des questions d'orientation générales) et inscrivez au tableau une liste de questions plus courtes et plus faciles à résoudre comme celles-ci : Quels sont les types de charbon? Comment réagit le charbon lorsqu'on le brûle? Quelles sont les réactions possibles? Quelle quantité de charbon brûle-t-on au Canada (en Ontario, en Ohio, aux États-Unis)?

Abordez des questions portant sur la stœchiométrie de la combustion du charbon; par exemple : Quelle quantité de CO₂ est produite lorsqu'on brûle 100 tonnes de charbon, en supposant que ce charbon est constitué à 100 % de carbone et qu'il se consume à un taux d'efficacité de 100 % ? Pour rendre l'exercice plus réaliste, posez la même question, mais avec un charbon constitué à

97 % de carbone et à 3 % de soufre, en supposant que la combustion se fait à seulement 75 % d'efficacité.

Posez aussi des questions portant sur la concentration : En supposant que l'Ontario est emprisonné sous un nuage de gaz à effet de serre géant, atteignant 1 km d'altitude, quelle serait la concentration en CO_2 si on brûlait 100 tonnes de charbon en une seule journée? Notez que la variable journée n'est pas à ce point pertinente à la stœchiométrie, mais elle est de première importance pour comprendre le flux de carbone, un sujet que vous aborderez éventuellement durant le cours. Essayez de travailler en ppm ou, du moins, de convertir les ppm en grammes par litre d'air, lorsque vous devrez poser l'hypothèse que la masse molaire de l'air est faite à 80 % d'azote diatomique (N_2) et à 20 % d'oxygène diatomique (O_2).

[page 29]

4. Quelle est la solubilité du CO_2 ? En quoi les océans sont-ils des sources ou des puits de carbone? Quelle quantité de CO_2 est dissoute? Quels facteurs influent sur la concentration de CO_2 dans les océans?

La solubilité du CO_2 est une propriété scientifiquement observable. Plus la pression augmente, plus le CO_2 est soluble. Les eaux profondes de l'océan agissent comme un puits pour le CO_2 extrait de l'atmosphère.

Le carbonate de calcium (comme les carbonates en général) fait passer le dioxyde de carbone d'une échelle de temps biologique à une échelle de temps géologique. Les carbonates agissent ainsi comme des puits de dioxyde de carbone.

Suggestions pour l'enseignement

Passez en revue certains problèmes d'équilibre et de stœchiométrie où le carbonate de calcium entre en ligne de compte. Par exemple : Quelle quantité de CaCO_3 va se former si on combine 100 ml de CaCl_2 à 0,2 mol/L à 500 ml de NaCO_3 à 0,5 mol/L? Servez-vous de quantités qu'on retrouve dans l'industrie (p. ex. des tonnes et des mètres cubes); par exemple : Quelle quantité de CaCO_3 obtient-on en combinant 300 tonnes de CaCl_2 à 200 000 m^3 de NaCO_3 à 0,1 mol/L? Voir http://home.nas.net/~dbc/cic_hamilton/ind.html [en anglais].

Dans un moteur de recherche, entrez les expressions « industrie chimique » et « tonnes » pour bien cibler la recherche.

5. Quels sont les noms et les propriétés des GES et des autres hydrocarbures générés par la fabrication ou l'élimination des produits de consommation? En quoi ces composés contribuent-ils aux changements climatiques?

Les hydrocarbures, souvent sous forme de combustibles fossiles, constituent la matière brute de beaucoup de produits de consommation, les plastiques par exemple. L'énergie consommée et le procédé de fabrication contribuent doublement à la production de GES.

Choisissez un exemple spécifique de fabrication commerciale qui servira de contexte pour l'étude des différentes réactions qui s'opèrent lorsqu'on crée un produit. On peut aussi identifier les GES

résiduels produits. Voilà qui peut susciter chez certains élèves un intérêt à chercher des moyens de réduire la production de ces gaz qui influent sur le climat.

[page 30]

Suggestions pour l'enseignement

Donnez en devoir par équipes, l'examen de ces composés :

1. Dioxyde de carbone (CO₂)
2. Méthane (CH₄)
3. Chlorofluorocarbures (CFC) (à un seul atome de carbone)
4. Chlorofluorocarbures (CFC) (à plusieurs atomes de carbone)
5. Combustibles fossiles – Lignite
6. Combustibles fossiles – Charbon
7. Combustibles fossiles – Pétrole (et ses fractions)
8. Combustibles fossiles – Gaz naturel

Chaque équipe prépare une présentation de deux minutes sur :

- la ou les principales réactions responsables de la synthèse de son composé;
- la ou les principales réactions responsables de la dégradation de son composé;
- quelques-unes des substances utilisées dans la synthèse (il ne suffit pas de dire : « Les CFC sont utilisés comme agents propulseurs dans la fabrication d'aérosols. » Les élèves doivent spécifier la quantité de chacun des CFC entrant dans la fabrication. Il est important de mettre l'accent sur les quantités);
- les raisons pour lesquelles les humains ont besoin ou souhaitent que cette réaction se produise;
- les autres options qui pourraient aussi répondre à ce besoin.

L'objectif principal visé est de spécifier des quantités et de les rattacher à des désirs ou à des besoins humains. Une partie du changement dans un comportement humain vient de la différenciation des désirs et des besoins. Voici une ressource utile [en anglais], en particulier en ce qui a trait aux CFC : <www.cmdl.noaa.gov/noah/publicitn/elkins/cfcs.html>.

6. Que pouvons-nous faire pour atténuer ou diminuer la production de GES? Quelles sont les mesures qu'un gouvernement peut prendre pour garantir la salubrité de l'environnement?

En plus de recenser les mesures actuellement en place, les élèves peuvent se renseigner sur la position du gouvernement canadien à l'égard du Protocole de Kyoto et sur les innovations technologiques qui font en ce moment l'objet de recherches subventionnées. L'engagement à réduire les émissions de carbone concorde avec la volonté de soutenir les idées nouvelles et les

technologies propres à aider les consommateurs et les fabricants canadiens, ainsi que les gens des autres parties du monde (le principe du « transfert de technologie »).

Suggestions pour l'enseignement

Voir les dernières questions de la section « Suggestions pour l'enseignement » ci-dessus.

[page 31]

Consensus à l'égard des changements climatiques

Différents GES, dont le CO₂, peuvent servir d'exemples pour illustrer diverses notions comme les diagrammes de Lewis, les propriétés physiques et les réactions chimiques. Lorsque vous décrirez plus tard des exemples de processus organiques, les élèves se seront déjà familiarisés avec ces substances et leurs propriétés.

L'atmosphère de la Terre est encore constituée, pour une bonne part, d'azote. Les nombreux polluants de l'air qui ont transformé la composition de l'atmosphère existent en petites quantités. Ces substances, même à ces concentrations diluées, ont de puissantes propriétés. L'établissement d'une relation entre ces quantités, si minimes soient-elles, et des graves conséquences à l'échelle de la planète permet aux élèves de mieux comprendre en quoi leurs choix personnels contribuent aux efforts d'atténuation.

Par exemple, la combustion des carburants fossiles est une source importante de dioxyde de carbone. Sur la base des désirs, nous pouvons réduire cette combustion en reportant simplement des décisions d'achat (p. ex. si vous n'avez pas vraiment besoin d'un article immédiatement, attendre la prochaine occasion de passer par le centre commercial pour ne pas avoir à faire un aller-retour spécial en voiture). La technologie peut aussi servir à réduire les gaz à effet de serre (piles à combustible, voiture hybride).

Ressources

<www.c-f-c.com/charts/atmosph.htm> [en anglais]

Cette page dresse la liste des gaz présents dans l'atmosphère et la concentration de chacun.

<www.ucar.edu/learn/1_4_2_14t.htm> [en anglais]

Cette expérience simple de laboratoire dans laquelle on utilise de l'eau colorée aide l'élève à comprendre la nature des concentrations des substances présentes dans l'atmosphère; les quantités minimales semblent indétectables, mais elles sont pourtant bel et bien présentes.

<chemmovies.unl.edu/chemistry/smallscale/SS038c.html> [en anglais]

Cette page explique comment la pression atmosphérique libère un gaz (CO₂) d'une solution. Les illustrations aident l'élève à s'initier au laboratoire et la description de la procédure lui permet d'essayer l'expérience.

<ns.coalinfo.net.cn/eng.htm> [en anglais]

Site officiel sur la consommation de charbon en Chine.

<www.ec.gc.ca/climate>

Ce site d'Environnement Canada offre un aperçu de l'approche du gouvernement du Canada relativement aux changements climatiques. On y trouve aussi un hyperlien menant à un résumé des principales idées associées au Protocole de Kyoto.

[page 32]

SPH4C – PHYSIQUE, 12^e ANNÉE, COURS PRÉCOLLÉGIAL

Aperçu

La télédétection nous donne la possibilité de mesurer les changements que subit l'atmosphère et de surveiller les tendances du climat. En termes d'émissions de carbone et d'impacts environnementaux, l'efficacité des différentes sources d'énergie est mesurable. Le bilan radiatif repose essentiellement sur la loi de conservation de l'énergie.

Attentes et contenus d'apprentissage

Électricité et électronique

- 0.03

Technologie des communications

- 0.01, 1.01, 1.04, 1.07

Transformations d'énergie

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.04, 1.05, 3.02

Questions d'orientation – La filière climatique

1. La technologie des communications joue un rôle essentiel dans l'acquisition permanente de nouvelles connaissances sur les changements climatiques. En quoi la télédétection nous aide-t-elle à surveiller les variables climatiques et atmosphériques?

Les systèmes de transformation d'énergie libèrent dans l'environnement de la chaleur et des gaz à effet de serre qu'on peut détecter et observer. La télédétection est une façon efficace de colliger l'information sur l'évolution du rayonnement et les différentes transformations qui s'opèrent pour produire un rayonnement infrarouge à grande longueur d'onde (chaleur). L'analyse de l'impact de ces changements permet en retour de modifier les modèles de changements climatiques pour tenir compte de la nouvelle situation. Les données scientifiques sur lesquelles repose la surveillance des changements climatiques offrent un contexte propice à l'étude de la technologie des télécommunications par satellite.

Suggestions pour l'enseignement

Vous pouvez choisir un exemple spécifique où la télédétection sert à la surveillance du climat et en faire une matière à examen (p. ex. le spectromètre TOMS présenté sous <jwocky.gsfc.nasa.gov> [en anglais]) ou demander aux élèves de préparer une affiche illustrant

la technologie employée. Dans ce dernier cas, plutôt que de faire travailler toute la classe à la même technologie (comme le spectromètre TOMS cité plus haut), attribuez à chaque groupe d'élèves une technique ou une technologie différente ayant un rapport avec l'ozone.

[page 33]

2. Comment éliminer les GES ou réduire les niveaux d'émissions quand nous libérons de l'énergie utilisable? Quelles sont les sources d'énergie de remplacement? Comment accroître l'efficacité de nos procédés?

Mesurez l'efficacité énergétique en termes d'énergie produite par unité de carbone rejetée (à l'état gazeux). Les procédés peu efficaces produisent beaucoup d'émissions de composés de carbone; les procédés efficaces en produisent moins. L'augmentation de l'efficacité est un facteur de réduction de la production de GES. Dans notre monde où la consommation des combustibles fossiles est généralisée, l'efficacité d'un dispositif ou d'un moteur se mesure à son « empreinte carbonique ».

Déterminez l'« équivalence énergétique » en convertissant des kilojoules en kilogrammes de carbone.

Suggestions pour l'enseignement

Revenez sur la notion d'empreinte écologique. Les élèves devraient avoir étudié cette notion en géographie, 9^e année et en sciences, 10^e année, bien que certains n'en auront fait qu'une étude sommaire. Demandez aux élèves d'utiliser un modèle particulier de calculateur d'empreinte écologique qui accepte des valeurs numériques de consommation de carburant (voir par exemple www.safeclimate.net/calculator/ind_calc_form2.php [en anglais]). Un concept fondamental de l'empreinte écologique veut que l'on convertisse toutes les formes d'énergie en équivalents-carbone. Par exemple, on peut convertir 1000 kJ d'énergie à base d'électricité en grammes ou en kilogrammes d'énergie à base de carbone, en prenant comme référence le calcul indiquant la quantité de grammes d'éthanol qu'il faut brûler pour produire 1000 kJ. Le calcul de l'empreinte écologique se fonde sur la combustion de l'éthanol plutôt que du pétrole, puisque l'échelle chronologique est de dimension biologique plutôt que géologique comme c'est le cas pour le pétrole.

[Translator's note : There is a calculator in French at www.empreintecologique.biz/downloads.html, but it calculates the EF in hectares, not kilograms of carbon.]

Demandez aux élèves de calculer une série de cas de figure à l'aide du calculateur SafeClimate et de générer un tableau de données sur deux colonnes dont la première indique le nombre de kJ produit mensuellement et la seconde, l'empreinte carbonique. Les élèves créent ensuite un diagramme à partir des données et trouvent la pente, qui correspond au nombre d'équivalents-carbone par kJ. Un élève peut par exemple essayer des cas de figure spécifiques à partir de valeurs de 250, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, et 4 000 kJ par mois et produire un tableau en conséquence. Le calculateur de changement climatique fait aussi le calcul à partir d'autres sources de combustible; certains élèves pourraient donc travailler sur l'empreinte écologique de la consommation d'électricité, tandis que d'autres s'occuperont de celle de la consommation d'huile à chauffage ou de propane. (Notez que les premières questions posées par le calculateur influent sur l'ordonnée à l'origine et non sur la pente.) Cependant, tous les élèves devront utiliser le même facteur d'efficacité.

[page 34]

3. Dans quelle mesure les différents paliers de gouvernement utilisent-ils une énergie « verte »? Quel prix toi ou tes parents seriez prêts à payer pour un véhicule à moteur hybride (la Toyota Prius, par exemple)? Comment arrives-tu à ce montant?

Les diverses sources d'énergie (le charbon, le pétrole, le gaz naturel, l'énergie hydraulique, éolienne, nucléaire, etc.) produisent des composés gazeux carbonés en quantités différentes. Certaines sources d'énergie (hydraulique, nucléaire et éolienne) ne produisent pas de GES, mais elles ont d'autres impacts sur l'environnement. *Pour le consommateur, le choix d'un type de carburant s'accompagne du choix des émissions de CO₂ correspondantes.*

Suggestions pour l'enseignement

Consultez les archives du site *Green Energy News* sous <www.nrglink.com> [en anglais]. Attribuez une date et un article par équipe d'élèves. Chaque article décrit en quelques paragraphes une nouvelle technologie déjà en place et propose habituellement un hyperlien menant au site du fabricant. Demandez aux élèves de préparer un résumé de 200 mots sur les principaux arguments de vente du fabricant.

Consensus à l'égard des changements climatiques

La surveillance efficace des émissions de GES et des températures à l'échelle mondiale est un volet important des efforts constants visant à suivre à la trace les changements climatiques. La chaleur due à la dégradation de l'énergie de rayonnement ainsi que sa rétention dans l'atmosphère sont au cœur du phénomène des changements climatiques.

Le recours à l'innovation technologique pour rendre plus efficaces les dispositifs de conversion d'énergie est une façon de réduire la consommation d'énergie, source importante de CO₂.

La conservation de l'énergie repose aussi sur des choix énergétiques respectueux de l'environnement. Il nous faut donc nous tourner vers des sources faibles en émissions de CO₂. Il est possible d'évaluer et de classer nos choix énergétiques en termes de quantité de CO₂ produite.

Autres suggestions pour l'enseignement

Échelle d'énergies et émissions

Créez une échelle des différents choix énergétiques montrant la quantité de CO₂ produite par différentes sources : le charbon (lignite, bitumineux, anthracite), le pétrole, le gaz naturel, l'hydroélectricité, etc.

Recherche et présentation

Les élèves font une recherche sur diverses formes de collecte de données de surveillance au moyen des technologies de télécommunication actuelles et relient ces données à l'évolution de la situation mondiale et à nos choix de consommation.

[page 35]

Ressources

<www.uky.edu/KGS/coal/webcoal/pages/coalkinds.html> [en anglais]

Cette page présente des renseignements de base sur les types de charbon.

<www.cmdl.noaa.gov> [en anglais]

Ce site donne de bons renseignements généraux et offre, pour plus de détails, des hyperliens avec des pages comme <www.cmdl.noaa.gov/hotitems/cobra.html> [en anglais], où on traite des données supplémentaires qu'il faudrait recueillir à l'égard des conditions atmosphériques. Le site permet aussi aux élèves d'accéder à des données sur le CO₂ à partir de différents sites à travers le monde; ces données ont été colligées selon différentes méthodes. Le secteur <www.cmdl.noaa.gov/ccgg/iadv> [en anglais] offre une carte interactive des sites de surveillance, tandis que <cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/contents.htm> [en anglais] mène à des diagrammes illustrant l'évolution des émissions de CO₂.

<www.ccrs.rncan.gc.ca/ccrs/misc/issues/cchange_f.html>

Le secteur Changements climatiques du site du Centre canadien de télédétection contient une foule de documents utiles.

<www2.ec.gc.ca/pdb/ghg/mars_links_f.cfm>

Cette page d'Environnement Canada est une liste d'hyperliens vers des documents d'information sur les GES et sur les sources et puits de carbone.

<www.otg.usyd.edu.au> [en anglais]

On trouve ici des liens avec plusieurs sujets, dont la télédétection par satellite, ainsi que des renseignements sur les recherches en cours et des données.

<oea.larc.nasa.gov/news_rels/2001/01-120.html> [en anglais]

Le communiqué de la NASA sur l'instrument d'observation satellite SAGE III [Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III – Étude sur les gaz et les aérosols stratosphériques, Phase III]. Cet instrument de télédétection fait la surveillance de la haute atmosphère. Cette page présente aussi quelques hyperliens pour un complément d'information.

[page 36]

SNC3M – SCIENCES, 11^e ANNÉE, COURS PRÉUNIVERSITAIRE/PRÉCOLLÉGIAL

Aperçu

Il sera question ici de l'identification des sources des gaz à effet de serre en tant que produits de réactions chimiques; de la gestion de ces gaz dans le cadre de notre engagement envers le Protocole de Kyoto; de la contribution de divers secteurs économiques aux émissions de carbone dans l'atmosphère; enfin, des choix de consommation que nous pouvons faire pour réduire l'impact de ces émissions.

Attentes et contenus d'apprentissage

Sécurité et produits chimiques

- 1.03, 1.05, 3.01, 3.02, 3.03

Gestion des déchets

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.01, 1.04, 1.05, 2.01, 2.02, 3.03, 3.04

Les technologies dans la vie quotidienne

• 0.01, 0.02, 0.03, 1.03, 2.01, 2.02, 2.03, 2.04, 3.01, 3.04

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Quelle est la nature des gaz à effet de serre et d'où viennent-ils? Pourquoi en produisons-nous?

Les GES (le CO₂, le méthane, les chlorofluorocarbures) sont généralement produits par des réactions chimiques liées à des pratiques agricoles, à des procédés de fabrication ou à des processus de transformation de l'énergie (comme le transport ou la chaleur provenant de l'activité industrielle). Ces matières résiduelles sont des produits chimiques qui nous affectent quotidiennement, mais bien des gens en ignorent le nom et les caractéristiques.

La quantité de CO₂ produite est fonction du coût de la production énergétique. Souvent, ce sont les sources d'énergie les moins chères qui produisent le plus d'émissions de GES. D'autres GES sont le produit des déchets provenant de l'industrie de la fabrication et du transport. Ces déchets gazeux ont changé la composition de l'atmosphère terrestre, contribuant du même coup à l'apparition de problèmes de santé et à l'évolution du climat.

Suggestions pour l'enseignement

Invitez les élèves à analyser cette question sous l'angle des divers niveaux de coûts, d'avantages et de choix qu'elle comporte. En d'autres mots, la cause première des émissions de CO₂, la combustion de matières fossiles, nous amène à nous poser une question d'un autre niveau : Pourquoi brûlons-nous des matières fossiles? À mesure que nous nous éloignons de la « cause première » de production de CO₂, nous entrons dans un domaine où les gens peuvent faire des choix. La principale stratégie d'enseignement et d'apprentissage à adopter consiste à creuser la question jusqu'à ce que les élèves en arrivent à différencier les besoins et les désirs et à proposer des solutions permettant de réduire la quantité d'émissions de GES.

Comme exercice d'apprentissage, demandez aux élèves, en équipes, de compiler les principales sources premières non biologiques des différents GES (la plus grande part du CO₂ d'origine non biologique provient de la combustion de matières fossiles). Illustrez la question de la cause première et des différents niveaux d'interrogation à l'aide d'un diagramme en forme de toile ou d'un schéma conceptuel. À chaque niveau conceptuel, déterminez si la réponse indique un besoin ou un désir. La classe discute ensuite des solutions possibles.

[page 37]

2. Pourquoi la question de la gestion des GES n'est-elle pas d'intérêt local?

Les déchets gazeux n'étant pas confinés à une localité particulière, leur gestion ne peut donc se faire que par une coopération à l'échelle mondiale. Le Protocole de Kyoto décrit notre façon passée et actuelle de produire d'énormes quantités de GES qui contribuent à faire évoluer la composition de l'atmosphère de la Terre et son climat.

Les émissions de GES sont liées à des choix commerciaux et de consommation. Les décisions que nous prenons quant à notre alimentation, à nos moyens de transport et aux produits que nous utilisons au quotidien contribuent à divers degrés aux émissions de composés du carbone à l'état gazeux.

Suggestions pour l'enseignement

Établissez un parallèle avec la question de la fumée secondaire. Au tableau, dressez une liste des raisons pour lesquelles il est (ou devrait être) interdit de fumer dans un lieu public. Inscrivez aussi les raisons invoquées par certains pour contester cette interdiction. Établissez un second parallèle avec la question des pluies acides; par exemple, devrait-on permettre à quiconque de produire des pluies acides que le vent va transporter jusque dans l'environnement d'autres personnes?

Pourquoi? Pourquoi pas? Que peut-on faire à ce sujet et au sujet des émissions de CO₂ et d'autres GES? Cette discussion assure une bonne transition vers la question suivante.

3. Quelles sont les intentions du Canada quant à la mise en œuvre du Protocole de Kyoto?

Pour atténuer les effets des changements climatiques, le Canada s'est engagé à séquestrer le carbone dans des puits (principalement par le reboisement) et à réduire ses émissions par le développement d'innovations technologiques dont d'autres pays pourront profiter. Divers groupes de Canadiens ont réagi à leur façon au Protocole de Kyoto; les approches varient d'une ONG, d'une province ou d'une municipalité à l'autre.

Suggestions pour l'enseignement

Préparez pour les élèves ou demandez-leur de préparer un résumé d'une page sur l'identité des signataires (et des non-signataires) du Protocole de Kyoto et de donner les raisons qui ont pu motiver leur décision. Rappelez aux élèves que leur opinion n'est recevable que si elle est étayée par des faits. Si le ton de la discussion devient argumentatif, demandez aux intervenants comment ils pourraient confirmer leurs dires.

[page 38]

4. En quoi les différents secteurs économiques contribuent-ils aux changements climatiques? Quels stratégies les citoyennes et citoyens emploient-ils pour réduire leurs émissions de GES?

Les industries (automobile, forestière, agricole) contribuent en quantités variables aux émissions gazeuses de carbone, responsables des changements climatiques. Ces différents secteurs ont élaboré des réponses qui leurs sont propres au défi de Kyoto et chacun a sa vision particulière de l'engagement du Canada envers le Protocole.

Nous consommons de l'énergie chez nous; pourtant nous ignorons tout ou presque du *coût en carbone* des différents choix de combustibles. Les consommateurs peuvent comparer le coût, en dollars, d'une fournaise à l'huile et d'un système de chauffage à eau chaude, sans rien savoir du coût en carbone de chacune des sources de combustible. D'autres stratégies, comme le choix d'appareils à plus grande efficacité énergétique, l'installation d'ampoules fluorescentes, l'isolation adéquate de son domicile et l'utilisation restreinte de sa voiture sont autant de moyens de faire sa part pour répondre à l'engagement de Kyoto.

Suggestions pour l'enseignement

Attribuez à chaque équipe d'élèves un secteur différent (p. ex. l'agriculture, la foresterie, le transport, la fabrication) et demandez-lui d'indiquer comment son secteur pourrait réduire sa production de GES. Veillez à ce que les réponses soient précises; par exemple, il ne suffit pas de répondre : « on pourrait couper moins d'arbres ». Il y a une raison pour laquelle on coupe des

arbres, et les élèves doivent répondre à ce deuxième niveau d'interrogation et proposer des solutions de remplacement pour répondre au besoin ou au désir.

Consensus à l'égard des changements climatiques

Les élèves doivent se familiariser avec les propriétés de quelques gaz à effet de serre comme le CO₂ et avec les réactions chimiques qui les produisent. L'oxydation du carbone par la combustion de matières fossiles compte pour une bonne part des émissions de carbone dans l'atmosphère. Plusieurs autres polluants chimiques associés à ce type de combustion ont aussi des impacts sur l'environnement et des liens avec d'importants problèmes de santé, dont l'asthme.

Les déchets solides ont des impacts à l'échelle locale; les déchets liquides peuvent s'écouler dans des secteurs plus vastes; les déchets atmosphériques, eux, voyagent sur toute la planète et nuisent à la qualité environnementale d'endroits éloignés, notamment les régions polaires, où on produit pourtant bien peu de GES. Dans une perspective planétaire, les gouvernements ont un rôle à jouer pour coordonner l'action des entreprises et des citoyens qui contribuent au problème mondial des déchets gazeux à base de carbone. Le Protocole de Kyoto est une tentative à l'échelle mondiale de coordonner les politiques de tous les pays afin d'atténuer l'impact des changements climatiques par la réduction des émissions et l'élimination active du CO₂ atmosphérique.

En tant que consommateurs, nous pouvons réduire les émissions de GES par une utilisation plus efficace de l'énergie. Une des stratégies serait de faire des choix éclairés en privilégiant les combustibles produisant le moins de CO₂. Une autre serait d'utiliser des appareils dont la technologie assure une meilleure efficacité énergétique. Le choix d'une ampoule est un bon exemple. L'ampoule à incandescence consomme plus d'énergie que l'ampoule fluorescente. Le tube fluorescent a été amélioré avec le temps, aussi une ampoule à bon rendement énergétique peut-elle remplacer l'ampoule à incandescence pour beaucoup d'usages résidentiels. L'ordinateur est aussi un bon exemple de l'évolution de la consommation énergétique. Les premiers modèles dégageaient de grandes quantités de chaleur perdue. Les progrès technologiques ont permis une utilisation plus efficace de l'énergie qui alimente les ordinateurs. Nous pouvons aussi améliorer l'efficacité énergétique en adoptant certains comportements, comme d'éteindre l'ordinateur quand personne ne s'en sert.

[page 39]

Autres suggestions pour l'enseignement

Analyse de l'impact environnemental des choix alimentaires

L'impact des choix alimentaires sur la production de gaz à effet de serre entraîne des choix à faire en termes de transport (distance entre le producteur et le consommateur) ainsi qu'en termes de pratiques agricoles (engrais, pesticides) qui contribuent aux émissions de GES. Les élèves peuvent par exemple comparer le coût environnemental des laitues et des tomates de serre de l'Ontario à celui de leurs équivalents cultivés en Californie.

Proposition d'un plan d'action

Faites un audit énergétique et cherchez des moyens de réduire la consommation d'énergie à l'école. Déterminez le rôle de tous les intervenants de l'école et établissez les mesures à prendre et la façon de sensibiliser les intervenants afin de s'assurer de leur coopération et du succès de la démarche. Vous trouverez des lignes directrices et des outils de mise en place de pratiques éconergétiques dans le guide *L'économie d'énergie* du programme EcoSchools de l'Ontario.

Ressources

<www.martindalecenter.com/CalculatorsD_Wea.html#MET-CARBONE> [en anglais]

Ce site propose plusieurs types de calculateurs : émissions de carbone, changements climatiques, gaz d'échappement des automobiles.

<www.ec.gc.ca/pdb/pa/pa_tabsec_f.cfm>

Cette page présente, sous forme de tableaux de données, les changements survenus ou prévisibles dans les émissions de GES sur diverses périodes de temps. Les élèves peuvent établir des diagrammes à barres ou linéaires et comparer les données sur divers secteurs.

Le site du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) offre plusieurs visualisations à l'adresse <ddcweb1.cru.uea.ac.uk/asres/sres_visualisation.html> [en anglais].

L'applet permet aux élèves de considérer plusieurs indicateurs différents de changements climatiques. On trouvera à <ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/java/gcm.html> [en anglais] une mappemonde interactive.

<www.changementsclimatiques.gc.ca/plan_du_canada/summary>

Le site du Plan du Canada sur les changements climatiques renforce l'apprentissage reçu par les élèves sur les faits et le vocabulaire relatifs au domaine et met en perspective la participation de l'entreprise et celle du consommateur. Ce site reconnaît clairement le rôle joué par l'innovation technologique.

On trouvera un bref résumé du Protocole de Kyoto à l'annexe 1 du présent guide.

[page 40]

SNC3E – SCIENCES, 11^e ANNÉE, COURS PRÉEMPLOI

Aperçu

Les consommateurs doivent tenir compte de l'efficacité énergétique dans leurs décisions d'achat à cause des économies personnelles qu'ils en tirent dans l'immédiat et à cause des économies dont la société profite à long terme. Les élèves doivent devenir des citoyens actifs et avertis puisque ce sont les contribuables qui, par gouvernements interposés, décident de la façon de mettre en place les politiques et la réglementation relatives à ces questions.

Attentes et contenus d'apprentissage

Circuits électriques

- 3.01, 3.02, 3.03

Impact de l'activité humaine sur l'environnement

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.01, 1.03, 1.05, 2.01, 2.02, 2.03, 2.04, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Comment les consommateurs peuvent-ils faire des choix éconergétiques?

La consommation d'énergie et l'efficacité énergétique sont des facteurs importants à considérer dans la prise de décisions de consommation portant sur l'achat d'appareils ménagers ou autres équipements ou sur un choix de source d'énergie. Recensez les appareils électriques ou électroniques courants dans la plupart des ménages. Recherchez et analysez les renseignements contenus dans les guides pour consommateurs sur la consommation énergétique de divers appareils ou équipements.

Suggestions pour l'enseignement

Réfléchissez à une liste de critères que les consommateurs vérifient pour déterminer si un appareil est éconergétique. Déterminez quels autres facteurs interviennent dans les décisions d'achat. Inscrivez les résultats au tableau.

Faites une sortie éducative avec les élèves dans un centre commercial local (vous devrez obtenir l'autorisation du propriétaire). Demandez aux élèves de faire un sondage auprès des gens présents pour savoir si ceux-ci comprennent les renseignements donnés sur l'étiquette Énergide apposée sur de nombreux appareils.

2. Quel rôle joue la politique gouvernementale dans la réponse qu'elle apporte aux changements climatiques?

Le Canada a consenti aux dispositions du Protocole de Kyoto, lesquelles nous engagent à réduire les émissions de GES dans l'atmosphère, à épurer l'air d'une partie de son CO₂ et à développer des initiatives technologiques utilisables au Canada et ailleurs pour réduire les émissions de GES. La politique du Canada offre un cadre pour l'intervention des groupes de personnes, des collectivités, des industries et des provinces afin de donner suite à ces engagements.

[page 41]

Suggestions pour l'enseignement

Imprimez de la documentation sur le Protocole de Kyoto (voir les ressources Internet ci-dessous), faites-la lire à haute voix en classe et résumez les points principaux au tableau. Interrogez les élèves avant la fin de la classe et le jour suivant. Un résumé du Protocole de Kyoto se trouve à l'annexe 1 du présent guide.

3. Quels choix les consommateurs peuvent-ils faire pour contribuer à atténuer les changements climatiques?

Les gaz à effet de serre ont des liens avec une bonne part de nos choix de consommation. Notre façon de chauffer nos maisons ou de produire de l'électricité a de l'importance. Nos choix en matière de transport sont importants, tout comme nos choix d'appareils électriques et le coût du transport de nos aliments ou d'autres biens de consommation sur de grandes distances.

Suggestions pour l'enseignement

Invitez les élèves à analyser cette question sous l'angle des divers niveaux de coûts, d'avantages et de choix qu'elle comporte. En d'autres mots, la cause première des émissions de CO₂, la combustion de matières fossiles, nous amène à nous poser une question d'un autre niveau : Pourquoi brûlons-nous des matières fossiles? À mesure que nous nous éloignons de la « cause première » de production de CO₂, nous entrons dans un domaine où les gens peuvent faire des choix. La principale stratégie d'enseignement et d'apprentissage à adopter consiste à creuser la

question jusqu'à ce que les élèves en arrivent à distinguer les besoins des désirs et à proposer des solutions permettant de réduire la quantité d'émissions de GES.

Donnez aux élèves une liste des principales sources premières non biologiques de production de CO₂ (la combustion de matières fossiles), de méthane (décomposition anaérobie des décharges et du fumier des vaches et des porcs) et de chlorofluorocarbures (aérosols et frigorigènes). Illustrez la question de la cause première et des différents niveaux d'interrogation à l'aide d'un diagramme en forme de toile ou d'un schéma conceptuel. À chaque niveau conceptuel, déterminez si la réponse indique un besoin ou un désir. La classe discute ensuite des solutions possibles. Demandez aux élèves de faire une affiche afin de convaincre les gens de réduire certaines activités de manière à atténuer la production de GES.

[page 42]

Consensus à l'égard des changements climatiques

L'engagement formel du Canada envers le Protocole de Kyoto exige que nous participions tous à la réduction des émissions de GES. Chaque collectivité est en mesure de faire ses propres choix. Certains secteurs économiques peuvent privilégier un choix énergétique ou concevoir des moyens plus judicieux de consommer l'énergie. Dans un site industriel libérant une grande quantité de chaleur perdue, on pourrait canaliser cette chaleur dans un système qui la transférera à un autre endroit où on a besoin de chaleur. Ainsi, ce deuxième site cessera d'émettre des GES pour produire de la chaleur.

Nombre d'activités quotidiennes peuvent être reliées à la production de GES. Nous devons comprendre que nos choix peuvent être décisifs; *nous devons savoir quels choix réduiront nos émissions de GES*. L'étiquetage ÉnerGuide sur les appareils électriques est une première étape en vue d'aider les consommateurs à faire des choix plus éconergétiques. Un dégrèvement du gouvernement encourageant les gens à faire des choix de consommation éconergétiques serait une façon de les motiver à opter pour des solutions plus respectueuses de l'environnement. Plus les technologies éconergétiques seront monnaie courante, plus il faudra diffuser d'information pour promouvoir des choix de consommation éclairés.

Autres suggestions pour l'enseignement

Préparez un feuillet d'information

Informez le grand public des choix d'appareils électriques éconergétiques.

Analyse des choix économiques et sociaux

Votre collectivité doit réduire de 20 % le total de ses émissions de GES dans un délai de deux ans. Recensez les différents groupes de personnes et les secteurs dont la participation est nécessaire. Définissez le rôle de ces entités dans l'atteinte de cet objectif collectif.

Ressources

<www.ec.gc.ca/climate/home-f.html>

Ce site d'Environnement Canada décrit l'approche du gouvernement du Canada sur la question des changements climatiques. On y offre aussi un hyperlien menant à un bref résumé des grandes lignes du Protocole de Kyoto.

<ottawa.ca/2020/enviro/annex1_fr.shtml>

Le site de la ville d'Ottawa propose des renseignements généraux sur les changements climatiques ainsi que des hyperliens avec un site de documentation sur le programme Énergide.

[page 43]

SNC4M – SCIENCES, 12^e ANNÉE, COURS PRÉUNIVERSITAIRE/PRÉCOLLÉGIAL

Aperçu

Une grande diversité de pratiques humaines produisent du CO₂ et d'autres gaz à effet de serre plus rapidement que les systèmes naturels ne peuvent les extraire de l'atmosphère. L'évolution de la composition de l'atmosphère provoque des changements dans les régimes climatiques mondiaux. L'explication de ce lien et la preuve de l'existence de changements climatiques ouvrent une double perspective sur la nature de l'interprétation scientifique.

Attentes et contenus d'apprentissage

Produits organiques d'usage courant

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.02, 3.01, 3.02, 3.03

Les sources d'énergie de substitution

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.02, 1.03, 1.04, 2.01, 2.02, 2.04, 2.05, 3.03, 3.04, 3.05

Systèmes de communications

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.02, 1.04, 1.05, 1.06, 2.01, 3.01

L'actualité et les sciences

- 0.01, 0.02, 0.03, 1.02, 1.03, 1.04, 1.05, 1.06, 2.01, 2.02, 2.03, 3.02, 3.03, 3.04

Questions d'orientation – La filière climatique

1. Quelles activités contribuent aux émissions de CO₂ et d'autres GES?

Les pratiques agricoles exigeant l'emploi intensif d'engrais et de pesticides contribuent aux émissions gazeuses de carbone, car la fabrication de ces produits repose sur la combustion de matières fossiles. L'utilisation intensive d'engrais et de pesticides est nécessaire là où la production de récoltes ne profite pas des interactions naturelles des organismes vivants et où la production à grande échelle est la norme.

Des pratiques agricoles différentes peuvent atténuer la nécessité d'ajouter des produits chimiques et aider ainsi à tempérer les changements climatiques.

À cet égard, les secteurs à considérer sont le transport, l'exploitation forestière, la fabrication et le secteur minier.

Suggestions pour l'enseignement

Répartissez les élèves en quatre équipes et demandez à chaque équipe de dresser sur des fiches une liste de 30 (oui, 30!) façons ou raisons de brûler des hydrocarbures. Vous pouvez aussi préparer à l'avance une liste d'hydrocarbures. Lorsque toutes les équipes auront rempli leurs fiches, demandez-leur de les classer par catégorie. Ils formeront par exemple une pile de fiches

intitulée « Utilisation d'un moteur à essence », une autre intitulée « Moyens de se garder au chaud », et ainsi de suite. Demandez aux élèves de reporter les 30 fiches sur un tableau (une catégorie par colonne). Demandez-leur ensuite de refaire l'exercice, avec des catégories différentes. (C'est pour cela qu'on utilise des fiches.) La leçon principale à tirer de cet apprentissage est qu'une catégorisation n'est pas absolue et que chaque façon ou raison de brûler des hydrocarbures a plusieurs dimensions ou aspects. C'est un excellent exercice de réflexion.

[page 44]

2. En quoi les différentes sources d'énergie et percées technologiques contribuent-elles aux changements climatiques?

L'énergie utilisée pour le transport représente une bonne étude de cas pour examiner l'impact de divers carburants. Les locomotives au charbon ont révolutionné notre façon de voyager et de distribuer les marchandises sur divers marchés. Le moteur à essence a créé un changement encore plus révolutionnaire avec le développement du transport rapide des passagers et la possibilité de voyager et d'expédier des marchandises presque partout rapidement.

La combustion des matières fossiles est la principale source d'émissions de GES dans l'atmosphère. Alors qu'on prévoit une diminution des réserves de combustibles fossiles non renouvelables, d'autres combustibles de remplacement sont en cours de développement. Ces combustibles ont tendance à produire moins de GES ou à ne pas en produire du tout.

Suggestions pour l'enseignement

Demandez aux élèves de sonder leurs parents et de leur poser les questions suivantes :

- Quel devrait être le prix de l'essence pour que vous alliez travailler en autobus tous les jours?
- Quelle qualité devrait avoir le service de transports en commun pour que vous alliez travailler en autobus, vu le prix actuel de l'essence?
- Quel prix le litre d'essence devrait-il atteindre pour vous décider à adopter le covoiturage pour aller au travail?

3. En quoi le CO₂ présent dans l'atmosphère modifie-t-il le climat de la Terre?

L'énergie solaire atteint la Terre sous la forme de rayonnement électromagnétique (REM). Une partie de cette énergie réchauffe la Terre; une autre partie alimente les processus vitaux; le reste rebondit dans l'espace. Les formes de rayonnement à grande énergie (ondes courtes) sont transformées par la surface de la Terre en rayonnement infrarouge (ondes longues), lequel est absorbé par le CO₂ et les autres GES qui libèrent à leur tour de la chaleur. La rétention de cette chaleur dans l'atmosphère influe sur la circulation de l'énergie dans les systèmes terrestres, sur la configuration des vents et sur les courants océaniques.

Ces changements élèvent la température moyenne à la surface de la Terre; ils accroissent aussi la fréquence des phénomènes météorologiques violents et des conditions atmosphériques inhabituelles dans un secteur donné. La télédétection sert à surveiller les variations de température et les concentrations de GES dans l'atmosphère.

Suggestions pour l'enseignement

Construisez un modèle de serre (un aquarium scellé ou une bouteille de boisson gazeuse bouchée) et évaluez sa rétention de la chaleur; par exemple, combien de temps d'exposition au

soleil faut-il pour que la température s'élève de 5 degrés? de 10 degrés? Quelle est la température maximale atteinte durant la journée? Demandez aux élèves de construire un châssis de couche et d'expliquer son fonctionnement. Faites une sortie éducative dans un centre horticole, de préférence au début de mars.

[page 45]

4. Quel crédit les scientifiques accordent-ils aux explications sur les changements climatiques?

La science de l'évolution du climat est un cas d'espèce du changement de paradigme dans la pensée scientifique et de l'atteinte d'un consensus par la communauté scientifique. Les scientifiques donnent des interprétations variées des données colligées et présentées comme des signes de l'évolution du climat. Contrairement aux nombreux exemples passés de mutations profondes dans la pensée scientifique, les spécialistes des changements climatiques sont arrivés à un consensus presque complet dans un laps de temps très court. Certains points de vue différents découlent d'un parti pris, ce qui illustre le fait que la compréhension scientifique n'est ni strictement objective ni isolée du contexte culturel où baignent les scientifiques.

Suggestions pour l'enseignement

Faites de cette question un sujet de devoir sur la « nature de la science » ou une activité en classe sur Internet. Organisez une « course » : vous ne cherchez pas qu'une seule réponse; vous tentez plutôt d'obtenir 30 réponses à la même question. L'élève qui trouve une réponse satisfaisante inscrit aussitôt l'adresse Web au tableau; aucun autre ne peut alors la citer. Pour calmer le jeu, vous pouvez consulter vous-même un moteur de recherche et mettre « hors-jeu » les 10 premiers résultats qu'il donne.

Les sites ne donnent pas tous exactement la même réponse, mais le type de variation est primordial pour comprendre ce qu'est un « consensus » et dans quelle mesure les estimations des scientifiques se rapprochent. Une majorité d'estimations qui s'entrecroisent constituent un « consensus ». Par exemple, la plupart des estimations de la concentration des GES dans l'atmosphère se situent entre 380 et 340 ppm, ce qui signifie qu'une valeur de 100 ppm devrait être considérée avec prudence. Qui plus est, un consensus (p. ex. 340-380 ppm) indique que les estimations des scientifiques se rapprochent de la valeur réelle, laquelle se situe probablement autour de 360 ppm. Il reste qu'on peut fonder sa prédiction sur la valeur maximale, la valeur minimale ou la valeur moyenne. Une prédiction basée sur l'une de ces valeurs vaut toujours mieux qu'une autre qui ne repose que sur une opinion.

[page 46]

Consensus à l'égard des changements climatiques

Nos activités personnelles et collectives (groupes politiques, économiques, géographiques) contribuent aux émissions de GES dans l'atmosphère. La compréhension du véritable impact de ces activités comme les pratiques agricoles en Californie (ou en Ontario), exige *que les personnes fassent le lien entre leurs choix de consommation personnels et les pratiques courantes qui sont dommageables pour l'environnement.*

L'oxydation du carbone (spécialement les combustibles fossiles) produit du CO₂ et d'autres GES qui contribuent à la rétention de la chaleur sur la planète. Les divers choix de combustibles ne produisent pas les mêmes émissions de CO₂. Le *coût en carbone* de la transformation en énergie

d'un combustible donné est un critère significatif pour déterminer l'impact environnemental d'un choix de combustible.

Les indices du changement climatique sont complexes. On utilise des stratégies variées, notamment la technologie des communications par satellite, pour colliger les données; l'interprétation de ces données continue toutefois d'alimenter le débat parmi les chercheurs scientifiques. L'examen des partis pris et des nombreux points de vue personnels et collectifs aide les élèves à analyser de façon critique la nature de l'opinion scientifique et à comprendre comment s'établit un consensus dans la communauté des chercheurs.

Autres suggestions pour l'enseignement

Débat

Les élèves, en équipe, font un débat sur la validité de la preuve scientifique dans le domaine des changements climatiques.

Agent de changement

Les élèves choisissent une initiative communautaire locale qui soutient l'engagement du Canada à l'égard du Protocole de Kyoto et se font les promoteurs de cette initiative auprès des groupes où les changements sont nécessaires.

Ressources

<www.cmdl.noaa.gov/climate.html> [en anglais]

Ce site présente le climat et les forces qui agissent sur lui, notamment le rayonnement solaire et les gaz à effet de serre.

<ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln49/ednote49.html> [en anglais]

<news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/1335872.stm> [en anglais]

<www.spiked-online.com/Articles/00000002D376.htm> [en anglais]

<www.21stcenturyradio.com/climatechange-11.12.00.htm> [en anglais]

<www.ec.gc.ca/science/sandenov00/article5_f.html>

<www.nerc.ac.uk/publications/climatechange> [en anglais]

Ces pages décrivent la menace sérieuse que représentent les changements climatiques.

<www.api.org/globalclimate> [en anglais]

<www.nationalcenter.org/NPA512.html> [en anglais]

<www.cato.org/dailys/04-16-03.html> [en anglais]

Ces pages décrivent les lacunes des éléments de preuve qui ont servi à élaborer le Protocole de Kyoto.

<www.pbs.org/wgbh/warming> [en anglais]

Ce site du réseau PBS traite de la controverse entourant les changements climatiques.

[page 47]

Annexe 1

Résumé du Protocole de Kyoto

Beaucoup de pays du monde reconnaissent que les changements climatiques nous affectent tous. Les gaz à effet de serre produits par l'activité humaine, ajoutés aux gaz normalement présents dans l'atmosphère, entraînent des phénomènes météorologiques extrêmes, des changements de température et la fonte des glaces de l'Arctique.

En décembre 1997, le Canada et plus de 160 autres pays se sont réunis à Kyoto, au Japon, et y ont convenu de cibles de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES). On appelle Protocole de Kyoto l'entente qui a fixé ces cibles et les choix offerts aux pays pour les atteindre. La cible du Canada est de ramener ses émissions de GES à 6 % sous les niveaux de 1990 d'ici la période de 2008 à 2012. L'objectif de Kyoto est de ramener les émissions totales de GES des pays industrialisés à 5,2 % sous les niveaux de 1990. Il s'agit de la première étape d'une réduction des émissions qui se poursuivra à l'avenir.

Le gouvernement du Canada, les gouvernements des provinces et des territoires et les administrations municipales travaillent ensemble à réduire les émissions de GES. En investissant dans de nouvelles technologies, les entreprises pourront fonctionner plus efficacement et les Canadiennes et les Canadiens pourront jouir d'un milieu naturel plus propre. Le Protocole de Kyoto permet que des puits de carbone fassent partie de la stratégie d'un pays pour respecter ses engagements de réduction des GES. Un « puits » est tout processus qui extrait les gaz à effet de serre de l'atmosphère. Par exemple, les forêts forment un « puits » de carbone à cause de la photosynthèse – les arbres et les autres plantes absorbent le gaz carbonique et relâchent de l'oxygène. Le gaz carbonique se dégrade et le carbone est assimilé par les arbres.

Le Protocole de Kyoto permet à des pays d'acheter des crédits de carbone à d'autres pays. Ceci veut dire que les pays qui réduisent leurs émissions de GES plus que prévu dans le Protocole peuvent vendre leurs crédits de carbone inutilisés à des pays qui ont de la difficulté à rencontrer leurs objectifs. C'est ce qu'on appelle le *système d'échange des réductions*. Autrement dit, les pays qui ont « surperformé » (qui ont atteint ou dépassé leur objectif de réduction) peuvent vendre leur « droit de polluer inutilisé » à des pays qui n'ont pas réussi à atteindre leurs objectifs de réduction¹. Le Canada croit qu'une solution faisant appel au marché a un rôle à jouer dans la réduction des émissions de GES à l'échelle planétaire.

Il est important que les pays qui ont signé le Protocole de Kyoto respectent les règles qui y sont énoncées. Pour ce faire, le Canada essaie de développer un système efficace de respect des objectifs – une façon de mesurer si chacun fait sa part. Ce système, qui vérifiera si tous les pays observent les règles adoptées, devrait fournir aux pays une bonne incitation à prendre leurs engagements au sérieux.

Ce texte est en partie basé sur les données présentées sur le site <www.changementsclimatiques.gc.ca>.

¹ Il peut sembler étrange qu'un pays puisse acheter d'un autre le droit de polluer, mais rappelle-toi que les émissions totales des pays participants qui achètent et vendent ces « crédits » de carbone doivent atteindre entre 2008 et 2012 les objectifs fixés. Certains croient que ce système est mauvais. D'autres y voient un moyen d'encourager les pays qui s'efforcent de réduire leurs émissions tout en pénalisant ceux qui ne font pas assez d'efforts.

[page 48]

ANNEXE 2

El Niño, La Niña et les changements climatiques

Beaucoup d'étudiants confondent les changements climatiques avec d'autres phénomènes comme El Niño et La Niña, qui ont suscité énormément d'attention de la part des médias. Évidemment, il y a un lien, qui n'est pas simple et qui renvoie en fait à un domaine encore largement inexploré. Cette annexe sert de guide pour éviter les éventuels malentendus.

Ces renseignements proviennent du site de la National Oceanic and Aeronautics Administration des États-Unis (NAOO), à l'adresse <www.pmel.noaa.gov/tao/el_nino/faq.html#warming> [en anglais].

Quelle relation y a-t-il entre les gaz à effet de serre, El Niño, La Niña et les prévisions climatologiques?

Il existe une grande confusion chez le public à propos des relations réciproques entre les phénomènes climatiques comme El Niño et La Niña et les gaz à effet de serre. Est-il vrai qu'une atmosphère plus chaude est susceptible de produire des phénomènes El Niño plus intenses ou plus fréquents?

Nous ignorons la réponse à cette question. L'hypothèse voulant que le réchauffement planétaire ait une influence sur El Niño est certainement plausible, vu que ces deux phénomènes entraînent de lourds changements dans le bilan calorique terrestre. Cependant, les modélisateurs informatiques du climat, qui sont parmi les principaux outils de recherche pour l'étude du réchauffement de la planète, sont déjoués par des représentations inadéquates de processus clés (comme l'influence des nuages sur le climat et le rôle des océans). En outre, aucun modélisateur n'arrive encore à simuler en un tout crédible **à la fois** El Niño et le réchauffement dû aux gaz à effet de serre. Les différents résultats obtenus sont donc fonction du modélisateur auquel on se fie. Par exemple, certains scientifiques ont supputé qu'une atmosphère plus chaude est susceptible de produire des courants El Niño plus intenses et plus fréquents en regard des tendances observées au cours des 25 dernières années. Toutefois, certains modélisateurs de climat indiquent qu'El Niño pourrait en fait être moins intense dans un climat plus chaud. Cette question très compliquée (mais combien importante!) devra faire l'objet de recherches plus approfondies avant qu'on arrive à une réponse convaincante.

Les deux années 1998 et 1997 ont eu des températures moyennes globales sans précédent en plus de l'effet El Niño. Qu'est-ce qui influe sur quoi?

À l'évidence, El Niño influe sur les températures moyennes mondiales, qui s'élèvent de quelques dixièmes de degré centigrade quelques mois après la pointe de réchauffement dans le Pacifique tropical. Cette région perd de grandes quantités de chaleur dans l'air sus-jacent pendant l'effet El Niño. Le réchauffement extrême observé dans les températures mondiales en 1997-1998 peut donc être attribué à l'occurrence d'El Niño dans le Pacifique tropical. Cependant, El Niño (dont l'effet est appelé à diminuer au cours de l'année prochaine) s'accompagne d'une tendance de fond vers un réchauffement des températures. Deux questions se posent alors, auxquelles nous n'avons pas encore de réponse :

1) Quelle proportion exacte de l'élévation extrême des températures en 1997-1998 est attribuable au phénomène El Niño de 1997-1998, par rapport à la tendance de fond vers un réchauffement des températures?

2) El Niño a-t-il eu un caractère extrême en réponse aux tendances du réchauffement mondial? Cette question a des relations étroites avec la précédente. L'influence du réchauffement mondial sur les modes naturels de variabilité du climat, en l'occurrence El Niño, l'oscillation décennale du Pacifique et l'oscillation du Pacifique Nord (qui peuvent tous avoir un effet sur les températures de l'air à l'échelle mondiale) pose en fait un problème de recherche des plus impérieux.

Le problème d'avoir à démêler les nombreux facteurs et dynamiques en jeu dans le phénomène El Niño et le réchauffement global semble comparable à celui d'écrire la partition de plusieurs chansons différentes en les écoutant toutes en même temps. La cacophonie est-elle une bonne illustration des schémas de déplacement?

Voilà une belle analogie. Cependant, nous pouvons la pousser plus avant : lorsqu'on joue plusieurs chansons en même temps, en plus de s'enchevêtrer, elles se métamorphosent en une mélodie légèrement différente qui n'existait pas au préalable. Cela revient à dire qu'El Niño, le réchauffement de la planète et les autres changements climatiques subissent des modifications physiques du fait de leurs interactions et prennent des formes qui seraient inusitées si nous les considérions isolément. Un des principaux défis de la recherche actuelle est de dégager ces interactions complexes¹.

Pour de plus amples renseignements, voir la foire aux questions du site de l'océanographe Billy Kessler, de la NOAA, qui répond à la question suivante d'un écrivain égyptien : « Pourquoi ne puis-je pas trouver de l'information sur les liens entre El Niño et le réchauffement planétaire? »

www.pmel.noaa.gov/~kessler [en anglais]

¹ Voilà pourquoi l'approche systémique a une valeur inestimable – et essentielle – dans la compréhension des changements climatiques dans toute leur complexité.

[cover III + IV already translated]