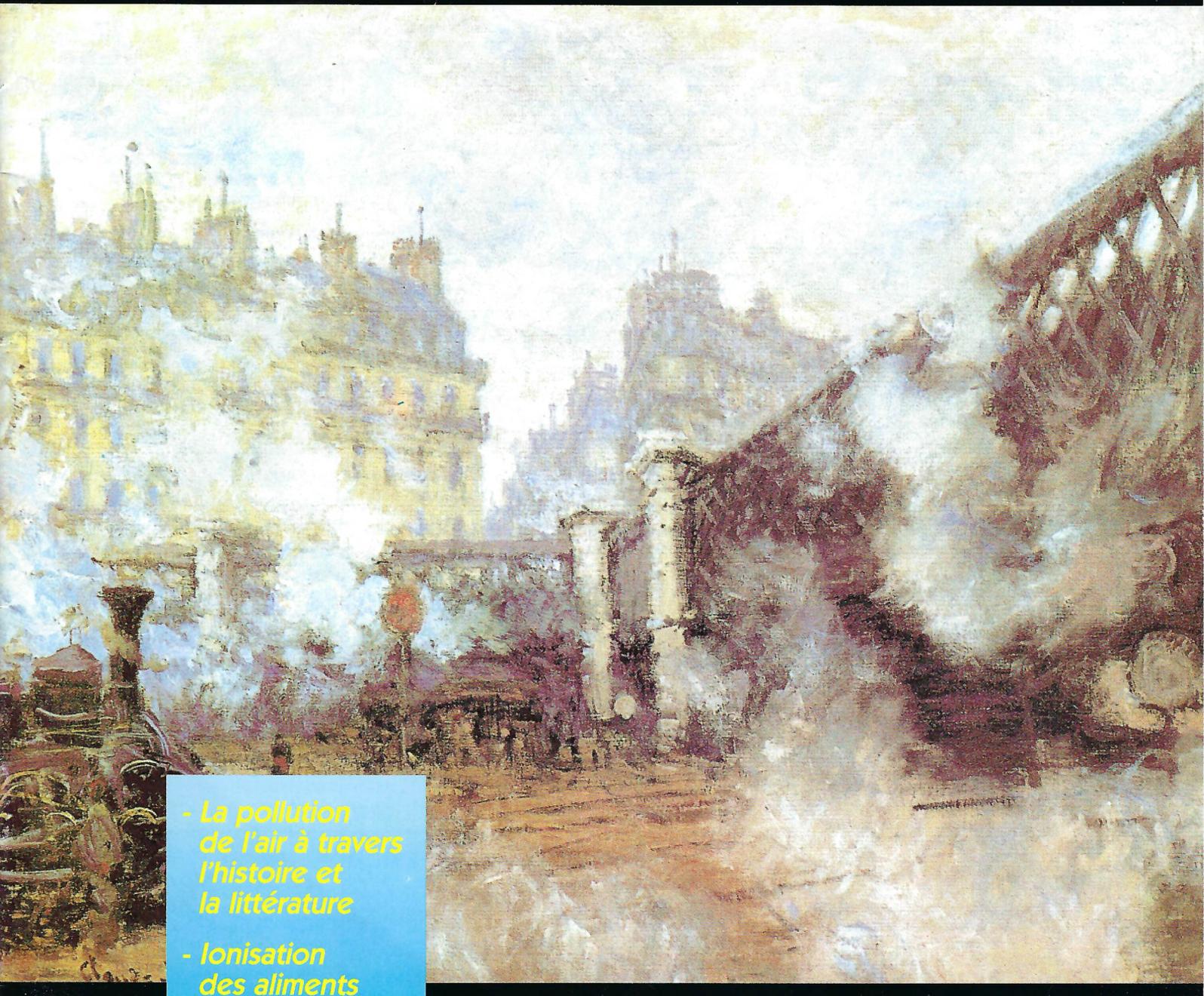


AUVERGNE SCIENCES

BULLETIN DE L'ADASTA

Décembre 1994

N° 31-32



- *La pollution de l'air à travers l'histoire et la littérature*
- *Ionisation des aliments*
- *Les ultrasons en médecine*

- La pollution de l'air
à travers l'histoire
et la littérature p. 3
- Dans la nuit
des nuisances p. 5
Robert Leygonie
- Ultrasons
en médecine p. 10
Paul Avan
- Ionisation
des aliments p. 15
Suzanne Gély
- Université d'été p. 18
- Les entretiens
de la Villette p. 18
- Informations
générales p. 19
- Expositions p. 19
- Publications p. 20
- Colloques p. 22

L'ADASTA a reçu en 1994
le soutien financier :

- du Conseil Régional d'Auvergne
- du Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche.

AUVERGNE-SCIENCES

Publication trimestrielle
19, rue de Bien-Assis
63100 CLERMONT-FERRAND

Directeur de la Publication

Pierre SOLE

Rédaction :

Roland JOUANISSON

N° ISSN 1166-5904

Photo de couverture :

**Le Pont de l'Europe,
gare Saint-Lazare,
Claude Monet (1877)**

(Editions de la Réunion
des Musées Nationaux)

Le Paris industriel décrit par les écrivains et représenté par les peintres du siècle dernier n'est pas perçu comme un lieu où se développe la pollution, mais, au contraire, souvent comme un espace de progrès. Le Pont de l'Europe, près de la gare Saint-Lazare a inspiré des écrivains comme Zola ou des peintres comme Caillebotte ou Claude Monet.



Dépôt légal DÉCEMBRE 1994
N° Imprimeur 1906

La couverture de ce numéro nous ramène un siècle en arrière, à l'époque du développement du machinisme et en particulier des chemins de fer. Les écrivains (comme Zola) et les peintres (Caillebotte, Manet, Monet,...) célèbrent alors, chacun à leur manière, les vertus du modernisme qui conduira inéluctablement l'humanité vers un monde meilleur... Claude Monet, captivé par les chemins de fer, en arrive à évoquer la présence des trains uniquement par les fumées qui s'en dégagent. Ces fumées qui aujourd'hui nous paraîtraient insupportables...

Pour donner un aperçu de l'histoire de la pollution atmosphérique nous avons fait appel, une fois de plus, à Robert Leygonie qui a découvert dans la littérature de nombreux témoignages dont vous trouverez ici quelques exemples.

Parmi les sujets sensibles de notre époque figure l'énergie nucléaire qui est pourtant la forme d'énergie la moins polluante. C'est grâce aux rayonnements atomiques que divers problèmes ont trouvé des solutions intéressantes, comme la conservation des aliments par irradiation. Suzanne Gély, Présidente de la Section Auvergne de la Société Française d'Energie Nucléaire résume pour nous les différents aspects de cette question.

Nous ne pouvons trouver personnalité plus compétente que Paul Avan, éminent physicien et biologiste, pour faire le point sur les applications médicales des ultrasons. Vous lirez ici la conférence qu'il a prononcée à l'occasion des Journées Académiques de l'Union des Physiciens à Riom et à l'Université d'Eté organisée par l'ADASTA en août dernier à Clermont-Ferrand.

Enfin, Jocelyne Allée qui a assisté au Colloque INRP à Paris en janvier 1994, nous rappelle les principales réformes de l'enseignement secondaire en France depuis un siècle, ce qui ne manquera pas d'intéresser nos collègues enseignants.

Chers adhérents, avec ce numéro se termine votre abonnement. N'oubliez pas de renouveler votre adhésion pour 1995. En attendant, meilleurs vœux à tous.

R.J.

Adhésions et Abonnements

Adhésions à titre individuel	150 F
Adhésions à titre collectif	500 F
Membre bienfaiteur	1 000 F

L'adhésion donne droit au service gratuit du bulletin et à des réductions sur les différents services rendus par l'Association (publications, stages, visites,...)

Adressez le courrier à **ADASTA, 19, rue de Bien-Assis - 63100 Clermont-Ferrand**
Tél. 73 92 12 24 - Fax 73 92 11 04

La pollution de l'air à travers l'histoire et la littérature

Robert Leygonie est président du Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA)(3). Cet organisme publie régulièrement depuis plus de 30 ans "Etudes documentaires", bulletin d'information trimestriel qui traite de l'ensemble des problèmes liés à la pollution de l'atmosphère.

A l'occasion du 30^{ème} anniversaire du CITEPA "Etudes documentaires", sous la plume de son président, a donné un "coup d'œil dans le rétroviseur"; il s'est aussi aperçu que la pollution n'est pas un problème nouveau en cette fin de XX^{ème} siècle. L'auteur constate que la pollution n'a pas seulement inspiré des discours enflammés, des savantes études, des maladies pulmonaires, des dépêrissements forestiers, etc... mais aussi des poèmes et de beaux morceaux de littérature ce qui lui permet d'ajouter avec humour : "A quelque chose malheur est bon"!...

Et nos ancêtres ont sans doute, d'une certaine façon, aimé la pollution. Car pour l'ouvrier du siècle dernier, la cheminée qui cessait de fumer était signe de chômage et de misère. Mais point n'est besoin de remonter si loin : il y a peu d'années, en Allemagne de l'Est, est sortie une pièce de monnaie gravée d'un côté du portrait du potentat de l'époque et, de l'autre, d'une forêt de cheminées d'usine empanachées de fumée. Ce détail ne fait qu'illustrer les dramatiques pollutions que connaissent les pays de l'Est, et que décrivent depuis peu d'années les médias.

Le père spirituel du CITEPA est

Nous avons publié à diverses reprises des articles de Robert Leygonie sur la pollution atmosphérique, l'effet de serre, le réchauffement du climat, le dépêrissement des forêts (1). S'agissant de sujets aussi sensibles, qui suscitent parfois des débats passionnés et où, hélas, ni la bonne foi, ni la compétence des auteurs ne sont monnaie courante, il nous paraît indispensable qu'un scientifique de haut niveau (2) relate des faits avérés selon des critères objectifs.

Louis Armand, qui en eut l'initiative et guida ses premiers pas. On pourrait revendiquer aussi comme père spirituel John Evelyn qui, exactement trois siècles avant la fondation du CITEPA, donc en 1661, rédigea un mémoire au roi d'Angleterre Charles II, "Fumifugium or the inconvenience of the smoake of London, dissipated", dans lequel il dénonçait l'épouvantable pollution de l'air qui régnait à Londres et ses effets funestes sur la santé publique, en des termes que ne désavoueraient pas les hygiénistes

d'aujourd'hui. Il proposait des mesures que nous appellerions de nos jours "aménagement du territoire". Disons que le pamphlet de John Evelyn ne fut suivi d'aucun effet. L'action de Louis Armand fut, elle, Dieu merci, beaucoup plus efficace.

Nous reproduisons ci-dessous avec l'accord du CITEPA, que nous remercions, un recueil de citations et divers documents ainsi que l'article "Dans la nuit des nuisances" de R. Leygonie.

(1) Voir notamment les numéros 19-20, 23-24, 25

(2) R. Leygonie est ancien élève de l'Ecole Polytechnique
3, rue Heine 75016 Paris

POLLUTION ATMOSPHERIQUE, POESIE ET LITTERATURE

Mon enfance captive a vécu dans la pierre,
Dans la ville où, sans fin, vomissant
le charbon,
L'usine en feu dévore un peuple
moribond,
Et pour voir des jardins je fermais les
paupières.

Albert SAMAIN
Mon enfance captive

Fils d'un soleil atone et d'un pays
d'hiver,
J'ai l'amour du changeant nuage et
de la brume,
Et des grands ciels d'ardoise où la
houille qui fume
Panache les cités nostalgiques du fer.

Albert SAMAIN

Une odeur de charbon qui brûle et
d'eau qui bout,
Tout le bruit que feraient mille
chaînes au bout
Desquelles hurleraient mille géants
qu'on fouette,
Et tout-à-coup des cris prolongés de
chouette.

VERLAINE
Au rythme du wagon

Encor, qui sans répit les tristes che-
minées
Fument, et que de suie une errante
prison
Eteigne dans l'horreur de ses noires
traînées
Le soleil se mourant, jaunâtre, à l'ho-
rizon.

S. MALLARME
L'Azur

Le soleil clair ne se voit pas,
Bouche qu'il est de lumière, fermée
Par le charbon et la fumée,
Un fleuve de naphte et de poix
Bât les môles de pierre et les pontons
de bois.

E. VERHAEREN
Les villes

et la pollution sonore :

Qui frappe l'air, bon Dieu ! de ces
lugubres cris
Est-ce-donc pour veiller qu'on se
couche à Paris ?

BOILEAU
Satire VI

Je donne le nom de peste à la corrup-
tion de l'intelligence, bien plus sûre-
ment qu'à l'infection de l'air qui
nous entoure.

Marc AURELE
Cité par L. Pauwels
Lettre ouverte aux gens heureux

Dès que j'aurai laissé derrière moi
l'oppressant air de la ville et la puant-
teur des fumantes cheminées qui, une
fois leurs feux allumés vomissent
toutes les pestilentes fumées et suies
qu'elles contiennent, je me sentirai
tout-à-fait un autre homme.

SENEQUE LE PHILOSOPHE
4 Av JC - 65 après JC

Le principal soin que j'aye à me
loger, c'est de fuir l'air puant et poi-
sant.

MONTAIGNE
(Essais, livre I, Chapitre IV)

1510 : DEJA LA "HAUTEUR DES CHEMINEES" !!

Une enquête "pollution" à Rouen, en 1510

"... Maistre Guillaume MOUL-
LET, médecin, dit que la fumée
qui vient dudit charbon de terre
est mauvaise et dangereuse, et
qu'elle sent le soufre, et qu'il est
aucunes personnes qui ne pour-
roient tomber en ung sepaume ou
mourir soudainement, et lui
semble que on devroit mectre
demourer ceulx qui usent de char-
bon en lieux loingtains et hors des
bonnes rues. Et en toutes les
autres choses luy semble que bon
sera y pourvoir affin qu'ils ne
puissent nuyre à corps humain...
Jehan MUSTEL. a dit que ont
doit permettre user dudit charbon
pourvu que ceuls qui en usent
hanchent leurs cheminées jusques
au-dessus de leurs maisons".

L'archevêque William LAUD, en
Angleterre, essaya de combattre la
pollution atmosphérique et de réparer
sa cathédrale endommagée par cette
pollution en imposant une taxe
quelque peu illégale sur les industries
responsables...

L'archevêque comparut devant la
Chambre des Lords et fut acquitté,
mais la Chambre des Communes le
condamna à mort et il fut exécuté en
1645, probablement parce qu'il avait
voulu être trop rapide et trop efficace !

*Cité par P. Brimble Comp dans "The
Big Smoke". A history of air pollu-
tion in London since medieval times.*
MEUTHEN UK, 1985.

Des rues étroites et mal percées, des
maisons trop hautes et qui interrom-
pent la libre circulation de l'air, des
boucheries, des poissonneries, des
égouts et des cimetières, font que
l'atmosphère se corrompt, se charge
de particules impures, et que cet air
renfermé devient pesant et d'une
influence maligne.

Sébastien MERCIER
Tableau de Paris
2 vol. 1781, 8 vol. 1782-83, 12 vol.

Passez par le charnier qu'on appelle
Saint-Innocent. C'est un vaste enclos
consacré à la peste. Les pauvres qui
meurent très souvent de maladies
contagieuses y sont enterrés pêle-
mêle ; les chiens y viennent quelque-
fois manger leurs ossements. Une
odeur épaisse, cadavéreuse, infecte
s'en exhale. Elle est pestilentielle
dans les chaleurs de l'été, après les
pluies. Et presque à côté de cette voi-
rie est l'Opéra, le Palais-Royal, le
Louvre de nos rois.

Dictionnaire philosophique
VOLTAIRE

Coketown était la cité du réel. C'était
une ville de briques rouges ou de
briques qui auraient été rouges si la
fumée et la suie l'avaient permis...
Une ville de machines et d'autres édi-
fices sur laquelle se tordaient des ser-
pents de fumée qui ne se dénouaient
jamais.

Charles DICKENS

Cent cheminées géantes qui vomis-
saient dans l'air des serpents de
fumée. D'autres moins hautes et
haletantes crachent des haleines de
vapeurs. Les maisons sont noires,
comme frottées de suie, les pavés
sont noirs, les vitres poudrées de
charbon. Une acre odeur de fer, de
forge, de métal brûlant, d'enfer
ardent coupe la respiration.

Description du Creusot en 1884.
par G. de MAUPASSANT.

Dans la nuit des nuisances

GADOUES DE PARIS

par R. LEYGONIE

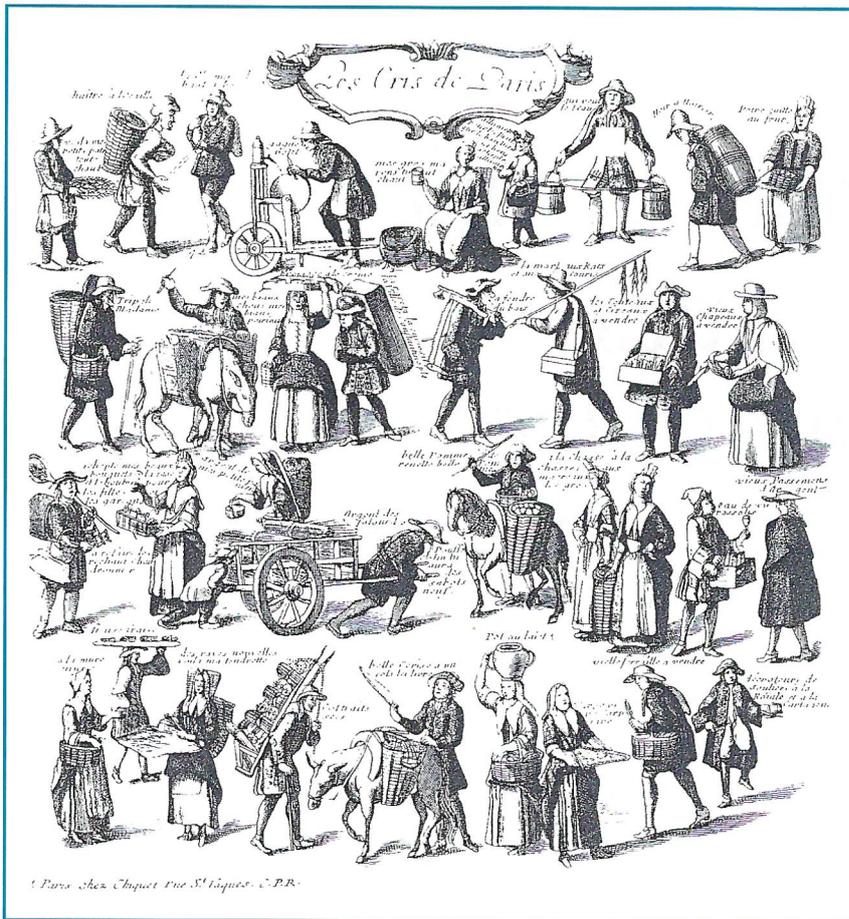
“Pendant le séjour que Philippe Auguste fit cette année dans Paris, il arriva que, se promenant un jour dans la cour de son palais, il s’approcha de la fenêtre d’où il prenait volontiers plaisir à voir couler la Seine. Dans ce moment, des chariots qui vinrent à passer près de là remuèrent la boue dont les rues étaient pleines, et répandirent une telle infection aux environs que le roi eut peine à la supporter. Ce fut l’occasion qui le détermina à entreprendre un ouvrage qui, bien que jugé très nécessaire, avait jusque là effrayé par son excessive dépense... il manda les bourgeois de la ville avec le Prévôt, et leur ordonna de paver toutes les rues de pierre...”.

La victoire de Bouvines fit plus pour la renommée du roi que le pavage de Paris. Il est vrai qu’il ne mit pas fin aux malheurs de ses habitants. En effet, avant le pavage, la terre labourée sans cesse par les charrois assimilait assez vite les déchets. Après pavage, il fallut bien les évacuer. Les ordonnances de police se succédèrent, enjoignant aux habitants de transporter les déchets aux “lieux accoutumés”, doux euphémisme pour les décharges publiques et les voiries. Mais on trouva préférable d’en faire des talus le long des berges de la Seine afin de protéger la ville contre les inondations. Or ces talus gênaient l’écoulement des eaux usées et pluviales et transformaient de larges zones de la ville en cloaques malodorants. Car, bien sûr, on n’avait pas encore construit d’égouts, et les ruisseaux et talwegs naturels en tenaient lieu. C’était le cas, sur la rive droite,

“Paris ? ne me parlez point de Paris, ville infernale où s’agite une horde de démons !” Qui sont ces démons ? Automobilistes de la capitale, manifestants de Mai 68, ou foule en liesse du 14 juillet ? point du tout ! Charles Sorel, écrivain français du XVII^e siècle, poursuit en ces termes : “Quel être raisonnable peut, sans défaillir, endurer son vacarme, respirer sa puanteur, se réjouir de patauger dans sa crotte ?” Sorel aurait pu citer un dicton de l’époque : “Vérole de Rouen et boue de Paris ne s’en vont qu’avec la pièce”. Grattons le vernis doré de l’histoire officielle ; notre compilation d’historien scatologique nous révèle un premier chroniqueur.

du ruisseau de Ménilmontant qui coulait du Faubourg Montmartre vers le pont de Chaillot. Un autre se dirigeait de la butte de Belleville vers les fossés de la Bastille. Sur la rive gauche, la Bièvre devint très vite elle aussi un égout.

Belgrand, dans son ouvrage “les travaux souterrains de Paris”(1887) écrit que rien ne peut donner une idée de l’infection que ces canaux immondes répandaient dans toute la ville. “Pendant le XIV^{ème} siècle, les rois de France ne cessèrent de lutter avec la municipalité de Paris pour débarrasser leurs hôtels Saint-Paul et des Tournelles d’un incommode voisin de ce genre qui coulait à ciel ouvert dans la rue Saint-Antoine, venait s’engouffrer près de l’église Saint-Paul, sous une voûte connue sous le nom de Pont-Perrin, et de là tombait dans les fossés de la Bastille. Il fut en 1412 détourné vers le ruisseau de Ménilmontant... mais dans son nouveau parcours, il passait près du palais des Tournelles... Louis XII, François 1^{er}, Henri II cherchèrent à lui faire donner une autre direction mais l’administration résista, tantôt par inertie, tantôt ouvertement”... Belgrand cite à ce propos la délibération municipale du 24 novembre 1550. “... à quoi a été fait réponse ledit prévôt des marchands que la matière était de grande importance, et qu’il n’en saurait rien conclure sans assembler le conseil de la dite ville, et néanmoins aurait remontré audit seigneur roi, et à son conseil privé, les incommodités qui pourraient venir à ladite ville, même au quartier des Halles et rue Saint-Denis où est la



fleur des anciens bourgeois d'icelle ville, et on fait un port de là à l'eau, comme le veut le dit Seigneur". Le prévôt des marchands, et le "charme discret de la bourgeoisie" l'emportèrent donc sur sa Majesté le Roi...

Les égouts de Paris, naturels ou creusés (1), étaient mal conçus et mal entretenus. Les immondices s'y accumulaient et empêchaient l'écoulement de l'eau. En 1610, Marie de Médicis, craignant que ces eaux croupissantes n'amenassent des maladies contagieuses, chargea le trésorier de France de passer l'adjudication pour un nettoyage annuel. La ville préleva un impôt de dix sols par muid de vin pour financer ce projet. Las ! le roi Louis XIII mit la main sur cet impôt ! Les égouts, négligés, s'encombrèrent encore plus... Au point que vers la fin du XVII^{ème} siècle, les égouts des rues Saint-Louis et Vieille-du-Temple inondaient les maisons à la moindre pluie, de telle sorte que les habitants demandèrent qu'on détruisît les égouts en offrant de contribuer aux dépenses (Belgrand). Et pourtant, tous les déchets n'allaient pas à l'égout.

Belgrand raconte qu'au cours de fouilles faites à Paris à la fin du XIX^{ème} siècle, on découvrit d'épaisses couches de terreau qui n'étaient autres que des matières fécales transformées. Certains gisements furent même exploités commercialement.

Le Grand Siècle, puis le Siècle des Lumières, furent aussi ceux des puanteurs ; témoin cette description de Sébastien Mercier dans son ouvrage "Tableau de Paris" (1781-1783) : "Faut-il s'étonner que l'air soit si vicié ? Les maisons sont puantes, et les habitants perpétuellement incommodés. Chacun a dans sa maison des magasins de corruption. Il s'exhale une odeur infecte de cette multitude de fosses d'aisance... Ces fosses, souvent mal construites, laissent échapper la matière dans les puits voisins. Les boulangers qui sont dans l'habitude de se servir de l'eau des puits, ne s'en abstiennent pas pour cela ; et l'aliment le plus ordinaire est nécessairement imprégné de ces parties méphitiques et malfaisantes. Les vidangeurs aussi, pour s'épargner la peine de transporter les matières fécales hors de la ville, les versent au

point du jour dans les égouts et dans les ruisseaux. Cette épouvantable lie s'achemine lentement le long des rues vers la rivière de Seine, et en infecte les bords, où les porteurs d'eau puisent le matin dans leurs seaux l'eau que les insensibles Parisiens sont obligés de boire". Plus loin Sébastien Mercier décrit le travail des 20 000 porteurs d'eau de la capitale : un seau d'eau amené à l'étage coûtait 1 sol. Et Mercier recommande d'ajouter à chaque chopine d'eau une cuillerée de bon vinaigre pour pouvoir vraiment la désinfecter !

Il est vrai que les techniciens municipaux ne pensaient même pas à acheminer les eaux usées vers l'aval de Paris. Ainsi, à une époque, la Bièvre devenue égout fut déviée vers l'amont de la Seine, polluant le liquide puisé par les porteurs d'eau : un recyclage fort malvenu ! Toutefois, c'est au XVIII^{ème} siècle que l'hygiène publique fit ses premiers pas. Vers 1750, Turgot, sur une idée ancienne de Colbert, fit installer un réservoir de chasse rue des Filles-du-Calvaire, contenant 22 000 muids d'eau (6 028 mètres cube) pour nettoyer le Grand

(1) A la fin du XVII^e siècle, la longueur des égouts à Paris ne dépassait pas 3 km !



Egout. Il avait d'ailleurs fait construire une importante longueur d'égout couvert. Au début du XIX^{ème} siècle, la Préfecture de Police fut créée et prit en charge le nettoyage périodique des égouts. Enfin, c'est Belgrand qui créa le réseau moderne de Paris et mit au point les techniques de construction et d'entretien. Son contemporain Poubelle débarrassa les Parisiens des déchets qui n'allaient pas aux eaux usées. Hausmann, Belgrand, Poubelle : trois grands noms de l'Hygiène Publique. Le premier fut donné à un boulevard prestigieux, le second à une rue dans l'est de Paris. Mais le troisième, en devenant un nom commun, reçut peut-être la plus belle consécration. Il est vrai qu'il existe une rue Eugène Poubelle (XVI^{ème}), si discrète que les Parisiens ne risquent pas d'y porter leurs déchets !

"AER AND SMOAKE OF LONDON"⁽²⁾

Paris "ville ordurière" avant d'être la "ville lumière" ! Les autres capitales étaient-elles mieux partagées ? Ce n'est pas si sûr : à Londres, les sessions du Parlement furent parfois suspendues en raison des odeurs épouvantables qu'émettait la Tamise. Sans doute les députés britanniques avaient-ils les narines délicates car, du temps de la reine Elizabeth 1^{ère}, il était interdit de brûler du charbon pendant que le parlement siégeait ! Et l'on pense à la "purée de pois" nom populaire du fameux "smog" (3) londonien. Mais le smog de Londres n'existe plus aujourd'hui. Pour n'être pas une ville sans pollution, la capitale anglaise ne choque plus par l'état de son atmosphère. Ce qui paraît aujourd'hui normal est l'heureuse conclusion de sept siècles de lutte contre la pollution de l'air par le charbon. Des archéologues anglais ont établi que le charbon était utilisé 15 siècles avant notre ère dans le nord est de l'Angleterre... pour la crémation des morts... opération sans nul doute très polluante ! Une des premières mentions historiques de la nuisance charbonnière date de 1257 : cette année-là, la reine Eleanor qui séjournait à Nottingham pendant que

le roi Henri III guerroyait au pays de Galles, dut quitter cette ville trop enfumée pour se réfugier à Tutbury. En 1273, le roi Edouard 1^{er} interdit à Londres l'usage du charbon en raison de son effet nocif sur la santé. Malgré cela, à la fin du XIII^{ème} siècle, la consommation de charbon augmenta rapidement. Les députés au Parlement, les nobles et notabilités de passage commencèrent à protester contre la fumée. L'opinion publique les suivit : manifestations et pétitions se multiplièrent et en 1306, une proclamation royale interdit à nouveau l'usage du charbon. Cette décision fut suivie de peu d'effet bien que, dit-on, un entrepreneur de chauffage eût été pendu pour avoir transgressé l'interdit ! Peu d'années après, une commission fut nommée pour enquêter sur tous ceux qui brûlaient du "charbon de mer"⁽⁴⁾ dans la ville ou le voisinage, pour les punir à la première infraction par "de lourdes amendes et rançons", et pour démolir leur four à la deuxième infraction. Et la consommation de charbon ne fit que croître ! Jusqu'au XIV^{ème} siècle cependant, le charbon n'était guère utilisé que dans les manufactures.

Les particuliers se chauffaient au bois. Il est vrai que les pièces où l'on faisait du feu ne comportaient pas de cheminée : la fumée s'échappait par les interstices des portes et des fenêtres. On devait, selon la loi, et pour limiter le risque d'incendie, éteindre le feu à une certaine heure de la soirée, d'où le nom de "couvre-feu" qui s'est altéré en l'équivalent anglais "curfew". Les cheminées n'existaient au début que dans les châteaux et quelques maisons de brique, mais elles se répandirent rapidement au XIV^{ème} siècle et, avec elles, l'emploi du charbon. Toutefois, la bonne société anglaise répugnait à l'usage de ce combustible nauséabond : "Durant ces 30 dernières années, les nobles dames de Londres n'auraient par pénétré dans une maison ou une pièce où l'on brûlait du charbon, ni accepter de manger de la viande bouillie ou rôtie sur un feu de charbon (Howe, 1631)". C'est la crise de l'énergie (déjà !) qui eut raison de ces réticences.

L'expansion démographique et économique qui marqua la Renaissance épuisa les forêts : de 1600 à 1650 le prix du bois de chauffage fut en Angleterre multiplié par huit. Le bois d'œuvre augmenta plus encore. L'ensemble des prix, entre temps avait triplé. Une croissance démographique et économique rapide, entraînant inflation et crise de l'énergie ! Cela ne vous rappelle-t-il rien ? En 1578, la corporation des brasseurs propose de ne brûler que du bois dans les brasseries avoisinant le palais de Westminster parce que la reine Elisabeth était gravement incommodée par la fumée de charbon. Décidément les souverains anglais n'avaient pas plus de chance avec la pollution de l'air que leurs confrères de Paris avec la pollution des eaux ! D'ailleurs ces derniers, même installés à Versailles, n'étaient guère mieux lotis que les britanniques : dans un livre publié en 1933 on peut lire un curieux tableau de la vie au palais de Versailles sous Louis XIV.

"La cour devait, non seulement se résigner à grelotter devant les cheminées monumentales, mais aussi à vivre, durant tout l'hiver, dans un brouillard de fumée si dense et si tenace qu'on ne distinguait rien que de vagues ombres quand on circulait aux jours d'affluence dans les galeries, les salons et les antichambres, imprégnés d'une âcre odeur de suie qui persistait jusqu'au plus fort de l'été... Un machiniste inventa un appareil savamment dénommé Capnebaltique et Capnephaltique, et que nous appellerions moins pompeusement un "capte-suie". Malheureusement, il n'eut d'autre effet que des grincements si lugubres et si sonores et incessants miaulements que, durant les deux nuits qu'il fonctionna, le roi, son entourage, le moindre valet de son innombrable suite ne perdirent point une note de ce harcelant fracas et ne trouvèrent pas un instant de sommeil".

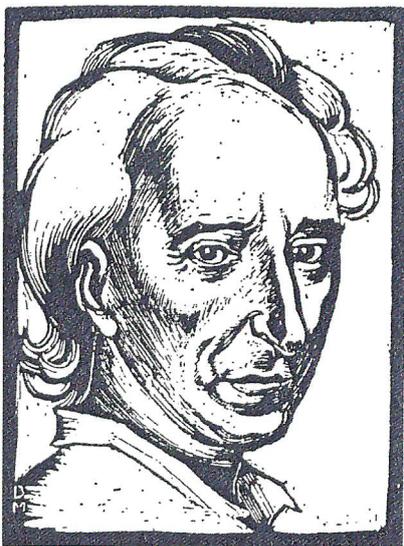
(2) *Air et fumée de Londres (vieil anglais).*

(3) *De smoke (fumée) et fog (brouillard)*

(4) *Nom ancien du charbon (Sea coal) dû au fait qu'on le ramassait d'abord au bord de la mer*

FUMIFUGIUM OU "LES CLASSIQUES DE LA POLLUTION"

La littérature sur la pollution a ses classiques : en 1661, John Evelyn publie à Londres un opuscule "Fumifugium, or the Inconveniency of the smoake of London, dissipated etc...". Ce document, truffé de citations latines, était une requête présentée au roi Charles II "notre illustre Charles qui est la respiration même de nos narines, dont la bonne santé est tout notre bonheur"... John Evelyn met autant de vigueur à dénoncer la malfaisance des fumées de charbon qu'à flatter son roi et c'est avec une éloquence émue qu'il parle de sa bonne ville de Londres. "Que cette glorieuse et antique cité, qui de bois devint brique (comme une autre Rome) puis de brique fut rebâtie de pierre et de marbre, qui règne sur l'Océan jusqu'aux Indes, qui touche les antipodes... drape sa tête majestueuse dans des nuages de fumée et de soufre, si remplis de puanteur et de noirceur, je le déplore avec une juste indignation". Et la fureur purificatrice de l'auteur dénonce le coupable : "Qu'est tout cela, sinon cet infernal et lugubre nuage de charbon ? Les habitants (de Londres) ne respirent qu'une brume impure et épaisse, accompagnée de vapeurs fuligineuses et sales, qui les rend sujets à mille désagréments, attaque leurs poumons, dérègle le comportement



John Evelyn

FUMIFUGIUM :
OR,
The Inconvenience of the AER,
AND
SMOAKE of LONDON
DISSIPATED
TOGETHER
With some REMEDIES humbly proposed
By John Evelyn Esq;
To His Sacred MAJESTIE,
AND
To the PARLIAMENT now Assembled.
Published by His Majesty's Command.

Lucret. 1. 5.
Carbonumque gravis vis, auque odor insinuar.
Quam facile in Cerebrum?—

tout entier de leur corps, de telle sorte que les catarrhes, la phtisie, la toux, sévissent plus en une seule cité que sur tout le reste de la terre". Dans son indignation, l'auteur nous prend à témoin : "Y-a-t'il sous le ciel un lieu où l'on entende plus de toux et de reniflements qu'à Londres dans les églises et les lieux publics, où expectorations et crachements sont incessants et tout à fait insupportables ?

John Evelyn signale aussi la corrosion des métaux, des pierres et des monuments. Et il cite de nombreux faits prouvant la gravité du mal. Pendant une guerre, dit-il, la ville de Newcastle fut assiégée et ne put exporter son charbon. Alors les jardiniers de Londres eurent la surprise de voir les arbres fruitiers se mettre à fleurir et à porter des fruits au cœur même de la ville. Le vieux Parr à l'âge de 150 ans s'était offert son premier voyage à Londres. Il en mourut, victime non pas du changement de nourriture, nous dit Evelyn, mais de l'impureté de l'air. L'auteur affirme que sur la côte française, la vigne en fleur fut endommagée par des émanations venues des Iles Britanniques !

Et l'auteur propose des solutions : déplacer les innombrables ateliers et manufactures à 6 milles en aval sur la Tamise, derrière une colline qui protégerait Londres des fumées. Il pense même que la chaleur dégagée en ces lieux par les manufactures corrigerait

l'humidité excessive et la peste des vapeurs issues des marécages ! Une fois Londres débarrassée de ses fumées, l'auteur propose d'en faire un des lieux les plus agréables du monde en créant à l'est et au sud-ouest d'immenses plantations d'arbustes et de fleurs odorantes, capables d'embaumer toute l'atmosphère de la ville. Et l'auteur cite en exemple... Paris où l'on sent, dit-il, à la saison des roses, de plaisantes effluves venues de Vaugirard et de Fontenay (devenu depuis "aux roses"). Enfin il dénonce la laideur des "pavillons de banlieue" et des taudis en face du palais de Whitehall. A ce point j'éprouve quelque remords à avoir peut-être amusé le lecteur aux dépens de John Evelyn, car son génie encyclopédique force le respect : traducteur en anglais d'ouvrages grecs, latins, français, auteur de traités sur l'histoire, la religion, l'architecture, le droit, la navigation, le commerce. Il est le père de la sylviculture et fut un horticulteur émérite. Amateur éclairé de bons vins, il pourfendit l'ivrognerie. Son approche intellectuelle des questions préfigurait l'esprit scientifique moderne. Enfin ses qualités morales étaient à la hauteur de son intelligence. C'est donc un hommage mérité que lui rendit au XX^{ème} siècle la National Society for Clean Air (5) en choisissant son portrait comme emblème.

Le Fumifugium, malgré son éloquence passionnée, resta lettre morte. 40 ans après, Timothy Nourse, dans son "Discours sur le combustible de Londres", dénonça lui aussi la malfaisance de la fumée de charbon. Il proposait de revenir au bois, et pour cela de mettre en forêt la totalité des landes et terrains vagues jusqu'à 20 ou 30 milles de Londres. Le Fumifugium fut réédité en 1772. L'auteur de la préface dénonce l'aggravation de la situation depuis 1661 : "Au temps d'Evelyn, écrit-il, on se plaignait que les arbres fruitiers de Londres n'eussent pas de fruits. Aujourd'hui ils ne mettraient pas de feuilles !". Il propose que l'on expé-

(5) Association nationale pour l'air pur.

POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET LITTÉRATURE

La pollution n'est pas un phénomène nouveau comme le montrent abondamment les textes qu'on vient de citer.

On est même fondé à penser que des progrès considérables ont été faits dans ce domaine (ce qui ne veut pas dire qu'ils soient suffisants !). Quoi qu'il en soit, de nombreux auteurs — et depuis des siècles — ont dénoncé les pollutions de toutes sortes et la littérature mondiale en porte témoignage dans les écrits les plus divers.

Nous suggérons à nos lecteurs de nous adresser les "découvertes" qu'ils ont pu faire au cours de leurs lectures, en particulier dans la littérature française. Seront en particulier bienvenus les textes spirituels.

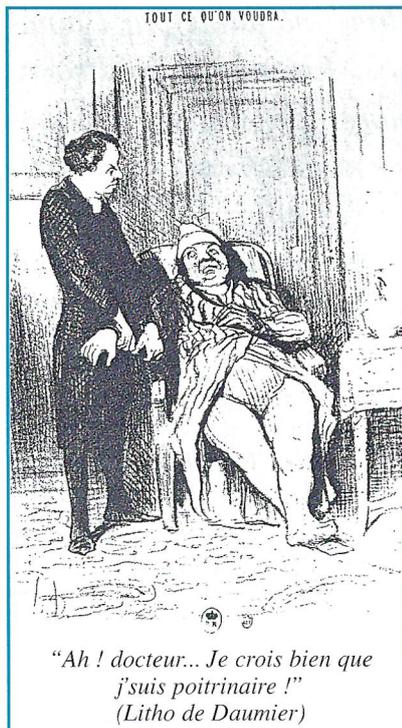
Surtout n'oubliez pas d'épingler les sottises ; mais là, il n'est pas nécessaire d'aller fouiller très loin : la lecture de journaux contemporains suffira à alimenter un "sottisier". Bonne chance, et d'avance merci de votre collaboration.

R.J.

rimente de nouvelles cheminées plus hautes et plus efficaces, s'étonne que l'on ne généralise pas l'usage du coke, que l'on enterre les morts en pleine cité... Puis les propos deviennent cinglants : "Les anciens Romains, écrit l'auteur, laissaient mourir les enfants non désirés ; les Chinois font de même aujourd'hui. Notre conscience réproouve ces pratiques barbares, mais à Londres nous condamnons la moitié des enfants à mourir avant l'âge de 2 ans parce que ne faisons rien contre la corruption de l'air".

Hélas, le rééditeur de John Evelyn n'avait encore rien vu. La première révolution industrielle commençait, grâce à la machine à vapeur dévoreuse de charbon. Le voile noir de Londres s'épaissit, gagna les Midlands à mesure que s'ouvraient les manufactures. D'autres nuages se

formaient sur la Rhur, le nord de la France, les provinces belges, les Etats-Unis, à Pittsburg notamment. Et dans leurs plis fuligineux s'abritent les puits auprès de ce qu'un auteur anglais nomme l'ère paléotechnique" : les enfants de la mine dès l'âge de 6 ans, les faubourgs misérables, l'usine en feu, qui selon les vers d'Albert Samain, dévorait un peuple moribond. La littérature est là pour nous rappeler cette époque tragique. "Coketow était la cité du réel. C'était une ville de briques rouges et de briques qui auraient été rouges si la fumée et la suie l'avaient permis... Une ville de machines et d'autres édifices sur laquelle se tordaient des serpents de fumée qui ne se dénouaient



"Ah ! docteur... Je crois bien que j'suis poitrinaire !" (Litho de Daumier)

jamais" (Charles Dickens). C'était l'époque où des objets manufacturés portaient des marques de fabrique représentant d'immenses usines hérissées de cheminées et de "serpents de fumée". La fumée était signe de prospérité. Sa disparition signifiait faillite et chômage. Verhaeren chanta ces tristes villes polluées de la fin du XIX^{ème} siècle :

"Le Soleil clair ne se voit pas
"Bouche qu'il est de lumière, fermée
"Par le charbon et la fumée,
"Un fleuve de naphte et de poix
"Bât les môles de pierre et les pontons de bois."

La pollution revêt aussi des formes moins susceptibles d'inspirer les poètes : ainsi vous connaissez la vieille expression familière "travailler du chapeau". Elle a un équivalent anglais : "Mad like a hatter"(6). Au siècle dernier, les ouvriers qui fabriquaient les chapeaux de feutre étaient atteints de désordres nerveux graves allant jusqu'à la folie, dus à l'intoxication par les sels de mercure utilisés pour traiter les feutres. Ajoutons que le mercure faisait plus qu'aujourd'hui partie de notre environnement : la poussière de charbon en contenait en quantités non négligeables, comme le montrent des analyses de cheveux datant de cette époque.

Louis Sébastien MERCIER (1740-1814)

Louis Sébastien Mercier, à l'instar de Restif de la Bretonne, n'est pas considéré comme un grand écrivain : "il ne manque ni de perçant dans l'observation, ni de neuf dans le style mais ce n'est qu'un La Bruyère de bas étage", tranche Barbey d'Aurevilly. Il n'en reste pas moins très représentatif d'une époque de fermentation intellectuelle et de bouleversements sociaux.

Son Tableau de Paris, qui fait pendant aux Nuits de Paris de Restif de la Bretonne, publié entre 1781 et 1788, eut un succès considérable. Paris est alors en pleine croissance et les pollutions et nuisances s'abattent sur les habitants. Mercier, à la manière d'un journaliste moderne, explore tous les bas fonds, partout où rôdent la maladie, les miasmes, la perversion et la mort : il en résulte un vivant tableau des mœurs du plus grand intérêt pour la connaissance de cette époque.

Bibliographie

Voir Le Tableau de Paris suivi de le Nouveau Paris dans Paris le Jour, Paris la Nuit Collection Bouquins, Robert Laffont, 1990.

(Dans le même ouvrage : "Les Nuits de Paris", de Restif de la Bretonne).

(6) "Fou comme un chapelier"

Conférence prononcée à l'occasion de l'Université d'Eté "Lumière, sons et ultrasons"
organisée par l'ADASTA le 1/09/94

Ultrasons en Médecine

Paul AVAN

Laboratoire de Biophysique, faculté de Médecine, Clermont-Ferrand

1. REFLEXION, TRANSMISSION

On peut faire de l'échographie grâce aux propriétés réfléchissantes des interfaces entre deux milieux d'impédances acoustiques différentes.

De manière générale, l'impédance mécanique est un coefficient qui traduit la résistance d'un milieu à la mise en mouvement. On pose $Z = F/v$, où F est la force appliquée et v la vitesse prise par le corps auquel F est appliquée. En acoustique, on préfère faire intervenir la pression acoustique, c'est-à-dire la force par unité de surface.

L'impédance acoustique d'un milieu homogène et isotrope est donnée par la relation très simple $Z = \rho c$, où ρ est la masse volumique du milieu et c la célérité de propagation du son dans le milieu (340 m/s environ dans l'air, 1540 m/s dans l'eau et la plupart des tissus mous du corps humain, constitués d'eau en majorité). Lorsqu'un son arrive à incidence normale sur une interface entre deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 différentes, une fraction de la puissance acoustique incidente est réfléchie, soit :

$$r = (Z_1 - Z_2)^2 / (Z_1 + Z_2)^2$$

Le reste est transmis, soit $1 - r = t = 4Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2$

Quand Z_1 est très différent de Z_2 , (interface air - eau par exemple, avec $Z_1 = 430 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ et $Z_2 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), r est proche de 1 (ici 0,999, avec $t = 0,0001$). Ce cas est défavorable à l'imagerie car le son ne se propage alors pratiquement plus derrière l'interface qui fait apparaître une "ombre acoustique". Le cas des tissus mous est plus favorable car t est assez proche de 1. Exemples :

Par convention, le terme "ultrason" est appliqué à un son de fréquence supérieure à 20 kHz. Il est donc inaudible par l'homme. En imagerie ultrasonore, on utilise typiquement des fréquences comprises entre 1 et 10 MHz. Les premières applications médicales de ce type sont apparues dans les années 1950. Les progrès de l'électronique et de l'informatique ont permis à la technique d'imagerie ultrasonore de connaître une véritable explosion.

Les propriétés de base des ultrasons ne se distinguent pas de celles des autres sons, si ce n'est par leur importance relative.

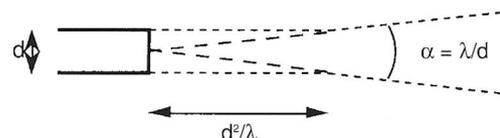
Impédance de divers tissus :
eau 1,52 (kg.m⁻². s⁻¹ x 10⁶)
graisse 1,35
rein 1,62
muscles 1,65-1,74
poumon 0,26
os 3,75-7,38
air 0,00043
Interface air/eau = 0,9990

2. DIFFRACTION

Une onde sonore qui rencontre un obstacle ne se propage pas en ligne droite mais subit une diffraction. Les ultrasons, de courte longueur d'onde, sont très directifs. La directivité augmente avec la fréquence.

Conséquences pratiques : Une sonde ultrasonore de section circulaire plane de diamètre d n'émet pas une onde plane mais un faisceau d'abord cylindrique, puis divergent.

Caractéristiques du faisceau émis



A une distance de la sonde émettrice plus grande que d^2/λ l'angle au sommet du cône est λ/d , quand f augmente, la directivité augmente effectivement, pour deux raisons : d^2/λ augmente et λ/d diminue. Par exemple :

- pour $d = 1,5 \text{ cm}$, $f = 2 \text{ MHz}$, $\lambda = 0,077 \text{ cm}$, $d^2/\lambda = 29,2 \text{ cm}$ et $\lambda/d = 2,94^\circ$
- pour $f = 4 \text{ MHz}$, $d^2/\lambda = 58,4 \text{ cm}$ et $\lambda/d = 1,45^\circ$

Le faisceau est difficilement utilisable car son intensité varie latéralement de manière complexe, en fonction de la distance à son axe : on observe des lobes latéraux. De plus, le long de l'axe de propagation, la puissance émise varie de manière compliquée avec la distance à la sonde, tant que celle-ci est inférieure à d^2/λ . Au delà, l'onde sonore devient sphérique.

3. ATTENUATION

Celle-ci résulte de deux mécanismes :

3.1. Diffusion. Celle-ci consiste en une réémission quasi isotrope des ultrasons par les inhomogénéités du tissu. L'intensité du signal diffusé est proportionnelle à $1/\lambda^4$. La diffusion augmente donc considérablement avec la fréquence.

3.2. Absorption. L'énergie absorbée est transformée en chaleur (d'où les applications des ultrasons en kinésithérapie, pour réchauffer ponctuellement des tissus en voie de cicatrisation).

A (décibels) = $\alpha f x$, avec f = fréquence, x = profondeur traversée, α s'exprime en $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$. Exemples :

Atténuation : dans les tissus mous : 0,3 à 1,5 $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$

dans l'os : > 2

dans le poumon 20

dans le sang 0,1

Ces deux causes s'ajoutent, avec pour conséquence une diminution de l'énergie ultrasonore transmise vers la profondeur d'un organe. La diffusion comme l'absorption augmentent avec la fréquence, donc la profondeur explorable diminue lorsque la fréquence augmente, les détecteurs étant limités en sensibilité; Ces effets limitent la possibilité que l'on aurait d'augmenter la directivité, donc la résolution, en choisissant des fréquences ultrasonores très élevées. En pratique, on doit choisir un compromis, comme suit :

Pour explorer une profondeur de

25 cm (abdomen) $f = 2$ MHz

10 cm (sein) $f = 3-5$ MHz

2,5 cm (œil) $f = 10$ MHz

(rapport d'amplitude des échos forts et faibles de l'ordre de 110 dB)

4. REALISATION PRATIQUE D'UN EXAMEN ECHOGRAPHIQUE : IMPERATIFS TECHNIQUES

4.1. Les sondes ultrasonores

a. principe

Elles sont basées sur le phénomène

de piézoélectricité (très étudié par Pierre Curie) :

- Lorsqu'une céramique piézoélectrique est soumise à une différence de potentiel alternative de haute fréquence, son épaisseur varie à la fréquence d'excitation, d'où émission d'ultrasons ;

- Inversement, lorsque la même céramique est soumise à une onde de pression ultrasonore qui en provoque la déformation, une différence de potentiel alternative apparaît à ses bornes. La sonde fonctionne donc aussi bien en émetteur qu'en récepteur.

Le principe de piézoélectricité, qui existe à l'état naturel (quartz) repose sur l'existence d'une asymétrie dans un cristal, de sorte que les centres de gravité des charges + et - ne coïncident plus lors d'une déformation. On utilise maintenant des céramiques de beaucoup plus grande efficacité et faciles à tailler pour adopter la forme souhaitée (PZT : céramique ferroélectrique à base de Plomb, Zirconium et Titane). (D'autres sources d'ultrasons sont basées sur un principe différent, la magnétostriction. Leur gamme d'utilisation est limitée aux fréquences peu supérieures à 20 kHz mais la puissance disponible est beaucoup plus grande).

b. Propriétés de résonance

Un cristal piézoélectrique présente une fréquence de résonance qui est fonction de son épaisseur ($e = \lambda/2$). (La résonance est en général très fine.

Cette propriété est utilisée pour obtenir des circuits électriques de fréquence d'oscillation très bien contrôlée). dans le cas des sondes ultrasonores, on peut avoir intérêt à faire diminuer le facteur de qualité (Q) de la résonance pour obtenir une émission sur une gamme de fréquences plus large. Pour permettre l'émission d'impulsions assez brèves, l'amortissement doit être élevé. Ceci est nécessaire pour obtenir une bonne résolution en profondeur (en effet, la profondeur d'une cible échogène est obtenue en mesurant le temps écoulé entre émission d'une impulsion et réception de l'écho, dont la précision dépend de la bonne définition temporelle de l'impulsion émise).

4.2. Focalisation des ultrasons

En raison de la diffraction, une sonde ultrasonore plane de petit diamètre (condition nécessaire pour effectuer un examen avec une résolution latérale correcte) n'émet pas une onde plane, mais au contraire une onde divergente (voir section précédente). De plus cette émission est inutilisable

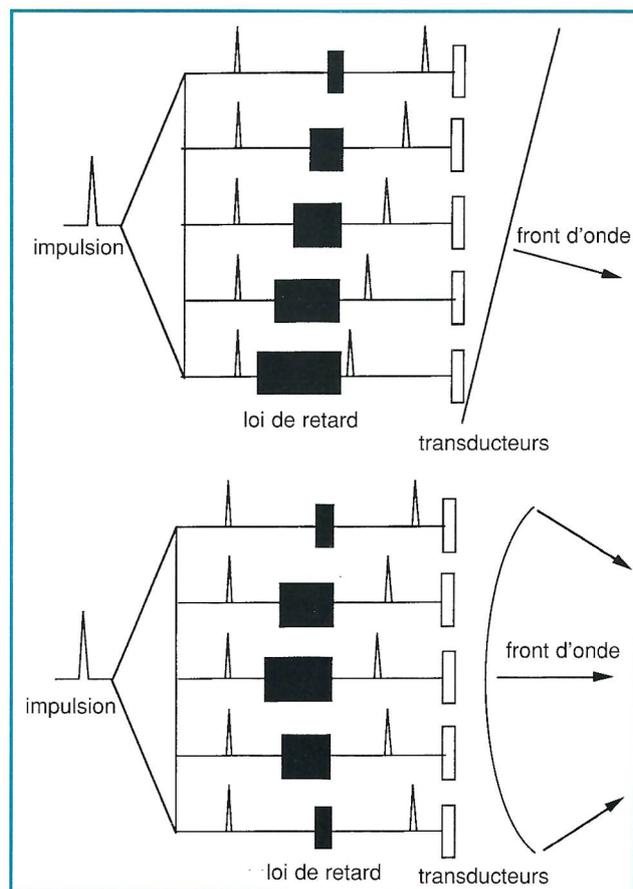


Schéma 1

en champ proche en raison de l'inhomogénéité du faisceau (lobes latéraux, modulation longitudinale). Le faisceau émis doit donc être focalisé. Ceci réduit la profondeur et la largeur de faisceau utilisable mais permet d'optimiser la qualité des images obtenues dans la région du foyer du faisceau. Deux techniques sont utilisables :

a. focalisation par lentille acoustique, de forme concave, taillée une fois pour toutes ;

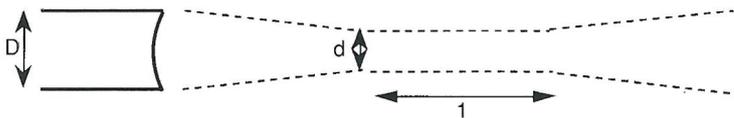
b. focalisation dynamique. Ce procédé, électroniquement beaucoup plus complexe, permet une souplesse d'utilisation considérable. La surface de la sonde émettrice reste plane ; elle est divisée en secteurs découplés mécaniquement et alimentés séparément par des lignes à retard. La loi de retard choisie permet de faire varier la distance focale. La direction de propagation peut même varier de façon très rapide sans déplacement de la sonde, ce qui permet un balayage angulaire automatique.

(Schéma 1)

Le même procédé est utilisable en détection (grâce au principe du retour inverse), ce qui permet une double focalisation. Selon la profondeur d'où ils proviennent, les échos arrivent successivement et peuvent être traités selon une loi de retard (en détection) variable.

4.3. Paramètres d'un faisceau focalisé :

La forme du faisceau est représentée sur la figure suivante :



soient 1 longueur utilisable du faisceau (mm)

d diamètre utilisable du faisceau (mm)

D diamètre de la sonde (mm)

f fréquence des ultrasons (MHz)

F distance focale (mm)

Au voisinage du foyer, elle est représentée par un cylindre avec une

bonne approximation. Son diamètre est d (distance mesurée perpendiculairement au faisceau pour laquelle l'intensité sonore diminue de 20 dB). Sa longueur est l (distance mesurée parallèlement au faisceau pour laquelle l'intensité sonore diminue de 3 dB). Ces deux dimensions définissent la résolution latérale et la profondeur de champ.

On a $1/d^2 = f/1,8$ (1 et d en mm, f en MHz) donc à d fixé, l est proportionnelle à f et $1/d = 2 F / D$ (F focale, D diamètre de la sonde), donc si D diminue, 1/d augmente

exemple : f = 3,5 MHz ; D = 16 mm ; F = 100 mm donc d = 6,4 mm ; l = 80 mm

Pour résoudre le compromis entre profondeur de champ (1) et résolution latérale (d), on peut utiliser un système de focalisation dynamique, en profitant de ce que la focale peut être réglée plus courte pour les échos précoces, puis de plus en plus longue pour les échos plus tardifs. La profondeur de champ totale balayée séquentiellement est alors très grande sans compromettre d.

4.4 Limitations en ce qui concerne l'exploration

La principale d'entre elles résulte de la vitesse finie de la propagation du son dans les tissus à explorer. L'exploration d'une "ligne", le long d'une direction donnée où la résolution latérale est optimale, nécessite un temps $t = 2x/c$, où x est la profondeur maximale accessible et c la vitesse de propagation du son. L'exploration de la ligne suivante ne peut commencer qu'après ce délai.

Une image bidimensionnelle de qualité nécessite typiquement de l'ordre de $n = 250$ lignes pour être "lisible" confortablement. Pour un organe en mouvement, il est souhaitable de disposer d'une fréquence de récurrence de $F = 20$ à 25 images par seconde. Or on a la contrainte : $F = c/2nx$, qui laisse une marge de manœuvre faible (c'est-à-dire x de l'ordre de 15 cm).

4.5 Résumé des éléments favorables et défavorables à la réalisation d'une imagerie échographique :

L'imagerie échographique est possible grâce à une série de compromis :

- il est nécessaire d'avoir des différences d'impédances entre milieux successifs, qui doivent être assez grandes pour donner lieu à des échos détectables, mais pas trop pour permettre à une fraction importante du faisceau ultrasonore explorateur d'être transmis plus profondément (ces deux impératifs sont conciliés dans le cas des tissus mous, au contraire des solides - os, calculs, etc,...) ;

- L'intérêt d'une atténuation assez élevée est d'éviter qu'une interface ne donne lieu à des réflexions multiples, c'est-à-dire à des images multiples ; toutefois, l'atténuation doit être assez modérée pour permettre au son de se propager plus profondément avec une puissance suffisante pour que le détecteur obtienne des images (ce compromis est réalisé en ajustant la fréquence des ultrasons) ; (le non respect de ces conditions, possible localement, entraîne des artefacts) ;

- L'ajustement de la fréquence des ultrasons à des fréquences assez basses pour que l'atténuation reste raisonnable conduit à limiter la résolution du système d'imagerie, mais celle-ci reste le plus souvent correcte (de l'ordre du mm) ;

- enfin, la vitesse du son est sensiblement constante quel que soit le tissu mou étudié, ce qui permet d'effectuer des mesures de distance et d'obtenir des images sans distorsion (à +/- 5% près).

5. TRAITEMENTS NECESSITES PAR L'INTERPRETATION DES IMAGES : QUELQUES EXEMPLES

Un traitement est nécessaire, par exemple, à cause de l'atténuation exponentielle des tissus, qui impose une correction. Pour deux échos identiques mais engendrés à des profondeurs différentes, la correction

permet d'afficher des échos d'amplitudes finalement identiques, en compensant les atténuations différentes subies.

Une telle correction est basée sur une

atténuation moyenne attribuée à tous les tissus traversés. Cependant, certaines zones traversées ont une atténuation beaucoup plus faible que la moyenne, sur une épaisseur de quelques cm (exemple : une vessie

pleine de liquide, pour lequel l'atténuation est très faible). Les zones situées postérieurement apparaîtront alors artificiellement plus intenses ("renforcement postérieur").

IMAGERIE ULTRASONORE PAR EFFET DOPPLER

1. PRINCIPE

Lorsqu'une source sonore fixe émet un son sinusoïdal de fréquence f , un récepteur mobile animé d'une vitesse v par rapport à la source reçoit ce signal sonore avec une fréquence apparente f' différente de f , la différence étant proportionnelle à $v \cos \theta$, θ étant l'angle entre la direction d'émission du son et le vecteur vitesse du mobile.

Un effet de décalage analogue se produit quand la source est mobile (émettant f') et le récepteur fixe (détectant f'').

En résumé :
récepteur fixe, source mobile ($\theta = 0$)
 $f' - f = f \cdot c / (c - v)$

source fixe, récepteur mobile ($\theta = 0$)
 $f'' - f' = f' \cdot c / (c + v)$

\Rightarrow globule rouges : $\Delta f = (2 v \cos \theta / c) f$

2. DOPPLER CONTINU

Dans le cas d'une sonde ultrasonore et des globules rouges se déplaçant dans un vaisseau, les deux effets se produisent et cumulent leur action : les globules rouges mobiles se comportent comme des récepteurs, recevant une fréquence décalée, puis ils rétro-diffusent cette vibration (voir loi de Rayleigh en λ^{-4}), reçue de nouveau décalée par la sonde. Au total :

$$\Delta f = f_c \cdot 2v \cos \theta / c$$

f_c étant la fréquence ultrasonore émise

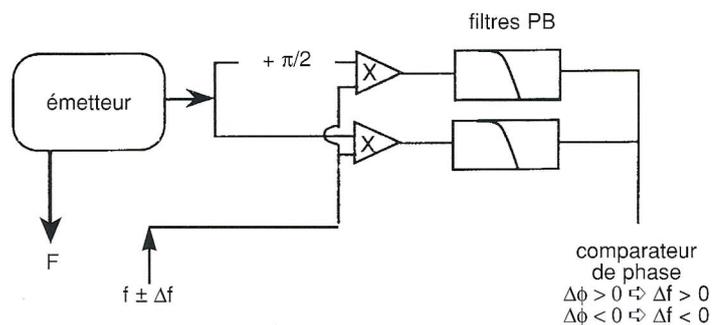
Numériquement, Δf est de l'ordre de 1 à 5 kHz.

La technique initialement utilisée (Doppler continu) consiste à envoyer un son test continu et à détecter f éga-

lement en continu (la détection peut en être sonore, par battement entre f_e et $f_e + \Delta f$ détecté). L'inconvénient majeur de cette méthode est que rien ne permet de connaître la profondeur

des échos. En cas de superposition d'échos de diverses profondeurs (même artère faisant un coude, par exemple), les mesures peuvent être ininterprétables.

Emission continue



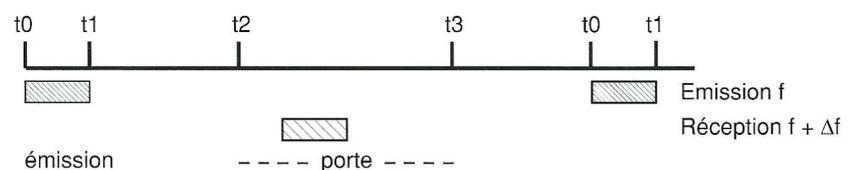
filtres PB : passe bas

3. DOPPLER PULSE

Pour cette raison, la technique dite de Doppler pulsé a été mise au point. La sonde émet une impulsion très brève et ne recueille les échos qu'à l'intérieur d'un intervalle de temps pré-régulé (fenêtre de mesure) correspondant à une profondeur connue. L'impulsion est répétée avec une fré-

quence récurrentielle donnée (limitée en pratique par le temps qu'il faut attendre avant d'émettre l'impulsion suivante, pour recueillir les échos de l'impulsion en cours provenant de la profondeur examinée). La variation de la fenêtre d'exploration permet un balayage en profondeur donc par exemple l'établissement du profil de vitesse dans une artère de gros diamètre.

Emission pulsée



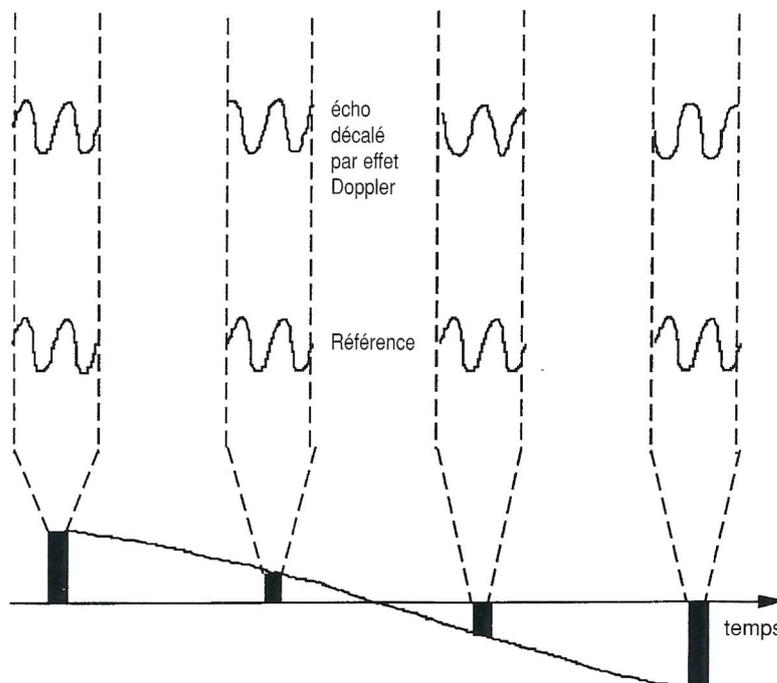
Fenêtre d'exploration

$$d_{\min} = (t_2 - t_1) c / 2$$

$$d_{\max} = (t_3 - t_0) c / 2$$

L'analyse en fréquences du signal Doppler recueilli permet de connaître la distribution statistique des vitesses en fonction du temps, ce qui est très utilisé pour connaître l'hémodynamique.

La technique de détection utilisable fait appel à l'échantillonnage, un point de mesure étant réalisé à l'issue de chaque impulsion. Or, le taux de récurrence F_r de ces impulsions est limité (à $c/2 P_{max}$, où P_{max} est la profondeur maximum étudiée). Dans ces conditions, le théorème de Shannon impose que la fréquence maximum mesurée (soit Δf_{max}) ne dépasse pas $0,5 F_r$. Si ce critère (dit de Nyquist) n'est pas respecté, il apparaît une ambiguïté sur Δf (effet de type "stroboscopique").



Le signal à la fréquence Δf est obtenu par démodulation. Il est échantillonné donc on doit reconstituer la sinusoïde qui le représente au moyen de quelques points par période. Ceci n'est possible sans ambiguïté que si l'on dispose d'au moins deux échantillons par période (Théorème de Shannon).

ONDES DE CHOC ULTRASONORES, LITHOTRIPEUR

Le principe consiste à utiliser des impulsions ultrasonores de durée très faible et de niveau crête très élevé, focalisées sur un obstacle de petite dimension et d'impédance acoustique plus élevée que les tissus environnants (un calcul par exemple, dont on cherche à obtenir la fragmentation). La focalisation est obtenue en disposant en mosaïque quelques centaines de transducteurs ultrasonores, alimentés de manière synchrone, sur la surface interne d'une demi-sphère dont le centre est occupé par le calcul cible. D'autres dispositifs utilisent un réflecteur ellipsoïdal, le générateur d'ondes de choc étant à un foyer et le calcul à l'autre foyer.

La durée des impulsions est de l'ordre de $1 \mu s$. La nature ultrasonore des signaux acoustiques émis résulte de cette valeur (en effet, le spectre fréquentiel est réparti autour de 1 MHz). La "tache focale" obtenue a quelques mm de large et environ 2 cm de profondeur. La pression crête obtenue au foyer approche 1000 bar, pour une énergie incidente de 0,5 à 20 mJoule. Le taux de répétition des

impulsions est de l'ordre de quelques coups par seconde. La durée totale d'une séance est d'une demi-heure environ.

En fait, une séance est relativement indolore car l'énergie dissipée est faible à la traversée des tissus mous. Elle ne devient élevée qu'au voisinage immédiat du foyer. La focalisation est contrôlée en permanence au moyen d'un système d'imagerie échographique classique couplé au dispositif.

COMPLEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

- article récent dans "La Recherche" : Le retournement des ondes acoustiques", par Mathias Fink, La Recherche 264, avril 94 vol. 25, pp. 392-400.
- N° spécial du Journal de Biophysique et de Médecine Nucléaire 1991, vol. 15, pp.123-182 (Gauthier Villars).



MATERIEL ELECTRONIQUE PROFESSIONNEL

Composants - Mesure - Outillage
Réalisation circuits imprimés

63000 CLERMONT-FERRAND
22, rue Saint-Adjutor
Rél. 73 31 13 76 - Fax 73 31 09 34

87000 LIMOGES
17, rue des Arènes
Tél. 55 32 47 96 - Fax 55 32 42 83

Ionisation des aliments

Suzanne GELY

Les techniques traditionnelles utilisent :

- la fumigation : ce procédé est actuellement restreint car il pourrait être nocif pour la santé (cancérogène)
- la chaleur : cuisson qui modifie la structure des aliments et détruit la plupart des vitamines
- appertisation ou conserves en boîtes : c'est Appert, industriel français (1749-1841) qui a inventé ce procédé.
- pasteurisation : c'est Pasteur, savant français (1822-1895), fondateur de la microbiologie qui a mis au point cette méthode : elle consiste à détruire par la chaleur (65° à 75° Celsius pendant 30 minutes environ) les germes pathogènes d'un liquide, le chauffage étant suivi d'un brusque refroidissement.
- le froid : réfrigération congélation
- la chimie : utilisation d'oxydes d'éthylène pour la conservation des fruits

Mais ces différentes techniques traditionnelles ne sont pas sans risques pour la santé et de plus s'avèrent insuffisantes car, selon la très sérieuse et internationale FAO (Food and Agricultural Organization) un quart de la production mondiale de la nourriture est encore perdue - à notre époque - après la récolte ! Ces pertes se produisent à tous les niveaux mais les plus importantes résultent des contaminations microbiennes et de l'infestation des insectes pendant le transport, le stockage et la répartition en magasins.

La conservation des aliments est un problème majeur pour la lutte contre la faim dans le Monde. Depuis que l'Homme a pratiqué la chasse du gibier, la pêche, la récolte des fruits, la domestication d'espèces végétales, l'élevage du bétail (pour la viande et pour les produits laitiers...), il a essayé au cours des siècles de prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires.



De plus, l'incidence des maladies dues à la nourriture est croissante dans le monde. Les diarrhées comptent pour 25 % des morts par maladies infectieuses et la nourriture est responsable à 75 % des diarrhées dans les pays en voie de développement. Et même aux Etats-Unis, sur la côte ouest en 1993, une flambée d'intoxication alimentaire causée par des hamburgers mal cuits a tué 4 enfants et a rendu malades au total 700 personnes adultes ou enfants (voir le Figaro du 22 octobre 1994).

C'est pourquoi des scientifiques de plusieurs disciplines et des experts ont pensé, depuis une quinzaine d'années, qu'il fallait utiliser les conquêtes modernes de la science atomique pour détruire les micro-organismes pathogènes, les insectes et retarder le pourrissement.

C'est ainsi que la technique de l'irradiation des aliments, mise au point après 30 années de recherche est devenue une méthode jugée sûre et efficace par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dont le siège est en Suisse, à Genève (adresse : OMS 1211 Genève 27). Cette technique d'irradiation avant d'être appliquée aux aliments est, depuis plus de 20 ans, largement utilisée pour la stérilisation des articles médico chirurgicaux à usage unique (aiguilles, seringues...) pour les flacons en plastique, les biberons... les cosmétiques mais aussi pour la conservation des œuvres d'art (momie de Ramsés traitée par le rayonnement γ du cobalt en France, au Musée de l'Homme à Paris, avant de retourner en Egypte dans la vallée des Rois...)

Les rayonnements ionisants utilisés actuellement sont de 3 types : rayonnement γ du cobalt 60 faisceaux d'électrons et le monde s'apprête à fêter les centennaires de leur découverte :

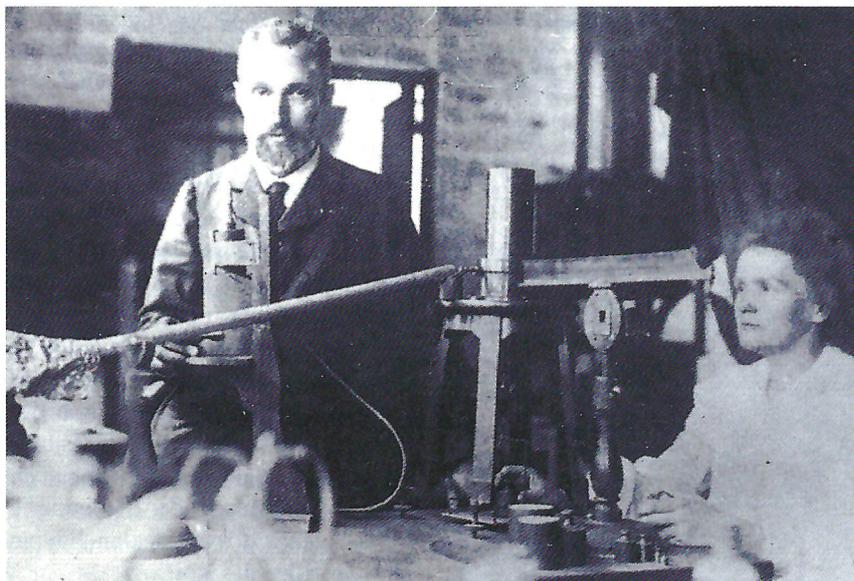
1895 Rayons X : c'est en plaçant une cible métallique en face d'une cathode, dans une ampoule de verre où règne un vide aussi poussé que possible que Wilhelm Conrad Roentgen, physicien allemand, en maintenant une différence de potentiel élevée (de l'ordre de 50.000 volts) entre les électrodes observa un rayonnement inconnu, impressionnant la plaque photographique ; ces rayons resteront mystérieux pendant 17 ans (d'où leur nom X) jusqu'à ce que Von Laue en 1912 montre que les rayons X sont des ondes électromagnétiques de très courte longueur d'onde

$0,001 \text{ nm} < \lambda < 10 \text{ nm}$
et leur fréquence N
 $3 \times 10^{16} \text{ Hz} < N < 3 \times 10^{20} \text{ Hz}$

1896 Radioactivité naturelle découverte par hasard par Becquerel, physicien français (émission de rayonnements par les sels d'uranium)

1897 L'électron est identifié par J.J. Thomson, physicien anglais (charge négative $e = -1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb
masse $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

*Pierre et Marie Curie dans le hangar de la rue Lhomond.
Découverte du polonium et du radium (1898).*

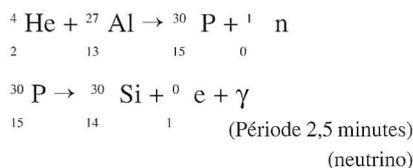


1898 Découverte par Pierre et Marie Curie à Paris des premiers radioéléments naturels : le polonium et le radium ; le centenaire de cette découverte sera fêté bientôt avec éclat dans la France entière.

1911 Découverte du noyau de l'atome par Rutherford, physicien anglais

1932 Découverte du neutron par Chadwick

C'est ensuite, en 1934, que Irène et Joliot Curie obtiennent, à Paris, en bombardant de l'Aluminium par des particules α (noyaux d'hélium) le premier radioélément artificiel : le phosphore 30 radioactif se transformant en Si 30 avec émission d'électrons positifs (rayonnement β^+)



Depuis cette date de nombreux éléments radioactifs -ou radionuclides- ont été produits : en bombardant des atomes stables naturels par différentes particules, il est possible de modifier l'état d'équilibre des noyaux de ces atomes et de créer des espèces radioactives artificielles. Cette production se faisant dans les réacteurs nucléaires ou à l'aide de cyclotrons (accélérateurs de particules) : par exemple le cobalt 59, élément naturel bombardé par des neu-

trons se transforme en cobalt 60, radioactif, de période 5,3 ans émettant le rayonnement γ servant à l'ionisation des aliments : le cobalt 60 est un émetteur β et se transforme en nickel

Le noyau fils de nickel est excité et c'est en revenant à l'état stable qu'il émet le rayonnement. Ces rayons γ ont des propriétés analogues à celles des rayons X «durs» de très courte longueur d'onde, ils sont très pénétrants et ce sont aussi des ondes électromagnétiques

$0,00001 \text{ nm} < \lambda < 0,01 \text{ nm}$
 $3 \times 10^{19} \text{ Hz} < N < 3 \times 10^{22} \text{ Hz}$

Ces trois types de rayons ionisants sont caractérisés par leur nature, leur origine et aussi par l'énergie qu'ils transportent, mesurée en millions d'électrons volts (MeV)

$1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$

mais les rayons utilisés pour irradier les aliments ont une énergie assez faible pour que les aliments ne deviennent pas radioactifs, assez forte pour inactiver les micro-organismes et tuer les insectes.

C'est ainsi que l'OMS a édicté des règles très précises, en limitant, par construction des appareils, l'énergie à 10 MeV pour les électrons accélérés
à 5 MeV pour les photons X
et pour les photons γ (du cobalt 60 ou du césium 137) l'énergie est très inférieure.

En fait, c'est surtout la quantité d'énergie effectivement absorbée par l'aliment qui est significative : elle est appelée **dose d'irradiation** et elle s'exprime en **Gray**

$1 \text{ gray (Gy)} = 1 \text{ Joule/kg} = 0,239 \text{ calories/kg}$

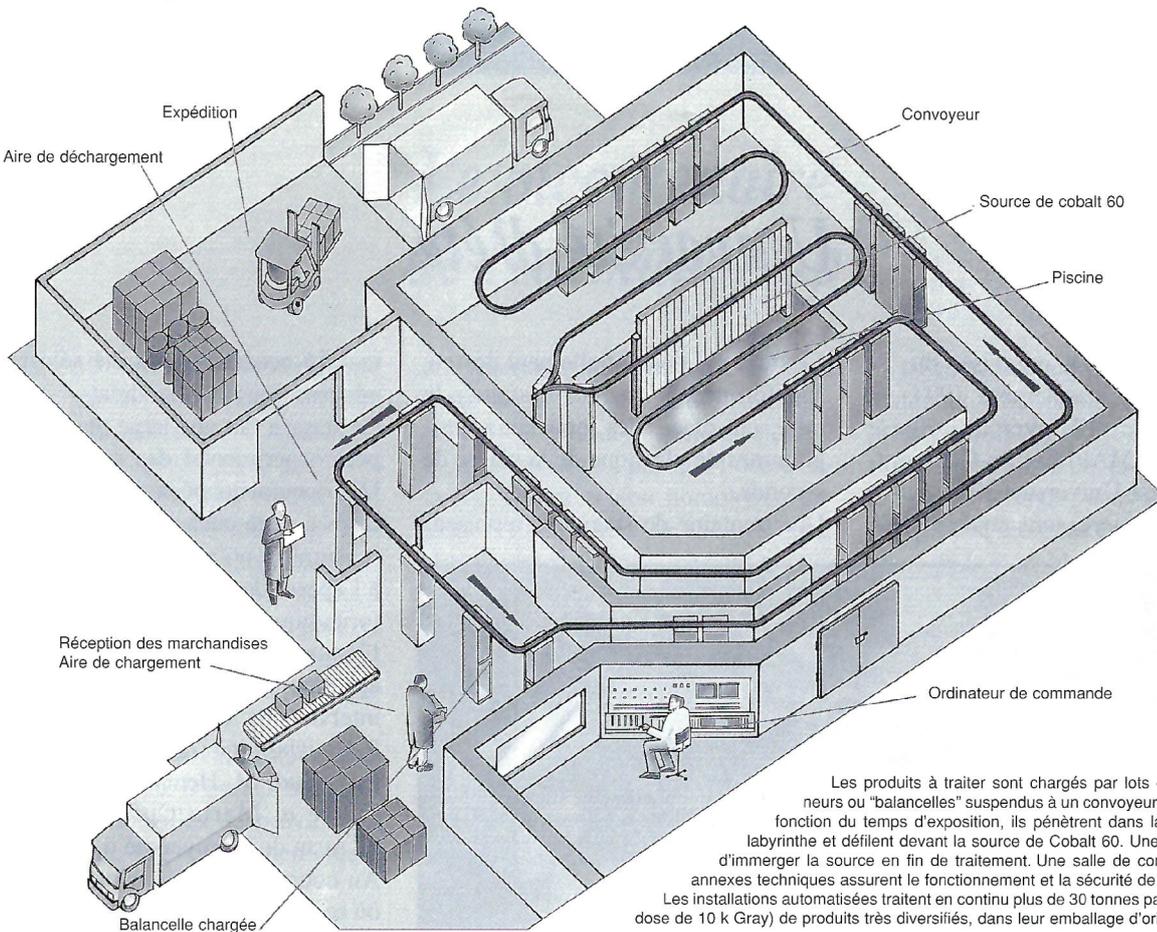
$1 \text{ kGy} = 1 \text{ 000 Gy} = 1 \text{ kJ/kg}$

(Certaines publications utilisent

le rad = $\frac{1}{100} \text{ Gy}$)

L'effet bactéricide du rayonnement absorbé est obtenu par rupture de la chaîne ADN (acide désoxyribonucléique) des micro-organismes.

Sur les aliments proprement dits, il se produit une ionisation du milieu avec excitation des molécules et formation de radicaux libres à l'origine des produits de radiolyse.



Les produits à traiter sont chargés par lots dans les conteneurs ou "balancelles" suspendus à un convoyeur. Regroupés en fonction du temps d'exposition, ils pénètrent dans la cellule par un labyrinthe et défilent devant la source de Cobalt 60. Une piscine permet d'immerger la source en fin de traitement. Une salle de commande et des annexes techniques assurent le fonctionnement et la sécurité de l'ensemble. Les installations automatisées traitent en continu plus de 30 tonnes par jour (pour une dose de 10 k Gray) de produits très diversifiés, dans leur emballage d'origine.

Dans la cuisson des aliments c'est l'agitation thermique (et non plus l'ionisation) qui provoque la formation de radicaux libres, à l'origine des produits de thermolyse tout à fait analogues aux produits de radiolyse.

La valeur nutritionnelle des aliments n'est pas modifiée ; en résumé l'action des rayonnements ionisants à faible dose s'exerce uniquement sur le cortège électronique des atomes des aliments sans perturber les noyaux.

Les doses efficaces utilisées sont fonction de l'effet recherché; suivant l'objectif à atteindre les denrées peuvent être : désinsectisées, débactérisées ou stérilisées ; les traitements sont de trois types selon la dose absorbée :

1 à 4 kGy : **radicidation** : destruction des germes pathogènes

1 à 6 kGy : **radurisation** : analogue à la pasteurisation ; elle améliore les qualités de conservation de l'aliment en réduisant sensiblement le nombre de micro-organismes

15 à 50 kgy : **radappertisation** : analogue à la stérilisation : destruction complète des micro-organismes.

La seule variable du traitement est la durée d'exposition ; elle détermine la dose de rayonnement absorbé et cela explique à la fois la grande fiabilité et l'excellente reproductibilité du traitement par rayonnement γ qui est ainsi parfaitement maîtrisé.

C'est ainsi que l'ionisation des aliments est devenue une réalité industrielle ; plusieurs entreprises sont installées en France avec des filiales dans le monde entier ; l'activité agroalimentaire de ces sociétés connaît un essor considérable et des milliers de tonnes de produits sont traités par irradiation. Plus d'une quinzaine d'autorisations de traitement ont été accordées : les produits concernés vont des légumes déshydratés aux viandes de volaille, épices, pomme de terre... La prolongation de la conservation réduit les pertes et favorise l'acheminement par les circuits de distribution ; une qualité microbiologique exemplaire élimine

les risques d'infections alimentaires causées par des bactéries comme la salmonelle ou la listeria. De plus les produits sont traités à travers leurs emballages (carton, plastique, métal, verre...) ce qui évite toute recontamination ultérieure. Le rayonnement Gamma très pénétrant, décontamine à cœur, la débactérisation est homogène.

En conclusion l'OMS a non seulement autorisé l'ionisation des aliments mais elle recommande ce procédé qui garantit la salubrité publique. C'est ainsi que la FAO, l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique) en relation avec l'OMS ont fondé un programme de recherche pour la contribution de l'Energie à «la santé et la prospérité à travers le monde».



Ce logo est déjà adopté comme label de qualité des produits ionisés par certains pays. Son utilisation devrait prochainement se généraliser dans le monde entier.

Université d'été

L'ADASTA a organisé, du 29 août au 3 septembre 1994, en liaison avec l'Université Blaise Pascal et la MAFPEN de Clermont-Ferrand, une Université d'Eté sur le thème : "Lumière, sons et ultrasons".

Ce stage était essentiellement destiné aux formateurs chargés d'assurer la mise en place des nouveaux programmes de physique de la classe de seconde.

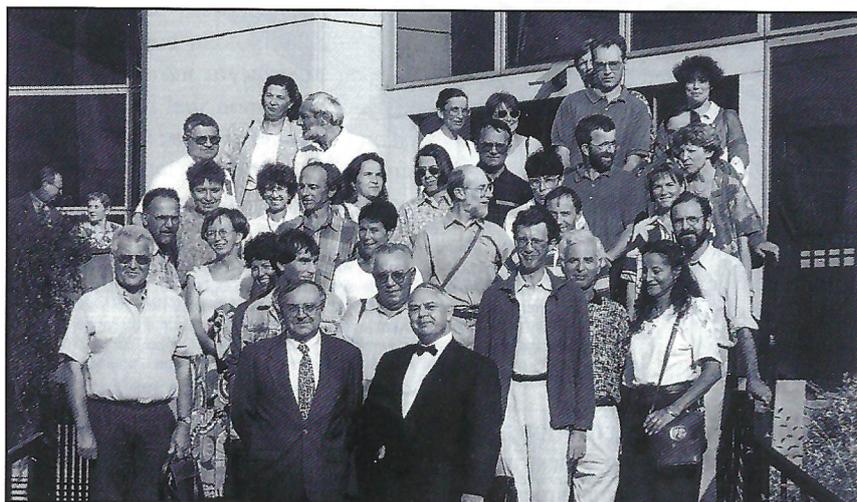
Une trentaine de stagiaires représen-

tant 16 académies ont été sélectionnés parmi les 120 candidats.

Ce stage a fait une large place à l'aspect expérimental des sujets traités. Des documents pédagogiques ont été créés à cette occasion dans le but de moderniser notre enseignement grâce à l'apport de l'audiovisuel et de l'informatique, en particulier.

L'équipe de l'ADASTA avait fait appel pour la circonstance à plusieurs intervenants extérieurs, notamment P. Bouchareine de l'Université de Paris Sud, M. Henry de l'Université Pierre et Marie Curie à Paris et P. Avan de l'Université d'Auvergne.

Au cours de cette semaine studieuse où se sont succédé conférences et ateliers, les stagiaires ont participé à diverses manifestations, en particulier une réception au Conseil Régional d'Auvergne et une visite au Centre d'Essais et de Recherche de la Manufacture Michelin à Ladoux.



Les stagiaires et animateurs reçus au Conseil Régional d'Auvergne par le Doyen René CHIROUX

Les entretiens de la Villette 1995

**La cité des Sciences
et de l'Industrie organise les
6^e ENTRETIENS
DE LA VILLETTE
sur le thème de "l'innovation"
du jeudi 30 mars au samedi
1^{er} avril 1995.**

L'objectif de cette manifestation est de proposer aux enseignants trois jours de formation et d'échanges avec des industriels et des chercheurs sur les dernières innovations technologiques, leurs impacts économiques,

le développement de la recherche scientifique et le lien entre innovation et éducation.

Ces entretiens comprennent :

- des conférences et tables rondes
- des ateliers
- des stands d'exposition

Ces journées s'adressent en priorité aux enseignants de :

- sciences physiques, biologie-géologie, mathématiques,
- technologie, sciences et techniques industrielles, économie, gestion,
- sciences économiques et sociales, histoire

enseignants en collèges, lycées, classes de BTS, classes préparatoires, IUT, université

Ces entretiens sont conçus en collaboration avec l'Inspection Générale de l'Education Nationale, des associations de professeurs, les MAFPEN, la Société Française de Physique, la fondation Villette-Entreprises et des entreprises.

*Pour tout renseignement s'adresser à :
Régine Pam, Direction Jeunesse,
Formation, CSI, 75930 PARIS Cedex 19
Tél. (1) 40-05-81-25 ou (1) 40-05-74-11*

Le bicentenaire de Normale-Sup

Créée le 30 octobre 1794 (9 brumaire an III) par la Convention, l'Ecole Normale Supérieure a fêté, cet automne, ses deux cents ans. Des manifestations variées (colloques, expositions à l'Ecole même et aux Archives Nationales, spectacles....) ont marqué à Paris cet anniversaire, à l'initiative de l'Association pour le Bicentenaire de l'Ecole (A.B.E.N.S) que préside l'ancien ministre Roger FAUROUX.

L'événement ne pouvait rester exclusivement parisien. Il est célébré aussi dans plusieurs villes de province, à Brive, Dijon, Rennes et, bien enten-

du, Clermont-Ferrand,... Ainsi, en Auvergne, une quarantaine "d'archicubes", c'est-à-dire anciens élèves, ou de sévriennes - puisque l'école de la rue d'Ulm et son homologue de jeunes filles, dites de Sèvres, ont récemment fusionné - se sont réunis autour de quelques professeurs émérites de l'Université Blaise Pascal, Jean EHRARD, Alain KERGMARD, Paul-Louis HENNEQUIN, pour proposer au public clermontois des rencontres illustrant l'apport normalien à la vie culturelle et scientifique de notre région.* Ils ont également invité le directeur

de l'Ecole, Etienne GUYON, à venir dialoguer avec les élèves des classes préparatoires littéraires et scientifiques, ainsi que leurs professeurs sur le rôle de l'E.N.S. dans une société française si éloignée de celle des origines de la République.

**C'est dans ce cadre qu'ont eu lieu les conférences de Paul AVAN (université d'Auvergne) : "Du Cornet Acoustique à l'amplificateur cochléaire" et celle de Dominique DESCOTES (université Blaise Pascal) : "Amitiés et brouilles autour de Jean-Paul Sartre".*

EXPOSITIONS

Au Musée Crozatier au Puy-en-Velay

CAFE, CAFES
5 MAI - 17 SEPTEMBRE 95

L'exposition Café, Cafés est une exposition scientifique destinée au grand public. Elle permettra la découverte de l'aventure passionnante d'une plante et d'une boisson avec en final la dégustation de quelques crus sélectionnés.

OUVERTURE DES SALLES PIERRE ET ALEXANDRE CLAIR
Courant du 1^{er} trimestre 1995

Trois salles sont désormais consacrées aux collections Sciences et Techniques. La nouvelle présentation permettra une nouvelle découverte des collections Pierre et Alexandre CLAIR, ingénieur, originaire du département de la Haute-Loire dont la principale activité était de réaliser des modèles et des instruments de démonstration pour les écoles d'ingénieurs de Paris, Saint-Petersbourg, Bologne, Montréal, etc... comme pour l'expérimentation scientifique et l'industrie. Ces salles présenteront également Emile REYNAUD, inventeur du praxinoscope duquel dérivent toutes les découvertes liées au cinéma d'animation, et au cinéma.

La santé des forêts

Le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche a publié son rapport annuel sur la santé des forêts en 1993. Cet ouvrage de 120 pages traite des principaux problèmes qui ont retenu l'attention des enquêteurs et notamment les problèmes entomologiques, pathologiques et physiologiques. Un chapitre est consacré au dépérissement des forêts et à la pollution atmosphérique.

Au cours des dernières années, conformément aux annonces et engagements internationaux de la France, le ministère de l'agriculture, chargé des forêts, a pris une série de décisions dotant la France d'un système cohérent de surveillance de l'état sanitaire des forêts. Le dispositif, désormais complet, repose sur trois réseaux répondant à des objectifs complémentaires :

1) Le réseau de correspondants-observateurs de la santé des forêts assure la surveillance permanente des problèmes entomologiques, pathologiques et abiotiques d'origines diverses, grâce à la vigilance d'environ 240 techniciens et agents tech-

niques de l'office national des forêts, des centres régionaux de la propriété forestière et des directions régionales et départementales de l'agriculture et de la forêt.

2) Le réseau européen, réseau systématique de plus de 520 placettes permanentes, conforme à une décision communautaire, vise à donner une idée statistiquement représentative des grandes évolutions interannuelles affectant la vitalité des forêts, par l'observation du feuillage, grâce à la collaboration des techniciens travaillant en forêt publique ou en forêt privée.

3) Le réseau RENECOFOR*, géré par l'office national des forêts, doit permettre de mieux déceler les évolutions de fond qui affectent le fonctionnement des écosystèmes forestiers pour une dizaine de grandes essences sociales. Sont ainsi mis sous surveillance les facteurs principaux qui jouent un rôle important dans la caractérisation du fonctionnement et des dysfonctionnements possibles de l'écosystème, tels que les ont identifiés les grands programmes des recherches des années 1980 sur les

dépérissements attribués à la pollution atmosphérique.

L'ensemble de ces trois réseaux constitue une entreprise fédérative, aucun organisme français n'ayant les moyens d'assumer seul la responsabilité technique et scientifique de l'ensemble du dispositif. La surveillance de la santé des forêts traduit donc la conscience d'un intérêt commun de tous les organismes forestiers pour une gestion patrimoniale de la santé des forêts.

Le séminaire intergouvernemental sur la gestion durable des forêts boréales et tempérées (Montréal, septembre 1993) a retenu la santé et la vitalité de l'écosystème forestier comme l'un des six critères environnementaux de gestion durable forestière. Cette préoccupation est également rappelée dans le plan national français de mise en œuvre de la Déclaration de principes forestiers adoptés par la CNUED (Rio de Janeiro, 1992).

**Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers*

Les objets fragiles

de P.G. de GENNES et Jacques BADOZ

Pierre Gilles de Gennes est un esprit original. Il a commencé à fréquenter l'école à 12 ans, s'est trouvé après le baccalauréat dans une classe préparatoire NSE (Normale Sciences Expérimentales) qui n'existe plus actuellement et où on étudiait, en plus des matières traditionnelles (maths, physique, chimie) la biologie. Entré à "Normale Sup" (la célèbre Ecole de la rue d'Ulm) ! où il fréquente des maîtres prestigieux comme Yves Rocard, Alfred Kastler

et Pierre Aigrain, il est classé comme "théoricien". Il se signale à l'attention de la Communauté scientifique par ses travaux sur la supraconductivité puis rapidement change de sujet. Se souvient-il alors que, jeune étudiant, il a fait un stage dans un laboratoire de biologie marine où il a développé des facultés variées et importantes pour un chercheur : capacité d'observation, adresse, goût du travail soigné ? Toujours est-il qu'il commence une nouvelle carriè-

re dans les laboratoires de l'Ecole de Physique et Chimie de la ville de Paris et au Collège de France : il en résulte des recherches fructueuses sur les macromolécules, les cristaux liquides, les phénomènes de surface, travaux qui lui vaudront d'obtenir en 1992 le prix Nobel de Physique.

P.G. de Gennes est un esprit atypique d'une rare fécondité. Il ne se sentirait pas à l'aise dans les grandes équipes qui s'affairent autour de grandes

machines, comme les accélérateurs de particules, et où le climat n'est pas toujours serein. Il préfère, dit-il, "fouiller avec une petite équipe dans un secteur qui, pour le moment, passe inaperçu". Mais changer de sujet entraîne une reconversion qui demande plusieurs années d'efforts car il faut se familiariser avec un nouveau langage, de nouveaux outils, de nouveaux livres,... "changer de sujet est aussi perturbant que de changer de pays. Inversement un esprit créatif a besoin de rompre avec ses habitudes pour ne pas continuer à ronronner aux frais du contribuable". Il en est de la science comme d'autres disciplines, l'art par exemple : "La science alterne les périodes de bouleversements et d'accomplissement. Il y a des phases éruptives et d'autres, tout aussi extraordinaires, de valorisation, d'approfondissement. Il est important de bien percevoir à quel moment on se situe". De toute évidence, P.G. de Gennes a vu juste.

Actuellement des sujets brûlants se profilent à l'horizon de la recherche, comme le fonctionnement du cerveau. D'autres paraissent à bout de souffle, comme la recherche en physique nucléaire mais il n'est pas besoin de chercher loin pour rencontrer des questions plus modestes dignes d'intérêts : il suffit d'observer des phénomènes familiers dont nous ne comprenons pas le fonctionnement.

D'autre part la Science ne doit pas être un problème exclusivement réservé aux chercheurs. Il faut établir

des contacts réguliers entre la communauté scientifique et les représentants de la nation. Il faut aussi instruire les citoyens pour qu'ils fassent les bons choix et surtout augmenter le niveau d'éducation scientifique des jeunes. P.G. de Gennes stigmatise le danger qui résulte de ce manque d'éducation. Prenons l'exemple de l'"environnement" qui a fait couler beaucoup d'encre : que d'informations médiocres et dangereuses ont été proférées sans discernement en direction d'un public qui n'a pas les connaissances suffisantes pour rectifier les erreurs ou interprétations abusives !

P.G. de Gennes en vient inévitablement à juger notre système éducatif. En France, l'éducation est largement dominée par la théorie et notre enseignement scientifique - à la différence des pays anglo-saxons, est plutôt dogmatique. Il laisse souvent croire aux élèves que la connaissance de quelques théorèmes, de quelques grands principes, permet d'expliquer tous les phénomènes. Or un tel état d'esprit n'est pas de nature à favoriser la créativité et l'innovation dont nous avons de plus en plus besoin.

L'auteur préconise de se débarrasser du "préjugé d'Auguste Comte", lequel a établi un classement entre les disciplines où les mathématiques, naturellement, occupent le sommet et où, en définitive, on aboutit au mépris des travaux manuels. Il faut réduire le rôle des sciences de l'abstraction dans les critères de sélection aux concours ; il est urgent de déve-

lopper chez les jeunes l'habileté manuelle, l'intérêt pour le monde physique qui nous entoure, le sens de l'observation... et le goût du travail bien fait.

P.G. de Gennes estime que les français surévaluent l'intelligence ; ce n'est pas le seul critère de compétence : "il nous faut aussi des artisans, des artistes, des gens sensibles et des perfectionnistes"; Lutter contre l'inertie du système, contre les effets pervers du recrutement des "Grandes Ecoles" n'est pas chose aisée dans notre pays où l'on se préoccupe plus d'entretenir les privilèges acquis que de prévoir des systèmes adaptés à l'avenir de notre société. "La Science est une affaire trop sérieuse - surtout l'accès des jeunes à la Science - pour être livrée à l'inertie du système".

Le livre de P.G. de Gennes et Jacques Badoz est né d'une série de rencontres avec des lycéens et des enseignants. Rencontres au cours desquelles le prix Nobel de Physique, après avoir exposé les résultats de ses travaux sur la « matière molle » (des matières plastiques aux bulles de savon), abordait des thèmes très généraux : innovation, éducation, grands choix du futur...*

Il en résulte un exposé passionnant, facile à lire, qui donne à réfléchir et qu'on s'efforcera de mettre à la portée du plus grand nombre.

*Les objets fragiles - Plon Editeur, 1994

R.J.

Meilleurs vœux
pour 1995



N'oubliez pas de renouveler votre adhésion :
utilisez le bulletin bleu
que vous trouverez dans ce numéro

Réformer l'enseignement scientifique

Histoire et problèmes actuels

Jocelyne ALLEE

Colloque INRP Paris
17, 18, 19 janvier 1994

Dirigé par Pierre Gaspard, le service d'histoire de l'éducation, qui a organisé ce colloque, appartient, depuis 1990, au département "mémoire de l'éducation" de l'INRP, et en tant qu'unité de recherche, est associé au CNRS. L'un de ses axes de recherche porte sur l'histoire des disciplines scolaires.

Le colloque de janvier 1994 s'inscrivait dans une perspective de diffusion de ses travaux auprès des enseignants et des acteurs de la formation des maîtres. Chacune des demi-journées était axée sur un thème particulier, et comprenait un certain nombre de conférences, et de tables rondes avec le public. Les notes qui suivent, constituent une synthèse des interventions de diverses personnalités parmi lesquelles :

Antoine Prost (Université Paris I, histoire)
Bruno Belhoste (Service d'Histoire de l'Éducation, INRP)
Rudolf Bkouche (Université Lille I, mathématiques)
Françoise Balibar (Université Paris VII, physique)
Hélène Gispert (IUFM Versailles, histoire des Sciences)
Nicole Hulin (Université Paris VI, physique et histoire des Sciences)
Jean-Louis Martinand (ENS Cachan, Didactique des Sciences)
Samuel Joshua (Université AIX-Marseille, Didactique de la physique)...

QU'EST-CE-QU'UNE REFORME ?

Le changement est un phénomène banal dans l'enseignement puisqu'il doit s'ajuster et s'adapter insensiblement de jour en jour. De la même façon l'objet d'une réforme est de faire diminuer l'écart entre ce qui est

enseigné et l'état actuel de la science. Mais il ne suffit pas qu'il y ait changement pour qu'on puisse parler de réforme.

Une réforme implique un projet de grande ampleur, répond à des nécessités économiques et sociales, et provoque généralement un débat public et collectif. Ce sont les savants qui dénoncent l'obsolescence des programmes, et sont responsables de la mise à jour des savoirs. Mais c'est aux politiques que revient la mission d'orienter le choix de société, de mobiliser les appuis et les relais, de prendre les initiatives. La réussite finale passe par une validation par les acteurs de base : enseignants, élèves, parents,...

La réforme des contenus est fréquemment précédée, et facilitée par une réforme des structures.

Enfin il faut justifier l'existence de l'école, où l'enseignement reçu par un élève, ne saurait être identique à celui qu'ont reçu ses parents.

En résumé les enjeux d'une réforme sont tout à la fois pédagogiques, économiques et sociaux.

LES REFORMES DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE AU XX^e SIECLE

Deux périodes décisives marquent l'histoire de l'enseignement scientifique : 1902 et les années 70 (voir chronologie)

- Au début du siècle l'école primaire est l'école du peuple, tandis que l'enseignement secondaire s'adresse aux élites. La réforme de 1902 répond aux besoins grandissants en ingénieurs et techniciens, en tentant d'instaurer une véritable culture scientifique dans le secondaire. Les programmes de mathématiques et de

sciences physiques sont réformés conjointement, et mettent l'accent sur les exercices pratiques, la mesure, l'accompagnement expérimental. Les difficultés rencontrées par les professeurs dans la conception et la mise en œuvre des expériences, sont à l'origine de la création de l'Union des Physiciens en 1906.

Quelques années plus tard, on constate que les travaux pratiques se sont plus ou moins ritualisés et que la formation à une démarche scientifique n'est pas vraiment assurée. De plus la résistance du clan classique aboutit à l'abandon des filières scientifiques (1923) et à la marginalisation des sciences à l'intérieur d'une culture principalement littéraire.

- La réforme de 1970 se situe dans un contexte différent. D'une part elle a été préparée par les travaux de l'équipe Bourbaki, et la rénovation du Calcul Différentiel et Intégral par G. Choquet à la faculté des sciences de Paris (1954). D'autres part "la mathématique" apparaît comme l'instrument du développement des Sciences Humaines et le langage mathématique comme un langage universel. L'enjeu est scolaire et social : la démocratisation de l'enseignement secondaire appelle un renouveau des contenus et une pédagogie active. L'enjeu est aussi économique puisque le développement du pays requiert davantage des cadres et travailleurs qualifiés.

De nouveaux programmes de mathématiques sont mis en place à partir de 1968. Les sciences physiques sont aussi concernées, avec la création de la Commission Lagarrigue en 1971.

Les effets pervers de cette réforme sont apparus rapidement. Là où on attendait l'utilité technique, est venu le formalisme. On souhaitait la démocratisation : or les mathéma-

tiques, discipline pourtant neutre, sont devenues un instrument de sélection. Ces effets pervers proviennent en partie du manque de didacticiens, à l'époque : la transmission des connaissances nécessite en effet que l'enseignant soit conscient des obstacles. Pourtant la réforme des "mathématiques modernes" s'est faite à des degrés divers un peu partout dans le monde, et son bilan n'est pas négatif. Elle a réellement produit de la modernité, et une ascension des enseignements scientifiques dans la hiérarchie des disciplines.

A travers les changements, la culture secondaire conserve quelques uns des traits essentiels - généralité, formalisme, et "désintéressement" - qui influent aujourd'hui sur l'enseignement scientifique comme ils influaient autrefois sur l'enseignement littéraire. Les réformes scolaires ne résolvent généralement pas les problèmes, mais les déplacent, ce qui est peut-être en définitive, leur fonction sociale.

CHRONOLOGIE

L'enseignement secondaire en France Généralités

- 1880** Création des externats de jeunes filles (loi Camille Sée)
- 1891** Transformation de l'enseignement spécial en enseignement secondaire moderne
- 1902** Réforme Georges Leygues. Unification des enseignements secondaires classique et moderne. Organisation de l'enseignement en cycles successifs. Création des baccalauréats A (Latin-Grec), B (Latin-L.V), C (Latin-Sciences), D (Sciences-L.V). Réforme des programmes.
- 1920** Réforme des programmes des Ecoles primaires supérieures
- 1924** Assimilation de l'enseignement secondaire féminin à l'enseignement secondaire (masculin)
- 1923-1925** Réformes des programmes de l'enseignement secondaire
- 1930** Gratuité de l'enseignement secondaire
- 1937** Création de la direction du second degré au Ministère de l'éducation nationale.

- 1938** Assimilation des programmes des E.P.S. et des programmes du 1^{er} cycle de l'enseignement secondaire
- 1941** Loi Carcopino. Transformation des E.P.S. en collèges modernes
- 1941** Création du C.A.E.C. (concours de recrutement des professeurs du second degré)
- 1947** Plan Langevin-Wallon
- 1959** Réforme Berthouin. Transformation des premiers cycles de l'enseignement secondaire en C.E.S. Report des orientations en fin de 3^e.
- 1965** Création des baccalauréats de techniciens
- 1966** Réforme de l'enseignement supérieur, divisé en 3 cycles. Création des I.U.T.
- 1968** Report du début du latin en classe de 4^e.
- 1969** Création du corps des P.E.G.C.
- 1975** Réforme Haby. Transformation des C.E.S. et des C.E.G. en Collèges. Création des classes "indifférenciées" en collège.
- 1980** La classe de 2^e devient indifférenciée
- 1990** Création de la Commission nationale des programmes.

Les sciences dans l'enseignement secondaire en France

- 1902** Réforme des programmes de sciences de l'enseignement secondaire
- 1904** Réforme des programmes des classes préparatoires
- 1907** Création de l'Union des physiciens
- 1910** Création de l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement secondaire public
- 1923-1925** Suppression des filières scientifiques. Principe de "l'égalité scientifique"
- 1937** Abandon de "l'égalité scientifique" dans le premier cycle
- 1941** Abandon de "l'égalité scientifique" dans le second cycle
- 1942** Création d'une section Philosophie-Sciences ("Sciences ex") au baccalauréat
- 1949** Création d'une Commission d'études sur les classes préparatoires (commission Châtelet)
- 1951** Création d'une section A' (Lettres Classiques Sciences)

- 1960-1961** Nouveaux programmes de sciences pour le second cycle de l'enseignement secondaire
- 1965** Transformation des séries "Maths élém." et "Sciences ex" du baccalauréat en séries C et D
- 1966** Création d'une Commission ministérielle de rénovation de l'enseignement des mathématiques (Commission Lichnérowicz)
- 1968** Création des IREM
- 1968-1972** Nouveaux programmes de mathématiques pour les classes du second degré
- 1971** Création d'une commission ministérielle de rénovation de l'enseignement des sciences physiques (Commission Lagarrigue)
- 1977** Création d'un enseignement de sciences physiques au collège
- 1977-1978** Nouveaux programmes de mathématiques au collège
- 1979-1981** Nouveaux programmes de sciences physiques au lycée
- 1981-1982** Nouveaux programmes de mathématiques au lycée

BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE

Antoine PROST

Education, société et politiques. Une histoire des enseignements en France de 1945 à nos jours
Paris : le Seuil 1992

Bruno BELHOSTE

"L'enseignement secondaire et les sciences au début du XX^{ème} siècle. La réforme de 1902 des plans d'étude et des programmes
Revue d'histoire des Sciences, tome XLIII, 1990

MICHEL HULIN

Le mirage et la nécessité
Presses de l'Ecole Normale Supérieure et Palais de la Découverte, Paris, 1992

J.J. DUPIN et S. JOSHUA

Introduction à la Didactique des Sciences et des Mathématiques
Presses Universitaires de France, Paris, 1993

Laurence VIENNOT

Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire
Hermann, Paris, 1979

La Loutre, frisson de l'onde

Un film de C. BOUCHARDY, P. GARGUIL, R. ROUSOUX



été menée avec une loutre capturée puis relâchée munie d'un équipement électronique qui permet de suivre ses déplacements.

C'est dire qu'avec ce film de 52 minutes vous saurez tout sur cet animal et le milieu aquatique qu'il fréquente.

On savait que Christian Bouchardy se passionnait depuis longtemps pour la loutre et les rivières en général : il nous en donne ici l'expression la plus évidente et la plus émouvante.

R.J.

La loutre avait mauvaise réputation dans nos campagnes : ce super prédateur consomme une quantité impressionnante de poisson (vérification faite, elle dévore environ 500 g par jour). De plus, sa fourrure est estimée. Ajoutez à cela la pollution de l'eau, les barrages qui entravent les déplacements : il ne faut pas s'étonner de sa disparition progressive. Heureusement, il existe encore quelques sites favorables en France, dans le Massif Central, en Auvergne et en Limousin, en particulier où on peut l'observer. Et ce n'est pas tâche aisée car la loutre est extrêmement discrète : elle ne se déplace guère que la nuit.

On imagine la patience dont ont fait preuve les réalisateurs de ce film pour la surprendre dans sa vie quotidienne, sans sa catiche en famille, à la chasse ou dans ses ébats amoureux aquatiques. Une étude scientifique a

*La Loutre,
Frisson de l'onde,
film VHS Secam,
169 F, FIFO Distribution
Résidence La Fontaine
Rue de St-Maiscent - BP 10
79340 MENIGOUE*

*On peut s'adresser aussi à
CATICHE PRODUCTIONS
10, rue de Bellevue
63800 NOHANENT
Tél. 73 60 53 32*

*Lu dans
la presse technique*

La Bataille des résidus d'incinération

Les réussites de protection de l'environnement imposent de plus en plus l'incinération des déchets industriels (REFIDI dans le jargon administratif).

En avril 95, les centres d'incinération devront être stabilisés avant leur mise en décharge. L'objectif est d'éviter la pollution du sol et des nappes phréatiques, par des métaux lourds, chlorures et autres produits toxiques qui contiennent des cendres. Pour y parvenir on emploiera des techniques dites : "d'inertage" à chaud par vitrification des déchets, ou à froid par enrobage des déchets dans des liants.

Actuellement, le traitement des fumées d'incinération génère 360.000 tonnes par an de cendres volantes en France. Une douzaine de centres existants ou en projet traiteront ces résidus pour un coût de 600 à 1500 F/tonne. C'est un nouveau secteur industriel qui se crée, au service de l'environnement.

*(INDUSTRIE ET TECHNIQUES
N° 755-12/94)*



***Lyonnaise
de Banque***

Agence CLERMONT JAUDE
38, place de Jaude
63000 CLERMONT-FERRAND
Tél. : 73 34 47 47