

ENSEIGNEMENT DE L'ENERGIE

UNE RECHERCHE PLURIDISCIPLINAIRE DE L'INRP

Eliane Darot

Cette recherche demandée à l'INRP par différents organismes oeuvrant dans le domaine énergétique s'est surtout axée sur une approche pluridisciplinaire cohérente du "savoir-énergie". Elle a donné lieu à la réalisation, dans plusieurs collèges et lycées, de progressions pluridisciplinaires importantes par leur durée et l'intérêt suscité auprès des élèves. Elle a conduit ses concepteurs à élaborer des dossiers pédagogiques qui devraient aider les enseignants désireux de s'engager dans un travail pluridisciplinaire à propos de l'énergie.

Cet article n'a pour but que de faire connaître l'organisation et les points forts de cette recherche. Pour compléter cette information, le lecteur intéressé pourra se référer au **Rapport de recherche "Enseignement de l'énergie"** (1985 n°7) rédigé par François Audigier et au numéro de **Rencontres Pédagogiques "Energie, un enseignement pluridisciplinaire"** (1985 n°4) mis au point par François Audigier et Pierre Fillon. Certains passages de ces ouvrages ont été repris textuellement mais pour ne pas compliquer la présentation de l'article j'ai préféré ne pas les mettre entre guillemets et les incorporer à ma propre rédaction.

1. ORIGINES ET FINALITES DE LA RECHERCHE

Durant trois années scolaires, de septembre 1981 à juin 1984, plus de cinquante professeurs enseignant dans douze collèges et lycées ont élaboré et expérimenté un enseignement pluridisciplinaire de l'énergie.

une demande de
recherche venant de
l'extérieur du système
éducatif

Cette expérimentation a été mise en place à la demande de neuf organismes ou entreprises oeuvrant dans le domaine énergétique et réunis sous l'égide du Ministère de l'Industrie, aujourd'hui Ministère du Commerce Extérieur et du Redéploiement Industriel : Ministère, Agence pour les Economies d'Energie et Comité pour l'Energie Solaire, regroupés depuis dans l'AFME, Charbonnages de France, Commissariat à l'Energie Atomique, Compagnie Française des Pétroles, Electricité de France, Elf-Aquitaine, Gaz

de France. Cette demande s'est traduite sur le plan institutionnel et financier par des contrats d'étude signés entre l'INRP et sept d'entre eux : Ministère, A.E.E., COMES, C.E.A., E.D.F., ELF, G.D.F. - l'INRP apportant pour sa part une importante contribution en heures de recherche et demi-postes d'enseignants.

Deux finalités essentielles ont orienté la conduite des travaux :

- faire comprendre aux jeunes d'aujourd'hui, futurs citoyens (certains l'étant déjà), les problèmes énergétiques de notre temps ;
- ouvrir l'école sur la vie économique et sociale, sur le monde de la production et de l'industrie et sur les problèmes énergétiques de l'environnement de chacun.

imposant l'approche pluridisciplinaire

Ainsi finalisé, l'enseignement de l'énergie ne se réduit pas à celui du seul concept "énergie", dont l'apprentissage et la formalisation se réfèrent à une discipline précise, la physique. Nous avons été amenés à définir un "savoir-énergie" que nous pouvons caractériser, dans une première approche, comme l'ensemble des connaissances et méthodes nécessaires à l'homme pour utiliser et mettre en oeuvre les sources d'énergie et leurs possibilités, dans l'histoire et dans une société donnée. Ce savoir-énergie implique la collaboration de plusieurs disciplines. Aussi, tout en s'appuyant sur le savoir spécifique de chaque discipline, est-ce l'axe pluri-interdisciplinaire qui a été prioritaire.

Parallèlement aux finalités intéressant les élèves, la recherche s'est aussi proposée de transmettre à nos partenaires, commanditaires de l'opération, un certain nombre d'informations :

- sur le fonctionnement réel du système éducatif,
- sur l'expérimentation, dans des classes, d'un enseignement disciplinaire et pluridisciplinaire de l'énergie, dans la perspective d'une certaine reproductibilité,
- sur des propositions d'améliorations possibles, (organisation et contenu des programmes, réalisations de documents mieux adaptés...).

2. DISPOSITIF DE LA RECHERCHE

2.1. Organisation des actions de recherche

Mise en place en 1980-81, la recherche a vraiment commencé de fonctionner durant l'année 1981-1982.

s'appuyant sur des
expérimentation menées
avec les élèves

et des analyses
théoriques

Elle reposait sur des travaux à deux niveaux :

- expérimentations disciplinaires et pluridisciplinaires menées sur des terrains par des équipes de professeurs des trois ou quatre disciplines (Sciences Physiques, Histoire et Géographie, Sciences Naturelles, Sciences Economiques et Sociales). On peut considérer que, chaque année, au moins deux classes de chaque établissement - terrain ont reçu un enseignement relevant de ces expérimentations.
- réflexions et recherches d'une équipe de professeurs concepteurs déchargés à mi-temps, ayant pour fonction d'animer, d'orienter la recherche et aussi d'analyser les expérimentations faites sur le terrain. Les professeurs concepteurs de Sciences Physiques faisaient partie de certaines équipes de terrain, ce qui n'était pas le cas des professeurs d'Histoire et Géographie et de Sciences Naturelles.

2.2. Liste des terrains

Collège A. Camus de Dreux (28)
Collège du Centre de Gif sur Yvette (91)
Collège Ronsard de L'Haÿ les Roses (94)
Collège J. Vallès de La Ricamarie (42)
Collège C. Péguy de Paris 19^e

Lycée M. Pagnol d'Athis Mons (91)
Lycée J. Durand de Castelnaudary (11)
Lycée J. Fil de Carcassonne (11)
Lycée Rotrou de Dreux (28)
Lycée C. Debussy de St Germain en Laye (78)
Lycée d'Etat de Sèvres (92)

2.3. Répartition des concepteurs

- François Audigier, responsable INRP Professeur d'Histoire et de Géographie.
- trois professeurs de Sciences Physiques de lycée : Micheline Blumeau (Sèvres), Robert Charlot (St Germain en Laye), Joël Gougeon (Dreux).
- trois professeurs de Sciences Physiques de collège : Jean-Michel Baby (L'Haÿ les Roses), Pierre Fillon (Paris), Jean-Charles Lapostolle (Dreux).
- deux professeurs d'Histoire et de Géographie de lycée : Michel Braxmeyer (Arpajon), Chantal Houy (Créteil).
- un professeur d'Histoire et de Géographie de collège : Dominique Malegat (Créteil).
- un professeur de Sciences Naturelles de lycée : Arlette Maloisel (Vincennes).

- deux professeurs de Sciences Naturelles de collège : Eliane Darot (Marly le Roi), Andrée Granguillaume (La Celle St Cloud).

3. AXES PRINCIPAUX DES REFLEXIONS SUR LE "SAVOIR-ENERGIE"

3.1. Pour appréhender le "savoir-énergie" nous avons été amenés à suivre deux démarches complémentaires

mener d'une part, des analyses disciplinaires du savoir-énergie

. La première démarche consistait à prendre comme point de départ chacune des trois disciplines (ou groupes disciplinaires) intéressées par le concept et à analyser pour chacune :

- la problématique générale de l'enseignement de l'énergie,
- la place de l'énergie dans les programmes,
- les difficultés pédagogiques et didactiques.

... puis les confronter...

On peut remarquer d'emblée que les trois disciplines n'ont pas un rapport de même ordre avec l'énergie : les Sciences Physiques introduisent et formalisent le concept énergie qui est fondamental pour la discipline. Les Sciences Naturelles utilisent le concept pour expliquer le vivant, analyser son fonctionnement. Les Sciences de la Société, Histoire, Géographie, Sciences Economiques et Sociales se préoccupent de l'usage que les hommes et Sociétés ont fait ou font des sources d'énergie.

La confrontation des trois analyses parallèles met en évidence des convergences, des différences, voire des oppositions ou d'éventuelles contradictions, ainsi dans le vocabulaire utilisé (sens du mot rendement par exemple) et les programmes annuels d'une discipline à l'autre.

... et d'autre part une analyse pluridisciplinaire de ce même savoir

. La deuxième démarche tente de définir un contenu global et cohérent de l'enseignement de l'énergie, elle repose donc sur une réflexion pluridisciplinaire.

Cette démarche conduit beaucoup mieux que la première à envisager l'acquisition par l'élève d'une culture scientifique et technique qui s'articulerait autour des trois axes suivants :

- permettre à l'élève de comprendre le fonctionnement de la science,
- lui montrer les rapports qu'entretiennent science et technique,
- situer constamment la science et la technique dans le social.

cela conduit à dégager les préoccupations essentielles auxquelles est confronté l'enseignant...

... et à proposer un tableau d'objectifs interdisciplinaires

3.2. Les analyses et réflexions issues de ces deux démarches déterminent la définition d'orientations et d'objectifs communs

. Il ressort que l'enseignement de l'énergie est orienté par trois groupes de préoccupations essentielles

- le vocabulaire, les notions, les concepts,
- les unités, la mesure, les ordres de grandeur,
- les méthodes de chaque discipline et les méthodes interdisciplinaires, en particulier l'analyse systémique.

. l'équipe des concepteurs a été amenée à proposer le tableau suivant d'objectifs interdisciplinaires

Objectifs cognitifs

I. Connaître quelques notions relatives à l'énergie

- . Savoir identifier quelques sources ou réservoirs d'énergie
- . Connaître les conditions d'existence de diverses sources d'énergie
- . Connaître les formes d'énergie
- . Connaître les modes de transfert de l'énergie
- . Connaître des exemples de transformation d'énergie
- . Connaître les utilisations de l'énergie
- . Connaître la notion de puissance
- . Connaître les unités de puissance et d'énergie
- . Connaître quelques ordres de grandeur et pouvoir les comparer

II. Savoir analyser un système énergétique

- . Acquérir la notion de système
- . Maîtriser la notion de chaîne énergétique
- . Etre capable d'établir un bilan énergétique
- . Acquérir la notion de rendement énergétique
- . Appréhender la notion de conservation
- . Appréhender la notion de dégradation

III. Savoir analyser les rapports entre énergie et société

- . Comprendre les relations entre l'utilisation de l'énergie et l'environnement
- . Comprendre la place de l'énergie dans les sociétés
- . Comprendre les relations entre les connaissances scientifiques, la maîtrise de certaines techniques, les structures économiques, sociales et les choix politiques

Objectifs méthodologiques

- . Connaître et utiliser le raisonnement par induction
- . Connaître et utiliser le raisonnement par déduction
- . Connaître et utiliser le raisonnement par analogie
- . Faire appel à la modélisation et la simulation
- . Savoir employer la méthode expérimentale
- . Savoir employer la méthode systémique

Objectifs d'attitude

- . Savoir maîtriser de façon critique l'information concernant l'énergie
- . Définir un projet d'action concernant l'énergie
- . Etablir un plan d'action possible pour mettre en oeuvre ce projet
- . Avoir une attitude active en face d'un problème énergétique en relation avec une valeur de référence

Ce tableau d'objectif généraux est le même pour le premier et le second cycle. Il s'entend comme les objectifs de fin de chaque cycle. La différenciation en fonction des classes se fait au niveau des objectifs intermédiaires et encore plus opérationnels.

4 - ACTIVITES PEDAGOGIQUES EXPERIMENTEES SUR LES TERRAINS

4.1. Les dominantes

Si les orientations et les objectifs étaient communs à toutes les équipes, l'initiative la plus grande était laissée pour élaborer et expérimenter activités et pratiques pédagogiques dans les classes, de sorte que les résultats ont été variés.

Cependant certains points forts de niveaux différents (sujet, méthode d'étude) se sont souvent révélés et quelquefois associés dans les réalisations faites sur les terrains :

- Histoire de l'énergie

Exemples : histoire de la navigation, de l'éclairage, de l'utilisation de la vapeur.

- Politique énergétique

Ce sujet a souvent été abordé à partir de l'étude de la consommation d'énergie de l'élève ou de sa famille.

- Energie et agriculture

En particulier analyse écoénergétique à l'échelle d'une exploitation agricole.

- Energie dans l'environnement proche de l'établissement

- Visite d'un équipement énergétique (centrale, raffinerie, exploitation agricole)

- Réalisation d'une exposition sur l'énergie

Dans ce cas la documentation mise au point par les commanditaires de la recherche a été largement utilisée.

sur les terrains des sujets ont été plus souvent abordés et des méthodes d'études se sont trouvées privilégiées

4.2. Un exemple

Je présente à titre d'exemple la progression pluridisciplinaire réalisée par l'équipe du lycée Marcel Pagnol d'Athis-Mons en 1983-1984 dans une classe de 1ère S ; elle concerne un vaste thème : "Energie, agriculture, industrie agro-alimentaire". Les objectifs des enseignants reprenaient l'essentiel du tableau (p.109). Ils s'articulaient essentiellement par rapport à cinq finalités :

- études quantifiées des énergies rencontrées dans des situations concrètes.

une progression dont le point fort est l'analyse du point de vue énergétique de 2 cas concrets...

... une exploitation agricoles et une sucrerie, d'abord étudiées "en direct" au cours d'une visite...

- application des notions de système, de chaîne énergétique à l'étude de l'agrosystème local.
- utilisation des notions de rendement énergétique pour la terre (rendement en biomasse totale, en biomasse glucides), et pour l'aliment sucre.
- application aux entreprises visitées des notions de productivité du travail humain d'un agrosystème, et d'efficacité.
- étude des rapports énergie et société et notamment, réflexion sur la productivité des agrosystèmes et comparaisons (choix énergétiques, utilisations de l'énergie en agriculture, modifications de l'environnement, transformations de la chaîne agro-alimentaire)

... et qui ont fourni des données numériques pour un exercice de synthèse

L'étude du thème choisi a été menée sur plus de six mois, étant bien entendu que les disciplines n'étaient pas toutes concernées en même temps et que ces travaux sur l'énergie laissaient place dans chaque discipline à d'autres sujets pendant cette même période. D'autre part les notions de base sur l'énergie avaient été introduites au préalable pendant le cours de physique. Voici le déroulement chronologique de cette progression :

Sujets des différentes séquences et principales activités	Durée	Disciplines concernées
Besoins des plantes vertes engrais. (travaux pratiques)	3 H	S. Nat. S. Phys.
Rôle de la lumière et de la chlorophylle dans la photosynthèse (travaux pratiques et cours)	4 H	S. Nat. S. Phys.
Production de matière organique (cours et exposés d'élèves)	1 H	S. Nat. S. Phys.
Visionnement du film "Le feu de la vie"	1 H	S.Nat S.Phys Hist.Géo.
Préparation des visites d'une exploitation agricole et d'une sucrerie : élaboration d'un questionnaire à utiliser lors de la sortie	2 H	Hist.Géo. S.Nat. S.Phys. S.Eco-Soc.
Visite d'une exploitation agricole à Lieusaint, suivie de la visite de la sucrerie Béghin-Say à Moissy Cramayel : recueil de données à partir du questionnaire en vue de la réalisation d'un compte rendu d'équipe à la maison	1/2 jour- née	Hist-Géo. S.Nat. S.Phys.

Exploitation des visites (1ère phase) : débat à partir des comptes rendus, prise de conscience de la spécificité des différentes approches disciplinaires par rapport à un même objet étudié	1 H	Hist.Géo. S. Phys. S. Eco-Soc.
Visionnement du film "agriculture et management"	1 H	Hist.Géo.
Analyse guidée de documents illustrant les liens entre agriculture et énergie (travail d'équipes)	3 fois 2 H	Hist.Géo.
Les grandes productions agricoles en France, les mouvements paysans, les problèmes de l'Europe verte (cours)	3 H	Hist.Géo.
Exploitation des visites (2ème phase) : bilans énergétiques des 2 entreprises (travail d'équipe sur le document-questionnaire présenté ci-contre)	3 H	S. Nat. S. Phys. Hist.Géo.
Visite du Salon de l'Agriculture	1/2 jour- née	S. Nat. Hist.Géo. S. Phys.
Conclusion du thème et prolongement de l'exploitation des visites : à partir de l'analyse d'un document sur l'évolution de l'efficacité et de la productivité au cours des cinquante dernières années, débat sur "quels choix pour quel système agricole ?" (1)	2 H	S. Nat. S. Phys. Hist.Géo.

- (1) Ont participé à l'élaboration de cette progression :
Yvette AFCHAIN et Isabelle LAGUÈS en Sciences Physiques, Anne-Marie CUVILLIER et Jacqueline SANCHEZ en Sciences Naturelles, Katie HAZAN et Marie-Claire ROUX en Histoire et Géographie, Danièle CAREL et Monique LEVASSEUR en Sciences Economiques et Sociales.

Document-questionnaire distribué aux élèves pour la 2ème phase de l'exploitation des deux visites

Le soleil, l'intervention humaine et le sucre...

La croissance de la betterave sucrière et la fabrication du sucre nécessitent de l'énergie solaire et l'intervention humaine - les données numériques fournies lors de la visite de l'exploitation et complétées vont vous permettre de prendre conscience des chaînes énergétiques, d'évaluer quelques rendements et d'élaborer une représentation schématique de l'ensemble.

1. Données numériques

1) Energie solaire

En région parisienne, l'énergie solaire arrivant au sol par rayonnement est de 46×10^9 kJ par hectare (ha) et par an :

- . 20 % est réfléchi par le sol
- . 70 % est absorbée par le sol et de nouveau réfléchi
- . 10 % est fournie à la plante dont 9 % pour sa respiration, transpiration etc... et 1 % stockée sous forme d'énergie chimique après photosynthèse. La photosynthèse permet une production végétale chiffrable en énergie (voir plus loin...)

2) Intervention humaine

a) à l'exploitation agricole, l'énergie directe et indirecte fournie représente environ 30 % de la production végétale en énergie, soit :

- 14 % en combustibles fossiles (énergie directe)
- 10 % en engrais (qui apportent azote, phosphore et potassium)
- 3 % en pesticides, fongicides, herbicides et main d'oeuvre
- 3 % en matériels.

b) à la sucrerie, l'énergie directe ou indirecte fournie représente environ 35 % de la production végétale en énergie.

3) Biomasse récoltée et transformée

a) A Lieusaint, en 1983, l'exploitant agricole a récolté 50 t de racines de betteraves par hectare (soit 500 quintaux/ha), valeur représentant la **productivité primaire nette de la terre**. Les feuilles sont enfouies sur place comme engrais vert.

Remarque : la productivité primaire nette de la terre était de environ

39 t/ha vers 1963

27 t/ha vers 1933

b) Une tonne de betteraves contient environ :

160 kg de glucides

5 kg de lipides

15 kg de protéines

c) A la sucrerie, une tonne de betteraves fournit environ 130 kg de sucre et des "déchets" : la pulpe (aliment pour le bétail), la mélasse (aliment pour le bétail ; alcool après distillation).

4) Energie emmagasinée et extraite

a) Au cours de l'activité photosynthétique, l'énergie chimique accumulée correspond à :

15 670 kJ par kg de glucide

37 800 kJ par kg de lipide

23 500 kJ par kg de protide

b) Un adolescent de 50 kg consomme 10^4 kJ par jour pour couvrir les besoins de son organisme (travail musculaire, fonctionnement nerveux, maintien de sa température à 37° C, synthèse cellulaire ...).

II - Questions :

1) Calculez l'énergie solaire utilisable par ha et par an pour l'activité photosynthétique de la betterave sucrière.

2) Calculez l'énergie chimique emmagasinée par ha par la récolte de betteraves de 1980 à Lieusaint sous forme de glucides puis de lipides et enfin de protides.

Le total représente **la production végétale en énergie** (en négligeant les feuilles ...).

3) Calculez l'énergie nécessaire à l'exploitant agricole pour 1 ha de culture betteravière.

4) Calculez la quantité de sucre obtenue à partir de la récolte de betteraves par ha ; calculez l'énergie chimique contenue dans cet aliment.

5) Calculez l'énergie nécessaire à la sucrerie par ha de culture betteravière.

6) Combien d'adolescents alimentés exclusivement de sucre pendant un an (!) seraient nourris par un hectare de betteraves ? Quel tonnage de betteraves serait nécessaire pour chacun d'eux ?

7) Imaginez une représentation schématique de ces données qualitatives et quantitatives.

8) Calculez le rendement énergétique de la terre en 1983

a) en tenant compte de la biomasse totale

b) uniquement pour la biomasse glucide.

L'énergie fournie par l'exploitant agricole modifie-t-elle beaucoup ce rendement ?

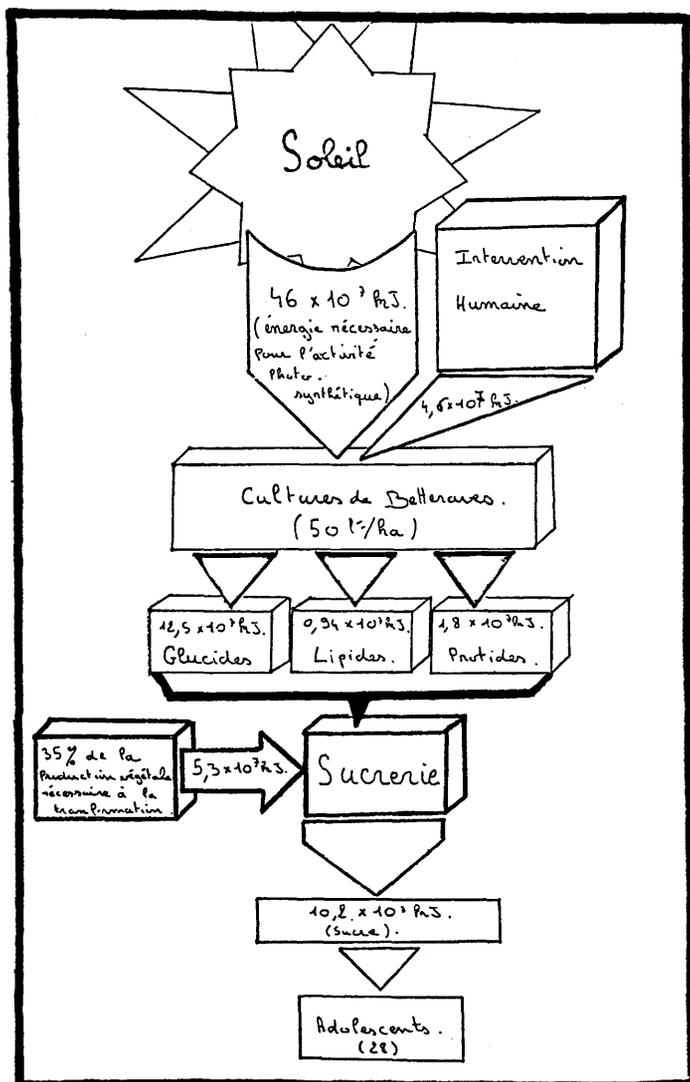
9) Calculez le rendement énergétique alimentaire :

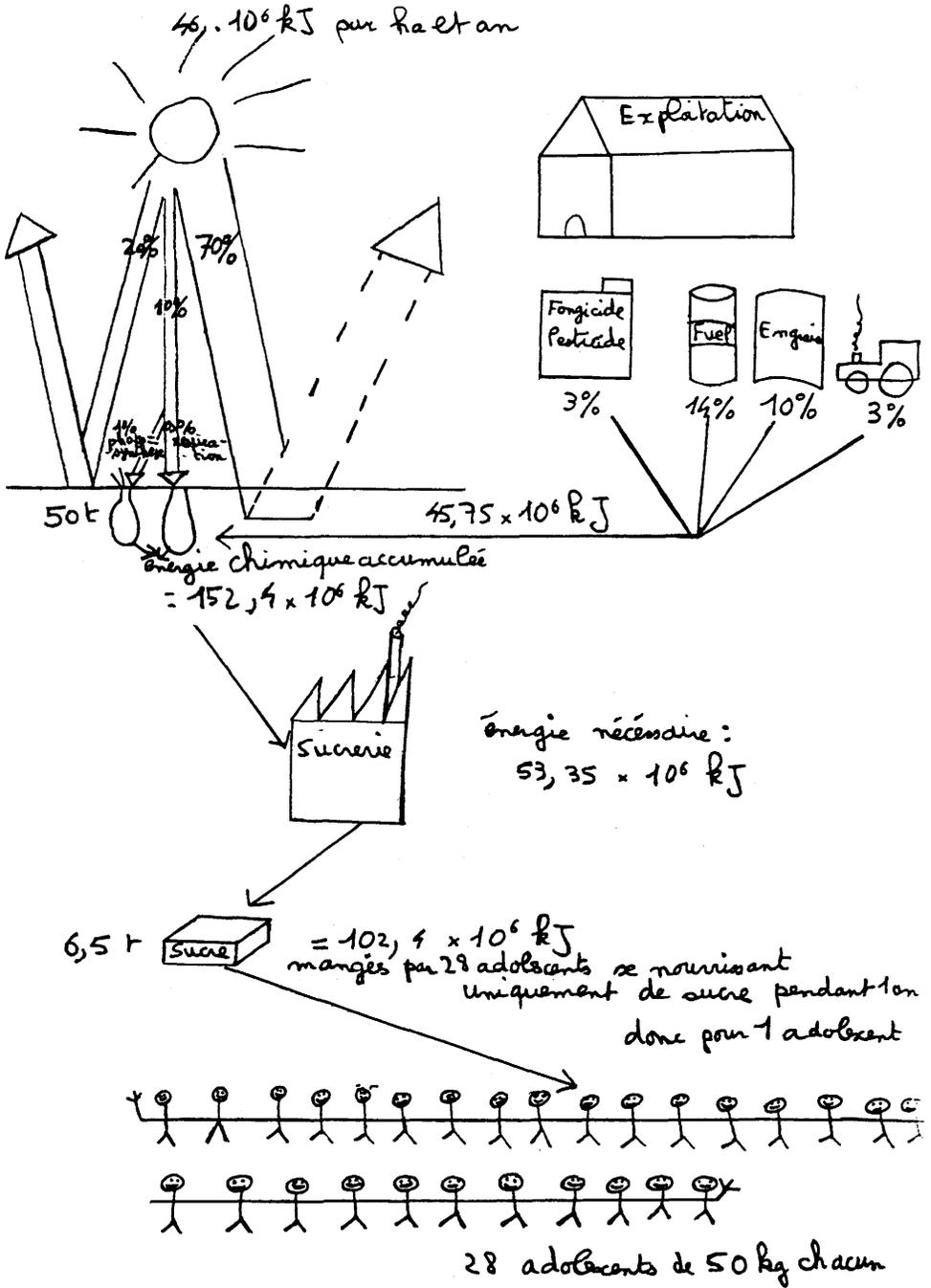
10) Commentez les résultats.

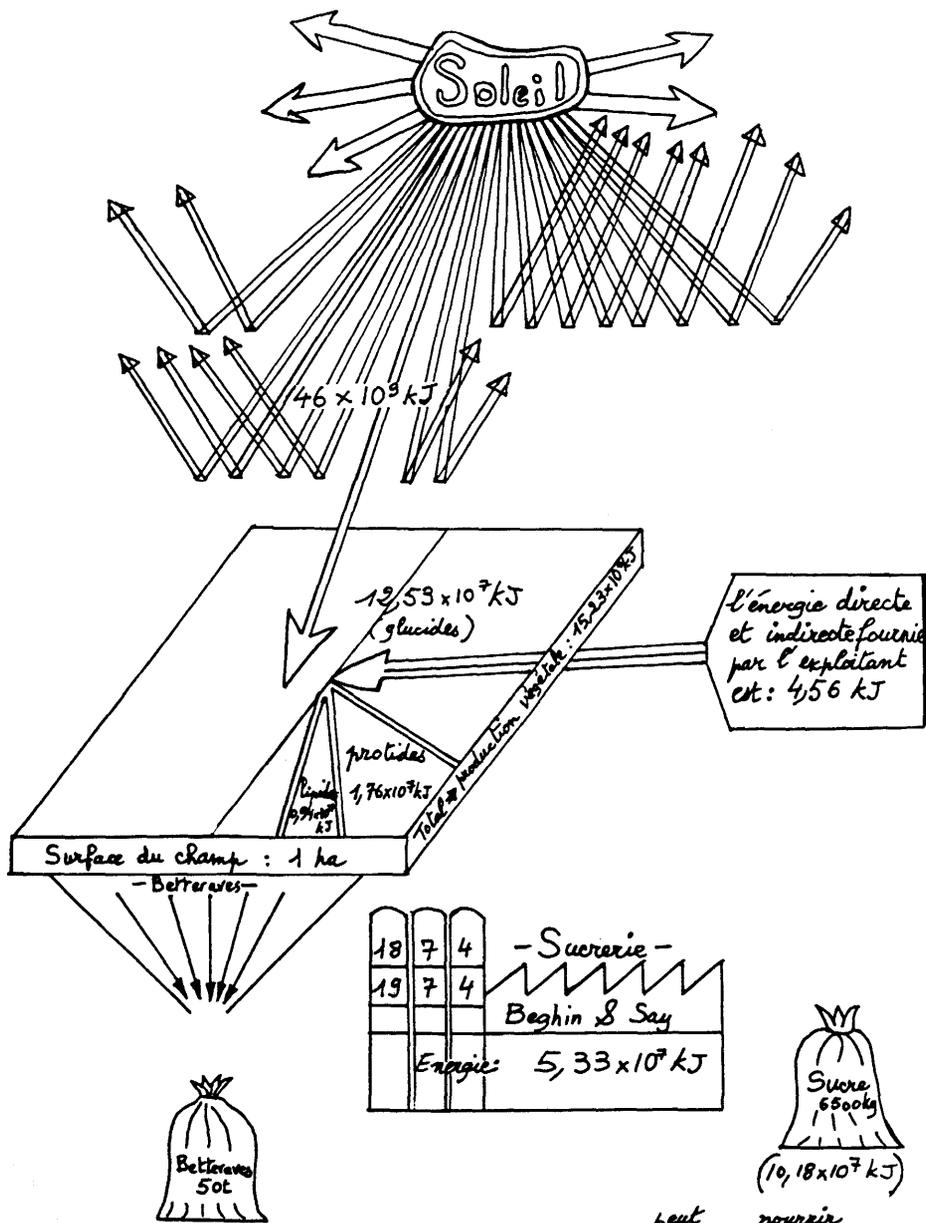
la représentation schématique semblant un moyen privilégié de rendre compte de cette synthèse

Les représentations graphiques réalisées par les équipes d'élèves au cours de ce travail ont été souvent intéressantes et ont révélé des qualités assez diverses : exécution technique, abstraction, recherche de représentations concrètes ...

Nous en reproduisons trois exemples.







peut nourrir

28 adolescents de 50 kg. (chacun consomme 1785 kJ/an)

Question n° 3

Voici un tableau de la consommation (C) et de la production (P) d'énergie en France depuis 1960 en Mtep (million de tonnes équivalent pétrole).

	1960		1973		1982	
	P	C	P	C	P	C
Charbon	38,9		19,4			0
Pétrole	2,2		2,1			
Gaz naturel	2,8	2,9	7,0	15,0	—	+
Nucléaire			3,1	3,1		
Hydraulique			10,5	10,5	+	+
Energies nouvelles . .			2,0	2,0		
Total	52,9	85,6	44,1	177,4	64,7	182,7

Le statisticien a mélangé les données et ne sait plus comment remplir les cases vides : vous allez l'aider (si vous ne savez pas répondre à une question, vous pouvez passer à la suivante).

1) En 1960

- a) consommation de charbon et de pétrole : le statisticien dispose de 2 valeurs 46,8 M tep et 26,9 M tep. Placez-les pour lui.
 b) production de nucléaire, hydraulique, énergies nouvelles : le statisticien dispose de 3 valeurs dans le désordre : 9,0 M tep, 0 M tep, 0 M tep — Placez-les.

2) En 1973

Consommation de pétrole et de charbon : les valeurs sont encore mélangées : 45,7 M tep et 117 M tep. Replacez-les.

3) En 1982

Il n'y a plus de chiffres du tout. Le statisticien en est réduit à indiquer l'évolution de la production et de la consommation depuis 1973.

- + si la production ou la consommation augmente
 - si la production ou la consommation diminue
 0 si la production ou la consommation reste stable.

Complétez le tableau

4.3. Evaluation

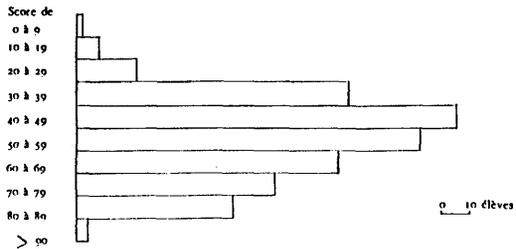
une tentative d'évaluation à grande échelle, de l'enseignement mené par les équipes pluridisciplinaires ayant expérimenté

A l'opposé du questionnaire ci-dessus qui peut être considéré comme outil d'évaluation en liaison très étroite avec une progression bien précise, **deux épreuves d'évaluation sommative ont été mises au point par l'équipe des concepteurs**. Elles visaient l'acquisition en fin de troisième et en fin de première des principaux objectifs cognitifs retenus par l'équipe. Ces épreuves ont été sou- mises en juin 1984 à 603 élèves de troisième et 738 élèves de première. Parmi les élèves de troisième, 209 avaient suivi, soit en 82-83, soit l'année suivante, soit les deux années, un enseignement expérimental sur l'énergie ; en première ces élèves étaient au nombre de 228.

Un rapport sur l'analyse détaillée des réponses des élèves est en cours d'élaboration, cependant quelques résultats issus des tris à plat peuvent dès maintenant être donnés.

. En classe de troisième (des extraits du question- naire sont reproduits ici)

- Le score maximal est de 111 points.
- Le score moyen est de 49.
- La distribution moyenne est la suivante :



- Les croisements montrent que :
 - . les garçons réussissent mieux que les filles, leur score moyen est de 53 contre 46. Ceci est en contradiction avec des études générales qui révèlent que les filles ont à âge et origine égale des résultats scolaires supérieurs aux garçons ;
 - . les élèves jeunes ou bien d'âge normal réussissent mieux que ceux qui sont en retard (score moyen de 52 contre 46). Cela va par contre dans le même sens que toutes les enquêtes ;
 - . les élèves des classes expérimentales ont un score moyen de 58 contre 45 aux autres.

les garçons sembleraient plus à l'aise avec le "savoir-énergie" que les filles ...

. En classe de première

- Le score maximal est de 146 points.
- Le score moyen est de 63.

Question n° 2

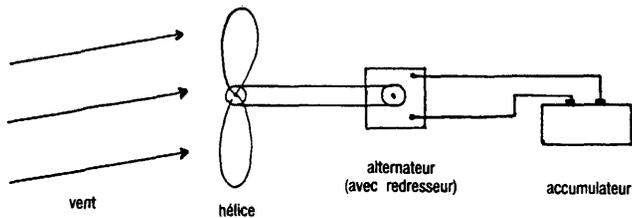
Utilisez les données suivantes pour compléter les 2 exercices ci-dessous.

Formes d'énergie : énergie cinétique
 énergie de niveau ou potentielle
 énergie thermique
 énergie chimique
 énergie nucléaire

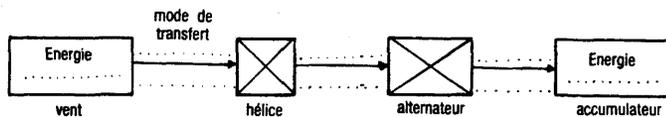
Modes de transfert : travail des forces
 électricité
 chaleur
 rayonnement (ex. : lumière)

Exercice n° 1

Le vent peut mettre en mouvement une hélice qui, par l'intermédiaire d'une courroie, entraîne l'axe d'un alternateur. Celui-ci est relié aux deux bornes d'un accumulateur.



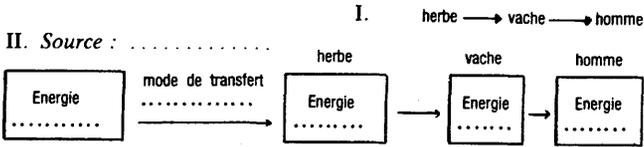
Indiquez dans la chaîne énergétique schématisée ci-dessous les formes d'énergie et leur mode de transfert.

**Exercice n° 2**

La vache broute l'herbe, l'homme se nourrit de la viande de l'animal.

Il y a des transferts d'aliments (donc de matière et d'énergie) entre ces êtres vivants.

Les chaînes alimentaire (I) et énergétique (II) schématisent ces transferts. Dans l'une, la flèche indique « est mangée par », dans l'autre la flèche indique « donne de l'énergie à ».



- D'où vient l'énergie accumulée dans l'herbe ?
Autrement dit quelle est la *source d'énergie* à l'origine de la chaîne ?
L'indiquer sur le schéma.
- Incrire dans chaque cas la *forme d'énergie*.
- Préciser le *mode de transfert* à l'endroit désigné.

Question n° 10

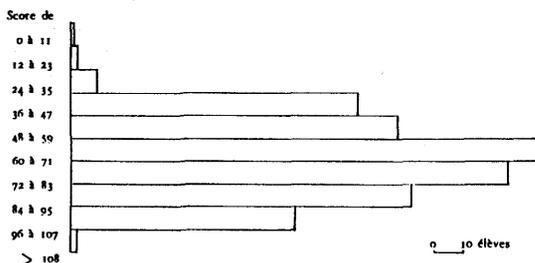
La raréfaction de l'oxygène de l'air est un aspect essentiel de la pollution due à l'utilisation de l'énergie.

15 milliards de tonnes d'oxygène par an disparaissent.

Indiquez à l'aide de croix, les systèmes qui participent ou non à la disparition de l'oxygène.

Systèmes	Consomme de l'oxygène	Produit de l'oxygène	Ne consomme ni ne produit d'oxygène
Feu de bois			
Plante verte			
Radiateur électrique			
Voiture à essence			
Champignon			
Lampe à pétrole			
Chien			
Avions en vol			
Centrale thermique au charbon			
Centrale thermique nucléaire			

- La distribution moyenne est la suivante.



... en 1ère comme en 3ème

- Les croisements montrent que, comme en troisième :
 . les garçons réussissent mieux que les filles, leur score moyen est de 69 contre 59 ;
 . les élèves jeunes ou d'âge normal réussissent mieux que ceux qui sont en retard, score moyen de 66 contre 58 ;
 . les élèves des classes expérimentales ont un score moyen de 70 contre 60 aux autres.

les résultats comparés des classes expérimentales et des classes témoins sont à la faveur des premières... mais pas de beaucoup

Ces résultats sont intéressants même s'ils sont limités, d'une part en raison de l'analyse incomplète des résultats, d'autre part du fait de la nature même des épreuves.

Les meilleures performances relatives des élèves des classes expérimentales sont encourageantes mais cependant assez réduites ; cela peut s'expliquer par les conditions matérielles dans les établissements scolaires qui ont trop souvent empêché que les équipes interdisciplinaires soient à la fois complètes, agissent au niveau des mêmes élèves et ceci en continuité sur deux années scolaires.

5. DOSSIERS PEDAGOGIQUES PROPOSES PAR LES CONCEPTEURS

des documents, pour la plupart, conçus en tant qu'aides didactiques...

Les nombreux documents construits par les équipes des terrains ont servi de base à l'élaboration de dossiers pédagogiques par les concepteurs durant l'année 1984-1985.

Notre propos n'était pas de surajouter de nouveaux documents à la pléthore déjà existante mais de proposer d'autres démarches, d'autres problématiques afin que professeurs et élèves disposent d'**outils permettant d'appréhender de manière synthétique les problèmes énergétiques.**

Les dossiers mis au point concernent des sujets

... reprenant les sujets et les méthodes d'étude les plus souvent abordés sur les terrains...

"transversaux" par rapport aux différentes filières, leur publication par l'INRP débutera en novembre 1986. Les sujets abordés, en rapport avec les points forts apparus sur les terrains, sont les suivants :

- enseigner l'énergie en Sciences Physiques dans les collèges
- évolution historique du concept d'énergie
- consommation d'énergie et choix énergétique
- énergie et environnement
- visites d'établissements énergétiques
- vocabulaire de l'énergie
- réalisation d'une exposition sur l'énergie.

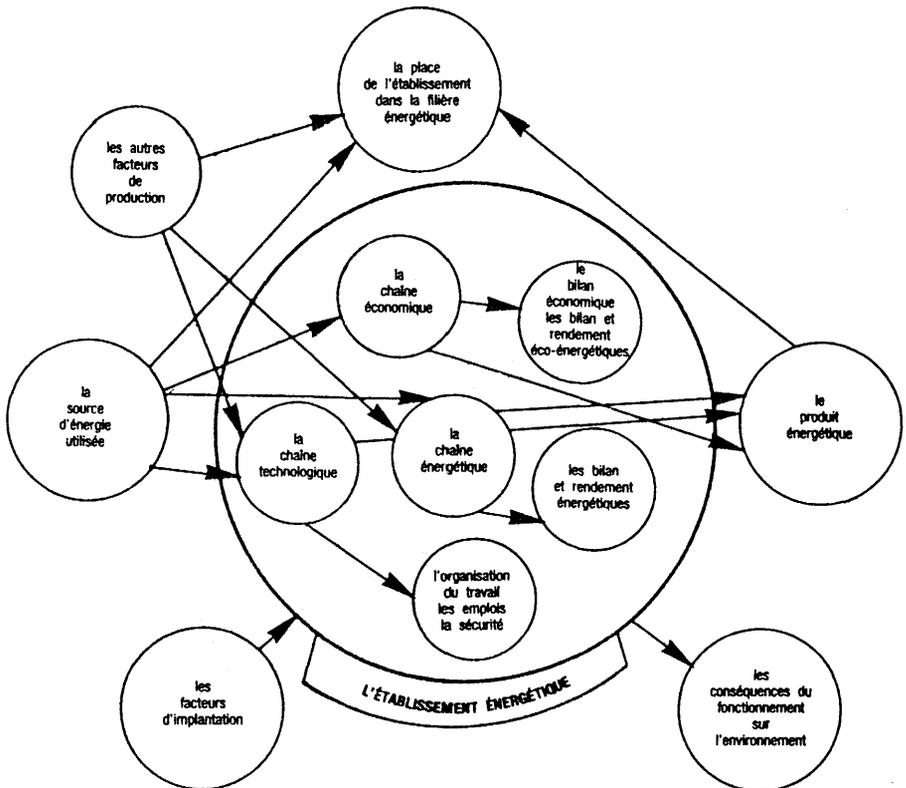
... et présentant aussi des mises au point plus théoriques : évolution du concept, vocabulaire

A titre d'exemple j'évoquerai succinctement deux de ces dossiers.

5.1. Dossier sur les visites d'établissements énergétiques

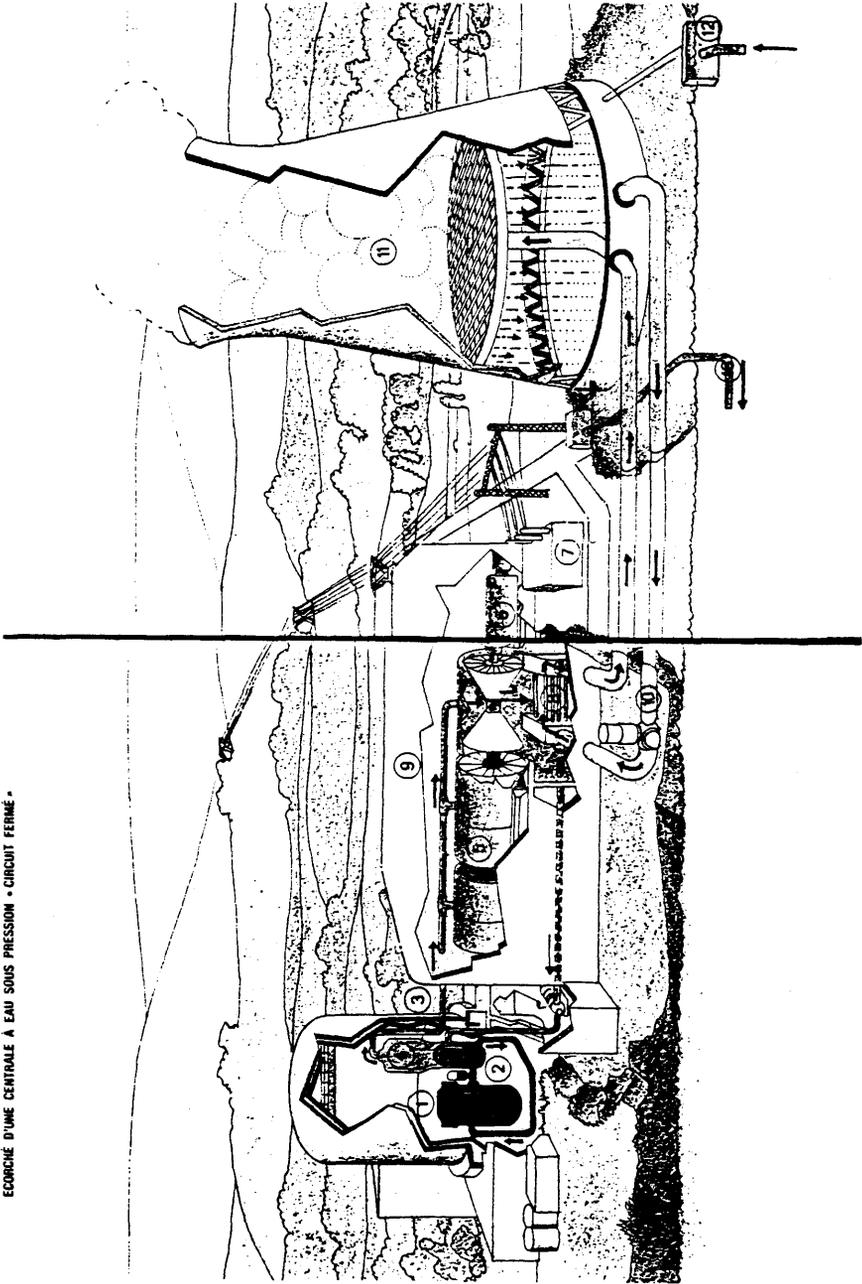
Son découpage est le suivant :

- introduction précisant les objectifs et intérêts pédagogiques de ces visites

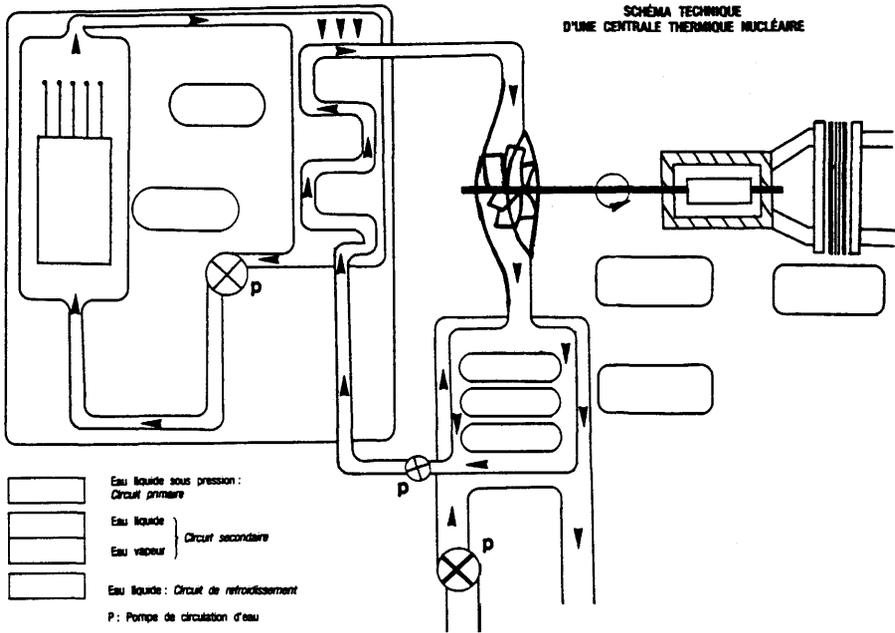


Document 4

EGORGE D'UNE CENTRALE A EAU SOUS PRESSION - CIRCUIT FERME.

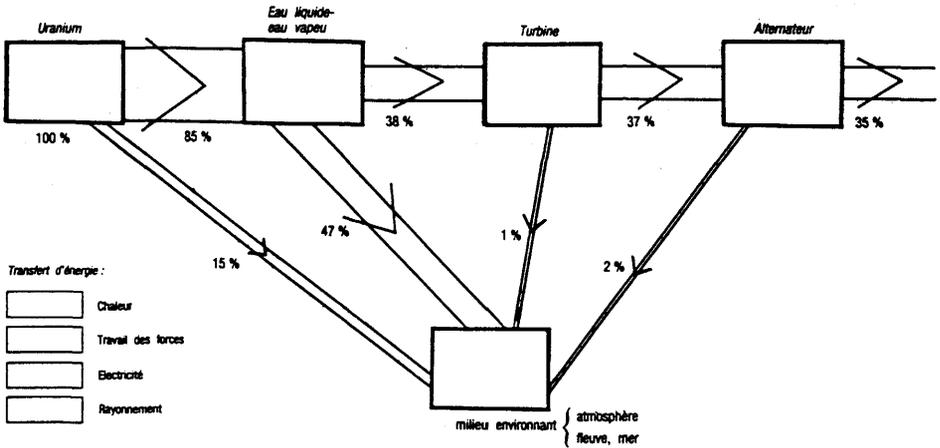


Document 5
 SCHÉMA TECHNIQUE
 D'UNE CENTRALE THERMIQUE NUCLÉAIRE

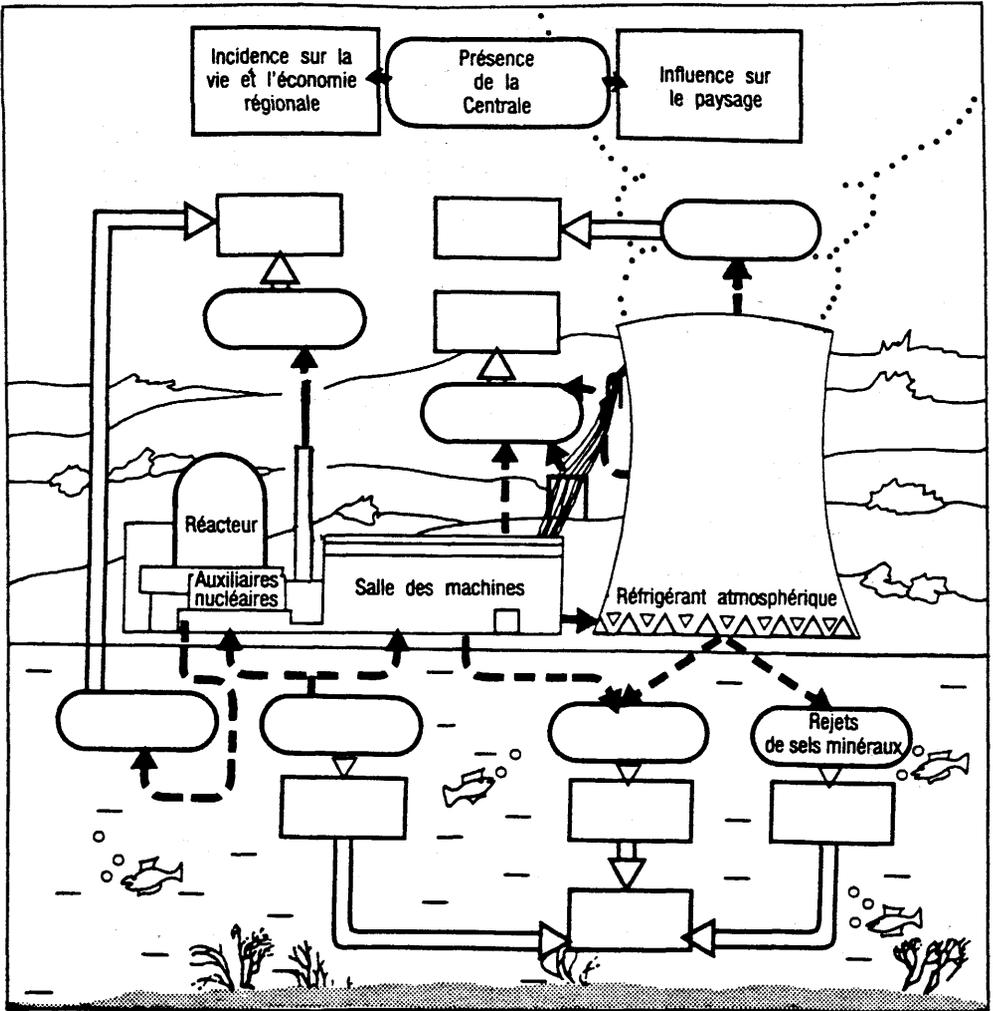


Document 6

CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE D'UNE CENTRALE THERMIQUE NUCLÉAIRE



Document 7 CENTRALE NUCLÉAIRE ET ENVIRONNEMENT



Source : la centrale nucléaire de Civaux : ses effets sur l'environnement (EDF).

- deux exemples de progressions centrées sur des visites et réalisées sur les terrains de la recherche
- cinq "livrets-élève" avec pour chacun une proposition d'utilisation par le professeur. Ces différents livrets permettent l'étude pluridisciplinaire :
 - . d'une centrale hydraulique
 - . d'une centrale thermique classique
 - . d'une centrale nucléaire (voir documents 4, 5, 6, 7 du livret-élève)
 - . d'une raffinerie de pétrole
 - . d'une exploitation agricole.
- divers annexes :
 - . propositions d'expériences de Sciences Physiques relatives aux centrales
 - . indications sur les aspects socio-économiques de la visite d'un établissement énergétique
 - . informations complémentaires sur les rejets de centrales thermiques, les problèmes posés par les déchets radioactifs et le démantèlement des centrales nucléaires
 - . bibliographie.

5.2. Dossiers sur le vocabulaire de l'énergie

Il comporte deux parties :

- la première présente sous forme de deux histoires ou "scénarios" les différentes approches disciplinaires d'un sujet donné : "le voyage en voiture", "l'énergie dans l'histoire, une pomme".
- la seconde partie est consacrée au vocabulaire proprement dit, présenté comme un dictionnaire comportant les mots :

savoir que le même mot est utilisé avec un autre sens par son collègue, est important pour l'enseignant ...

bilan	économie	rendement
chaîne	énergie	source
chaleur	entropie	système
conservation	filière	température
consommation	flux	transfert
cycle	forme	transformation
dégradation		

... essayer d'homogénéiser l'usage de ce mot c'est encore mieux

Pour chaque mot est énoncée une définition interdisciplinaire suivie de commentaires qui en précisent la validité et l'usage selon les disciplines. Ce vocabulaire est accompagné d'un complément sur les unités utilisées quand on traite l'énergie.

En illustration du dictionnaire voici ce qui a été élaboré pour bilan et rendement.

. Exemple du mot : BILAN

"Inventaire quantitatif des modifications et/ou des échanges d'énergie affectant un système donné"

LE BILAN ENERGETIQUE

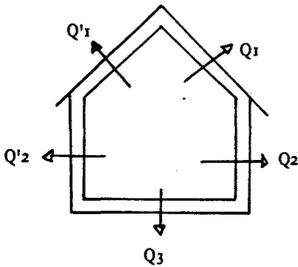
. En Sciences Physiques

Le mode opératoire consiste à :

- définir le système
- rechercher tous les transferts d'énergie se rapportant à lui
- comptabiliser positivement la quantité qu'il reçoit et négativement celle qu'il cède.

La somme algébrique de ces quantités d'énergie correspond au bilan énergétique. Elle peut être nulle, positive ou négative.

Exemple de bilan énergétique
Chauffage d'une maison



système étudié : maison
(excepté son moyen de chauffage)

échanges d'énergie :

- pertes sur l'extérieur : Q_1 , $Q'1$, Q_2 , Q_3
- énergie W reçue par la maison et qui a été cédée par le moyen de chauffage

Bilan énergétique : $E = W + Q_1 + Q'1 + Q_2 + Q'2 + Q_3$.

Posons : $Q = Q_1 + Q'1 + Q_2 + Q'2 + Q_3$.

Alors : $E = W + Q$.

Notons que W reçue est > 0 , Q cédée est < 0 .

Trois cas sont possibles :

a) $W + Q > 0$ - L'énergie thermique de la maison va augmenter ce qui se traduit par une augmentation de sa température intérieure.

b) $W + Q = 0$ - L'énergie thermique de la maison reste constante. La température intérieure est maintenue à une valeur choisie 19°C par exemple.

c) $W + Q < 0$ - L'énergie thermique de la maison diminue. Elle se refroidit (panne du moyen de chauffage par exemple).

Pour un hiver on compte en moyenne $W = -Q = 1500$ kWh pour un appartement de trois pièces.

d) Pour diminuer W il apparaît clairement qu'il faut diminuer $-Q$ (usage de matériaux isolants).

. En Sciences Naturelles

Le mode opératoire proposé par les physiiciens s'adapte au calcul de bilan d'un organisme (homme) ou d'une cellule. Le bilan est positif lors de la constitution de réserve (amidon, lipides... qui sont des sources d'énergie), négatif dans le cas contraire.

. En Sciences Sociales, Histoire-Géographie

Le bilan énergétique représente la production et/ou la consommation de sources d'énergie d'une zone géographique pendant une durée déterminée. Dans ce cas, l'utilisation du terme bilan est assimilable à la notion de compte d'exploitation qui résulte d'une agrégation de variables de flux alors que le bilan indique des variables d'état.

LE BILAN ECO-ENERGETIQUE

En Sciences Sociales, Histoire-Géographie et en Sciences Naturelles, un autre type de bilan est utilisé : c'est le **bilan éco-énergétique**. Il permet d'évaluer le coût énergétique correspondant à toute transformation agricole ou industrielle faisant intervenir de l'énergie, des matières premières et du travail. On remonte ainsi les étapes de la chaîne de fabrication d'un produit donné. A chaque étape on calcule la quantité d'énergie utilisée, exprimée en kilojoule.

La comptabilité énergétique tient donc compte de la consommation directe et **indirecte** d'énergie dans un système. Elle forme un nouveau mode d'analyse : l'analyse éco-énergétique. Celle-ci "permet de juger les bases écologiques de la gestion des ressources naturelles dans divers systèmes économiques et sociaux" (R. Passet. L'économique et le vivant).

Exemple : Bilan éco-énergétique d'un hectare de blé en Thymerais (région de Dreux) pour un an.

1 - Quantité d'énergie reçue (exprimée en gigajoules : 1 GJ = 10⁶ KJ).

. Energie solaire directe ("gratuite") pour quatre mois de végétation :
quantité totale reçue par le champ (par ha) : 20 500 GJ

. Energie achetée ("payante") :

<u>Energie directe:</u>	
- main d'oeuvre (alimentation)	0,05 GJ
- semences	2,17 GJ
- fonctionnement des tracteurs	5,06 GJ
- fonctionnement de la moissonneuse...	0,82 GJ
<u>Energie indirecte (énergie nécessaire pour fabriquer) :</u>	
- engrais azotés	17,76 GJ
- engrais phosphatés	1,90 GJ
- engrais potassiques	1,48 GJ
- pesticides	1,04 GJ
TOTAL	30,29 GJ

2 - Quantité d'énergie cédée par ha et utilisable par l'homme

- production de blé	100,32 GJ
- production de paille	25,08 GJ
TOTAL	125,40 GJ

Dans ce type de bilan, le but est de montrer l'augmentation de la quantité de biomasse fabriquée par le système champ. Par rapport au bilan en physique les signes algébriques sont inversés : la quantité d'énergie reçue est négative, la quantité d'énergie cédée devient positive. Dans l'exemple ci-dessus, le bilan énergétique global est toujours négatif :

$$\text{Energie utilisable} - (\text{énergie solaire} + \text{énergie achetée})$$

$$125,4 - (20500 + 30,28) = -20405 \text{ GJ}$$

Mais généralement le bilan éco-énergétique est positif car l'énergie solaire gratuite n'est pas prise en compte :

$$\text{Energie utilisable} - \text{énergie achetée}$$

$$125,4 - 30,28 = 95,12 \text{ GJ}$$

. Exemple du mot RENDEMENT

"Pour un système donné, le rendement énergétique est le rapport :

$$R = \frac{\text{quantité d'énergie utilisable à une fin donnée}}{\text{quantité d'énergie mise en jeu pour l'obtenir}}$$

Ce rapport est toujours inférieur à 1. Il est souvent exprimé en pourcentage."

. En Sciences Physiques

Le rendement d'une centrale thermique recevant la quantité d'énergie $Q_1 = 1000 \text{ kJ}$ et rejetant la quantité de chaleur $Q_2 = 600 \text{ kJ}$ est :

$$R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = 0,4 \text{ soit } 40\%.$$

En effet, seule la différence $Q_1 - Q_2$ a été transformée en travail W puis ensuite en énergie électrique (utilisable). D'après le deuxième principe de la thermodynamique, le rendement théorique maximal de cette centrale est donné par la relation :

$$R_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

où T_1 et T_2 sont les températures respectives (exprimées en kelvin $T(K) = (^\circ\text{C}) + 273$) des sources chaudes et froides.

Exemple : pour une centrale thermique classique

$$T_1 = 565 + 273 = 838 \text{ K}$$

$$T_2 = 40 + 273 = 313 \text{ K}$$

$$R_t = 0,63 \text{ soit } 63\%$$

Remarque :

On parle de "**l'efficacité**" d'une pompe à chaleur :

$$\text{efficacité} = \frac{\text{énergie produite par la pompe à chaleur}}{\text{énergie nécessaire à son fonctionnement (apportée par l'homme)}}$$

Dans ce cas et contrairement au rendement, **l'efficacité peut être supérieure à 1 ou 100 %**. En effet, l'énergie thermique captée à la source froide n'entre pas en compte dans l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur.

. En Sciences Naturelles

Le rendement énergétique de la photosynthèse est :

$$R = \frac{\text{quantité d'énergie accumulée dans la plante}}{\text{quantité d'énergie reçue par la plante}}$$

La quantité d'énergie reçue par la plante est la somme de l'énergie lumineuse et des énergies apportées par l'homme. Ces dernières sont très faibles (0,5 %) par rapport à l'énergie lumineuse reçue et n'influent pas sur la valeur du rendement.

Exemple : rendement photosynthétique d'un champ de maïs aux Etats-Unis pendant un beau jour d'été, dans les conditions optimales :

$$R = \frac{1129 \text{ (kJ)}}{20900 \text{ (kj)}} = 0,054 \text{ soit } 5,4 \%$$

Dans les conditions moyennes, ce rendement est de l'ordre de 1 % pour l'année.

. En Sciences Sociales, Histoire-Géographie

Pour des analyses éco-énergétiques, on utilise le rapport :

$$\frac{\text{valeur énergétique des produits obtenus}}{\text{somme des apports énergétiques de l'homme}}$$

Ce rapport représente ce que certains auteurs appellent "**efficacité**".

Les apports énergétiques comprennent l'énergie directe (combustible...) et indirecte (énergie nécessaire à la fabrication des tracteurs, des engrais...)

L'efficacité ainsi définie est alors le plus souvent supérieure à 1 ou à 100 %.

Exemple : rendement éco-énergétique d'un hectare de blé en Thymerais ou efficacité : (voir aussi le mot Bilan)

$$\frac{\text{quantité d'énergie utilisable}}{\text{quantité d'énergie achetée}} = \frac{125,4 \text{ GJ}}{30,28 \text{ GJ}} = 4,14 = 414 \%$$

Remarque :

On peut encore trouver le terme de rendement utilisé pour des masses ou quantités d'énergie produites par unité de surface ou de personne (exemple : rendement agricole de blé tendre : 5t/ha).

Cependant, on emploie de moins en moins le terme de rendement dans ce sens, on lui préfère le terme de **productivité**.

6. CONCLUSION

Cette recherche s'est concrétisée par des progressions qui ont largement motivé les élèves et qui leur ont permis de mieux maîtriser le "savoir-énergie" que lors d'appréhensions parcellaires et disciplinaires du concept.

L'ouverture sur la technique et l'industrie, la formation à l'esprit critique notamment par rapport à l'information, représentent les autres aspects positifs des travaux effectués sur les terrains.

Ce bilan favorable repose avant tout sur les réflexions préalables et approfondies puis sur les réalisations pédagogiques d'équipes pluridisciplinaires qui à tous les niveaux de l'élaboration, ont, chacune, travaillé en commun. Cette dernière condition est indispensable à la cohérence du savoir à transmettre, elle conduit à repenser les programmes annuels concernant l'énergie, des différentes disciplines.

Eliane DAROT
Collège Louis Lumière
Marly le Roi