



LES JOURNÉES
DE L'ÉDUCATION
RELATIVE À
L'ENVIRONNEMENT



alterre
bourgogne

guide pédagogique

**L'EDD PAR L'EXPÉRIENCE
ET LA DÉCOUVERTE • AVRIL 2011**

www.alterre-bourgogne.fr

Remerciements et crédits

Ont contribué à la conception de ce guide pédagogique :

- **Volet 1 : l'EDD par l'expérience et la découverte**

Christine COUDURIER – Alterre Bourgogne

- **Volet 2 : l'EDD par l'expérience et la découverte, fiches activités**



Association Nationale des petits débrouillards :
Manuelle ROVILLE, Christine AVRIL et Mustapha WAFRA



Association Sciences Grand Est : Mickael FIESSE



ADEME Bourgogne : Martine SFEIR



Bourgogne Energies Renouvelables : Delphine MIROY



Alterre Bourgogne : Christine COUDURIER et Régis DICK

Comité de relecture :

Rectorat de l'académie de Dijon :

Christine BOBIN

Alterre Bourgogne :

Aurélie BERBEY

Régis DICK

David MICHELIN

Pascale REPPELIN

Stéphanie PORRO

Valérie TRIVIER, Alterre Bourgogne

Certaines images ont été fournies gracieusement par :



<http://phototheque.cnrs.fr>



www.inra.fr/phototheque



www.indigo.ird.fr

D'autres sont publiées sous l'une des licences Créative Commons :

http://fr.wikipedia.org/wiki/creative_commons

Partie 1

L'EDD par l'expérience et la découverte

SOMMAIRE

Les Journées de l'ERE, mode d'emploi

Introduction : pourquoi avoir choisi l'EDD par l'expérience et la découverte pour les Journées de l'ERE 2011 ?

1. La place de la science et de la découverte dans l'histoire de l'Homme :

- Découvertes et expériences de la préhistoire à l'Antiquité : les prémices des Sciences
- Découvertes et expériences, du Moyen-Age au siècle des Lumières : l'institutionnalisation des Sciences
- Découvertes et expériences, de la révolution industrielle à nos jours : l'essor et la diversification des sciences et techniques
- Et demain : place à la controverse et à l'éthique ?

2. L'expérience et la découverte, de quoi parle-t-on ?

- Expérience, découverte, quelques définitions
- Expérience, découverte et développement durable

3. Expérience, découverte et éducation au développement durable (EDD)

- L'EDD par l'expérience et la découverte, de quoi parle-t-on ?
- La démarche expérimentale en EDD
- Démarche expérimentale et pédagogie de projet

Fiches thématiques : et aujourd'hui, la science, à quoi ça sert ?

- les déchets : d'Eugène POBELLE à nos jours
- la biodiversité : de BUFFON à nos jours
- l'énergie : De Marie CURIE à nos jours

Les Journées de l'ERE, mode d'emploi

Comme chaque année, le **SFFERE** (Système de Formation de Formateurs à l'Éducation Relative à l'Environnement) organise les **Journées de l'Éducation Relative à l'Environnement**. Elles auront lieu du 4 au 15 avril 2011, sur le thème de « l'Éducation au développement durable par l'expérience et la découverte ».

L'objectif des Journées de l'ERE est de susciter, dans les structures éducatives et établissements scolaires, des projets pédagogiques, des actions innovantes, des activités, sur un thème différent chaque année.

Les projets peuvent s'étendre sur toute l'année scolaire ou sur un jour seulement ; ils peuvent être réalisés durant la quinzaine des Journées de l'ERE ou en dehors de cette période (avant ou après). Quels qu'ils soient, le SFFERE met en lumière ces projets pendant la quinzaine des Journées de l'ERE.

Pour aider les formateurs dans leurs projets, le SFFERE met à leur disposition plusieurs outils d'accompagnement :

- Le guide pédagogique « *l'EDD par l'expérience et la découverte* ». Il vous fournit des apports de connaissances, des pistes d'activités et des ressources.
- Deux journées de formation sur ce thème avec, là encore, des apports de connaissances et des pistes pédagogiques.
- Une affiche, destinée à vous aider à communiquer sur vos actions et à mobiliser votre public autour des événements que vous mettez en place dans votre structure.

Enfin, pendant la quinzaine, pour faire connaître les actions menées en Bourgogne, le SFFERE réalise un **catalogue régional des actions**. Ce catalogue est mis en ligne sur le site Internet d'Alterre Bourgogne www.alterre-bourgogne.fr et largement diffusé auprès de la presse régionale comme de nos partenaires.

Ce catalogue vous sera adressé, accompagné d'un communiqué de presse que vous pourrez compléter et envoyer à vos correspondants presse locaux, pour communiquer sur vos actions.

Introduction : pour quoi l'EDD par l'expérience et la découverte ?



« J'entends et j'oublie ; je vois et je me souviens ; je fais et je comprends » Confucius
« Deux choses instruisent l'homme de toute sa nature : l'instinct et l'expérience » Pascal

Pourquoi avoir choisi l'EDD par l'expérience et la découverte comme thème des Journées de l'ERE 2011 ?

- Tout d'abord, parce que l'expérience et la découverte fondent les connaissances indispensables en matière de développement durable.

Le développement durable a pour objectif la mise en œuvre d'un projet de société plus équitable, basé sur un mode de vie plus respectueux de l'environnement. Pour y parvenir, l'éducation au développement durable doit permettre de former les citoyens à ce projet, à travers l'acquisition des savoirs, des savoirs faire et des savoirs être nécessaires.

Les savoirs mobilisés en EDD se basent en grande partie sur les disciplines scientifiques, qu'elles soient dites dures, comme par exemple les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, l'écologie... ou humaines comme l'histoire, la géographie, la philosophie et les sciences sociales.

L'acquisition d'une culture scientifique favorise donc la compréhension des enjeux complexes du développement durable.

- Ensuite, parce la mise en œuvre de l'expérience et la découverte privilégie une pédagogie active particulièrement adaptée à l'EDD.

L'Éducation relative à l'environnement a toujours privilégié **l'approche sensible**, cette pratique pédagogique fondée sur la découverte, l'observation des phénomènes et la construction d'un lien direct avec ce qui nous entoure. Comment mieux comprendre la nature, et les intérêts de sa

préservation, qu'en s'émerveillant à travers le regard, en la touchant, en l'écoutant, bref, en laissant un lien émotionnel s'installer ? **Aborder l'EDD par l'expérience et la découverte permet de replacer nos sens au cœur des processus d'apprentissages.**

A travers la démarche expérimentale, l'EDD par l'expérience et la découverte encourage le questionnement, elle invite à formuler des hypothèses, à construire un cheminement logique, puis à vivre des expériences. Elle stimule la curiosité et cultive le plaisir de comprendre, **favorisant ainsi la construction des savoirs** (et non pas la simple transmission).

En favorisant le questionnement, l'expérience et la découverte confrontent aussi les enfants, les individus à des incertitudes et au doute, permettant ainsi de développer **l'esprit critique**. La recherche d'une vérité amène à construire des arguments et permet **de se construire une opinion**, tout en prenant conscience de la portée et des limites de ses propres convictions ou affirmations.

- Enfin, parce qu'en matière de développement durable, le débat entre chercheurs et citoyens est indispensable et qu'il nécessite une certaine culture scientifique.

L'acquisition d'une culture scientifique doit en effet permettre aux citoyens de s'approprier les grands sujets scientifiques (comme par exemple les OGM, les nanotechnologies...), pour en faire des sujets de société et favoriser des choix sociétaux éclairés. Des choix auxquels les enfants d'aujourd'hui devront prendre part rapidement, et pour lesquels il leur faudra faire preuve d'esprit critique.

1. La place de l'expérience et de la découverte dans l'histoire de l'Homme

De tout temps, l'Homme s'est appuyé sur l'expérience et la découverte pour développer des techniques et des savoirs à transmettre. Ainsi, expériences et découvertes forgent l'histoire de l'Homme et celle de ses connaissances.

Découvertes et expériences de la préhistoire à l'Antiquité : les prémices des Sciences

L'Homme préhistorique découvre et explore le monde qui l'entoure à travers son mode de vie nomade. Il semble que dès l'acquisition de la station verticale, les hommes aient développé une forme de technicité (André LEROI-GOURHAN). Les premiers outils sont créés de façon empirique, c'est à dire en tâtonnant, en essayant, en expérimentant : c'est le cas pour les outils en silex, puis pour la technique du feu.

En se sédentarisant, l'Homme invente l'agriculture. Rapidement, pour des questions de comptage agricole, les premières formes de calcul et de géométrie se développent. Les premiers instruments inventés sont d'ailleurs ceux qui permettent la mesure du temps et de l'espace.

La civilisation mésopotamienne développera largement cette première forme de science appelée la métrologie (science de la mesure, qui consiste à donner une valeur à une observation), puis ensuite l'algèbre, la géométrie, l'astronomie...

Les premières expériences qui se rapprochent d'une expérience scientifique apparaissent en Mésopotamie vers – 3500 ans (d'après André PICHOT, dans *La naissance de la Science*, Éditions Gallimard - 1991) du fait de l'essor de la métallurgie.

L'invention des premières formes d'écriture (écriture cunéiforme) joue un grand rôle dans l'histoire des sciences et du savoir puisque l'écriture rend possible la transmission des connaissances acquises, tout comme le développement de la numération, qui permettra de réaliser des calculs de plus en plus complexes.

En s'appuyant sur les connaissances de la civilisation mésopotamienne, la civilisation égyptienne développera de grandes connaissances en astronomie et surtout en géométrie, qui lui permettront de bâtir de très grands monuments en ne recourant qu'au système des fractions, symbolisé par l'œil d'Horus.

A cette époque, les chinois ont jeté les bases du théorème de Pythagore, ont identifié la comète de Halley, ont compris la périodicité des éclipses, ont développé la numération à bâton et ils inventeront, à l'Antiquité, le papier.

L'Inde voit émerger les mathématiques dites complexes. Les Indiens inventent notamment la numération décimale de position, ils maîtrisent le zéro et les nombres négatifs qui deviendront ensuite les chiffres arabes et influenceront fortement l'occident.

C'est avec la civilisation grecque que se développent réellement les sciences. Les philosophes présocratiques s'interrogent en effet sur l'origine des phénomènes naturels qu'ils observent.

En refusant les explications proposées par les mythes et les croyances ancestrales, ils vont enquêter sur les causes naturelles de ces phénomènes et développer une méthode basée sur des démonstrations ainsi qu'une argumentation logique pour fonder leurs savoirs.

La méthode scientifique fait donc concrètement son apparition dans la Grèce du VII^e siècle avant JC.

Les Grecs seront les premiers à initier une réflexion sur la théorie de la connaissance et à opposer la raison d'une part et les sens de l'autre dans la construction des savoirs. Pour PLATON et SOCRATE, la raison amène à la connaissance, tandis que nos sens nous trompent et ne révèlent une image qu'imparfaite et déformée des idées qui sont la vraie réalité.

A l'inverse, les épicuriens défendent l'importance des sens dans la connaissance que nous avons de la réalité.

C'est aussi à cette époque qu'émerge la théorie atomiste, qui consiste à considérer que tout est constitué d'atomes qui s'assemblent. Les travaux d'ARCHIMEDE sur la poussée du même nom correspondent à la première loi physique connue.

L'époque romaine est marquée par d'importants progrès en astronomie, en mathématiques et, dans une moindre mesure, en physique.

Les Romains, peuple d'ingénieurs plus que de savants, développeront de nombreuses techniques comme par exemple celle de la voûte, qui permettra le développement des routes, et celle des aqueducs, grâce à laquelle ils maîtriseront l'eau. Citons aussi la technique du ciment, la plomberie, les grues, ou encore le moulin à eau pour l'agriculture.

Découvertes et expériences, du Moyen Age au siècle des Lumières : l'institutionnalisation des Sciences...

Le Moyen Age, très longue période qui s'étend du début du VI^e siècle à la fin du XVe siècle, connaît aussi de grandes avancées technologiques ainsi que des évolutions de la pensée scientifique, notamment en Orient, avec la civilisation arabo-musulmane (et en premier lieu celle de l'Empire Byzantin) qui hérite du savoir latin.

L'étendue du savoir arabo-musulman est étroitement liée aux guerres de conquêtes de l'Islam, qui permettent aux Arabes d'entrer en contact avec les civilisations indiennes et chinoises et favorisent les échanges de savoirs. Le monde arabo-musulman connaîtra son apogée intellectuelle du VIII^e siècle au XIV^e siècle.

De leur côté, les Chinois inventent la boussole, qu'ils utilisèrent dès le XI^e siècle, ou encore la poudre (1044).

En Europe, le Moyen Age est aussi une période importante, même si elle est marquée par un temps de repli durant le Haut Moyen Age, lié au poids d'une église réfractaire au progrès scientifique.

La redécouverte par SAINT THOMAS d'AQUIN des écrits des philosophes grecs permet l'émergence de la **pensée scolastique**, qui met en adéquation l'apport des philosophes grecs avec la théologie chrétienne. L'Europe connaît alors un élan culturel et technique, qui culminera au XII^e siècle. La création des premières universités de Paris (1170) et Oxford (1220) institutionnalisent la science en Europe, malgré une affiliation intellectuelle avec la sphère religieuse. Cette période marque aussi le développement de la scolarisation et un certain renouveau de la pensée scientifique.

En Europe, la **seconde moitié du Moyen Age et la Renaissance** sont marquées par de grandes expéditions maritimes d'envergure mondiale, qui serviront considérablement notre représentation du monde et l'acquisition de nouvelles connaissances.

Le besoin de trouver de nouvelles terres à coloniser et les exigences religieuses poussent les hommes à s'engager dans de grands voyages. A la suite de la fermeture de la route terrestre des Indes, Rome encourage les Portugais à partir découvrir la route maritime des Indes, pour continuer le commerce, mais aussi pour aller à la rencontre des chrétiens des Indes.

Ces grands voyages sont accompagnés du déploiement de nombreuses techniques (le gouvernail d'Etambot par exemple), d'outils de navigation tels que l'astrolabe qui permet de calculer la latitude d'un lieu quelconque (en mesurant l'angle de l'étoile polaire, puis du soleil et de la Croix du Sud), la boussole, le perfectionnement des cartes. Le perfectionnement des bateaux permet aussi d'améliorer les techniques de navigation. Les premières cartes des côtes et des vents sont mises en place, permettant aux navigateurs de voyager avec les saisons.

Sous l'effet de ces grandes découvertes, les connaissances géographiques s'accumulent considérablement en Occident. Les universités (au XII et XIII siècle) intègrent ces connaissances, tout comme celles « rapportées » des voyages (notamment le savoir islamique très en avance sur l'astronomie ou la géographie).

Les grandes découvertes révolutionnent aussi les représentations du monde. De plate à l'Antiquité, la terre devient ronde dans les représentations des grecs (PLATON, par exemple, l'imagine immobile,

servant de pivot à l'univers tout entier), puis à nouveau plate et au centre de l'univers au Moyen Age ce qui marque un repli, la théologie médiévale reposant sur le modèle d'un monde géocentré (développé par ARISTOTE) et sur le dogme biblique de la création.

Au cours de la seconde partie du Moyen Age se développe à nouveau une conception sphérique de la terre et une vision scientifique du monde s'amorce.

Nicolas COPERNIC (1543) met fin au modèle aristotélicien de l'immuabilité de la terre et il développe la théorie de l'héliocentrisme. Le système de COPERNIC sera condamné par l'Eglise et c'est GALILEE (Galiléo Galillei ; 1564 – 1642) qui diffusera ces thèses, toutes basées sur l'observation et l'expérience.

Les grandes découvertes

Les Portugais sont les premiers à se lancer dans les expéditions maritimes au XV siècle, à la recherche d'une route permettant de rallier les Indes, à la recherche d'épices (à l'époque, le monopole des épices est tenu par les Vénitiens qui commercent les épices de la méditerranée).

Henri le navigateur (1397-1460) réunit un groupe de savants et du même coup la première collection de cartes de l'époque. Il met en place une politique de découverte progressive et systématique de côtes de l'Afrique occidentale, qui permettra la découverte de Madère et des Açores.

En 1460, les Portugais atteignent la Guinée. C'est ensuite l'embouchure du Niger qui est explorée. En 1475, les Portugais doublent l'équateur.

Vasco de Gama embarque en 1497. Il sera le premier à doubler le cap de Bonne Espérance et contourne l'Afrique, se rend en Inde où il ouvre la route de l'Inde et des épices.

Christophe COLOMB, de son côté, souhaite atteindre l'Inde par l'Ouest. Son entreprise séduit Isabelle de CASTILLE qui accepte d'affréter 3 navires. Christophe COLOMB atteint les Amériques le 11 octobre et est de retour en Espagne en mars 1493. Trois autres expéditions suivront, qui permettront de conquérir l'Amérique.

Il reste ensuite à faire le tour du monde ! C'est MAGELLAN qui le concrétisera : il veut contourner l'Amérique et rejoindre l'Inde par l'Ouest. Cinq bateaux sont prêts au départ le 10 août 1519. En 1520, le détroit de Magellan est franchi, après un an d'attente dans le golfe de Rio de la Plata, dans la terrible zone des 40mes rugissants. Sur la route du retour, MAGELLAN est tué aux Philippines le 27 avril 1521. Son bateau rentrera à bon port, chargé d'épices, le 8 septembre 1522. Le premier tour du monde est enfin bouclé !

La diffusion du savoir est aussi un élément clé à cette période : elle est permise grâce à l'invention de l'imprimerie par Gutenberg au XV^e siècle. Grâce à elle, la scolarisation de masse devient possible, les savants peuvent aussi débattre de leurs découvertes à travers les comptes-rendus de leurs expérimentations. En occident, l'imprimerie accélère considérablement la diffusion des ouvrages de cosmographie et de cartographie, permettant une rapide diffusion des savoirs géographiques.

Au XVII^e siècle, une véritable révolution scientifique se met en place, grâce à la mathématisation de la science qui se prolongera au **siècle des Lumières**.

Il désigne le XVIII^e siècle européen, **siècle éclairé par la connaissance**, qui sera marqué par de nombreuses avancées et de grands progrès scientifiques, notamment dans le domaine des sciences naturelles, de la médecine et de la philosophie.

Une pensée moderne émerge (définie par la primauté de l'esprit scientifique, une réflexion politique, les progrès de l'esprit critique, une liberté de conscience) qui fonde la philosophie des Lumières.

En France, les encyclopédistes jouent un rôle important dans le développement de la science. Le philosophe Denis DIDEROT et le mathématicien Jean le Rond d'Alembert publient en 1751 « *L'encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* » qui permet de faire le point sur l'état du savoir de l'époque. Ce mouvement intellectuel défend aussi l'idée qu'il existe une architecture scientifique et morale du savoir. Avec l'encyclopédie naît l'idée que la science doit son apparition à la découverte de la méthode expérimentale. Le rationalisme, mouvement qui met en avant l'importance des sens et de l'expérience dans l'acquisition des savoirs au détriment de la raison pure, est promu par René DESCARTES.

La majorité des disciplines scientifiques se fondent et se consolident, dans leurs domaines d'études comme dans leurs méthodes. La botanique apparaît avec Carl VON LINNE qui publie en 1753 « *Species plantarum* », point de départ de la **nomenclature binominale**¹. La chimie naît avec LAVOISIER, qui énonce en 1778 la loi de conservation de la matière, identifie et baptise l'oxygène.

Au XIX^e siècle, la biologie connaît aussi de profonds bouleversements avec la naissance de la génétique, qui fait suite aux travaux de Gregor MENDEL. L'opposition entre science et religion devient plus importante avec la parution de « *L'Origine des espèces* » par Charles DARWIN, en 1859. Les **sciences humaines** se développent aussi : la sociologie avec Auguste COMTE, la psychologie avec, entre autres, Jean-Martin CHARCOT.

La **première méthode expérimentale** est rédigée par le scientifique Claude BERNARD (1813 – 1878), médecin et physiologiste. Cette méthode sera ensuite considérée comme le modèle à suivre de la pratique scientifique.

Expériences et découvertes de la Révolution Industrielle à nos jours : l'essor et la diversification des sciences et techniques

La théorie est l'hypothèse vérifiée après qu'elle a été soumise au contrôle du raisonnement et de la critique. Une théorie, pour rester bonne, doit toujours se modifier avec le progrès de la science et demeurer constamment soumise à la vérification et à la critique des faits nouveaux qui apparaissent. Si on considère une théorie comme parfaite, et si on cessait de la vérifier par l'expérience scientifique, elle deviendrait une doctrine. Claude BERNARD.

La Révolution Industrielle est marquée par de profonds bouleversements économiques et sociaux permis par les innovations et les découvertes scientifiques et techniques.

¹ **La nomenclature binominale** désigne un mode de désignation scientifique des espèces animales et végétales. Cette nomenclature désigne chaque être vivant par un nom de genre, suivi de son nom d'espèce. Par exemple, dans le cas du loup dont le nom scientifique est **Canis lupus** : *Canis* désigne le nom de genre (les canidés) et *lupus*, le nom d'espèce (le loup).

Le nom scientifique du chien est **Canis lupus familiaris**, car le chien est une sous espèce de l'espèce loup.

La nomenclature binominale, toujours en vigueur de nos jours, a été inventée par Carl Von Linné au XVIII^e siècle.

La vapeur puis l'électricité comptent parmi ces progrès notables qui ont permis l'amélioration des transports et de la production. Les instruments scientifiques sont plus nombreux et plus sûrs, comme le microscope (avec lequel Louis PASTEUR découvre les microbes) ou le télescope qui se perfectionne.

Le XX^e siècle connaît une accélération importante des découvertes scientifiques, tandis que les instruments continuent à se perfectionner. Deux éléments participent notamment à l'essor des sciences. Tout d'abord, les échanges internationaux ne cessent de s'amplifier et jouent plus que jamais un rôle fondamental dans le développement et la diffusion des connaissances scientifiques, les rendant de plus en plus faciles et de plus en plus rapides. Ensuite, le développement de l'informatique, à partir des années 1950, apporte une sérieuse assistance à la recherche, en permettant un meilleur traitement de masse de l'information, ce qui révolutionne la pratique de la recherche.

La somme des connaissances scientifiques devient telle qu'il est impossible, pour un scientifique, de connaître parfaitement plusieurs branches de la science. Aussi, les disciplines scientifiques se spécialisent et se complexifient, tandis que les champs d'études augmentent. Cette complexification rend la science de plus en plus abstraite et de plus en plus éloignée des préoccupations des citoyens, rendant nécessaire la vulgarisation scientifique. Le siècle est aussi marqué par l'essor des sciences humaines, qui comportent de nombreuses disciplines comme l'anthropologie, la sociologie, l'ethnologie, l'histoire, la psychologie, la biologie, la linguistique, la morale, l'archéologie, l'économie entre autres. La séparation que fait l'Université Française entre la Faculté des Sciences et de Médecine d'une part et la Faculté des Lettres, de Droit et des Sciences Humaines d'autre part, institutionnalise la place de cette branche dans le paysage scientifique.

Le XXI^e siècle est également caractérisé par une accélération des découvertes de pointe, comme les nanotechnologies. Au sein de sciences naturelles, la génétique aussi est à l'origine de changements sociaux ou biologiques sans précédent. La science se mondialise et dépasse les frontières, grâce aussi au développement de l'outil informatique qui dématérialise les échanges et permet d'expérimenter des modèles de plus en plus complexes. De nombreux projets internationaux voient le jour, comme par exemple les programmes de recherche sur le SIDA ou le cancer dans le domaine de la médecine.

Et demain ? Place à la controverse et à l'éthique ?

Autrefois source de progrès technique et intellectuel, la science est maintenant source de controverses, car elle est vécue comme source de problèmes pour la santé humaine et pour l'environnement.

Certains champs disciplinaires posent de nombreuses questions sur les limites de la recherche, nécessitant, dans les pays les plus avancés technologiquement, la mise en place d'organismes chargés d'examiner le bien-fondé des applications scientifiques.

L'éthique est devenue une notion concomitante à celle des sciences, au point de devenir une discipline à part entière.

Dans le même temps, la **vulgarisation scientifique** est amenée à se développer, pour faire qu'un plus grand nombre de personnes puisse accéder aux sciences, pour en comprendre les enjeux et ainsi participer aux choix sociétaux qu'elles proposent.

2. L'expérience et la découverte : de quoi parle-t-on ?

L'expérience et la découverte sont au cœur de la démarche expérimentale ou « démarche scientifique » qui permet de construire et valider les connaissances scientifiques. Faire de l'EDD par l'expérience et la découverte revient pour partie à s'appuyer sur les Sciences et la démarche expérimentale. Mais au juste, que sont les Sciences ?

Expériences, découvertes, quelques définitions

Expérience : connaissance des choses ou des personnes acquises par la pratique ; action de mettre quelque chose à l'essai pour en observer les résultats ; épreuve visant à étudier un phénomène.

Découvrir : trouver, apercevoir ce qu'on n'avait encore pas vu, ce qui était caché ou ignoré ; connaître, comprendre la cause de quelque chose ; inventer, créer, explorer.

La Science est ce que l'on sait pour l'avoir appris, ce que l'on tient pour vrai. C'est l'ensemble des connaissances, des études, d'une valeur universelle. La science est caractérisée par un objet (domaine) et une méthode déterminée, fondée sur des relations objectives vérifiables. Le terme désigne à l'origine la faculté mentale propre à la connaissance. On confond souvent science et technique, car les deux sont proches.

On parle de **technique** pour désigner soit les moyens de produire des objets qui ne sont pas naturels, soit les moyens de résoudre un problème que l'homme rencontre dans son existence. La technique est historique, mais dépend du fait de savoir l'utiliser.

Au cours de l'histoire, il est arrivé d'hériter d'objets techniques qui n'ont pas pu être utilisés faute de savoir comment le faire. Par exemple, les Gallo-Romains avaient inventé la faucheuse et la moissonneuse, mais elles n'ont pas été employées au Moyen Âge.

Sciences et techniques ne sont pas toujours liées, elles peuvent exister l'une sans l'autre, mais les interactions sont importantes car les deux s'irriguent mutuellement. Par exemple, l'invention du microscope a eu des effets imprévisibles sur les connaissances en biologie ; l'invention de la machine à vapeur repose elle sur des tâtonnements successifs, l'explication des phénomènes étant arrivée plus tard, avec un décalage de près de deux siècles.

Schématiquement, il existe plusieurs façons de classer **les Sciences**.

On peut par exemple distinguer les **Sciences Humaines** des **sciences dites de la Nature**. Parmi les premières, se trouvent par exemple la sociologie, la psychologie. Elles ont pour objet l'étude des phénomènes liés à l'action humaine tandis que les sciences naturelles, comme la physique, ont pour objet l'étude des phénomènes naturels.

Il est aussi possible de catégoriser les Sciences en sciences dites **fondamentales**, dont le but est de produire des connaissances ; et en sciences dites **appliquées**, c'est-à-dire qu'elles visent à appliquer ces connaissances à la résolution de problèmes.

On parle parfois de **sciences dures** (ou exactes) et de **sciences molles** (sciences dont l'objet d'étude est plus flou...), mais cette classification est porteuse d'un jugement et tend à valoriser certaines sciences par rapport à d'autres.

Quoi qu'il en soit, les sciences se distinguent selon leur objet d'études, leur méthode et leur objectif.

Expériences, découvertes et développement durable

Le développement durable propose un projet d'une société plus équitable, basée sur un mode de vie plus respectueux de l'environnement. Pour y parvenir, il faudra relever plusieurs défis, comme par exemple celui de l'énergie et du changement climatique, et engager une profonde mutation de nos sociétés.

Nos modes de consommation et nos modes de production doivent évoluer ; nos comportements doivent changer. Les sciences, la recherche et l'innovation sont porteuses de nombreuses pistes, de nombreuses possibilités pour atteindre ces objectifs.

- La science pour mieux comprendre les enjeux liés au développement durable :

La science et la recherche sont tout d'abord des outils puissants pour essayer de comprendre au mieux les phénomènes complexes en jeu dans le développement durable.

Dans le cas du changement climatique² par exemple, les sciences essaient de décortiquer le fonctionnement de notre planète, pour ensuite permettre d'imaginer de quelle façon évoluera le climat.

Les différentes disciplines impliquées ne sont pas nées avec le changement climatique, mais les apports de chacune d'elles sont nécessaires pour comprendre les phénomènes, les modéliser et produire des scénarios sur lesquels s'appuyer pour produire des pistes d'actions concrètes.

L'astronomie s'intéresse à l'activité du soleil et aux variations de l'orbite terrestre, deux phénomènes qui conditionnent la quantité d'énergie reçue par notre planète ; **l'astrophysique** décrit certaines caractéristiques de l'Univers qui conditionnent notre environnement, comme le rayonnement cosmique par exemple ; **l'aérodologie** étudie la composition de l'atmosphère et son fonctionnement général, ce qui est indispensable pour savoir comment se répartit l'énergie dans l'atmosphère et au sol ; tandis que **l'océanographie** décortique le comportement de l'océan, lequel est primordial pour les évolutions à moyen et long terme du climat. **La biogéochimie** étudie les grands cycles des éléments (carbone, azote, etc.) sur la Terre, tandis que **l'hydrologie** s'intéresse au cycle de l'eau. La **météorologie** fournit des archives permettant de comparer la manière dont les modèles simulent le climat passé avec ce qui a réellement été mesuré, tandis que **la glaciologie** analyse la composition des glaces anciennes pour en tirer des renseignements sur le temps qu'il a fait au moment de leur formation (...). A ces disciplines, s'ajoutent désormais des spécialistes de la mesure physique, qui mesurent en continu les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tandis que **la biologie** et **l'agronomie** étudient le comportement des végétaux dans des conditions climatiques différentes, de façon à anticiper l'adaptation à une nouvelle donne climatique.

- **La science, source d'innovation pour des solutions concrètes**

Pour engager les changements et les adaptations nécessaires en matière de développement durable, la science est pourvoyeuse de solutions techniques.

² Source : Site MANICORE (Jean-Marc JANCOVICI)

Dans le domaine de l'énergie et de la maîtrise de l'énergie, la recherche permet de développer des bâtiments aux performances énergétiques accrues, les bâtiments basse consommation, et même des bâtiments capables de produire de l'énergie (dits à énergie positive). Les innovations portent aussi bien sur les matériaux de construction et d'isolation ; sur la possibilité de d'utiliser de façon optimale les énergies renouvelables ; mais questionnent également l'architecture, l'urbanisme et l'aménagement du territoire.

En matière de mobilité, thématique à relier avec l'aménagement des villes et des territoires ruraux, la recherche et les innovations portent sur le développement de véhicules économes, sur de nouvelles sources d'énergie pour les mouvoir, mais la technique n'est qu'une part de la solution.

Il s'agit aussi de repenser notre mobilité, en l'appréhendant à travers une approche globale qui fait appel à la fois à la technique (véhicules, carburants, voies de circulations, aménagements urbains et ruraux...), mais doit aussi s'intéresser aux personnes et à leurs diverses motivations en matière de déplacements.

- **La science et la recherche pour aider à changer les comportements**

Le développement durable est avant tout une affaire de changements : changement de modes de vie, changement de modes de consommation, et surtout changement de comportements. Pour impulser ces changements individuels et sociétaux, les sciences humaines et plus particulièrement la sociologie et la psychologie ont un grand rôle à jouer.

Elles étudient par exemple les raisons pour lesquelles il est si difficile pour les individus comme pour la société, de passer des intentions à l'action. A travers l'analyse des facteurs psychologiques qui influencent les individus, elles permettent de comprendre les freins et les leviers au changement et produisent des pistes qui facilitent l'apparition de comportements plus favorables à l'environnement au niveau individuel comme au niveau collectif.

Les travaux menés à partir de la théorie de l'engagement débouchent sur une méthodologie dite de communication engageante. A partir d'une petite action, elle vise à enclencher un changement et amène des gens à réaliser une action qu'ils ne feraient pas spontanément. Plusieurs expériences sont menées, notamment dans le domaine de l'éco-consommation, pour engager les consommateurs à acheter autrement. Les expériences montrent que cette démarche permet d'aller bien au-delà de la simple sensibilisation - qui s'avère peu efficace dans ce domaine, l'acte d'achat faisant référence à des processus psychologiques complexes.

3. Expérience, découverte et éducation au développement durable

L'EDD par l'expérience et la découverte, de quoi parle-t-on ?

L'EDD a pour objectifs l'acquisition des savoirs, des savoirs faire et des savoirs être nécessaires pour former des citoyens avertis, responsables et capables de faire des choix éclairés. L'expérience et la découverte sont des pratiques particulièrement adaptées en EDD.

- L'expérience et la découverte fondent les savoirs indispensables en EDD :

Les connaissances en jeux dans le développement durable sont en grande partie issues de disciplines scientifiques, comme par exemple les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, l'écologie, mais aussi humaines comme l'histoire, la géographie, la philosophie et les sciences sociales qui sont elles même fondées sur l'expérience et la découverte. L'acquisition d'une culture scientifique est donc indispensable pour intégrer les connaissances nécessaires à la compréhension des enjeux complexes du développement durable.

- L'expérience et la découverte permettent une pédagogie active particulièrement adaptée en EDD :

Tout d'abord, l'expérience et la découverte privilégient **une approche sensible** et l'observation des phénomènes. L'expérience et la découverte favorisent ainsi la construction d'un lien direct avec l'environnement et permettent de replacer nos sens au cœur des processus d'apprentissages.

Ensuite, l'expérience et la découverte sont au cœur de la démarche expérimentale. Face à l'observation d'un phénomène, la démarche expérimentale place l'enfant en situation de questionnements, elle l'incite à formuler des hypothèses, à expérimenter pour construire un apprentissage. Comme dans la pédagogie de projet, **l'enfant est acteur de ses apprentissages**.

En favorisant le questionnement et la manipulation, l'expérience et la découverte apportent **un côté ludique** aux apprentissages, qui stimule la curiosité et cultive le plaisir de comprendre.

Enfin, en confrontant à des incertitudes, en favorisant le questionnement et la recherche de solutions, l'expérience et la découverte amènent à douter, à construire des arguments et forgent **ainsi l'esprit critique**.

La démarche expérimentale en EDD

Au sein d'un projet d'éducation au développement durable, la démarche scientifique (ou démarche expérimentale) permet de développer curiosité et esprit critique. En plaçant les jeunes dans une démarche de recherche scientifique, ils se posent des questions, formulent des hypothèses, font des manipulations pour obtenir des faits et des observations qu'ils confirment par l'expérience, construisant ainsi le savoir à leur niveau. Cette démarche apprend à raisonner, à réfléchir, elle apprend à apprendre. Elle permet aussi de comprendre qu'un fait scientifique doit être démontré à partir d'une méthode et de principes approuvés par la communauté scientifique, pour pouvoir être ensuite partagé.

La démarche expérimentale, comment la mettre en œuvre ?

- Au préalable, il s'agit de créer une situation de départ, en formulant un problème, en posant une question, ou en proposant un défi, de façon à faire adhérer son public à la question, au problème soulevé. Une mise en scène appropriée permet de susciter la curiosité et d'éveiller l'intérêt du public.

- Une fois la question ou le problème posé, une phase d'observation et de description du phénomène intervient. Elle peut mettre en œuvre les cinq sens.

- Ensuite, une phase de verbalisation, de retransmission intervient, qui est proche d'un recueil des représentations, habituellement mené dans un projet d'éducation au développement durable.

- La phase suivante est ensuite celle de la recherche des pistes d'investigation et de la formulation des hypothèses, pour répondre à la question posée, solutionner le problème soumis au groupe. Il s'agit d'un moment qui mise sur la créativité des personnes. Le groupe doit se mettre d'accord sur l'hypothèse à explorer, parmi toutes les propositions émises par le groupe et valider le protocole qui sera mis en œuvre.

- Vient ensuite la phase des expérimentations et des manipulations coopératives...

- Les résultats des expériences sont mis en comparaison des observations initiales, ils sont interprétés et argumentés. La mise en commun et le débat sont aussi garants d'une bonne compréhension par le groupe.

Si les résultats concordent avec l'hypothèse de départ, alors il est possible de valoriser les découvertes.

Si les résultats ne permettent pas de répondre à la question initiale, il faut alors formuler de nouvelles hypothèses qui seront à expérimenter à travers une nouvelle phase expérimentale.

Dans le cadre d'un projet en éducation au développement durable, il est intéressant de faire le lien entre l'expérience et ses résultats avec la vie quotidienne, pour ancrer les acquis.

Démarche expérimentale et pédagogie de projet

Il y a une grande similitude entre la démarche expérimentale et la pédagogie de projet si chère à l'éducation au développement durable.

Ce sont des méthodes de pédagogie active, qui placent l'apprenant en situation de se questionner au sujet d'un phénomène, d'une observation ou d'un projet à faire aboutir. Ensuite, dans les deux démarches, l'apprenant doit réfléchir à la façon dont il va pouvoir démontrer le phénomène en formulant une hypothèse et en définissant un protocole (dans le cas de la démarche expérimentale) ou en proposant un projet à mener (en pédagogie de projet). C'est ensuite l'apprenant qui fait, qui agit, qui mène le projet ou l'expérience, jusqu'aux résultats finaux. Ce faisant, l'apprenant est acteur du projet à mener et devient ainsi acteur des connaissances qu'il construit lui-même.

Démarche expérimentale	Pédagogie de projet
Problème posé (sous la forme d'une question, d'un problème à résoudre, d'un défi à relever...	Recueil des représentations
Observations, manipulations pour formuler les idées et les confronter	Mise en contact avec le thème
	Questionnements pour définir un enjeu à explorer, un projet
Formulation des hypothèses explicatives	- Mise en œuvre du projet (recherche documentaire ; expérimentations ; mise en place d'actions...)
Invention des expériences qui peuvent permettre de vérifier les hypothèses	

Réalisation des expériences	- Transmettre, valoriser le travail auprès des autres - Évaluer et analyser la production et le travail de groupe - Envisager des suites à donner au projet
Résultats	
Analyse des résultats qui soit valident l'hypothèse, soit l'invalident (dans ce cas, il faut formuler une nouvelle hypothèse qui sera à vérifier par la réalisation de nouvelles expériences...)	

FICHE THÉMATIQUE

Les déchets, d'Eugène Poubelle à nos jours

Une petite histoire de la récupération des déchets à leur prévention

La poubelle : une invention toute bête, mais qui doit finalement davantage être considérée comme l'invention d'un concept, le déchet, et d'une nécessité, celle de s'occuper de l'évacuation, de l'enlèvement et du devenir de ces déchets !

Le préfet Eugène Poubelle, un inventeur lui aussi !

Eugène Poubelle est né le 15 avril 1831 à Caen, et est mort le 16 juillet 1907 à Paris. Issu d'une famille bourgeoise caennaise, il fait des études de droit et obtient un doctorat. Il est d'abord chargé de cours à l'université de Caen, puis de Grenoble et enfin de Toulouse, avant d'être nommé préfet de la Charente en avril 1871. Il poursuit alors cette carrière préfectorale, qui le conduit à devenir préfet de l'Isère, de Corse, du Doubs, des Bouches-du-Rhône, puis de la Seine, de 1883 à 1896.

En tant que préfet de la Seine, il est en charge des affaires courantes. C'est dans ce cadre qu'il prend un arrêté, le 7 mars 1884, qui oblige les propriétaires d'immeubles à mettre à disposition de leurs locataires des récipients destinés à collecter leurs déchets ménagers.

L'objectif de cet arrêté est d'améliorer l'hygiène dans la capitale. La mise en place de ces bacs de collecte nécessitera l'instauration d'un ramassage régulier des déchets dans la ville. Les Parisiens prennent alors l'habitude de désigner du nom du préfet ce réceptacle à ordures, devenue **la poubelle**.

Cet arrêté du 7 mars 1884 n'a pas été respecté immédiatement puisqu'il a notamment suscité l'hostilité : des propriétaires d'immeubles, qui y voyaient là de nouvelles charges, des concierges, qui y trouvaient de nouvelles tâches à accomplir, et des chiffonniers, qui y voyaient un risque de perdre leur gagne-pain. L'essentiel des décisions du préfet ont malgré tout été appliquées à Paris, puis se sont étendues en province. Il a cependant fallu attendre la fin de la seconde guerre mondiale pour que les poubelles deviennent d'usage courant.

Eugène Poubelle est aussi à l'origine de la mise en place du tout-à-l'égout. C'est à la suite de la dernière résurgence du choléra, en 1892, il fait passer un arrêté imposant aux propriétaires de raccorder leurs immeubles au réseau d'égout.

Une petite histoire du déchet...

L'histoire de l'Homme est indissociable de celle de ses déchets.

La première étape de l'histoire des déchets commence à la préhistoire et englobe le Moyen Âge, période durant laquelle l'élimination des ordures était confiée à la nature. Les hommes préhistoriques abandonnaient leurs détritiques dans leurs grottes d'habitation, à même le sol, et devaient changer d'abris quand ils se trouvaient envahis. Avec la sédentarisation, les hommes ont confiés à la nature le soin d'éliminer leurs ordures, en pratiquant l'enfouissement à proximité de lieux d'habitation, le compostage et le brûlage, ou en donnant les restes à leurs animaux.

En se développant, les villes ont éloigné l'Homme de la nature et ont rompu le cycle naturel d'élimination des déchets. L'habitude a été prise, pendant près de 1 000 ans, d'abandonner les ordures directement sur la voie publique : les citoyens se sont alors accommodés d'une cohabitation avec ces détritiques, envahissant l'espace.

Ce n'est finalement que tardivement que les déchets sont devenus un problème, tant par le passé tout était réutilisé et réinjecté précieusement dans les circuits de production, y compris dans les villes. Après la révolution, dans un contexte d'expansion industrielle et de croissance urbaine, dans les villes, rien ne se perd, rien ne se jette, tout est bon à être récupéré. Les cités génèrent en effet des matières premières diverses, utiles pour l'industrie mais aussi pour l'agriculture, sous la forme d'engrais pour les champs.

Ce sont principalement les chiffonniers qui se chargent du ramassage de ces matières premières urbaines. Ils collectent plus particulièrement les chiffons, qui sont utilisés pour la production de papier, les os, utilisés pour des activités diverses (construction, la boutonnerie, la tableterie...), les lainages (dont les fibres sont détricotées pour être réutilisées dans la fabrication des étoffes de luxe).

Les industries papetières et sucrières notamment trouvent dans les villes les ressources qui leur sont nécessaires.

Les chiffons sont alors à la base de la fabrication du papier, et le resteront jusqu'au milieu du XIX^e siècle. C'est à partir du tout début du XX^e siècle que l'industrie du papier, basée sur l'exploitation du bois, se développe de façon considérable, permettant ainsi de faire face à la demande grandissante de papier que génère l'engouement pour les livres, les journaux... mais mettant en péril l'activité des chiffonniers.

Les os, quant à eux, servaient à de nombreuses activités, mais c'est surtout pour la fabrication de charbon animal, utilisé par l'industrie sucrière de la betterave, qu'ils seront collectés massivement. Déjà, la ville est pourvoyeuse d'une grande quantité d'os, puisque c'est surtout en ville qu'on a les moyens de manger de la viande. Ce charbon d'os sera ensuite remplacé par un système de filtration mécanique.

Au début du XX^e siècle, le besoin de produire plus incite les industries à trouver des matières premières moins chères et plus facilement accessibles hors des villes. L'agriculture trouve aussi d'autres ressources plus facilement accessibles pour fertiliser les champs, la croissance des villes rendant l'acheminement des engrais urbains plus compliqué.

Dès lors, les matières produites par les villes ne sont plus des matières réutilisables, mais se transforment en matières qu'il faut évacuer. Le courant hygiéniste, qui découle de la découverte des microbes par Pasteur, contribue aussi à la naissance d'une problématique des déchets.

En 1884, le préfet Poubelle invente la poubelle : il s'agit d'un bac dans lequel on dépose ses ordures pour qu'elles soient évacuées hors des villes.

À cette période se développent aussi les emballages, toujours dans un but hygiéniste. Les sacs d'emballages se font alors plus attrayants.

L'invention de la poubelle amorce une nouvelle phase dans l'histoire des déchets : les autorités publiques prennent en charge le ramassage et l'enlèvement des déchets domestiques, reconnaissant par là que leur gestion ne peut plus dépendre simplement des particuliers.

Pendant toute cette période, les ordures ménagères seront incinérées et/ou enfouies dans des décharges, sans précaution environnementale particulière.

Dans le même temps, le cycle production/consommation/rejet s'accélère, notamment pour les emballages, et le volume des déchets rejetés ne cesse de croître (par exemple, un Parisien rejette 700 g de déchets en 1872 ; 700 g en 1922 ; 1,6 kg en 1994...).

Les pratiques de consommation évoluent rapidement, basculant vers une société de production et de consommation de masse où les objets utilisés quelques temps sont rapidement délaissés, même s'ils sont parfois encore en état de fonctionner.

Tout en continuant à consommer, l'Homme prend conscience que ce modèle est néfaste à la planète. Près d'un siècle après l'invention de la poubelle par Eugène Poubelle, une nouvelle étape commence, avec la question du devenir des déchets et du constat qu'il est possible de leur offrir une deuxième vie.

On commence alors à parler de gestion des déchets. La mise en place de plusieurs procédés et filières permet d'optimiser la gestion des déchets : tri à la source, collecte sélective, déchetterie, recyclage des matériaux, compostage de la fraction organique, production de biogaz, incinération avec valorisation de la chaleur, traitement et mise en décharge des déchets ultimes...

De l'élimination et la valorisation des déchets à la culture de la prévention

Aujourd'hui, un autre défi se profile. Nous voici confrontés à deux problèmes : le gaspillage des ressources naturelles et la gestion des volumes considérables de déchets produits.

La recherche et la Science peuvent aider à optimiser le recyclage, à augmenter son efficacité. Mais c'est maintenant en matière de prévention des déchets que se concentrent les efforts des pouvoirs publics et des chercheurs, partant du principe que le déchet facile à traiter est celui qui n'a pas encore été produit ! Il s'agit plus particulièrement de comprendre comment faire en sorte que les citoyens changent leur mode de consommation, car c'est en consommant (et pour permettre de consommer) que l'on génère des déchets.

C'est donc sur le terrain de la psychologie sociale que la recherche se concentre car il y a là tout un champ d'idées à explorer : comprendre et décrypter les comportements des consommateurs, pour essayer de les influencer et faire en sorte que l'éco-consommation se développe et que les citoyens deviennent responsables.

Ainsi, le Centre de Recherche et d'Information des Organisations de Consommateurs (CRIOC) en Belgique est un centre de recherche sur la consommation, dont une partie des activités est dédiée à la mise en œuvre de modes de consommation plus soucieux du développement durable.

Catherine Rousseau y étudie plus particulièrement l'attitude du consommateur face aux déchets, à travers une approche sociologique. L'objectif du travail mené au CRIOC, à travers des études qualitatives et quantitatives, est de comprendre les dynamiques qui sous-tendent les comportements de consommation pour déterminer les leviers d'actions qui pourront favoriser des changements de comportements.

La tâche n'est pas simple, car les choix de consommation ne correspondent pas à l'application d'une même logique pour tous, mais engagent plusieurs critères et motivations. Et pour un même consommateur, les critères varient selon les secteurs de la consommation.

En 1884, le préfet Eugène Poubelle invente la poubelle. Objectif : l'évacuation des déchets.

*En 1975, la loi confie aux collectivités la responsabilité d'organiser la collecte des déchets, ainsi que leur traitement ou stockage : c'est l'ère de l'**élimination du déchet**.*

*En 1992, les collectivités doivent développer la valorisation des déchets dans l'objectif de recycler les matériaux, qui sont source de matières premières pour d'autres utilisations. Nous voici dans l'ère du **recyclage du déchet**.*

*En 2008, après un premier programme (amorcé en 2004) dédié à la prévention des déchets, le projet de loi prévoit la généralisation des plans locaux de prévention : il s'agit maintenant de limiter la consommation des ressources et la production de déchets. L'objectif est de répondre à des enjeux plus larges de gestion durable des ressources naturelles. C'est la période de l'**évitement des déchets** qui débute.*

Ressources

- Repères n° 55 : Prévention des déchets : agir collectivement, changer les comportements – Alterre Bourgogne
- Repères n° 48 : Déchets ménagers, priorité à la prévention – Alterre Bourgogne
- Exposition « Tout garder ? Tout jeter ? Et réinventer ? La place de l'objet : idolâtré, fétiche, aimé, conservé, jusqu'à l'objet déchet dont on se débarrasse sans aucun état d'âme !
- Film « Où sont les déchets ? » de Laurent Gervereau.
- Visite du centre de tri du Grand Dijon : 03 80 76 49 90 – contacter Patricia.

FICHE THÉMATIQUE

La biodiversité, de Buffon à nos jours

Des sciences naturelles à l'économie de la biodiversité

Buffon, l'inventeur des sciences naturelles avec l'ouvrage « *L'Histoire naturelle* »

« En mathématiques, on suppose, en Science, on pose et on établit ; là ce sont des définitions, ici ce sont des faits. On va de définitions en définitions en mathématiques, on marche d'observations en observations dans les sciences réelles ; dans les premières on arrive à l'évidence, dans les dernières à la certitude ». Buffon.

Buffon fut un mathématicien, un biologiste, un cosmologiste et un écrivain, mais c'est surtout pour son apport dans le domaine des sciences naturelles et ses théories naturalistes, qui ont influencé deux générations de naturalistes, parmi lesquels Lamarck et Darwin, qu'il a marqué l'Histoire.

Des racines en Bourgogne...

Georges-Louis Leclerc est né le 7 septembre 1707, à Montbard. En 1717, sa famille acquiert les terres de Buffon, un village proche de Montbard, puis plusieurs titres qui permettent à la famille Leclerc d'entrer dans la noblesse de robe.

Georges-Louis commence ses études chez les Jésuites à Dijon, où il se passionne pour les mathématiques et prend goût pour les sciences, plus généralement. Il poursuit sans grand enthousiasme des études de droit à la faculté de Dijon, mais par la suite et malgré la désapprobation de sa famille, il choisit de s'orienter vers les sciences. Ainsi, son diplôme de droit obtenu, le voilà qui quitte la Bourgogne pour voyager. Son périple le mènera à Angers, Bordeaux, puis à l'étranger en Italie, en Angleterre, avant de le voir revenir en France, à Paris. En 1732, il devient propriétaire des terres de Buffon et décide de changer de nom au profit de Buffon.

Une ambition qui le conduit à l'Académie des Sciences...

En 1733, Buffon intègre l'Académie des Sciences de Paris grâce à ses travaux menés dans le domaine des mathématiques, plus particulièrement dans celui des probabilités géométriques. C'est aussi à ce moment que son intérêt se porte vers la nature, qui deviendra rapidement son principal sujet d'études.

Buffon s'intéresse d'abord aux arbres, des semis à l'abattage. À Montbard, où il mène ses travaux, il sème, il observe, il note... et se passionne pour l'étude des relations entre les différentes variétés d'arbres, le rôle des taillis dans la croissance des végétaux, le rôle des oiseaux ou des rongeurs dans la dissémination des graines... Il est un des premiers à considérer la forêt non pas comme une collection d'arbres mais comme une entité propre, c'est à dire un espace où les individus entretiennent des relations particulières et réagissent les uns avec les autres, bref ce que nous nommons maintenant un écosystème.

En traduisant un ouvrage anglais (de Stephen Hales) consacré à la statique des végétaux et à l'analyse de l'air, Buffon prend conscience de l'intérêt de mener des expériences. Il prendra d'ailleurs publiquement parti pour l'observation et l'expérience comme fondement obligé de la méthode scientifique, allant ainsi à l'encontre de la théorie de Descartes, qui privilégie le raisonnement comme source du savoir.

En 1739, Buffon demande à être transféré à la section botanique de l'Académie des Sciences.

...Puis au Jardin du Roi...

Poursuivant son ascension, le 26 juillet 1739, Buffon est nommé intendant du Jardin du Roi, l'actuel Jardin des plantes, et du Cabinet d'Histoire Naturelle du Roi (qui deviendra, après la révolution, Muséum National). Il accède alors à la tête d'un des plus prestigieux établissements scientifiques que compte la France.

Le Cabinet du Roi est un immense cabinet de curiosité, très en vogue à cette époque, qui abrite toute sorte de collections, qui s'enrichissent des découvertes de territoires inconnus. L'établissement est aussi un lieu de découverte ouvert au public deux jours par semaine.

Sous le règne de Buffon, ces deux établissements deviendront de hauts lieux scientifiques de l'Europe. Celui-ci saura en effet s'entourer des grands scientifiques de l'époque, comme Daubenton, Antoine-Laurent de Jussieu, puis Lamarck.

...Et enfin à « *l'Histoire naturelle* »

Quand le ministre de la marine lui commande un ouvrage pour décrire les collections du Cabinet du Roi, Buffon voit là l'occasion d'écrire un ouvrage décrivant la nature toute entière, qui permettrait d'expliquer la naissance de notre Terre et de faire connaître la vie qui s'y est développée. Ainsi naît l'idée de *l'Histoire naturelle*, la fabuleuse œuvre qui occupera la vie de Buffon.

Les trois premiers volumes de *l'Histoire naturelle* paraissent à l'automne 1749 et constituent une préface à l'inventaire de la nature qui suivra. On y trouve un exposé méthodologique sur la façon d'étudier la nature, une histoire générale des animaux et enfin une importante description anthropologique qui traite de l'espèce humaine. Pour ce texte, Buffon est considéré comme le père de l'anthropologie moderne, car il y décrit l'Homme comme représentant d'une espèce.

Dans ses trois premiers tomes, le naturaliste donne aussi une description d'une nature autonome et indépendante de l'existence de Dieu, idées qui vont à l'encontre de la genèse et très controversées à l'époque.

Pour l'écriture des volumes suivants, dans lesquels il décrit les espèces animales, Buffon aménage une véritable ménagerie dans son château de Montbard, qui lui permettra d'observer à volonté avant de décrire. Les douze tomes consacrés aux quadrupèdes seront publiés de 1753 à 1767. Il s'agit d'un texte décrivant les espèces, complété par une description anatomique, et abondamment illustré de nombreuses planches. Buffon y décrit aussi toutes les données concernant l'habitat, les mœurs, la croissance, la reproduction et la fécondité de ces espèces.

L'œuvre complète comportera au final 36 volumes, publiés de 1749 à 1789. L'auteur y expose des idées qui seront ensuite reprises, comme par exemple la corrélation des organes et l'idée que tous

les mammifères ont une part de leur structure anatomique commune. S'opposant à toute forme de classification d'espèces, Buffon avance l'importance de la notion d'espèce, qu'il caractérise par la possibilité de se reproduire et de donner des descendants féconds.

L'ouvrage pose aussi des questions : Comment sont apparus les premiers êtres vivants ? Que signifient les variations observées chez l'Homme ou l'animal ? Comment s'est formée la chaîne des êtres vivants ? Opposé à toute théorie transformiste, Buffon ne donne pas souvent les bonnes réponses, mais il pose toujours les bonnes questions.

À travers son Histoire naturelle, Buffon souhaitait toucher le grand public et c'est chose réussie : l'ouvrage sera le best-seller du XVIII^e siècle, devant l'Encyclopédie de Diderot. Et malgré les inexactitudes qu'elle comporte, l'Histoire Naturelle est, dans le paysage de l'époque, un ouvrage important pour la Science comme pour la philosophie.

Buffon poursuivra aussi une autre ambition : celle de l'extension du Jardin des plantes, extension qu'il entamera en 1771 et poursuivra jusqu'à la fin de sa vie, lui donnant sa physionomie actuelle.

Buffon a également été élu en 1752 à l'Académie. À l'occasion de son intronisation, il écrira son « discours sur le style », qui par la suite fera de ses écrits un modèle de style.

Buffon s'est éteint le 15 avril 1788.

À travers son œuvre, Buffon a propagé en France le goût pour l'étude de la nature et peut être considéré à ce titre comme un des premiers vulgarisateurs scientifiques.

Des sciences naturelles à l'économie de la biodiversité, en passant par la protection et la gestion de la nature...

À la suite de Buffon, les sciences naturelles se développent. Elles proposent une description du vivant de plus en plus précise et fournissent également une meilleure compréhension des mécanismes de la vie. Darwin révolutionnera les sciences naturelles et posera les fondements de l'écologie en élaborant la Théorie de l'Évolution basée sur la sélection naturelle, dans laquelle les contraintes environnementales (climats, relations entre milieux et espèces, relations entre espèces...) jouent un rôle prépondérant.

Les sciences naturelles se diversifient et se spécialisent selon l'échelle à laquelle elles étudient les êtres vivants : la biologie, la physiologie, la génétique et, plus tard, la biologie cellulaire, la biologie moléculaire...

Parmi toutes les disciplines héritées des sciences naturelles, c'est sans doute l'écologie, qui naît au cours du XIX^e siècle, qui se rapproche le plus des études naturalistes telles que les menait Buffon, pour « *l'Histoire naturelle* ». L'écologie, qui reste finalement une approche naturaliste du monde vivant, est aujourd'hui une science à part entière, ayant sa propre logique, son unité conceptuelle et ses propres démarches méthodologiques. L'écologie couvre un champ large allant de la physiologie à la biogéographie, et a pour objet d'étudier le monde vivant à ses différents degrés d'organisation, de l'individu à la biosphère, en passant par les populations, les peuplements, les biocénoses et les écosystèmes, voire à l'ensemble des écosystèmes que constituent les paysages.

Le concept de biodiversité...

Le terme biodiversité (contraction de diversité biologique) apparaît officiellement en 1985 et est repris en 1992, au Sommet de la Terre à Rio, au moment où l'on prend conscience du déclin alarmant du nombre d'espèces vivantes (animales et végétales). C'est lors de cet événement qu'est signée la convention-cadre sur la diversité biologique.

Depuis, l'écologie continue à décrire et à comprendre le vivant (avant qu'il ne soit trop tard). En outre, elle s'est élargie à la discipline du génie écologique qui consiste à mettre en œuvre des actions pour la conservation et la préservation de la biodiversité.

C'est à partir du milieu du XX^e siècle que les décideurs publics, sensibilisés par les scientifiques et les naturalistes, ont commencé à mettre en œuvre des mesures conservatoires (parfois fortes), comme la création de réserves naturelles, de parcs nationaux, de réserves de biosphère... qui concernent des portions d'espaces naturels remarquables ou certaines espèces patrimoniales, et qui excluent les activités humaines.

Ensuite, des milieux plus « ordinaires » ont été pris en compte, notamment à travers la mise en place de mesures de gestion, dont le but est de protéger la nature tout en maintenant les activités humaines (mesures agro-environnementales, Natura 2000...).

Ces mesures restent malgré tout peu efficaces et l'érosion de la biodiversité se poursuit. Au-delà de notre volonté de dominer la nature, ces échecs sont liés au fait que la biodiversité étant considérée comme un bien non rare, renouvelable et disponible en quantité illimitée par les économistes, et bien qu'ayant une valeur, elle ne peut pas avoir de prix.

De plus, les individus agissent comme si elle n'avait réellement aucune valeur, et donc ne méritait pas de protection.

Donc, la biodiversité étant perçue comme un bien gratuit, les sociétés humaines utilisent les biens et services qu'elle rend, sans discernement, au point de la dégrader et de la mettre en danger.

L'évaluation économique de la biodiversité...

Depuis les années 1980-1990, plusieurs études associant économistes et écologues visent justement à évaluer les valeurs économiques de la biodiversité, ainsi que la valeur des biens et des services rendus à l'Homme par cette biodiversité (on parle de biens et services écosystémiques).

Évaluer la valeur économique de la biodiversité nécessite de connaître de façon satisfaisante l'état de cette biodiversité, ainsi que les scénarii de son évolution, d'identifier les différents services que peut rendre la biodiversité et de définir ensuite des méthodes qui permettent d'évaluer le mieux possible la valeur de la biodiversité et des services rendus.

Donner un prix à la biodiversité consiste donc à intégrer la valeur du vivant et des services rendus par le vivant dans notre système économique monétaire et à prendre en compte cette valeur dans les choix et décisions publiques et privés, individuels et collectifs. C'est également un argument qui doit permettre de définir les moyens financiers, les outils de fiscalité ou les éco-taxes nécessaires pour financer la protection, la restauration et la gestion de la biodiversité.

Comment s'évalue la valeur économique de la biodiversité ?

Le principe est de considérer que la dégradation de la biodiversité et des écosystèmes induit des pertes de services autrefois rendus gratuitement par la nature, qui se traduisent par des coûts économiques qui n'étaient jusqu'à maintenant pas pris en considération.

Les services rendus par la biodiversité sont particulièrement difficiles à quantifier. Les méthodes utilisées sont les mêmes que celles utilisées pour estimer la valeur d'un bien, qu'on mesure souvent sur un marché selon des critères d'utilité ou d'aménité (= contribution au bien-être et à la santé que le bien procure aux agents économiques tels que l'individu, le ménage, l'entreprise, la collectivité, le pays...).

En matière de biodiversité, on parle de :

- **valeur d'usage :**

- valeur d'usage directe : production de denrées alimentaires, de bois pour le feu, de matières premières pour les médicaments...

- valeur d'usage indirecte : elle est dérivée des fonctions écologiques comme la protection du sol contre l'érosion, le filtrage de l'eau...

- valeur d'option, qui correspond au prix accordé à la conservation d'un actif dont l'intérêt est déjà identifié en vue d'un usage futur ou au prix accordé à la conservation d'un actif dont l'intérêt n'est pas encore démontré pour un usage potentiel futur...

- **valeur de non-usage :**

- valeur d'existence : c'est la valeur de la nature elle-même ;

- valeur d'héritage, liée au fait de léguer une nature préservée aux générations futures, par exemple...

Pour les années 2000-2010, la perte directe induite par la perte des services écosystémiques a été estimée à 50 milliards d'euros par an.

Cette approche économiste permet de rendre concrète et surtout quantifiable la valeur du vivant, avec l'espoir, que, puisque la valeur marchande est bien réelle, elle rende la préservation de la biodiversité plus évidente et qu'elle soit ainsi partagée entre tous.

Mais elle renvoie aussi à des questions d'ordre éthique : la protection de la nature et du vivant doit-elle se justifier par des raisons utilitaires ou économiques ?

Ressources

- **Repères n°49** « La biodiversité : un capital pour nos territoires » - décembre 2008, Alterre Bourgogne

- Biodiversité, l'avenir du vivant - février 2010, Patrick Blandin, Éditions Albin Michel

- Le guide illustré de l'écologie - septembre 1996, Bernard Fischesser et Marie-France Dupuis-Tate, Éditions de la Martinière

- Biodiversiterre - mai 2007, Gilles Macagno, Ellipses édition

- Guide pédagogique « La Biodiversité » - 2007, Alterre Bourgogne (téléchargeable sur www.alterre-bourgogne.fr/ les publications / guides pédagogiques / la biodiversité)

FICHE THÉMATIQUE

L'énergie, de Marie Curie à nos jours

De la découverte de la radioactivité

à la nécessité de développer les énergies renouvelables

Marie Curie, une femme dans un monde d'hommes de sciences...

Maria Salomea Skolodowka est née le 7 novembre 1867 à Varsovie en Pologne, d'un père professeur de mathématiques et de physique et d'une mère institutrice. Après le décès de sa sœur et de sa mère en 1876, elle se consacre à ses études, dans lesquelles elle excelle dans toutes les matières, obtenant son diplôme de fin d'études avec la médaille d'or.

Dans la Pologne sous domination russe, l'accès à l'université étant interdit aux femmes, Marie Curie joint l'Université volante illégale pour pouvoir poursuivre ses études. Elle part pour Paris en 1891, pour rejoindre la faculté des Sciences et y suivre des études de physique et de mathématiques. Elle obtient sa licence ès sciences en mathématiques, en terminant seconde de sa promotion.

Elle rejoint alors le laboratoire de recherches physiques de Gabriel Lippmann. C'est là qu'elle fait la connaissance de Pierre Curie en 1894, qu'elle épousera à Sceaux en juillet 1895. En 1896, elle est reçue première à l'agrégation de physique. Elle donne naissance à sa première fille le 12 septembre 1897.

En 1896, Henry Becquerel découvre les étranges propriétés d'un matériau naturel, un sel d'uranium qui émet spontanément un rayonnement invisible et pénétrant, capable d'imprimer une plaque photographique, même après avoir traversé un épais papier noir. Il découvre aussi que ses rayonnements émis peuvent être absorbés par certains éléments lourds et qu'ils ne décroissent pas dans le temps.

C'est en décembre 1897 que Marie CURIE commence une thèse sur l'étude des rayonnements produits par l'uranium, découverts un an auparavant par Becquerel, à l'École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris. Pierre Curie la rejoint alors dans ses études. Pour mener à bien leurs travaux, ils doivent installer un laboratoire de fortune dans un hangar et l'atelier de l'école.

Marie Curie mesure notamment la quantité d'électricité produite par les rayons uraniques ; elle étudie ensuite divers métaux, sels ou oxydes, pour voir s'ils produisent également des rayonnements. Ces études conduiront Marie et Pierre à la découverte de deux nouveaux éléments : le polonium puis le radium, dont les rayonnements sont plusieurs millions de fois supérieurs à ceux produits par l'uranium.

En 1898, Marie Curie conclut que l'émission des rayonnements est une propriété de l'atome lui-même et non d'un composé chimique. Elle donnera le nom de **radioactivité** à cette propriété qu'ont certains éléments lourds d'émettre un rayonnement.

Le 26 octobre 1900, Marie Curie devient professeur à l'École Normale Supérieure de jeunes filles de Sèvres. Elle y soutient sa thèse sur les substances radioactives le 25 juin 1903.

Elle recevra avec son mari et Henri Becquerel le prix Nobel de physique pour leurs travaux sur la connaissance des radiations et devient ainsi la première femme à recevoir un prix Nobel. Sa seconde fille naîtra en décembre 1904.

En 1904, une chaire de physique générale à la faculté des Sciences de Paris est créée pour Pierre Curie, et celui-ci sera élu membre de l'Académie des Sciences en 1905, sans Marie puisque les femmes en sont exclues.

Pierre Curie meurt le 19 avril 1906, renversé par une voiture à cheval. Marie prend sa suite en tant que professeure à la Sorbonne, devenant ainsi la première femme à enseigner dans cette université. Elle sera nommée professeure titulaire en 1909, dans sa chaire de physique générale, puis de physique générale et radioactivité.

En 1911, Marie Curie reçoit un second prix Nobel, en reconnaissance des services rendus pour l'avancement de la chimie par la découverte du radium et du polonium, par l'étude de leur nature et de leurs composés.

Fin 1909, le professeur Émile Roux, alors directeur de l'Institut Pasteur, propose la création d'un Institut du radium, dédié à la recherche médicale contre le cancer et à son traitement en radiothérapie.

Pendant la guerre, Marie Curie est réquisitionnée. Elle met au point avec Antoine Bécclère, directeur du service de radiologie des armées, les petites curies, qui sont des unités chirurgicales mobiles. Ces unités permettent d'aller au plus près des blessés, dans les champs de combat : elles permettent de prendre des radiographies des blessés et de localiser plus facilement les éclats d'obus et les balles dans les corps des blessés et de faciliter les chirurgies.

En 1916, Marie Curie obtient son permis de conduire, ce qui va lui permettre de partir seule sur le front pour réaliser elle-même les radiographies.

En 1918, à la fin de la guerre, elle reprend son poste à l'Institut du radium où sa première fille Irène, âgée de 18 ans, devient son assistante.

En raison d'une trop longue exposition aux éléments radioactifs, elle est atteinte d'une leucémie. Malgré la maladie, elle continuera d'assurer la direction de la section physique et chimie de l'institut du radium. Elle décédera au sanatorium de Sancellemoz, en Haute-Savoie, le 4 juillet 1934. Les cendres de Marie Curie et de son mari Pierre Curie ont été transférées au Panthéon le 20 avril 1995.

La place des femmes dans la Science, un rôle précurseur...

Première femme à recevoir le prix Nobel, première personne à le recevoir deux fois et à s'imposer dans un monde d'hommes de sciences, Marie Curie est aujourd'hui devenue un personnage de légende.

Pourtant, de son vivant, le parcours n'a pas été facile et elle a dû se battre contre bien des préjugés dans un monde dominé par les hommes.

Son rôle dans la découverte du radium a sans cesse été mis en doute, ou réduit à celui d'expérimentatrice. C'est Pierre Curie lui-même qui doit insister pour que son épouse lui soit associée pour le Nobel de Physique en 1903. Il doit défendre le rôle prépondérant de sa femme, « qui la première a su isoler la matière précieuse ». Il refusera également une légion d'honneur qu'on lui accorde, mais à laquelle Marie Curie n'est pas associée.

En 1910, la candidature à l'Académie des Sciences de Marie CURIE, victime d'une sourde campagne antiféministe, est refusée.

En 1911, c'est la prestigieuse Harvard qui lui refuse une distinction, au motif qu'elle n'aurait plus rien fait de significatif depuis la mort de son mari.

Malgré un deuxième prix Nobel obtenu en reconnaissance de ses travaux en 1911, elle ne sera jamais admise à l'Académie des Sciences. Fort heureusement, d'autres académies à l'étranger, ainsi que l'Académie de médecine en 1922, l'accueilleront.

Irène Joliot-Curie, la première fille de Marie Curie connaîtra la même histoire mouvementée que sa mère. Elle recevra elle aussi le Nobel de Physiques avec son mari, Frédéric Joliot-Curie, en 1935, mais sera refusée par quatre fois à l'Académie des Sciences.

Il faudra attendre 1962 pour qu'une femme puisse enfin accéder à l'Académie des Sciences. Mais Marguerite Perey (1909-1975), ancienne technicienne au laboratoire de Marie Curie, découvreuse du francium en 1939, n'y sera admise que comme correspondante !

Marie Curie reste aujourd'hui encore la seule femme honorée au Panthéon pour son propre mérite.

De la découverte de la radioactivité aux énergies renouvelables, en passant par le nucléaire... que de chemin parcouru

Les travaux menés par les Curie sur la radioactivité ont ouvert la voie à l'exploration de la matière et la compréhension de l'atome, qui est la plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner avec un autre.

À la suite de leurs travaux, les chercheurs n'ont cessé que d'explorer la structure même de l'atome³. En quelques années, l'avancée des découvertes est considérable : on découvrira que l'atome est composé d'un noyau autour duquel gravitent des électrons ; puis que le noyau lui-même est composé de particules appelées nucléons (en fait des neutrons et des protons) qui sont liés entre eux par une grande force de cohésion, la liaison nucléaire.

La radioactivité correspond à un rayonnement émis par certains atomes. Ces rayonnements sont émis quand l'atome en question se transforme de façon spontanée (on parle de transmutation) en un autre atome. Il existe dans la nature certains éléments naturellement radioactifs, comme l'uranium, le thorium, le radium, le carbone 14, le potassium 40. Ce sont des éléments formés lors de la création de la Terre, mais qui n'ont pas encore atteint une forme stable, comme les autres éléments.

³ Un **atome** (grec ancien ἄτομος [atomos], « indivisible ») est la plus petite partie d'un **corps simple** pouvant se combiner **chimiquement** avec une autre. Un atome est constitué d'un **noyau** concentrant plus de 99,9 % de sa masse, autour duquel se distribuent des **électrons** pour former un nuage 40 000 fois plus étendu que le noyau lui-même.

Ce dernier est constitué de **protons**, chargés positivement, et de **neutrons**, électriquement neutres ; les électrons occupent des **orbitales atomiques** en interaction avec le noyau via la **force électromagnétique**, tandis que les **nucléons** sont maintenus ensemble au sein du noyau par la **liaison nucléaire**, qui est une manifestation de l'**interaction nucléaire forte**.

En 1934, Frédéric et Irène Joliot-Curie annoncent avoir fabriqué un atome radioactif qui n'existe pas dans la nature : c'est la découverte de la radioactivité artificielle. Cette radioactivité artificielle s'obtient en bombardant le noyau d'un atome avec des protons. Se faisant, on modifie la composition du noyau de l'atome, qui se transforme en un nouvel élément. Il a émission d'un rayonnement, la radioactivité artificielle.

De la radioactivité artificielle à l'énergie nucléaire :

En 1938, la fission de l'uranium est menée à bien. Cette réaction consiste à bombarder un noyau atomique avec des particules (les neutrons) jusqu'à aboutir à la séparation du noyau en deux sous-noyaux. Cette séparation s'accompagne d'une libération d'énergie colossale (et toujours de radiations) : c'est la découverte de l'énergie nucléaire.

Cette énergie nucléaire correspond à l'énergie de cohésion des nucléons qui composent le noyau des atomes. Les réactions libérant cette énergie lors des transformations du noyau sont dites « réactions nucléaires ».

Il est possible de produire cette réaction « en chaîne » : la séparation en deux d'un noyau peut libérer des neutrons qui vont eux-mêmes percuter d'autres noyaux, qui vont se scinder en deux en libérant à leur tour des neutrons, etc.

Il est possible de contrôler ces réactions en chaînes en laboratoire : c'est ce qui se produit dans le cœur des réacteurs des centrales nucléaires. Dans les centrales, l'énergie est récupérée sous forme de chaleur afin de produire de l'électricité.

Une des premières utilisations du savoir « nucléaire » prendra la forme d'une arme : ce sont les deux bombes atomiques qui ont été larguées sur Hiroshima et Nagasaki en 1945.

Après la guerre, la recherche sur le nucléaire se concentre aussi sur la production d'électricité. La première centrale est construite en 1951, aux États-Unis ; en 1954, une autre émerge en Russie. La France se dote de sa première centrale, celle de Marcoule, en 1956. Aujourd'hui, la France dispose de 59 réacteurs nucléaires pour la production d'électricité. La part de la production d'électricité nucléaire sur la production totale d'électricité est de l'ordre de 78 % pour la France. Elle est de 14 % au niveau mondial.

Du nucléaire aux énergies renouvelables :

Le nucléaire occupe une part toujours majoritaire dans la production d'électricité française et reste une voie énergétique privilégiée pour l'avenir, occupant de nombreux chercheurs et mobilisant des moyens financiers toujours plus conséquents. Le programme ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor ou réacteur thermonucléaire expérimental international), par exemple, vise à explorer la voie de la fusion nucléaire comme nouvelle source d'énergie. Le prototype ITER est en cours de construction en France, à Cadarache, et est destiné à vérifier la « faisabilité scientifique et technique de la fusion nucléaire », avec, en perspective, la production d'énergie pour l'avenir.

Mais le nucléaire est aussi une voie énergétique très controversée.

Tout d'abord les coûts économiques de la construction des centrales nucléaires sont importants et ne cessent de croître. Le coût du démantèlement des centrales en fin d'activité n'a jamais été estimé et reste à ce jour une grande inconnue, sans compter la question du devenir des sols sur lesquels ont été implantées ces centrales.

On oppose souvent énergies fossiles et énergie nucléaire, comme si cette dernière était la promesse d'une source inépuisable. Or les ressources en combustibles sont limitées, et le stock disponible se

situe dans des ordres de grandeur de celle des ressources pétrolières et gazières (soit environ 60 ans de consommation).

À cela s'ajoute une opinion publique de plus en plus inquiète des risques d'accidents nucléaires, comme par exemple celui de Tchernobyl, dont les conséquences sanitaires et environnementales ont été (et sont encore) lourdes.

Le problème du devenir des déchets radioactifs qui restent dangereux plusieurs centaines d'années est crucial. Impossibles à traiter et à inactiver, ils sont pour le moment enfouis et sont source de risques pour les générations actuelles comme pour les générations futures.

Ce constat rend plus que jamais nécessaire la maîtrise de l'énergie et le développement de la recherche en direction des énergies renouvelables.

Le solaire, une piste lumineuse pour l'avenir :

Produire et utiliser l'énergie considérable du Soleil, une idée simple ! Plusieurs façons de procéder ont été développées.

Le **solaire passif** consiste à profiter au mieux de l'énergie solaire abondante et non polluante à travers notamment la conception des bâtiments et la mise en œuvre de matériaux de construction appropriés. Éco-construction et architecture bioclimatique permettent d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage, le chauffage des locaux ou encore la climatisation des habitations.

À l'inverse, le **solaire actif** consiste, à travers différents équipements et technologies, à produire de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité.

Il est ainsi possible d'utiliser le soleil pour chauffer de l'eau en captant la chaleur émise par la lumière solaire grâce à un corps noir. Ce principe est utilisé dans les **panneaux solaires thermiques** qui permettent de produire de l'eau chaude sanitaire mais également de répondre aux besoins de chauffage (systèmes combinés).

Le soleil permet également de produire de l'électricité, selon 2 technologies différentes :

- Le **solaire thermodynamique** consiste à concentrer le rayonnement solaire en un point précis à l'aide de très grands systèmes de miroir pour produire de la vapeur d'eau, qui va entraîner des alternateurs et produire de l'électricité.

- Le **solaire photovoltaïque** utilise des cellules photovoltaïques (contenant du silicium) capables de produire de l'électricité à l'aide des photons émis par le rayonnement solaire.

Un grand pan de la recherche porte sur la production d'électricité par le Soleil, dont la part pourrait atteindre 20,5 % de la production mondiale d'ici 2050. Par contre, entre solaire thermodynamique et solaire photovoltaïque, difficile de dire quelle sera la technologie qui s'imposera à l'avenir. Aujourd'hui, 95 % du parc mondial est photovoltaïque, mais certaines estimations prédisent que les deux technologies auront des contributions équivalentes en 2050.

Les pistes d'innovation portent sur l'amélioration des performances et des coûts de ces technologies. En matière de solaire photovoltaïque, par exemple, les rendements actuels sont de 12 à 21 % pour les modules à base de plaquettes de silicium cristallin (qui représentent 85 % de la production photovoltaïque mondiale actuellement) ; contre 5 à 11 % pour des modules plus économiques, qui, elles, utilisent des couches minces de silicium. Si l'on privilégie l'installation de modules intégrés au bâti, alors le rendement surfacique est un paramètre majeur dans le choix de la technologie. Par contre, dans le cas du développement de centrales au sol dans lesquelles plusieurs milliers de modules peuvent être installés sur près de 300 ha, l'aspect économique rentre aussi en ligne de compte.

En matière de solaire thermodynamique, tout l'enjeu réside dans la capacité à adapter la production électrique à la demande, voire à produire en continu, difficulté liée à la discontinuité des périodes d'ensoleillement. Pour cela, les recherches se concentrent sur le développement de solutions qui permettraient de stocker la chaleur produite, pour ensuite pouvoir ajuster la production d'électricité.

Près de 250 chercheurs du CNRS et du CEA sont regroupés au sein de l'Institut National de l'Énergie Solaire, à proximité de Chambéry, pour développer ces différentes technologies.

Ressources

- **Repères n°52** « l'empreinte climatique de la Bourgogne » - octobre 2009, Alterre Bourgogne
- **Repères n°47** « la qualité environnementale des bâtiments » - juin 2008, Alterre Bourgogne
- La Recherche – Cahier spécial « Inventons notre futur » - juillet/août 2010, la Recherche
- Guide pédagogique « le changement climatique » - 2008, Alterre Bourgogne (téléchargeable sur www.alterre-bourgogne.fr/ les publications / guides pédagogiques / le changement climatique)
- Guide pédagogique « l'énergie » - 2005, Alterre Bourgogne (téléchargeable sur www.alterre-bourgogne.fr/ les publications / guides pédagogiques / l'énergie)