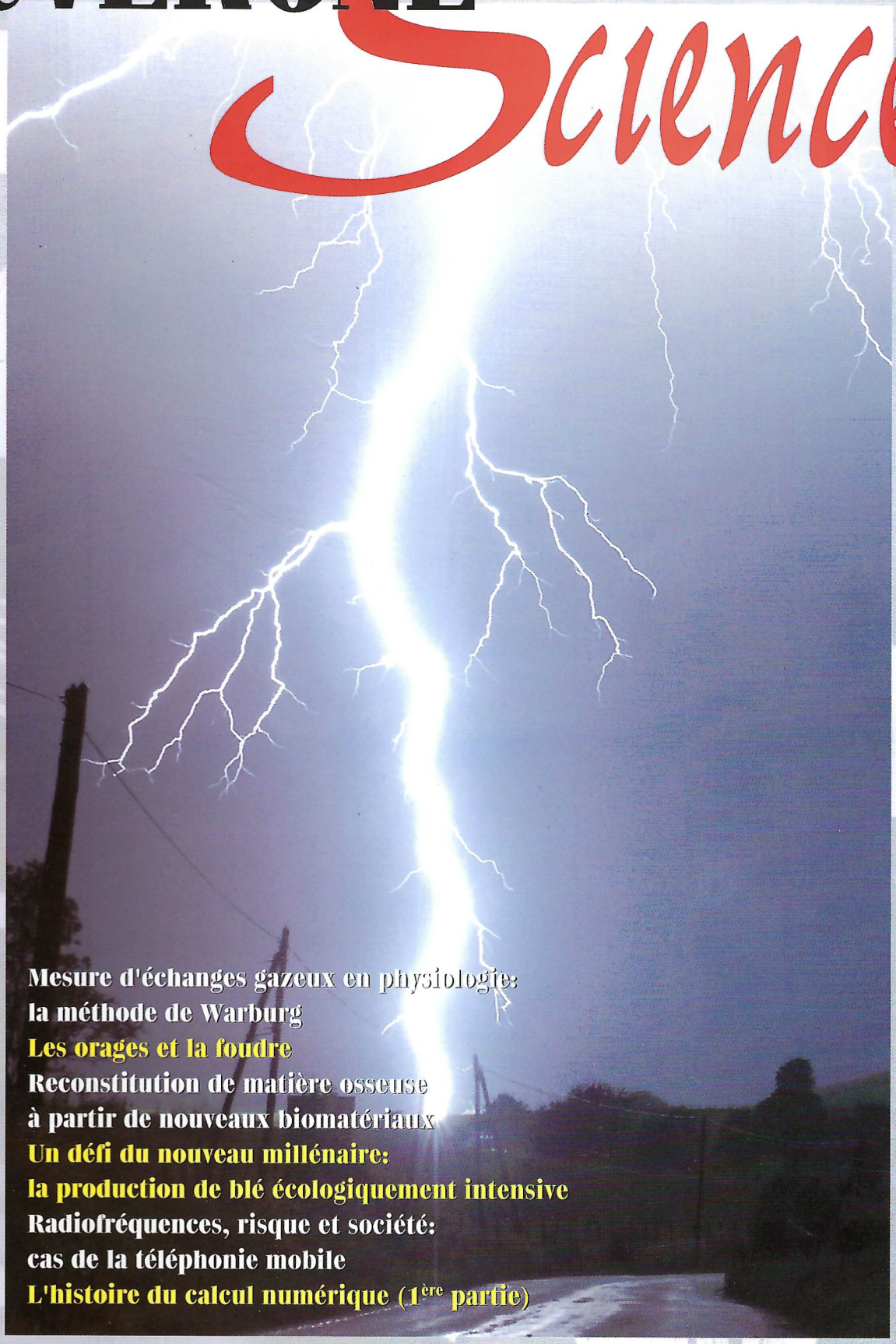
AUVERGNE Sciences

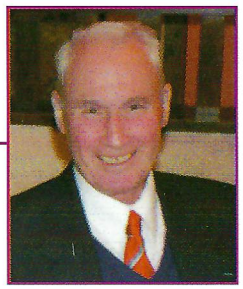
N°81 - MAI 2013



Mesure d'échanges gazeux en physiologie:
la méthode de Warburg
Les orages et la foudre
Reconstitution de matière osseuse
à partir de nouveaux biomatériaux
Un défi du nouveau millénaire:
la production de blé écologiquement intensive
Radiofréquences, risque et société:
cas de la téléphonie mobile
L'histoire du calcul numérique (1ère partie)

Revue de l'ADASTA
Association pour le Développement
de l'Animation Scientifique et Technique en Auvergne

EDITORIAL



Pour concrétiser ce qui a été dit lors de l'AG en février, l'ADASTA complète ses activités traditionnelles : revues, conférences et visites par des animations scientifiques qui font partie de sa mission. Ces animations sont demandées par des municipalités et des établissements scolaires.

Elles représentent une centaine d'heures d'activités par an.

Les domaines sont les suivants : planétarium, fonctionnalités du four à micro-ondes, circuits électriques, notions d'acide/base, orientation avec carte et boussole, l'air dans ses états, les cadrans solaires, les couleurs, les illusions d'optique, l'eau. Devant l'ampleur de la demande, l'ADASTA a pu compter sur des compétences, des disponibilités et des bonnes volontés parmi ses membres. Depuis peu deux scientifiques de l'Association ont rejoint l'équipe Animations composée actuellement de 5 personnes et nous envisageons d'accueillir une personne extérieure disponible et compétente pour ce genre d'activité. Mais il reste encore des places à pourvoir afin d'assurer toutes les animations. N'hésitez pas à vous manifester, d'avance merci.

Aujourd'hui l'ADASTA occupe certainement le premier rang des Associations scientifiques de la Région Auvergne et elle est fortement appréciée. Merci à vous tous.

Cette revue N°81 est la première d'une série de trois revues que l'ADASTA compte publier cette année. Les articles en cours de préparation couvriront à nouveau une large palette de disciplines et par tradition certains reprennent les sujets des conférences passées, apportant ainsi à tous les membres quelques connaissances supplémentaires. Pour les membres éloignés, la revue constitue un lien inestimable.

Nous essayons de vous proposer des articles de fond, intéressants et instructifs. Là encore, nous aimerions avoir vos remarques et suggestions et, pourquoi pas, des sujets scientifiques et techniques pour les prochains numéros. Le secrétariat de l'ADASTA est là pour recueillir vos propositions.

Nos conférences mensuelles ont de plus en plus de succès. Nous envisageons une grande conférence à l'échelle régionale sur les agrocarburants en partenariat avec l'Ecole de Chimie de Clermont. Cette conférence aurait lieu à l'IFMA courant octobre.

Les projets de visites sont nombreux: la centrale électrique de Bayet près de St Pourçain/Sioule, l'Ecole de Chimie, MSD à Riom, La Roselière d'Aydat avec repas et conférence par Jean Chandezon sur la «pifométrie» !

Avec Gérard Baillet spécialiste reconnu des cadrans solaires, nous avons été reçus par la Municipalité de Chamalières qui désire que l'ADASTA installe un grand cadran devant la Mairie. Posé sur un socle en béton et réalisé en acier Corten, auto-patiné et terne pour éviter l'éblouissement, il pourrait mesurer 2,5 m de hauteur et 1,5 m de largeur. La Mairie nous a chargés de trouver le fournisseur de l'acier et celui de l'entreprise qui va l'usiner et le cintrer.

Les lignes d'heures seront en acier inoxydable et des informations permettront à tout un chacun de lire le cadran. Nous vous tiendrons au courant de l'avancement de ce projet.

Comme vous pouvez le constater, l'ADASTA, est dynamique et espère répondre à vos attentes.

Bonne lecture de ce numéro 81.

Le Président
Henri Bouffard

MERCI À NOS SPONSORS

CLERMONT COMMUNAUTÉ
INRA
PUY-DE-DÔME CONSEIL GENERAL
VILLE DE CLERMONT FERRAND
CHAMALIERES
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE DRRT Auvergne
CONSEIL RÉGIONAL AUVERGNE
IFMA INSTITUT FRANÇAIS DE MÉCANIQUE AVANCÉE
MICHELIN Une meilleure façon d'avancer
EDF

Comité de rédaction de la Revue Auvergne-Sciences

Rédacteur en chef : Philippe Choisel

Membres : Georges Anton, Gérard Baillet, Vincent Barra, Henri Bouffard, Jean-Claude Capelani, Jean Chandezon, Roland Fustier, Michel Gendraud, Paul-Louis Hennequin, André Schneider

SOMMAIRE

Mesure d'échanges gazeux en physiologie: la méthode de Warburg 1
Les orages et la foudre 4
Reconstitution de matière osseuse à partir de nouveaux biomatériaux: application aux prothèses 9
Un défi du nouveau millénaire: la production de blé écologiquement intensive pour contribuer à nourrir 9 milliards d'individus en 2050 16
Radiofréquences, risque et société: cas de la téléphonie mobile 19
L'histoire du calcul numérique (1ère partie: de la préhistoire au 17e siècle) ..24
Programme des activités ADASTA à venir 32
Compte-rendu de visite: le laboratoire scientifique de la police judiciaire ...33
Histoires de plantes et autres.....34

Photo de couverture :
Coup de foudre sur un pâturage du Cézallier Cantalien lors d'un orage nocturne
Auteur Raymond Piccoli

© toute reproduction partielle ou totale interdite. Les articles publiés sont de la responsabilité exclusive de leurs auteurs.

MESURE D'ÉCHANGES GAZEUX EN PHYSIOLOGIE : LA MÉTHODE MANOMÉTRIQUE DE WARBURG

MICHEL GENDRAUD

Agrégé de Physiologie-Biochimie
Professeur honoraire de Physiologie végétale de l'Université Blaise Pascal
Membre de l'ADASTA

INTRODUCTION

Otto Warburg (1883-1970), médecin, physiologiste et biochimiste allemand reçut le Prix Nobel de Médecine en 1931, «pour la découverte de la nature et du mode opératoire de l'enzyme respiratoire». Fils d'Emil Warburg, professeur de physique à l'Université de Berlin, il travailla au Kaiser Wilhelm Institut für Biologie de Berlin-Dahlem où il fut entouré d'une pléiade de futurs Prix Nobel : O. Meyerhof (1923), F. Lipman (1953), H. Krebs (1953), S. Ochoa (1959).

Otto Warburg était un expérimentateur hors pair. Il mit au point un manomètre pour mesurer les consommations ou émissions de gaz de préparations biologiques, tranches de tissus, suspension de cellules ou d'organites cellulaires, solutions d'enzymes... Basée sur la loi de Mariotte, PV= nRT, sa méthode consiste à mesurer des variations de pression à volume constant.

L'APPAREIL DE WARBURG

L'appareil de Warburg est fait d'un ensemble de manomètres reliés à des cellules à réaction plongeant dans un bain thermostaté et régulièrement agité (*figure 1*).

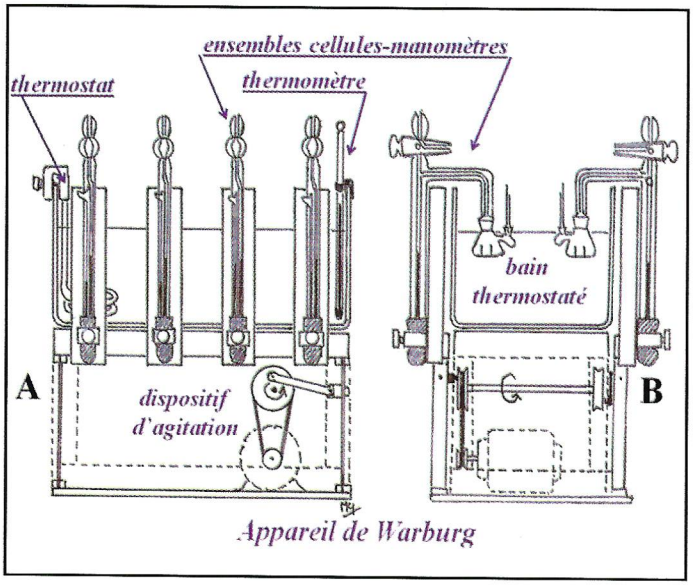


Fig. 1.- Vue d'ensemble d'un appareil de Warburg. En A, vue longitudinale ; en B, vue transversale.

Chaque manomètre est fait d'un tube en U gradué en millimètres (mm). Il est muni à sa base d'un réservoir en caoutchouc contenant le liquide manométrique, liquide de Brodie, solution aqueuse très diluée d'un colorant et d'un sel biliaire tensio-actif. Une vis de serrage permet, en exerçant une pression sur le réservoir, de régler la hauteur du liquide dans les deux branches du manomètre (figure 2).

La branche gauche s'ouvre à l'air libre. La branche droite communique avec la cellule à réaction ; un robinet à trois voies permet également de couper ou d'établir la communication de cette branche droite avec l'air extérieur.

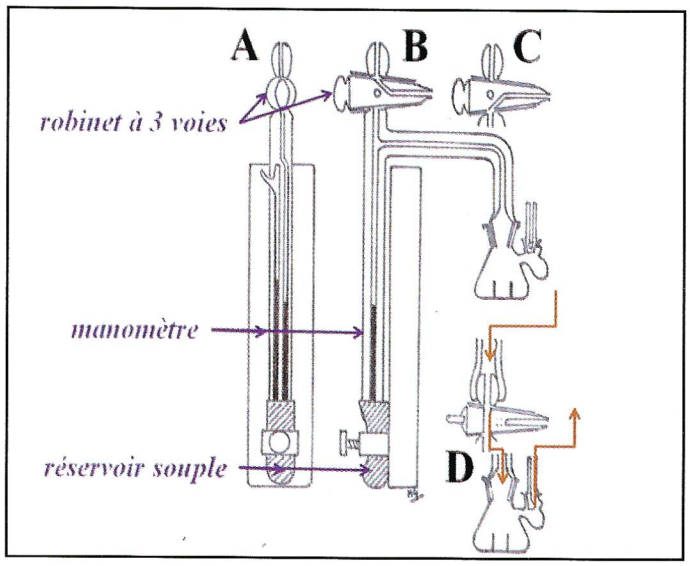


Fig. 2.- Ensemble cellule-manomètre. En A, vue du manomètre. En B, vue de profil de l'ensemble, la position du robinet à 3 voies isole son atmosphère de l'extérieur. En C, le robinet à 3 voies assure le contact entre l'atmosphère interne et l'atmosphère externe. En D, juxtaposées, une vue du robinet à 3 voies et une vue du robinet du diverticule lors d'un balayage qui dotera l'atmosphère interne d'un gaz autre que l'air.

Les cellules à réaction affectent la forme conique de petites fioles d'Erlenmeyer rodées, dotées d'un diverticule latéral fermé par un robinet et d'un puits central. Il est possible, par le robinet à trois voies et le robinet du diverticule, de balayer l'atmosphère interne de l'ensemble cellule-manomètre, pour la remplacer par une atmosphère inerte, d'azote par exemple.

CONDITIONS GÉNÉRALES D'UTILISATION

Le fond de la cellule reçoit une solution aqueuse d'un substrat susceptible de dégager ou d'absorber un gaz sous l'effet d'une préparation biologique. Celle-ci est initialement placée dans le diverticule latéral et sa mise en contact avec le substrat détermine le temps 0 de la mesure. Le puits central peut éventuellement contenir un réactif fixateur d'un des gaz échangés si l'expérimentation le réclame. Dans la majorité des cas, les gaz mis en jeu sont le dioxyde de carbone CO_2 ou le dioxygène O_2, mais ce peut être parfois l'hydrogène, émis ou absorbé par des micro-organismes.

Pendant toute la durée de l'expérience l'ensemble cellule-manomètre est agité et la cellule reste immergée dans le bain thermostaté. L'agitation n'est arrêtée que le temps des lectures du niveau du liquide de Brodie qui se font à intervalles réguliers sur la branche gauche du manomètre, le niveau de la branche droite étant toujours ramené (par action sur le réservoir souple) au niveau de départ, en général 150 mm, afin de maintenir constant le volume gazeux cellule-manomètre. S'il y a dégagement de gaz dans la cellule, le niveau monte dans la branche de gauche, au contraire il descend en cas d'absorption de gaz.

La différence ***h*** des niveaux entre les deux branches du manomètre représente une variation de pression (à volume constant) exprimée en mm de liquide de Brodie. Le volume de gaz dégagé ou absorbé dans la cellule est donné par la relation ***X = K.h.*** Ce volume ***X*** est exprimé en mm^3, ***K*** est la constante de l'ensemble cellule-manomètre pour le gaz considéré, elle a les dimensions d'une surface.

K est déterminé par étalonnage en effectuant dans l'ensemble cellule-manomètre une réaction chimique qui dégage ou absorbe un volume connu de gaz. Connaissant a priori ***X***, on mesure ***h*** et l'on calcule ***K***. Ainsi, une réaction fréquemment utilisée pour déterminer K_{CO2} est la libération de CO_2 à partir d'une solution titrée de $NaHCO_3$ en présence de H_2SO_4, soit

$$2\ NaHCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + 2\ H_2O + \mathbf{2\ CO_2}$$

UN EXEMPLE DE MESURES: LE QUOTIENT RESPIRATOIRE

Le quotient respiratoire (QR) d'une préparation biologique n'est autre que le rapport du volume de CO_2 émis au volume d'O_2 consommé dans le même temps. Il renseigne sur la nature de la substance «respirée», c'est-à-dire oxydée pour fournir son énergie à la préparation.

Pour un sucre «respiré»,

$$C_6H_{12}O_6 + \mathbf{6\ O_2} \rightarrow \mathbf{6\ CO_2} + 6\ H_2O,\ QR = \mathbf{6\ CO_2\ /\ 6\ O_2 = 1},$$

pour une huile «respirée»,

$$C_{16}H_{32}O_2 + \mathbf{23\ O_2} \rightarrow \mathbf{16\ CO_2} + 16\ H_2O,\ \mathbf{QR = 16CO_2/23O_2 = 0,7}.$$

La mesure d'un QR nécessite toujours deux séries d'ensembles cellule-manomètre, la première mesurant la somme algébrique des échanges gazeux, émission de CO_2, absorption d'O_2, la seconde, dans laquelle le CO_2 est fixé par la potasse, ne détectant que l'absorption d'oxygène (*figure 3*). De plus, afin de prendre en compte les fluctuations éventuelles de la température du bain thermostaté et de la pression atmosphérique de la pièce, un ensemble cellule-manomètre sert de thermobaromètre.

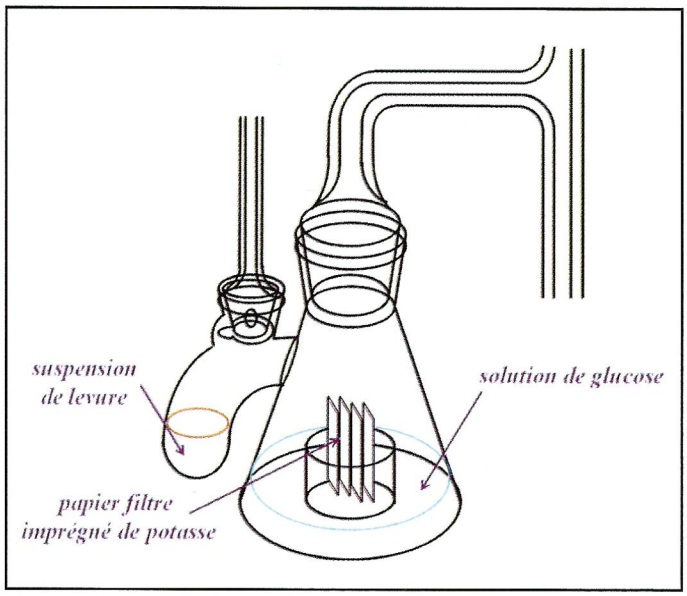


Fig. 3.- Schéma détaillé d'une cellule de Warburg en situation de mesure de QR. La solution de glucose occupe le fond de la fiole. Le diverticule latéral contient la suspension de levure qui, au temps 0 de l'expérimentation, sera versée dans la solution de glucose en inclinant l'ensemble cellule-manomètre, et en évitant tout contact avec le papier filtre imprégné de potasse.

A titre d'exemple, voici la description de la mesure du QR d'une suspension de levure «respirant» le sucre glucose.

- La première série reçoit dans le fond des cellules 1,4 cm^3 de solution glucosée, dans chaque diverticule 0,6 cm^3 de suspension de levure, 0,2 cm^3 d'eau dans les puits centraux, soit un volume total de 2,2 cm^3 de liquide.

- La seconde série reçoit la même dotation en liquides que la première, sauf les puits centraux dans lesquels sont versés 0,2 cm^3 de liqueur de potasse.

- La cellule du thermo-baromètre contient 2,2 cm^3 d'eau.

Le tableau I montre une série de résultats obtenus pour déterminer le QR d'une suspension de levure «respirant» du glucose. Le volume d'O_2 absorbé dans l'ensemble cellule-manomètre avec potasse X_{O2} est donné par le produit $K_{O2}.h$ soit $1{,}123.(-10) = -11{,}23\ mm^3$.

Temps min	Thermo-baromètre		Cellule-manomètre sans potasse (CO_2+O_2) K_{O2}=1,115, K_{CO2}=1,391			Cellule-manomètre avec potasse (O_2) K_{O2} =1,123mm^2			
	lecture mm	Δp mm	lecture mm	Δp mm	h_{CO2+O2}	lecture mm	Δp mm	h_{O2} mm	X_{O2} mm^3
0	150	-	150	-	-	150	-	-	-
10	152	+2	150	0	0- (+2) = **-2**	142	-8	-8- (+2) = **-10**	**-11,23**

Tableau 1.- Exemple de résultats collectés lors d'une expérience en vue de déterminer le QR d'une suspension de levure «respirant» un sucre, le glucose. Δp, différence de niveau du liquide de Brodie entre les 2 branches du manomètre entre le temps 0 et le temps de mesure; en vert, thermo-baromètre, en rouge, données expérimentales. h, données corrigées, X_{O2}, volume d'oxygène absorbé, donc négatif.

Dans l'ensemble sans potasse,

$$h_{CO2+O2} = h_{O2} + h_{CO2} = -2,$$

donc $h_{O2} = -h_{CO2}-2$ et $h_{CO2} = -h_{O2} -2$.

Or, h_{O2} dans cet ensemble sans potasse peut être calculé à partir de son K_{O2} et de X_{O2} connus grâce aux mesures avec potasse :

$h_{O2}=X_{O2} /K_{O2}$ soit $h_{O2}= -11,23/1,115= -10,07mm$.

Il s'ensuit que $h_{CO2}=10,07-2 =8,07mm$

et donc $X_{CO2} = K_{CO2}.h_{CO2}$ soit $X_{CO2}=1,391. 8,07=11,22mm^3$.

Le QR, rapport du volume de CO_2 émis au volume d'O_2 consommé dans le même temps est

$$QR= 11,22/11,23= 0,99$$

La levure consomme bien un sucre !

D'AUTRES MESURES

L'étude du QR de graines oléagineuses en germination montre qu'il évolue rapidement de 0,7 à 1,0 pour se stabiliser à cette valeur. Suite à leur imbibition, ces graines obtiennent leur énergie en oxydant quelques huiles, puis transforment les huiles restantes en sucres qui deviennent alors leur source d'énergie. Les sucres ont l'avantage d'être mobiles dans la plantule en germination et de se porter là où de l'énergie est nécessaire à la croissance.

Le calcul de QR demande la mesure de la consommation d'O_2 et de l'émission de CO_2 pendant un temps donné. Les valeurs obtenues, ramenées à l'unité de temps et de préparation biologique permettent de calculer l'intensité respiratoire ***IR*** de cette préparation. Par exemple ***IR*** peut être exprimée en

mm^3 d'O_2 absorbé/min/mg de levure.

La préparation de levure utilisée dans l'exemple ci-dessus aurait pu servir à mesurer son aptitude à fermenter le glucose selon la réaction : ***Glucose ➛2 éthanols + $2CO_2$***.

Il aurait suffit de remplacer par balayage l'air de l'ensemble cellule-manomètre par de l'azote comme expliqué plus haut et de lire sur la branche gauche du manomètre l'émission de CO_2.

Warburg lui-même effectua avec son appareil de nombreuses études sur la photosynthèse de micro-algues. Une rampe lumineuse de forte puissance était alors installée sous le bain thermostaté (en verre). L'équation de la photosynthèse étant inverse de celle de la respiration, elle émet O_2 et absorbe CO_2. L'intensité photosynthétique ***IP*** peut être exprimée en ***mm^3 d'O_2 émis / min /mg d'algue*** et il est possible de déterminer un Quotient Photosynthétique (QP), rapport du volume d'O_2 au volume de CO_2 absorbé pendant le même temps.

POUR CONCLURE

La manométrie de Warburg, largement utilisée jusque dans les années 1980, est concurrencée par la polarographie, notamment l'électrode à oxygène. Pourtant, elle perdure en raison de sa souplesse face à des échanges gazeux inédits. Si le principe en est simple, sa mise en oeuvre est délicate. Tout l'instrument est en verre, fragile, en verre rodé, et les robinets rodés doivent être graissés pour pivoter, graissés mais pas trop afin qu'aucun des orifices qu'ils contrôlent ne soit bouchés ! Et que dire de ces petits ressorts si résistants qu'il faut passer autour de deux ergots pour rendre solidaires la cellule et le bras du manomètre. Il faut bouger les doigts sans bouger la main, du grand art !

BIBLIOGRAPHIE

1) Das sauerstoffübertragende Ferment der Atmung (Otto Heinrich Warburg, Verlag Chemie, GmbH., 1932)

2) Wasserstoffübertragende Fermente (Otto Heinrich Warburg, Editio Cantor Verlag 1949)

Otto Heinrich Warburg dans son laboratoire en 1931 (Bundesarchiv-Bild 102-12525)

LABORATOIRE DE RECHERCHE SUR LA FOUDRE
UNITÉ DE RECHERCHE PÉGASE
27 ROUTE DE SARRAN • 15270 CHAMPS-SUR-TARENTAINE • FRANCE
www.labofoudre.com contact@labofoudre.com

Éric BARTEN
Enquêteur-analyste spécialiste des paratonnerres radioactifs

Philippe OLLIER
Enquêteur-analyste foudroiement animaux et végétaux

Raymond PICCOLI
Astrophysicien, directeur du laboratoire de recherche sur la foudre

LES ORAGES ET LA FOUDRE

Éric BARTEN
Philippe OLLIER
Raymond PICCOLI

Laboratoire de Recherche sur la Foudre
contact@labofoudre.com

I - COMMENT SE FORME UN ORAGE ?

Du cumulus au cumulonimbus

Dans les multiples facteurs déterminants pour la formation d'un orage, deux sont indispensables : le taux d'humidité et l'écart de température entre de l'air chaud et humide et de l'air froid et sec. Nous allons voir dans les lignes qui suivent que d'autres facteurs importants entrent en jeu, comme la topographie du terrain ou la nature des sols qui vont favoriser la surchauffe des masses d'air dans les basses couches.

Les observations nous ont également démontré depuis longtemps que le cycle d'activité solaire influe grandement et dans des proportions plus ou moins importantes sur l'activité orageuse. Également, les changements climatiques actuels modifient aussi les paramètres et il est fort probable que nous subirons de plus en plus des phénomènes violents et difficilement prévisibles.

Bien entendu, le processus de formation est variable, selon qu'il s'agisse d'un orage d'été local ou d'un véritable front orageux issu d'une dépression. Le déroulement du phénomène peut être divisé en trois parties principales : développement, maturité, dissipation.

La formation d'un cumulonimbus

Au moment où l'air chaud du sol entre en contact avec de l'air plus froid en altitude, un effet de convection se produit, et l'air chaud monte. Les violentes ascendances provoquées forment alors un véritable vortex dans lequel les vitesses peuvent atteindre 180 kilomètres par heure. Au fur et à mesure que le cumulus «gonfle», il accroît sa propre instabilité, car la vapeur d'eau qu'il contient se condense. Ce phénomène dégage de l'énergie, qui sous forme de chaleur, permet ainsi de prendre le relais de l'air chaud du sol qui peine à monter lorsqu'il atteint les zones d'altitude plus froides, puis celles où les températures sont négatives.

Ainsi, fort de son propre «turbomoteur» intégré, le cumulus continue son ascension vers les limites de la troposphère, et se transforme en cumulonimbus. C'est seulement arrivé à la tropopause, dont l'altitude est assez variable, mais qui en général se situe entre 12.000 et 15.000 mètres sous nos latitudes, que le cumulonimbus va stopper sa progression verticale. Ceci est dû aux changements combinés de densités et de températures de la tropopause. À ce moment-là va apparaître «l'enclume». En effet, comme il ne peut plus continuer son ascension, le nuage va s'étaler contre cette barrière invisible. C'est durant sa phase ascensionnelle que tous les éléments qui vont aboutir à la naissance d'un système orageux se mettent en place. Lors de la formation, les hydrométéores se répartissent : les cristaux de glace et les grêlons au sommet, les gouttes et les gouttelettes d'eau dans la base. Quant à l'activité électrique, elle commence bien avant le stade terminal de la formation. Elle se manifeste par des décharges intra nuageuses parfois entendues comme de petits grondements continus. De nuit, il est par contre possible d'apercevoir de faibles lueurs à l'intérieur du nuage.

La grêle et les hydrométéores

La grêle est avec la foudre et la tornade, un des facteurs les plus destructeurs de l'orage, et peut dans des cas extrêmes, donner lieu à des averses catastrophiques. Elle peut être mortelle pour la volaille, il arrive régulièrement que des élevages entiers de malheureux volatiles soient décimés ; les animaux assommés, mutilés, et même parfois décapités par les grêlons.

II - LE PROCESSUS DE FOUDROIEMENT

De l'effet de pointe au coup de foudre

En schématisant simplement, le coup de foudre (définition précise de l'éclair lorsqu'il frappe ce qui se trouve au niveau du sol) est provoqué par la différence de potentiel électrique entre les différentes parties du cumulonimbus et les éléments se trouvant à la surface de la Terre. En temps normal, notre planète possède un champ électrique naturel d'une valeur moyenne de 120 volts/mètre. Par temps orageux, ce champ électrique s'inverse localement et peut atteindre des valeurs extrêmement élevées. Jusqu'à 20.000 volts par mètre mesurés parfois, 250.000 volts ont même déjà été constatés lors d'effets de pointe importants au sommet de constructions élevées. Arrivée à un certain seuil, la différence de potentiel entre le nuage et la terre est si importante que l'air ambiant ne peut plus remplir son rôle d'isolant, et devient alors conducteur. À ce stade décisif, le coup de foudre peut se produire.

Schéma de la répartition des charges électriques dans le nuage d'orage.

L'air étant devenu conducteur, un canal invisible nommé précurseur (aussi nommé traceur) jaillit du cumulonimbus à une vitesse très importante, de l'ordre de deux cents kilomètres par seconde environ.

Progressant vers le sol par bonds, cette véritable tête chercheuse va tenter de faire sa jonction avec un ou plusieurs autres traceurs partis, eux, du ou des futurs points d'impacts, car un éclair peut aisément frapper plusieurs points simultanément. Une fois la jonction faite, la foudre s'écoule dans ce tube jusque-là invisible. Le passage de l'énergie provoque un colossal échauffement de l'air, c'est l'éclair, ainsi qu'une violente dilatation, c'est le tonnerre.

Il existe différents types d'éclairs et parmi les principaux, nous trouvons :

Le coup de foudre : il s'agit de l'éclair lorsqu'il frappe le sol. On distingue deux types de coups de foudre :

✔ La décharge descendante, quand le point de jonction entre les traceurs se fait plus près du sol que du nuage.

✔ La décharge ascendante, quand le point de jonction entre les traceurs se fait plus près du nuage que du sol.

L'éclair intranuageux : décharges internes entre les différentes parties du nuage.

L'éclair internuageux : il s'agit de décharges pouvant s'étaler sur plusieurs dizaines de kilomètres dans l'air fortement humide et très conducteur environnant le nuage d'orage.

L'éclair positif : coup de foudre excessivement puissant, donc très dangereux. Les plus intenses sont nommés «superbolt». Ils sont généralement responsables de dégâts exceptionnels. Ce type d'éclair est par contre assez fréquent dans les orages hivernaux.

III - LES EFFETS DE LA FOUDRE

De la théorie aux réalités du terrain

Beaucoup d'idées reçues concernant la foudre...

Il existe peu de sujets avec autant d'idées reçues que tout ce qui concerne de près ou de loin la foudre.

Cela tient en partie aux croyances populaires toujours profondément enracinées, à des idées et des conseils pas toujours judicieux colportés ici et là, mais aussi à une vision scientifique parfois trop sûre d'elle-même qui se pare d'explications conformistes. Au risque de bousculer des certitudes bien ancrées, non, l'abri qu'offre une voiture ou tout autre véhicule ne peut vous garantir une totale sécurité. Le principe de la cage de Faraday[1] fonctionne très bien en laboratoire, avec les forces en jeux lors d'un orage, c'est une autre affaire... Des véhicules foudroyés n'en gardent que quelques traces, d'autres ont été entièrement détruits, et il est difficile d'expliquer pourquoi. Les avions sont également très exposés, le risque est loin d'être nul et chaque année des accidents arrivent. Oui, le feu du ciel peut tout autant frapper un sapin qu'un orme, un mélèze qu'un chêne. Certaines essences, du fait de leurs constitutions montrent des dégâts plus ou moins visibles, c'est en fait ce dernier point qui est à l'origine de l'idée erronée que le hêtre est épargné. Les endroits élevés et les objets proéminents (pylônes, clochers, antennes, arbres...) sont des points de chute de prédilection pour la foudre, mais les zones planes ou encaissées comme les fonds de vallées par exemple, ne sont nullement à l'abri. Il est fréquent de voir la foudre s'acharner autant sur le sommet d'une montagne que sur ses flancs, de frapper des pâturages ou la lisière d'une forêt en ignorant avec dédain la haute présence des arbres. La foudre n'obéit pas toujours aux théories et défie la logique.

Elle peut tomber à plusieurs reprises au même endroit lors du même orage, elle a aussi la fâcheuse habitude de toucher régulièrement les zones qu'elle a déjà visitées, là où elle a frappé, elle y revient, parfois plusieurs années après. D'ailleurs, dans le processus de foudroiement, tous les éléments entrent en jeu : géologie, végétation, présence de sources... la liste est longue et quasiment illimitée tant les facteurs qui vont déterminer le lieu où elle va frapper sont complexes et nombreux.

Non, une antenne de télévision ne fait pas office de paratonnerre, c'est malheureusement une idée encore répandue. Oui, la foudre en boule existe et n'est pas une douce illusion d'optique ou une affabulation des témoins. Les conduites enterrées, telles que lignes électriques, téléphone, eau, gazoduc, pipe-line... sont moins exposées, mais peuvent être touchées, comme en octobre 1995 dans la Drôme où la foudre a perforé un gazoduc enfoui à plus d'un mètre de profondeur.

La foudre en boule

La foudre en boule, appelée également foudre globulaire est l'une des plus mystérieuses facettes de l'électricité atmosphérique. Même si les plus récentes recherches nous indiquent une forte ressemblance avec des phénomènes obtenus artificiellement dans le domaine de la physique des plasmas, presque tout nous échappe en ce qui concerne sa nature et surtout les comportements facétieux qu'elle peut avoir. Il est même quelques rares scientifiques de salon qui doutent encore de son existence !

Il y a tout à découvrir en matière de foudre en boule, et les récentes expériences menées nous apporteront peut-être quelques éléments de réponse dans les années à venir, en se méfiant des conclusions trop hâtives, car la foudre globulaire est véritablement un phénomène très particulier.

Selon les témoignages et les observations, les dimensions du phénomène oscillent entre quelques centimètres à une cinquantaine de centimètres de diamètre, rarement plus. Sa forme va de parfaitement sphérique à légèrement aplatie, un peu comme une orange. Sa durée de vie est également très variable, dans la majeure partie des observations, elle est comprise entre une et vingt secondes. Néanmoins, un cas tout a fait exceptionnel a été observé par plusieurs témoins dans le Morvan au cours des années soixante-dix, où suite à un violent éclair qui a frappé la lisière d'un bois composé de sapins, une foudre globulaire d'environ un mètre cinquante de diamètre est apparue. Elle est restée statique, son intensité lumineuse et sa taille diminuant lentement pendant près d'une heure. Fréquemment liée à l'apparition du phénomène, une persistante odeur de soufre ou d'ozone est également signalée. De nombreux témoignages font état de sphères lumineuses qui précèdent un impact de foudre. Elles apparaissent tantôt se déplaçant en flottant au-dessus du sol, tantôt immobiles au sommet d'un édifice.

[1] - Cage de Faraday : enceinte conductrice reliée à la terre maintenant un potentiel fixe.

Effets de la foudre sur l'homme

En ce qui concerne le foudroiement des êtres humains, les effets instantanés et les conséquences sont très variables. Cela va de la simple petite commotion à la mort, le corps pouvant présenter de très discrètes stigmates et même parfois aucune trace décelable, ou à l'inverse subir des effets physiques, thermiques et mécaniques de la plus grande violence.

Sauf exception, le passage de la foudre dans le corps provoque des conséquences désastreuses autant physiques que psychologiques.

Lors du foudroiement, qu'il soit direct ou indirect, la décharge va se propager dans le corps essentiellement par le système nerveux, le sang et les muscles en causant des dommages considérables : brûlures, fractures, paralysies musculaires, déchirement des tympans, détachement de la rétine, perte de la vue, etc. En plus des effets physiques, la plupart des foudroyés présentent des affections neurologiques, qui, selon le degré peuvent avoir des effets temporaires ou définitifs plus ou moins graves : pertes de mémoire, difficultés de concentration, fatigue persistante, dépression, irritabilité, et même perte de l'usage de la parole... Ceci n'est qu'un panel très généraliste des pathologies post-foudroiement qui peuvent prendre parfois des formes encore énigmatiques, par exemple certaines interactions de la personne foudroyée avec des appareils électroniques.

Dans certains cas, des personnes blessées ou choquées par la foudre n'ont même pas conscience après une perte de connaissance par exemple, d'avoir été touchées par la décharge, car elles n'ont rien perçu, ni bruit, ni lumière de l'éclair et se retrouvent dans un grand état de confusion. Cela s'explique dans la situation où une personne se trouve très proche, ou du moins suffisamment proche de l'impact pour ne pas entendre le fracas du tonnerre, ni même percevoir la lumière de l'éclair.

Image kéraunographique & figure de Lichtenberg

Sur la zone d'impact, il arrive parfois que la décharge de foudre laisse une trace imprimée ayant l'aspect de ramifications, ou d'une feuille de fougère. Ce phénomène se retrouve souvent sur l'épiderme des foudroyés, cela est dû à la dislocation des vaisseaux capillaires au passage de la foudre dans le corps, mais aussi sur certaines surfaces comme le béton par exemple. Cela s'appelle la figure de Lichtenberg.

Dans d'autres cas, il s'agit véritablement d'une décalcomanie d'objets environnants que l'on retrouve imprimée sur la peau de la victime ou sur une surface matérielle proche. Il a été observé que des personnes se trouvant à quelque distance d'un impact, mais non touchées ni commotionnées, aient été «imprimées» sur une partie de leur corps. Ce curieux et méconnu phénomène porte le nom d'images kéraunographiques. En 1995, un cycliste abrité sous un arbre se trouvait à quelques mètres d'un impact de foudre, n'ayant été que commotionné, son abdomen présentait le dessin parfait d'une partie du cadre du vélo positionné entre lui et l'endroit foudroyé.

Une fillette, qui lors d'un violent orage se tenait bien à l'abri derrière une fenêtre fut «imprimée» sur son corps de la silhouette d'un érable après que la foudre tomba très proche.

Les images kéraunographiques peuvent se révéler parfois aussi précises qu'un dessin tant les détails sont nets, comme dans le cas de cette femme sur qui l'on retrouva la silhouette d'une vache imprimée sur l'abdomen alors qu'elle était occupée à traire. Dans un autre registre, lors du foudroiement d'une église, les pages ouvertes du missel furent «photocopiées» sur la nappe de l'autel au point qu'il était possible d'en lire certains passages...

Enfin, pour conclure, il semble important de préciser que ces «gravures de foudre» sont généralement temporaires, plus rarement définitives.

Effets de la foudre sur les animaux

Sur la quantité considérable d'animaux tués chaque année, qui est comprise entre 20 à 25 000 têtes (seulement pour la France métropolitaine), les bovins, ovins et caprins en représentent la plus grande partie.

Schéma du principe de fulguration par courant de pas. Lors de son trajet entre les membres, la décharge traverse l'organisme de l'animal en créant des dommages mortels. La grande majorité des quadrupèdes est tuée de cette manière, le foudroiement direct étant plus rare...

Chevaux, ânes, volailles, porcins, et tous les animaux de la ferme sont également concernés. Les animaux tués par la foudre sont le plus souvent victimes d'un «courant de pas», en effet, la décharge qui entre en contact avec la terre va se diluer dans le sol. Un animal se trouvant à une distance plus ou moins importante du point de chute, (cela dépend aussi de la nature du terrain) va alors créer une différence de potentiel entre ses membres en contact avec le sol. La décharge traverse alors le corps de l'animal, créant ainsi des dommages, là aussi très variables, dans les organes se trouvant sur le trajet de l'électricité. En 1838, durant un violent orage, plusieurs bœufs ont été foudroyés dans un faible périmètre. Lors de l'autopsie, il a été constaté que leurs os avaient été broyés en milliers de petits fragments. Le 31 octobre 2005, en Australie, 68 vaches sont tuées par un coup de foudre qui frappe l'arbre sous lequel les bêtes s'étaient regroupées.

Lors du foudroiement d'une ferme près de Dinan, dans les Côtes-d'Armor, la décharge a remonté jusqu'au poulailler où les volailles ont été projetées avec une telle violence que certaines étaient en partie broyées et collées au plafond et sur les murs.

La foudre et les aéronefs

Un avion, du moins en théorie et selon les matériaux employés pour sa construction, forme une cage de Faraday qui devrait le mettre à l'abri de la foudre. Dans la pratique, le vol dans une cellule orageuse pose d'évidents problèmes de sécurité, qui est parfois sacrifiée sur les autels du gain de temps et de l'économie de carburant, mais il est vrai qu'à notre époque, Dieu n'est plus le seul maître à bord après le Commandant, il a été remplacé depuis longtemps par les actionnaires des compagnies...

Les appareils foudroyés sortent la plupart du temps indemnes de l'incident, mais il est faux de laisser croire comme l'affirment certains «experts» que le foudroiement d'un avion est quelque chose d'anodin, de presque «normal». Il arrive parfois qu'un impact cause des dégâts plus importants avec des conséquences qui mettent directement en péril les passagers et l'avion ou participent à sa destruction. C'est pour ces multiples raisons pourtant logiques, qu'il est vivement déconseillé à l'équipage d'un aéronef de traverser le cœur actif d'un orage.

De même, la présence de cellules orageuses rend très délicates certaines manoeuvres comme le décollage ou l'atterrissage, du fait des vents de cisaillements générés, vents excessivement dangereux lors de ces phases délicates et qui peuvent rendre le vol subitement incontrôlable. Récemment, un gros porteur de fret MD-11, déstabilisé par un violent cisaillement, s'est écrasé à l'atterrissage sur l'aéroport de Tokyo, tuant ses deux membres d'équipage.

Rien qu'aux États-Unis, le National Transportation Safety Board (Bureau National de Sécurité des Transports) a répertorié entre 1963 et 1989 au moins 54 accidents dus directement aux orages pour un bilan de 320 victimes.

Foudre en boule et avion ?

Des apparitions de la foudre en boule ont été rapportées à bord d'appareils, tantôt sans conséquence, tantôt accompagnée d'une explosion avec des dommages plus ou moins importants au point de sortie du phénomène. Les hélicoptères sont également très sensibles aux effets de la foudre, les pales, du fait de leur rotation, peuvent produire un phénomène spectaculaire d'enroulement d'arcs électriques.

Quelques accidents aériens causés par la foudre ces dernières années :

- **Le 8 décembre 1963** *au-dessus du Maryland, aux États-Unis, un Boeing 707 explose en plein vol avec ses 86 passagers. Un réservoir de carburant a été perforé par un puissant éclair.*

- **Le 3 mai 1968**, *un Lockheed Electra avec 85 personnes à bord s'écrase aux États-Unis alors qu'il traverse une zone d'orages très actifs au-dessus du Texas.*

- **Le 9 mai 1976** *en Espagne, un Boeing 747 chargé de fret et ses 17 passagers sont tués dans l'explosion de l'appareil après que la foudre ait touché un des réservoirs de carburant.*

- **Le 5 septembre 1980**, *un Hercules C-130 s'écrase près de Montélimar après avoir été touché par la foudre, les huit membres d'équipage sont tués.*

- **Le 16 juillet 2002**, *un hélicoptère Sikorsky S-76 s'écrase avec onze personnes à son bord. Une pale du rotor s'est cassée suite à une fatigue structurelle provoquée par un impact de foudre trois ans auparavant.*

- **Le 10 décembre 2005** *au Nigeria, un DC-9 frappé en plein décollage s'écrase, il y a 108 victimes.*

- **Le 22 août 2006**, *un Tupolev TU-154 traverse un système orageux, un impact de foudre cause un incendie à bord qui provoque la destruction de l'appareil. Le bilan est de 170 victimes.*

Ces exemples vous démontrent, que même si l'avion est un bon abri contre la plupart des décharges de foudre, il n'en reste pas moins que le risque existe bel et bien. Il ressort que les trois principales conséquences des accidents liés au foudroiement d'un appareil sont les suivantes :

✔Les interférences électromagnétiques, l'endommagement ou la destruction pure et simple des systèmes électroniques embarqués (commandes, navigations, paramètres de vol...) avec toutes les conséquences que cela comporte

✔Le déclenchement d'incendie ou la perforation suivie de l'explosion des réservoirs de carburant.

✔L'atteinte physique de l'équipage aux commandes, par exemple la cécité temporaire, conséquence de l'aveuglant flash de l'éclair.

La foudre et les navires

Les navires modernes de gros tonnages offrent une excellente protection aux effets de la foudre. La question de la mise à la terre ne se pose pas, car en cas de paratonnerre défaillant, les structures métalliques conduisent la quasi-totalité de l'énergie de la décharge à la mer. Malheureusement, c'est l'exception qui fait la règle, puisque des cas de foudroiements de navires ont eu des conséquences fâcheuses, comme pour ce méthanier frappé par la foudre durant les opérations de remplissage dans le port belge de Zeebrugge en août 2008.

Un incendie s'est déclaré et le navire par mesure de sécurité s'est éloigné du terminal. Le 26 août 1972, le pétrolier *Princess Irene* explose dans le terminal d'hydrocarbures de Donges (Loire-Atlantique), après avoir été frappé par la foudre. Fort heureusement, la cargaison de brut venait d'être déchargée. Le bilan est de six victimes.

Au 19e siècle, le navire West Point fut frappé par la foudre à sept reprises lors du même orage, en plus des avaries importantes que subit le vaisseau, plusieurs membres d'équipage furent tués ou blessés. Toujours au 19e siècle, sur deux cents cas de foudroiements, la marine britannique perdit près de trois cents hommes d'équipage tués ou blessés. Enfin, les registres de l'amirauté britannique font état de la perte de soixante-dix navires par la foudre sur une période de cinq ans, entre 1810 et 1815. Il fallut attendre 1851, date à laquelle tous les navires de la Royal Navy[2] furent équipés de paratonnerres pour stopper ces pertes considérables.

Foudre et véhicules

La supposée[3] cage de Faraday que représente une voiture est un abri assez sûr, mais ce n'est en aucun cas un «bunker» où l'on est en absolue sécurité comme souvent dit. À l'instar des navires et des aéronefs, tous les véhicules terrestres en général, sont exposés à d'éventuels foudroiements, qui de surcroît, sont bien plus nombreux qu'on ne le pense. Dans la majorité des cas, un coup de foudre très proche ou indirect ne provoque pas ou peu de dommages. Par contre, dans le cas d'un foudroiement direct, les conséquences peuvent être bien plus graves, cela peut aller jusqu'à la destruction du véhicule, la plupart du temps par l'incendie ou l'explosion, ou par la propagation d'une onde thermique à l'intérieur de l'habitacle.

D'autres paramètres entrent en ligne de compte, comme la puissance de la décharge, s'il pleut ou non, la vitesse du véhicule ou s'il est à l'arrêt. En 1998, la foudre est tombée sur une station-service où une décharge secondaire a frappé un camion contenant 33.000 litres d'essence, par un coup de chance incroyable rien n'a explosé !

En 1994 au Mexique, cinq occupants d'une voiture roulant à faible vitesse sont littéralement éjectés sous l'impact d'un coup de foudre qui liquéfie une partie du capot et du pare-brise, les victimes en sont quittes pour une forte commotion et quelques fractures dues surtout à la projection, là aussi, la chance était de leur côté. Les deux portes arrière ont été arrachées.

La même année dans les Alpes-de-Haute-Provence, une voiture en stationnement heureusement inoccupée est touchée par la foudre, elle est entièrement détruite par l'incendie qui se déclare alors. Par contre, il n'a pas été possible de déterminer s'il s'agissait d'un impact direct ou indirect.

En juillet 2007 au Québec, en quarante minutes, un camion et une voiture ont été foudroyés sous le même orage et sur la même portion d'autoroute, heureusement sans faire de blessés.

Les trains également ne sont pas épargnés des méfaits de l'orage. Le foudroiement des installations techniques, ou du matériel roulant provoque des pannes et des dégâts qui peuvent être très importants. Les paralysies du trafic ne sont pas rares lors d'incidents de ce type. Une voie ferrée touchée par la foudre peut conduire la décharge sur de très longues distances. Dans les années cinquante, des cheminots travaillant à l'entretien d'une voie ont été commotionnés à plus de deux kilomètres du point d'impact. En juin 2007, en Belgique, la foudre a frappé la locomotive d'un train de voyageurs qui entrait en gare, provoquant de graves avaries et stoppant tous mouvements ferroviaires durant plusieurs heures. En France, une motrice qui tractait un convoi de fret a été quasiment détruite par un impact direct.

Foudre, constructions et dégâts divers

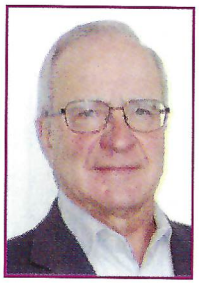
Depuis la mise au point du paratonnerre, les accidents dans les édifices qui en sont équipés sont rares, mais comme vous l'avez compris, la foudre est capricieuse et ne se laisse pas dompter facilement...

Le plus violent orage n'expose pas aux mêmes risques s'il est subi de derrière les épaisses vitres d'un building dont la structure d'acier et de béton forme une cage de Faraday, ou si vous vous trouvez dans une maison de campagne isolée. À l'intérieur, la plus élémentaire prudence reste quand même de ne pas utiliser le téléphone (65% des personnes foudroyées dans l'habitat le sont par ce vecteur), les appareils électriques et l'eau. Les constructions modernes à structures métalliques équipées d'un réseau de paratonnerres sont bien entendu les mieux protégées. Les édifices en béton armé offrent également une très bonne protection, à condition là aussi que le système antifoudre soit judicieusement installé. Le béton, quand il est touché, peut être endommagé dans des proportions plus ou moins variables, avec des effets comme des effritements ou la présence de fulgurites. Une maison particulière peut être assez bien sécurisée contre les effets de la foudre, c'est juste une question du type de défense à mettre en place, et surtout à la qualité de l'installation. Un paratonnerre mal posé, inadapté ou endommagé peut non seulement être inefficace, mais contrairement à sa fonction principale, porter atteinte à la sécurité de l'édifice qu'il est destiné à protéger. De même, on peut utiliser le meilleur parafoudre existant sur le marché pour sécuriser une installation électrique, si la mise à la terre n'est pas correcte, il n'aura que peu d'effet. Un éclair émet aussi de puissants champs électromagnétiques qui peuvent détruire à plusieurs dizaines de kilomètres les installations électroniques et provoquent souvent une usure prématurée des composants. On estime qu'au moins 15% à 20% du parc informatique français est endommagé ou détruit chaque année de cette manière. Les parasurtenseurs servent quant à eux essentiellement à réguler les baisses ou les pics de tension que peut subir le réseau électrique, mieux vaut donc tout simplement avoir la sagesse de débrancher si l'orage gronde, c'est encore la meilleure des protections pour le matériel, et de loin la plus économique. Il faut prendre soin d'éloigner les fiches des prises d'au moins cinquante centimètres. Recommandation identique pour l'antenne de télévision.

[2] - Marine militaire britannique.

[3] - La voiture est une cage de Faraday imparfaite (vitres, matériaux non conducteurs, etc.).

RECONSTITUTION DE MATIÈRE OSSEUSE A PARTIR DE NOUVEAUX BIOMATÉRIAUX : APPLICATION AUX PROTHÈSES



Jean-Léon IRIGARAY
Professeur émérite des Universités, en retraite (*)

Jonathan LAO
Maître de conférences (laboratoire de physique corpusculaire) à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les biomatériaux représentent une des grandes avancées thérapeutiques de ces dernières années. Définis comme des matériaux travaillant sous contrainte biologique, voués au remplacement d'une fonction ou d'un organe, ils sont présents dans de nombreuses stratégies curatives.

Ils soulèvent cependant des problèmes d'ordre scientifique mais aussi économique, éthique, réglementaire et industriel qui astreignent à l'observance d'exigences de sécurité, fiabilité et reproductibilité. Initialement, notre recherche a été programmée pour répondre au problème de réparation osseuse dans les mâchoires après une irradiation électromagnétique au Centre anticancéreux Jean Perrin.

Un matériau naturel, le corail, qui est du carbonate de calcium a été étudié et expérimenté en premier de par sa structure cristalline appropriée.

Par la suite, les travaux ont été élargis pour améliorer la tenue des prothèses en orthopédie. Un matériau de synthèse, l'hydroxyapatite, a été utilisé pour revêtir des prothèses métalliques de hanche. Des modifications de composition ont abouti à améliorer la cinétique de résorption et à une régénérescence de la matière osseuse.

Des verres bioactifs se lient aux tissus osseux et stimulent aussi le processus de régénération. Ils sont utilisés en chirurgie dentaire, orthopédique et pour le remplacement des os de l'oreille. Une véritable ingénierie tissulaire de l'os devient possible, permettant par exemple la reconstruction de matière osseuse même sur de larges volumes. On arrive à créer une porosité nanométrique par une incorporation de produit pour un relargage contrôlé.

Mais il reste à améliorer les propriétés mécaniques pour ces biomatériaux à employer sous effort intense.

Pour réussir ces recherches, nous avons eu recours en particulier aux méthodes nucléaires d'analyse avec des faisceaux de neutrons et de protons. Elles exigent en effet une sensibilité et une sélectivité élevées pour quantifier les éléments atomiques.

Par ailleurs, ces revêtements peuvent être une réponse à l'allergie contre certains métaux pouvant diffuser dans l'organisme.

I - UN BIOMATERIAU NATUREL : LE CORAIL

Les matériaux de comblement osseux sont des matériaux poreux car ils sont destinés à être recolonisés par un tissu de cicatrisation et à servir d'expanseur tissulaire pour ce tissu.

Le corail est un cristal d'aragonite du type Porites avec une porosité de 50 % (rapport entre le volume des pores et le volume total de l'implant). La taille des pores, environ 150 µm de diamètre, joue également un rôle important ; ils doivent avoir une taille voisine de celle des os afin de permettre une meilleure vascularisation du matériau. Ces propriétés expliquent pourquoi, malgré sa composition minérale différente de l'os, le corail est adapté pour la reconstitution osseuse.

En effet, la phase minérale du tissu osseux de mammifères adultes est composée d'une apatite carbonatée de type B ou AB, assez mal cristallisée mais elle contient, en plus du calcium, également du phosphore.

Sans entrer dans trop de détails de composition chimique ou de structure physique, nous nous bornerons à présenter les résultats les plus probants de nos recherches expérimentales .

Les échantillons de cette étude proviennent pour la plupart de fémurs prélevés sur des ovins.

La figure 1 représente la méthode et le lieu d'implantation.

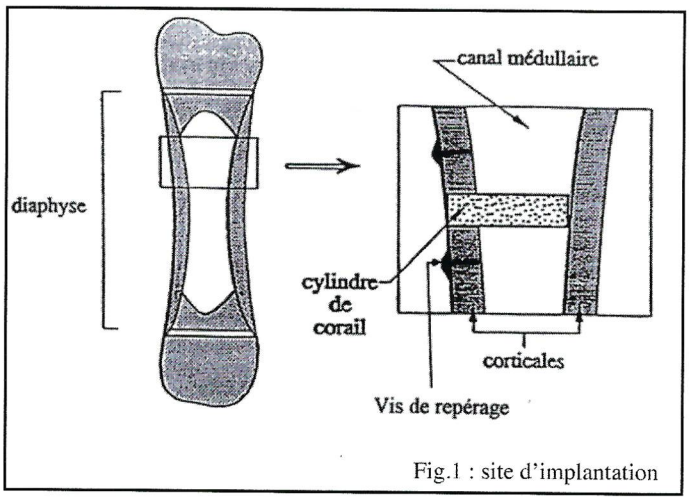


Fig. 1.- site d'implantation

Ce choix a été réalisé pour deux raisons : l'épaisseur du tissu cortical est maximum à cet endroit et la teneur des éléments dans la diaphyse est stable, ce qui n'est pas le cas dans les épiphyses.

A délais fixés, des biopsies sont extraites des fémurs afin de les analyser et pour suivre les transformations physico-chimiques des implants en fonction du temps d'implantation.

(*) Auteur d'un livre récent "SAVOIRS ET SOCIETE", aux éditions "publibook". Il traite de manière simple et accessible à tous, afin de partager ses connaissances avec les lecteurs, de nos origines, de notre évolution, de philosophie, de questions sociétales, etc.
Vente en librairie et sur les sites internet.

Sur les figures 2 et 3 , nous voyons les variations au cours du temps des teneurs en calcium et en phosphore.

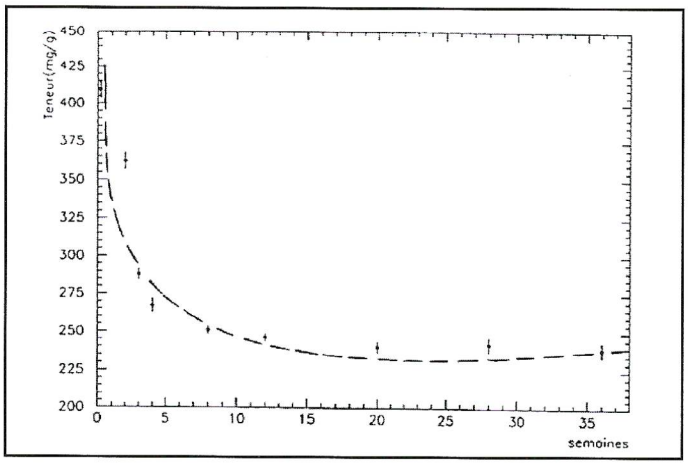


Fig. 2.- teneur en calcium dans les implants de coraux en fonction du temps d'implantation

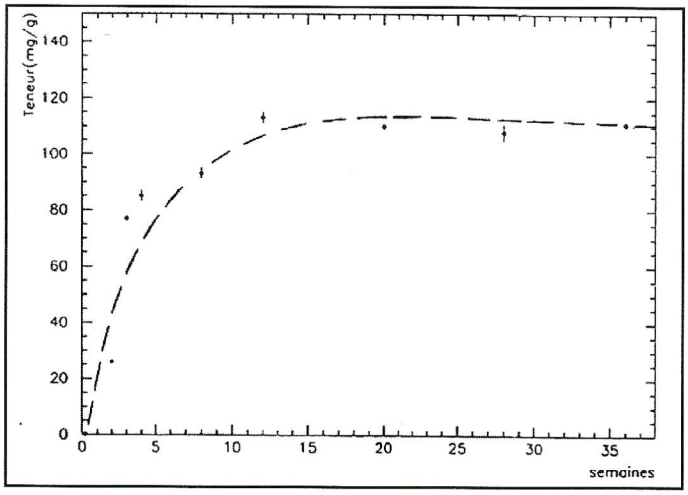


Fig. 3.- teneur en phosphore dans les implants de coraux en fonction du temps d'implantation.

Celle du calcium diminue rapidement pour se stabiliser après une vingtaine de semaines. Par contre, celle du phosphore qui est pratiquement nulle au départ augmente pour se stabiliser aussi après une vingtaine de semaines.

Bien que les teneurs en magnésium et en strontium soient beaucoup plus faibles dans un corail, nous reproduisons dans les figures 4 et 5 leurs variations pour les comparer aux éléments majeurs et on constate une grande similitude.

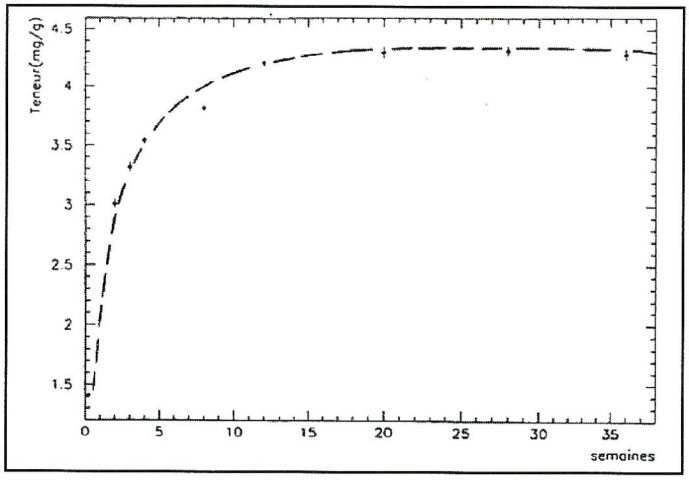


Fig. 4.- teneur en magnésium dans les implants de coraux en fonction du temps d'implantation.

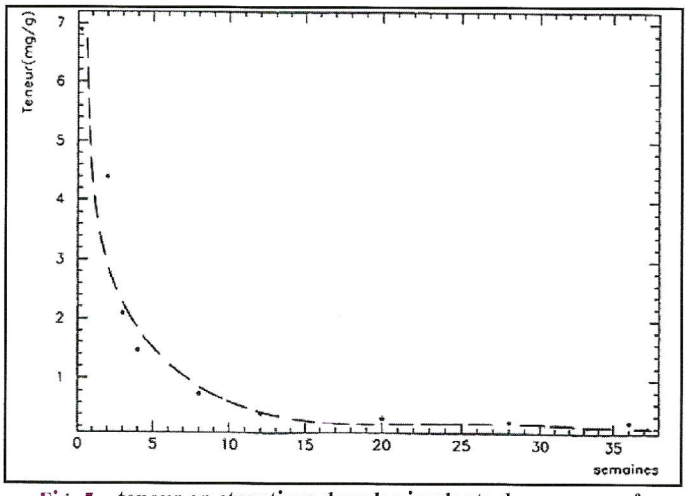


Fig. 5.- teneur en strontium dans les implants de coraux en fonction du temps d'implantation.

On sait que dans l'os, le rapport des masses en calcium et en phosphore est de l'ordre de 2,2. Le tableau I illustre la transformation du corail en os après une vingtaine de semaines

Délais d'implantation	Ca/P
0 semaine	1573
2 semaines	14
3 semaines	3.7
4 semaines	3.1
8 semaines	2.8
12 semaines	2.2
20 semaines	2.2
28 semaines	2.2
36 semaines	2.2
Os ovin neutre	2.2

Tableau 1: rapport phosphocalcique massique dans le corail implanté.

Nous avons bien sûr effectué des mesures de paramètres cristallins par diffraction X et on peut conclure et répondre à la question des médecins en disant que la minéralisation est atteinte de manière satisfaisante après cinq mois d'implantation.

II - UN BIOMATERIAU DE SYNTHÈSE : L'HYDROXYAPATITE (HAP)

Les prothèses de hanche en particulier sont constituées de matériau métallique comme le titane ou d'alliages métalliques. Les risques de descellement sont hélas nombreux. Une solution consiste à recouvrir ces prothèses à base métallique par une couche d'hydroxyapatite. Comme cet élément a une composition et une cristallinité voisines de l'os, sa biocompatibilité est favorable.

De plus, sa porosité peut être modulée à la fabrication de 5 à 80% interconnectée ou non. Bien sûr, il faut tenir compte des propriétés mécaniques dans les choix . Ainsi, la contrainte de rupture en compression est de l'ordre de 1MPa pour 80 % de porosité et de 60 MPa pour 5 % de porosité.

En introduisant une couche d'hydroxyapatite entre le métal et l'os du fémur par exemple, on espère assurer une meilleure fixation de la prothèse.

Les figures 6 et 7 montrent l'évolution au cours du temps des teneurs du calcium et du phosphore dans l'hydroxyapatite implantée.

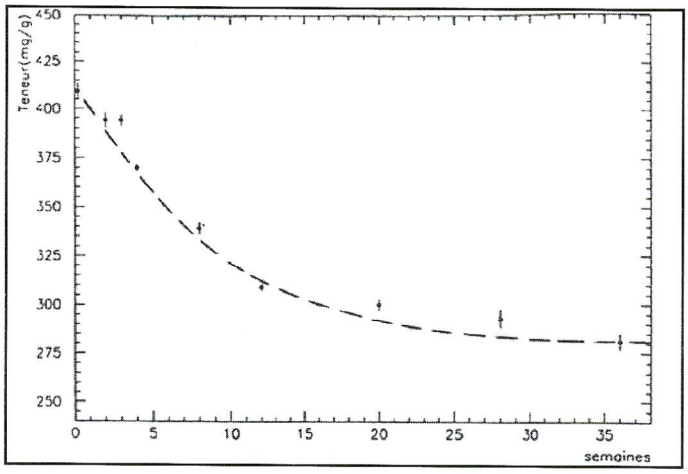


Fig. 6 - teneur en calcium dans les implants d'hydroxyapatite en fonction du temps d'implantation.

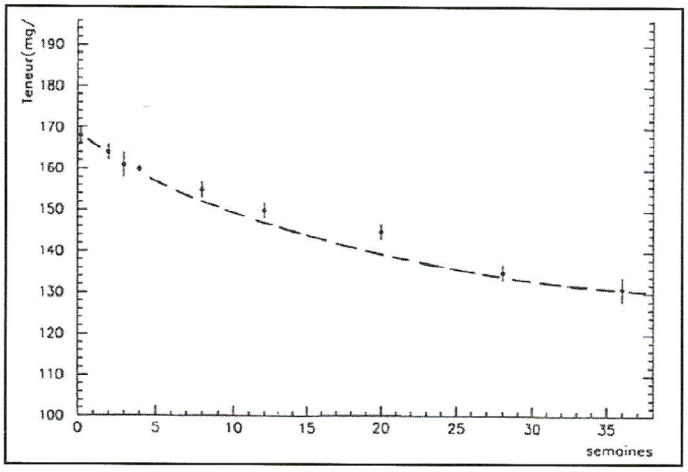


Fig. 7 - teneur en phosphore dans les implants d'hydroxyapatite en fonction du temps d'implantation.

Les courbes sont différentes par rapport à celles du corail surtout bien sûr pour le phosphore. Mais, comme pour le corail dans les figures 8 et 9, nous avons effectué une cartographie des éléments atomiques grâce à la méthode expérimentale nucléaire PIXE (Protons Induced X-rays Emission).

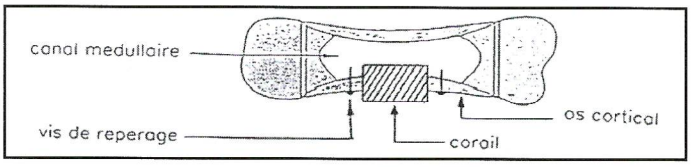


Fig. 8 - schéma de l'implant dans la corticale ovine.

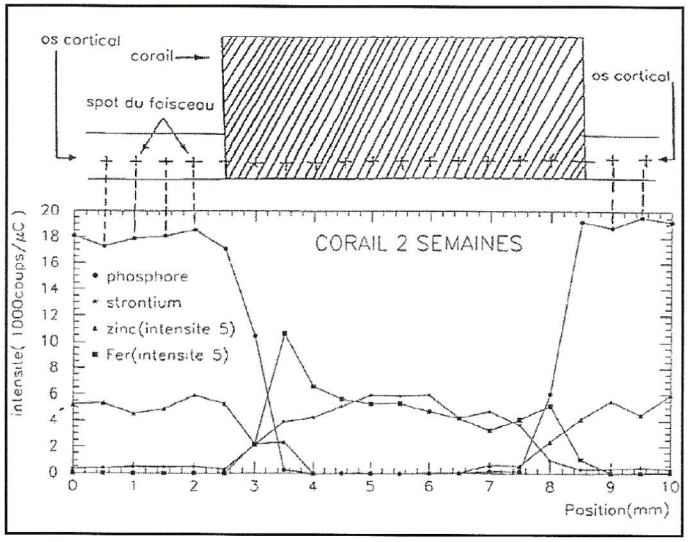


Fig. 9 - les différentes étapes de l'analyse par PIXE d'un corail (2 semaines).

Cette méthode permet de faire une analyse quantitative tous les 0,5 mm le long et autour de l'implant.

La figure 10 en trois dimensions montre la répartition du calcium, de chaque côté de l'implant, et dans l'implant à partir de 2 semaines jusqu'à environ 50 semaines.

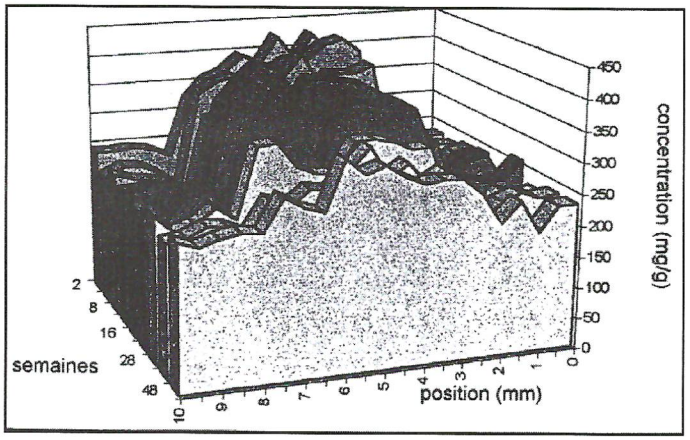


Fig. 10 - répartition du calcium dans les échantillons os-implant-os d'HAP pure en fonction du temps d'implant.

On constate que vers un an, cette concentration se rapproche de celle de l'os.

Dans la figure 11, il en est de même pour le phosphore mais ce n'est pas aussi net qu'avec le corail.

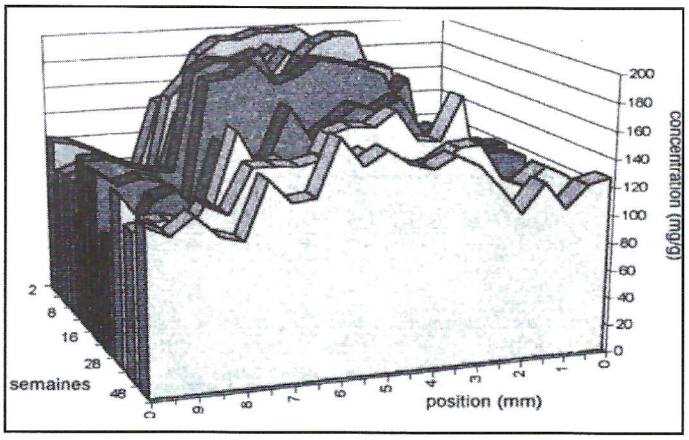


Fig. 11 - répartition du phosphore dans l'échantillon os-implant-os d'HAP pure en fonction du temps d'implantation

Nous avons alors dopé l'hydroxyapatite pure avec du phosphate tricalcique, ce qui donne le HTCP (hydroxy tricalcic phosphate), mélange de 75% de HAP et de 25% de béta-TCP.

Dans les figures 12 et 13, on constate que ces excédents de Ca et P se résorbent davantage

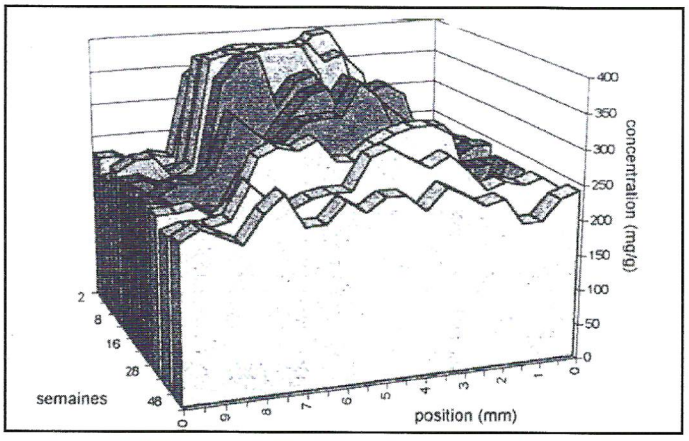


Fig. 12 - répartition du calcium dans l'échantillon os-implant-os de HTCP en fonction du temps d'implantation

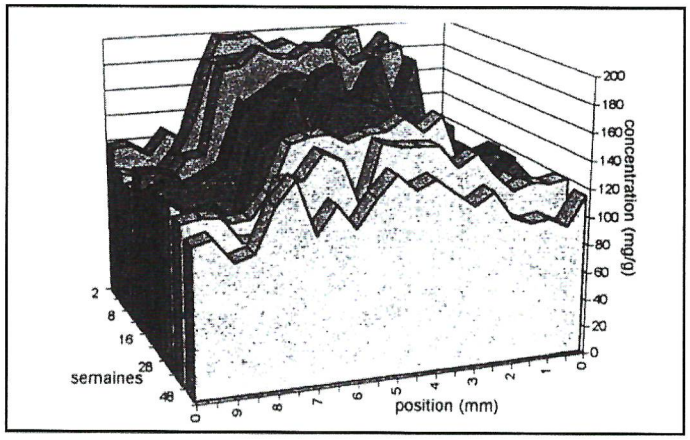


Fig. 13 - répartition du phosphore dans l'échantillon os-implant-os de HTCP en fonction du temps d'implantation

Pour tenter d'améliorer encore cette cinétique de résorption, nous avons dopé l'hydroxyapatite pure avec des ions métalliques de manganèse (Mn) et de zinc (Zn).

Les ions Mn^{2+} et Zn^{2+} ont été choisis sur des critères biologiques (capacité à favoriser la résorption et ensuite l'ossification et action sur la quantité et la qualité des ostéoblastes, cellules qui élaborent la substance osseuse).

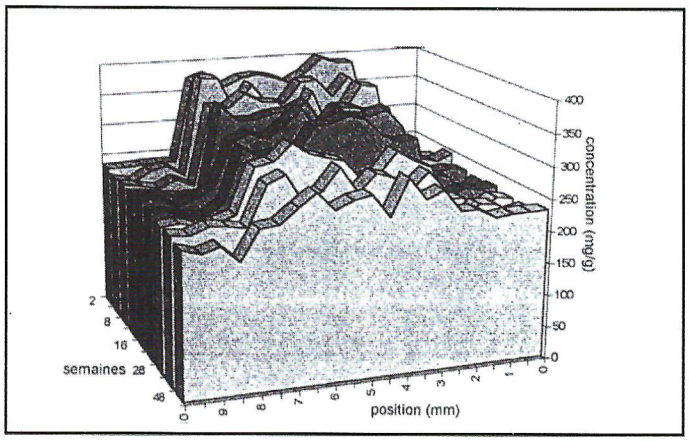


Fig. 14 - répartition du calcium dans l'échantillon os-implant-os d'HAP.Mn en fonction du temps d'implantation

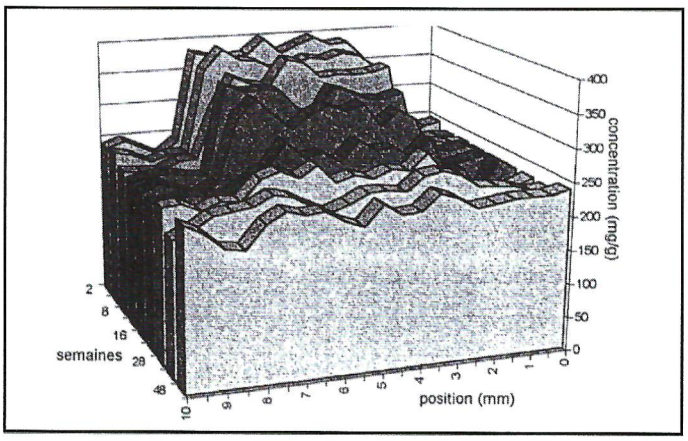


Fig. 15 - répartition du calcium dans l'échantillon os-implant-os d'HAP.Zn en fonction du temps d'implantation

Les figures 14 et 15 montrent à l'évidence un net progrès surtout avec le zinc qui raccourcit le temps de résorption pour le ramener à 8 mois environ, ce qui peut constituer une information utile pour les chirurgiens orthopédistes.

En plus, nous avons cherché à détecter dans le biomatériau implanté des éléments atomiques contenus dans les vis de repérage tels que fer, chrome, nickel et molybdène.

Ces éventuelles migrations sont en dessous des seuils de détection et donc négligeables.

Le revêtement d'implants métalliques par ces biomatériaux peut constituer une barrière efficace contre les allergies dont certaines personnes sont très sensibles.

III - UN BIOMATÉRIAU NOUVEAU : LE BIO-VERRE

1) Bref historique

De nos jours, de nouveaux biomatériaux, les verres bioactifs (ou bioverres) paraissent extrêmement prometteurs pour la réparation des tissus osseux. Leur histoire commence à la fin des années soixante. Celui qui sera leur inventeur, le professeur Larry Hench, officiait alors à l'université de Floride, et travaillait au développement de nouvelles céramiques capables de résister à de fortes doses de radiations pour des applications militaires ou spatiales. Dans le bus qui le ramène de l'une de ses conférences, Larry Hench converse avec un colonel de l'US Army, et lui fait part avec enthousiasme de ses travaux. Le colonel, de retour de la guerre du Vietnam, lance alors au jeune Hench : « *Vous savez fabriquer un matériau endurant les plus fortes radiations ; mais seriez-vous en mesure d'élaborer un matériau capable de résister au corps humain lui-même ?* ». Il entendait par là que peu d'implants, à l'époque, étaient bien supportés par le corps humain ; en l'absence d'une réelle interface stable entre l'implant et les tissus hôtes, nombreux étaient les rejets, et le colonel alors de décrire quantités d'amputations dont il avait été témoin au Vietnam.

Cet échange est en quelque sorte l'acte de naissance des verres bioactifs. Marqué par cette conversation, le professeur Hench travaille dès lors au développement de nouveaux implants qui ne soient pas rejetés par le corps humain, en particulier pour la réparation des tissus osseux. L'hypothèse de base est que le corps humain rejette ou isole les implants de type métalliques ou polymères parce que leur composition est très différente de celle des tissus hôtes. Un matériau qui serait capable de former une couche de minéral osseux au contact des tissus environnants devrait donc être bien toléré. Le professeur Hench en déduit qu'il faut élaborer une céramique dégradable, qui contienne par ailleurs du calcium et du phosphore en proportions suffisantes pour alimenter la formation de minéral osseux, qui n'est autre qu'un phosphate de calcium proche de l'hydroxyapatite. Ainsi le premier verre bioactif voit le jour en 1969 : il s'agit d'une matrice vitreuse dont la composition est 45 % SiO_2 - 24,5% Na_2O - 24,5% CaO - 6 % P_2O_5 (% massiques). Cette composition est encore aujourd'hui une référence et est connue sous la dénomination 45S5 ou encore Bioglass®. Très rapidement, le bioverre de Hench trouve une application clinique : la réparation des os de l'oreille interne chez des patients sourds. Chez ces malades la transmission des sons par conduction ne pouvait plus se faire à cause d'os défectueux dans l'oreille ; le remplacement de ceux-ci par des implants métalliques ou polymères échouait car cela entraîne une encapsulation fibreuse des implants. Avec des implants en bioverre, le problème est résolu, une véritable liaison s'établit entre l'implant et les os environnants, et l'ouïe est au final restaurée. Des études ont montré que le lien établi est même plus fort que la liaison existante entre tissus hôtes natifs [1].

C'est ainsi que naît un nouveau domaine de recherche : celui des **céramiques bioactives**. Par bioactivité on entend la capacité du matériau à nouer un lien avec les tissus hôtes.

2) La bioactivité des bioverres

Les verres bioactifs sont capables de se lier rapidement aux tissus osseux. La bioactivité est premièrement due à la réactivité chimique des bioverres ; au contact des fluides biologiques, les bioverres relarguent des quantités importantes d'ions issus de leur dissolution ; la composition chimique, le pH, et au final l'équilibre thermodynamique du milieu en sont profondément modifiés, et ceci déclenche la précipitation de phosphates de calcium en surface des verres. Le mécanisme à la base de la bioactivité est bien identifié désormais et peut être résumé sur la figure 16.

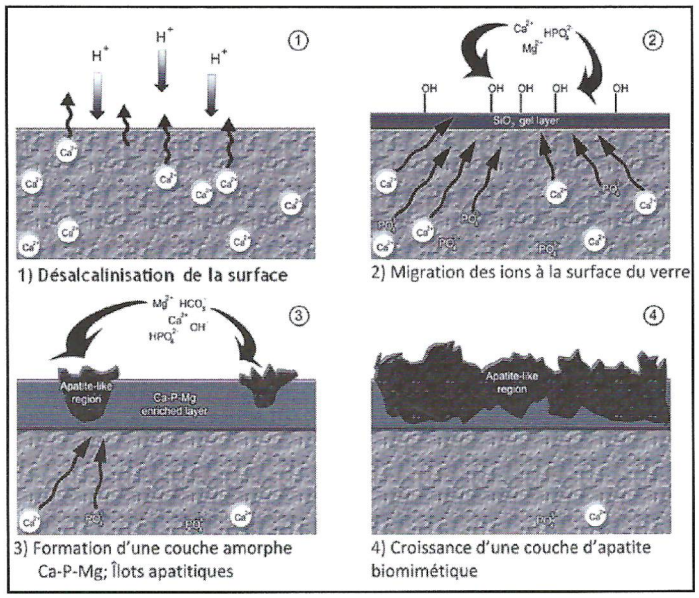


Fig. 16 - Les grandes étapes du processus de minéralisation à la base de la bioactivité des bioverres. 1) les ions alcalins et alcalino-terreux sont d'abord très rapidement relargués dans le milieu biologique ; le pH augmente alors, ce qui est favorable à la rupture du réseau vitreux par hydrolyse, pour former des groupements Si–OH de surface ; 2) ceux-ci repolymérisent pour former une couche de gel de silice SiO2 qui est favorable à la germination de phosphates de calcium, grâce à la diffusion d'ions issus du verre lui-même ou bien du milieu biologique ; 3) la croissance de la couche de phosphate de calcium est alimentée par la diffusion en continu des ions en surface du bioverre, et 4) la composition de la couche tend au bout de quelques heures à quelques jours vers celle d'une apatite biologique, qui est le principal constituant minéral de l'os[2].

D'autre part, les bioverres sont également capables de stimuler la repousse osseuse en des régions plus distantes de l'interface implant/os. En effet, s'ils sont évacués à une vitesse et en quantités convenables, les produits issus de la dissolution des bioverres (notamment la silice et les ions calcium, strontium) sont responsables de l'activation de gènes impliqués dans la régulation du cycle de division cellulaire. Il se produit des effets ostéoinducteurs qui sont très souhaitables, puisqu'ils se traduisent par une augmentation de la différentiation des cellules en ostéoblastes ainsi que leur prolifération ; or les ostéoblastes sont les cellules qui bâtissent l'os, elles sont responsables de sa minéralisation. La figure 17 présente les résultats d'une étude récente sur des bioverres dopés en strontium capables de promouvoir significativement l'activité des cellules osseuses grâce à la délivrance d'ions strontium dans le milieu biologique[3]. Cet ion connaît actuellement un très fort intérêt pour la régénération osseuse. Il est à la base de médicaments comme le Protelos®, utilisés pour traiter l'ostéoporose. Cette pathologie trouve justement son origine dans la baisse d'activité des ostéoblastes ; l'os n'étant pas renouvelé à un rythme suffisant par ces cellules, la masse osseuse perd en densité ce qui augmente le risque de fractures.

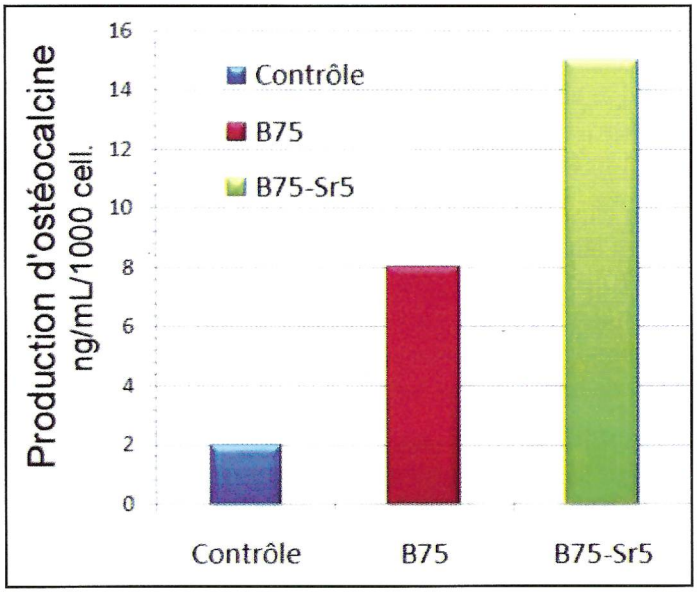


Fig. 17 - Effets cellulaires induits par des grains de bioverres mis au contact de cellules osseuses. L'activité cellulaire est reflétée par la production d'ostéocalcine, un marqueur biochimique de formation d'os par les cellules. Le verre B75 (SiO_2–CaO) est comparé au verre B75-Sr5 (SiO_2–CaO–SrO), de composition proche mais dopé en strontium à hauteur de 5%. La production d'ostéocalcine par les cellules est quasiment doublée pour le verre B75-Sr5 délivrant du strontium. Le contrôle correspond aux cellules cultivées en l'absence de bioverre. D'après [3].

Cet effet ostéoinducteur des produits de dissolution est considéré aujourd'hui comme la condition la plus déterminante pour qu'un lien solide avec les tissus osseux puisse s'établir. C'est pourquoi le contrôle du relargage des espèces ioniques issues du réseau vitreux est devenu si important. Celui-ci peut se faire à deux niveaux : en jouant sur la composition du bioverre, et/ou en contrôlant l'étendue de sa surface de contact avec le milieu environnant, c'est-à-dire sa porosité. Dans les deux cas un contrôle fin de ces deux paramètres est permis grâce à une nouvelle voie de synthèse des bioverres : le procédé de sol-gel, qui s'oppose au procédé classique de fusion à haute température par le fait que les verres sont obtenus à des températures proches de l'ambiante. La figure 18 présente un exemple de structuration parfaitement maîtrisée d'un bioverre issu du procédé sol-gel.

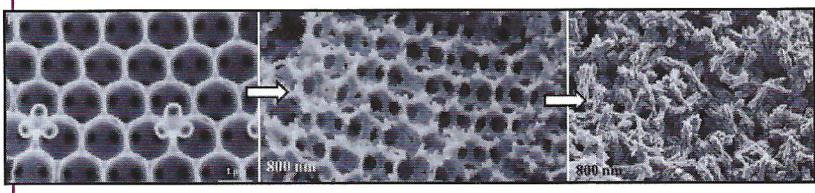


Fig. 18 - Exemple de structuration de la porosité d'un bioverre en vue de contrôler sa bioactivité. À gauche : verre bioactif SiO_2 - CaO après élaboration, des pores parfaitement calibrés de 800 nanomètres et interconnectés sont présents. Au milieu : le même verre après 1 heure d'immersion dans un milieu physiologique, des précipités de phosphate de calcium se forment en surface des pores. À droite : après 12 heures d'immersion, un dépôt homogène de phosphates de calcium s'est formé. Avec la permission de *Jérémy Soulié, Jean-Marie Nedelec, Edouard Jallot.*

Les bioverres ont été utilisés avec succès dans des applications médicales variées. Des formes commerciales sont connues sous les dénominations Bioglass, PerioGlas, Novabone, GlassBone, Ceravital, Cerabone, Biogran, BonAlive. Sous forme de poudre, le bioverre original 45S5 de Hench a permis de combler des défauts osseux chez plus d'un million de patients. En chirurgie dentaire, les grains de bioverre permettent de régénérer l'os autour des racines d'une dent, ou bien de réparer le tissu osseux de la mâchoire afin d'augmenter la qualité du tissu et préparer ainsi le terrain à l'ancrage d'un implant.

En chirurgie orthopédique, les grains de bioverre ont été utilisés dans des opérations de fusion rachidienne visant à traiter des scolioses (déformation sinueuse de la colonne vertébrale). La technique consiste à faire se joindre des vertèbres adjacentes, au moyen d'une autogreffe, ou bien avec des grains de bioverre dans notre cas.

Un suivi pendant 4 ans des patients traités a montré qu'il n'y avait pas de différence entre ceux ayant reçu des grains de bioverre et ceux ayant reçu une autogreffe ; les résultats sont même meilleurs pour ceux ayant reçu des grains de bioverre si l'on considère qu'il y eut moins de cas d'infections et moins de cas de rupture.

Mais surtout le bénéfice principal est qu'il n'y eut pas besoin de prélever de greffe chez le patient ! Les bioverres ont également été employés comme matériau de comblement dans des cas de fracture du tibia, ou pour des pertes osseuses survenues suite à des tumeurs bénignes dans la main, le tibia, l'humérus [4].

Depuis peu, le dentifrice «Répare et Protège» de la marque Sensodyne contient des particules de Novamin®, qui ne sont autre que des particules de bioverre 45S5 de quelques microns ; le but est de traiter l'hypersensibilité dentaire. Celle-ci se manifeste lorsque la dentine (ou ivoire, composée à 70% d'hydroxyapatite) devient trop exposée au niveau des gencives. Or la dentine est perforée de micro-tubules connectés à la chambre pulpaire, où sont des terminaisons nerveuses.

Dans le dentifrice de Sensodyne, les particules de bioverre remplacent avantageusement les particules d'alumine qui y étaient inclues pour leur propriétés abrasives ; il a été observé que les particules de bioverre adhérent à la dentine et y forment un dépôt d'apatite, protégeant ainsi les micro-tubules et les terminaisons nerveuses (figure 19).

On peut légitimement se poser la question du devenir des produits de dissolution du bioverre, notamment du silicium. Cet élément est présent en très faible quantité dans le corps humain ; aussi faut-il s'assurer que les produits de dissolution peuvent être évacués par les voies naturelles sans aucun risque pour la santé.

Des études ont montré que ceux-ci sont évacués dans les urines à des seuils en-dessous du niveau de saturation ; en parallèle aucune élévation de la quantité de silicium n'a été constatée dans des organes tels que les reins, le foie, le cœur, le cerveau, les ganglions lymphatiques, le thymus, la rate ou les poumons.

3) L'avenir

Malgré leur bioactivité, plus importante que n'importe quel autre matériau «concurrent», y compris l'hydroxyapatite, les bioverres n'ont jusqu'à présent pas rencontré le succès commercial escompté.

Une de leurs limitations principales est leurs propriétés mécaniques. Comme tout type de verre, les verres bioactifs sont des matériaux rigides et cassants, ce qui les destine à être implantés en des sites non exposés à des contraintes mécaniques fortes.

De plus, les chirurgiens aiment à manipuler des matériaux malléables et aisément façonnables ; dans le cas des bioverres, les chirurgiens s'accommodent seulement des mises en formes particulaires qu'ils sont capables de mélanger avec du sang pour obtenir une pâte molle.

Pour étendre le champ d'applications des bioverres, il est nécessaire d'ajouter de la souplesse, de la flexibilité à la matrice vitreuse. Une solution est de réaliser des matériaux composites, mélangeant bioverre avec un autre matériau au sein d'une même matrice.

Ceci n'est pas sans imiter la structure du tissu osseux lui-même : l'os est en effet un composite à base de nanocristaux d'apatite pour la phase minérale, et de protéine (collagène principalement) pour la phase organique. Un tel mélange permet d'allier la rigidité du minéral à la souplesse de l'organique.

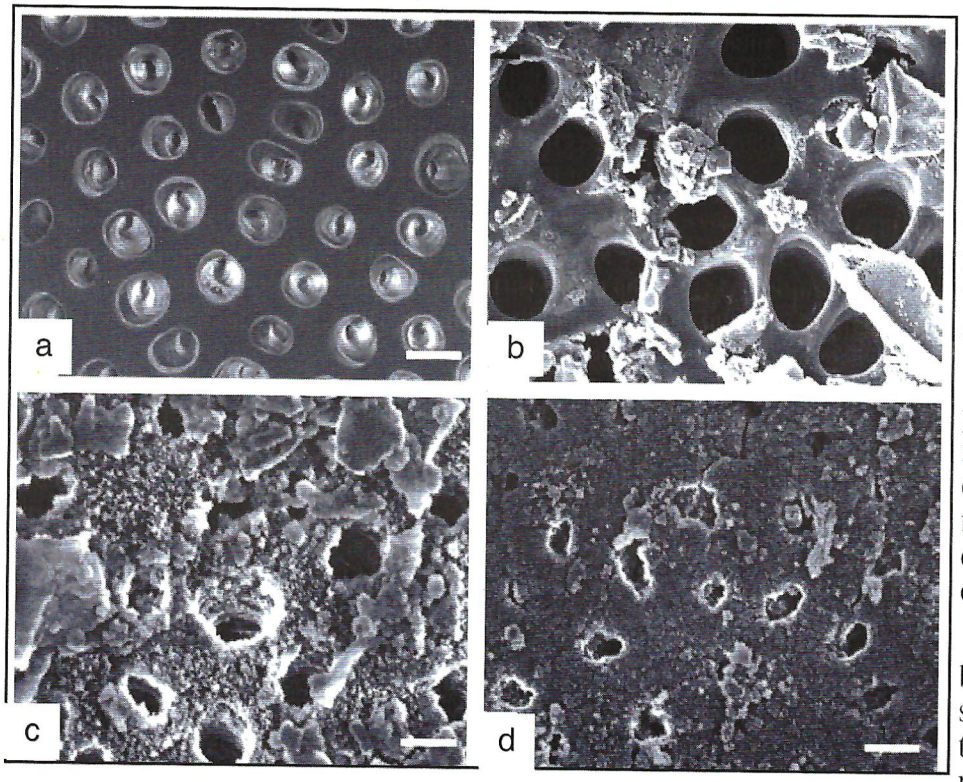


Fig. 19 - Images en microscopie électronique à balayage de dentine traitée au moyen d'un dentifrice contenant des microparticules de bioverre Novamin® (taille de la barre d'échelle : 1 micromètre). a) dentine non traitée, les microtubules sont visibles, b) immédiatement après application du dentifrice les particules de bioverre adhèrent à la dentine, c) 1 jour après application une couche d'apatite s'est développée, d) 5 jours après la surface est complètement recouverte et les tubules protégés. D'après [5].

De nombreux mélanges associant un polymère biocompatible et résorbable à de fines particules de bioverre ont été formulés. Des formulations sont disponibles commercialement, comme par exemple les produits ActiKer™ vendus par la société française Noraker. Ces produits sont utilisés par exemple pour réaliser des vis ligamentaires biorésorbables. Les propriétés du mélange composite dépendent fortement de la finesse des particules de bioverre utilisées.

Les avancées récentes dans la technologie sol-gel permettent l'obtention de mélanges à base de nanoparticules de verre de quelques dizaines de nanomètres. Mais l'un des plus grands défis est la synthèse de composites dans lesquels les phases organique et inorganique seraient totalement indiscernables : on ne parle plus alors de mélanges composites mais de mélanges hybrides organique-inorganique, dans lesquels les deux phases sont fortement intriquées à l'échelle de la molécule. De véritables réseaux mixtes minéro-organiques peuvent ainsi être obtenus. La difficulté dans ce type de synthèse est que les traitements thermiques sont prohibés afin de préserver la phase organique ; malheureusement ceci est rarement compatible avec la synthèse de matériau contenant du verre. Là encore la technologie sol-gel de synthèse de verre à basse température sera une des clefs pour lever ce verrou.

Nous terminerons cet article en évoquant les perspectives prometteuses liées au développement de l'ingénierie tissulaire de l'os. Cette discipline est en plein essor : à moyen terme, elle devrait permettre de reconstruire de véritables greffons tissulaires en laboratoire. Pour que cette reconstruction de tissus puisse fonctionner, trois ingrédients sont nécessaires : 1) des cellules osseuses, prélevées directement chez le patient, 2) des protéines appelées facteurs de croissance, qui jouent le rôle de stimuli intimant l'ordre aux cellules de bâtir de l'os, 3) un support de culture qui soit tout à la fois bioactif, résorbable, et capable de conduire la repousse osseuse (figure 20). Au vu de leurs caractéristiques, les verres bioactifs semblent un support de culture idéal.

Cependant pour ce type d'application une morphologie spécifique du support est nécessaire pour permettre la libre circulation des cellules, des fluides biologiques, et la vascularisation : le support doit ainsi consister en une matrice poreuse avec un réseau de pores interconnectés de plusieurs centaines de micromètres. Produire sous une telle forme une matrice de verre, par essence fragile, est une véritable gageure. Des procédés basés sur la structuration par empreinte rigide, ou encore sur le moussage sol-gel, donnent néanmoins des résultats très satisfaisants (figure 21). L'avenir nous dira si ces architectures de verre tiennent toutes leurs promesses !

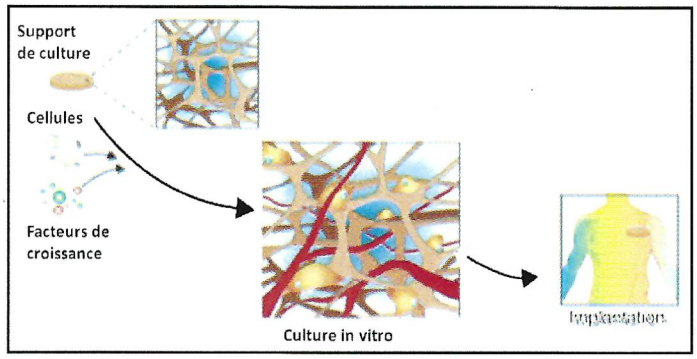


Fig. 20 - Principe de l'ingénierie tissulaire. Un support de culture idéal pourrait être constitué de verre bioactif. D'après [6].

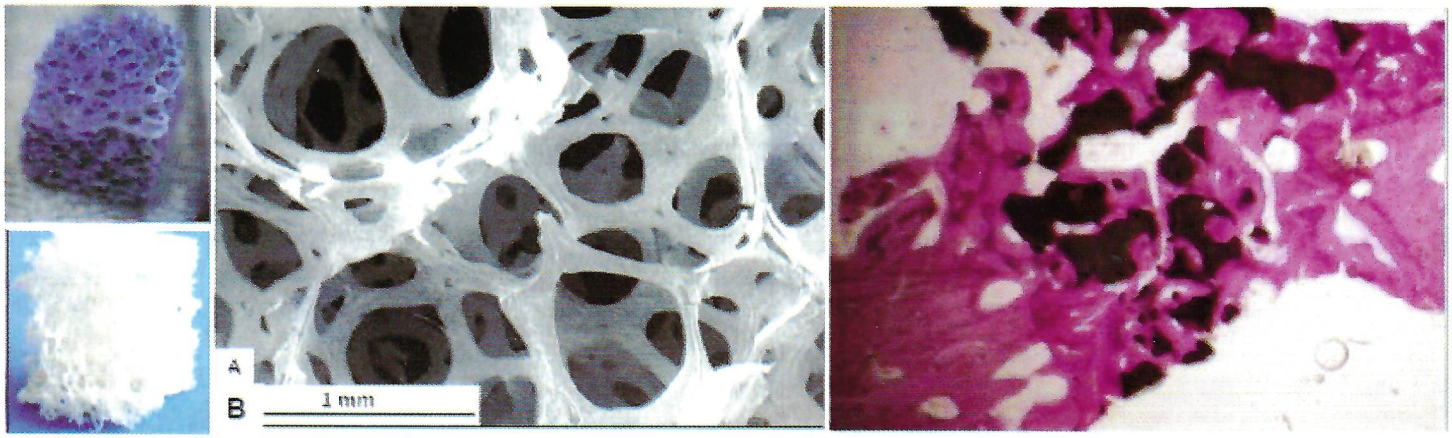


Fig. 21 - exemple de «mousses» de verre bioactif étudiées dans l'équipe Biomatériaux du Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand. Leurs caractéristiques en termes de porosité et bioactivité sont compatibles avec une utilisation en ingénierie tissulaire de l'os. Images de gauche : vues en optique, la coloration est fonction de la composition du verre. Au milieu : vue en microscopie électronique à balayage de leur porosité interconnectée. À droite : coupe histologique d'une mousse de verre bioactif après 8 semaines d'implantation chez le mouton. L'os, coloré en rose, est venu coloniser avec succès l'implant (en noir). Aucune encapsulation fibreuse n'est visible, un lien harmonieux s'est formé et l'implant est solidement ancré en site osseux. *Joséphine Lacroix, Édouard Jallot, Jonathan Lao.*

RÉFÉRENCES :

1. Hench, L.L., *The story of Bioglass* J Mater Sci Mater Med, 2006. 17: p. 967-978.

2. Hench, L.L., *Bioceramics: From Concept to Clinic.* Journal of the American Ceramic Society, 1991. 74(7): p. 1487-1510.

3. Isaac, J., et al., *Effects of strontium-doped bioactive glass on the differentiation of cultured osteogenic* cells. European Cells & Materials, 2011. 21: p. 130-143.

4. Jones, J.R., *Review of bioactive glass: From Hench to hybrids.* Acta Biomaterialia, 2013. 9(1): p. 4457- 4486.

5. Earl, J.S., et al., *Physical and chemical characterization of dentin surface following treatment with Novamin technology.* J Clin Dent, 2011. 22: p. 2-67.

6. McCullen, S.D., A.G.Y. Chow, and M.M. Stevens, *In vivo tissue engineering of musculoskeletal tissues.* Current Opinion in Biotechnology. 22(5): p. 715-720.

UN DÉFI DU NOUVEAU MILLÉNAIRE : UNE PRODUCTION DE BLÉ ECOLOGIQUEMENT INTENSIVE POUR CONTRIBUER A NOURRIR 9 MILLIARDS D'INDIVIDUS EN 2050

CATHERINE FEUILLET

Directrice de recherche INRA au Centre INRA Clermont-Theix, DU adjointe unité GDEC

Reprenant les éléments de la conférence donnée à l'Adasta le 6 mars 2013, cet article a été réalisé avec la contribution rédactionnelle de Michel Gendraud, agrégé de Physiologie-Biochimie, Professeur honoraire de Physiologie végétale de l'Université Blaise Pascal, membre de l'ADASTA.

INTRODUCTION

Le blé nourrit plus du tiers de la population mondiale et fournit avec le riz et le maïs plus de la moitié des calories et protéines absorbées quotidiennement. C'est la céréale la plus cultivée au monde avec une production de 682 millions de tonnes dont 95% de blé tendre, le reste étant du blé dur (figure 1).

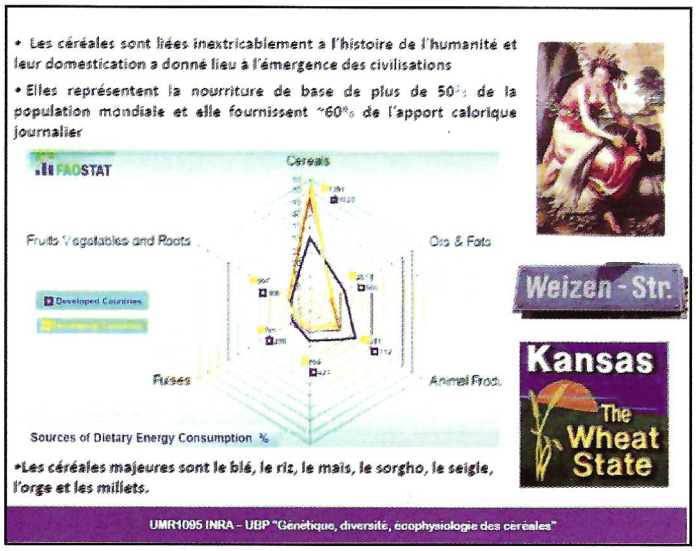


Fig. 1.- Importance des céréales dans la nourriture de la population mondiale.

Cependant, au cours de 7 des 10 dernières années, la production n'a pas permis de satisfaire une demande en constante augmentation du fait de l'accroissement démographique mondial et des changements d'habitude alimentaire des grands pays émergents (figure 2). Le renchérissement du pétrole, la réduction de surface des terres arables, la compétition accrue entre productions alimentaires et non alimentaires, l'évolution climatique défavorable à la production de blé ont encore accentué la tendance.

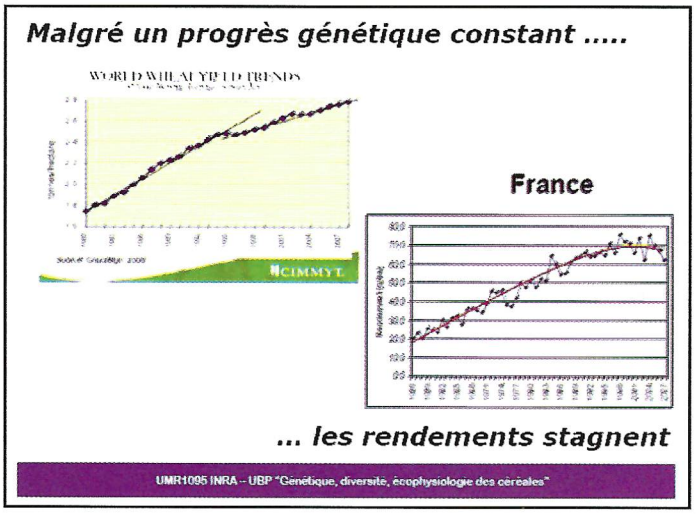


Fig. 2.- Stagnation des rendements en blé.

Pour sélectionner de nouvelles variétés qui permettront une production écologiquement intensive, capable de maintenir des rendements élevés tout en respectant mieux l'environnement, il faut acquérir une meilleure compréhension des bases génétiques, physiologiques et moléculaires qui sous tendent les caractères agronomiques requis. L'exposé des challenges et des réponses possibles apportées par la recherche en génétique et génomique du blé est l'objectif de cet exposé.

LA PLACE DE L'INRA DANS LE DISPOSITIF

L'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique est un établissement à caractère scientifique et technologique. Créé en 1946, il est placé sous la tutelle des ministères en charge de l'agriculture et de la recherche. Deuxième organisme de recherche publique français, il est le premier organisme européen de recherche agronomique.

L'INRA s'inscrit dans la constitution de l'Espace européen de la recherche, il participe activement à l'internationalisation de la science et il répond à la nouvelle demande sociale (qualité et sécurité des aliments, éthique, débat citoyen). L'Institut regroupe 20 centres, 381 unités et plus de 8000 agents dont 1820 chercheurs et 2462 ingénieurs.

Aujourd'hui, l'Institut renforce ses activités autour de trois champs, agriculture durable, alimentation et santé humaine, environnement et territoires.

Le Centre INRA Clermont-Theix développe son activité, autour des thèmes suivants : 1) territoires, élevage et environnement, 2) qualité des produite animaux, 3) nutrition humaine préventive, 4) écologie, physiologie et génomique végétale.

Le dispositif Blé de l'INRA est centré sur Clermont-Theix à **l'UMR 1095 GDEC** (**U**nité **M**ixte de **R**echerche **G**énétique, **D**iversité et **E**cophysiologie des **C**éréales), implantée sur le site de Crouel et forte de 100 permanents. **Unité mixte avec l'Université Blaise Pascal**, elle rassemble 6 groupes travaillant tous sur le blé dotés d'une plateforme de marquage moléculaire à haut débit (GENTYANE), d'une plateforme de transformation génétique et disposant de 90 ha de champs, 1250m² de serres et 40 chambres climatisées.

Les **6 équipes GDEC**, qui s'emploient à l'amélioration de la qualité et du rendement du blé dans un contexte d'agriculture durable et de changement climatique entretiennent un centre de ressource riche de 16500 blés tendres, 2500 blés durs, 6500 orges, 700 avoines, 1000 triticales (hybride de blé et de seigle fait par l'homme) et 50 seigles.

En plus de **l'UMR 1095 GDEC** du centre INRA, l'Auvergne abrite le **Pôle de Compétitivité «Céréales Vallée, l'innovation dans les céréales»**, identifié parmi les acteurs des 10 priorités agro-industrielles du ministère de l'agriculture. Il est fort de 65 membres dont 30 industriels et porte 35 projets financés depuis 2006.

LES CÉRÉALES

Depuis la révolution néolithique, les céréales sont liées à l'histoire de l'humanité. Le blé tendre, dont il est question ici, est *Triticum aestivum* (figure 3). Appartenant à la famille des Graminées, il est hexaploïde, issu de 3 parents diploïdes (2x3=6), ce qui explique la grande taille de son génome, son ADN alignant 17 milliards de paires de bases.

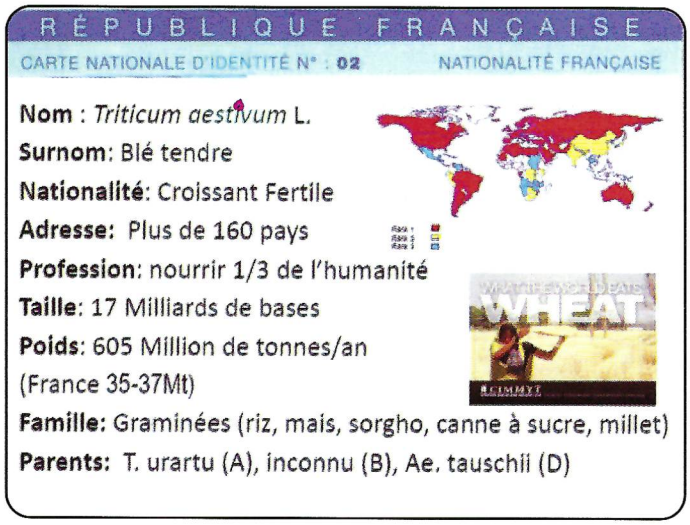


Fig. 3.- Carte d'identité du blé tendre.

La France en est le premier producteur et exportateur européen, mais les rendements stagnent, malgré un progrès génétique constant, des cibles d'amélioration sont multiples (figure 4).

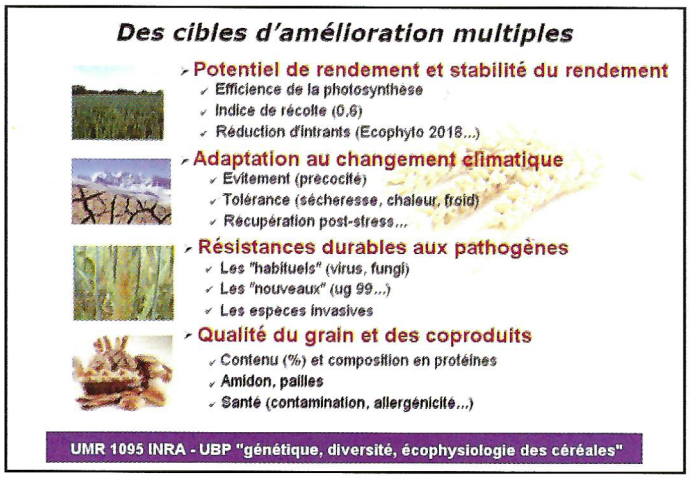


Fig. 4 .- Améliorations possibles

Le génome de la plante est en copie dans chaque cellule, ADN porteur de gènes et lové dans les chromosomes (figure 5).

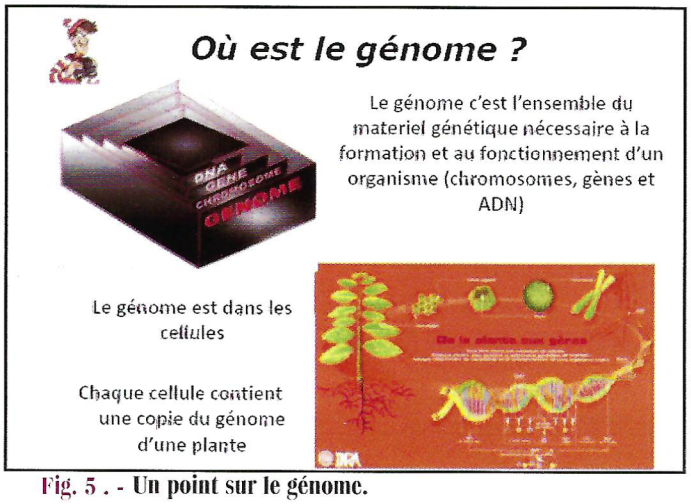


Fig. 5 . - Un point sur le génome.

Dans le cas du blé, par l'étude et la compréhension de son génome, il sera possible de construire des outils permettant d'en améliorer les caractères agronomiques. L'ADN en est le texte, écrit avec 4 lettres A, C, G, T. Les chapitres en sont lus par l'ARN qui autorise leur traduction en protéines, machines-outils capables d'exprimer une fonction, un caractère (figure 6, la double hélice de l'ADN et la phase ARN ne sont pas figurées).

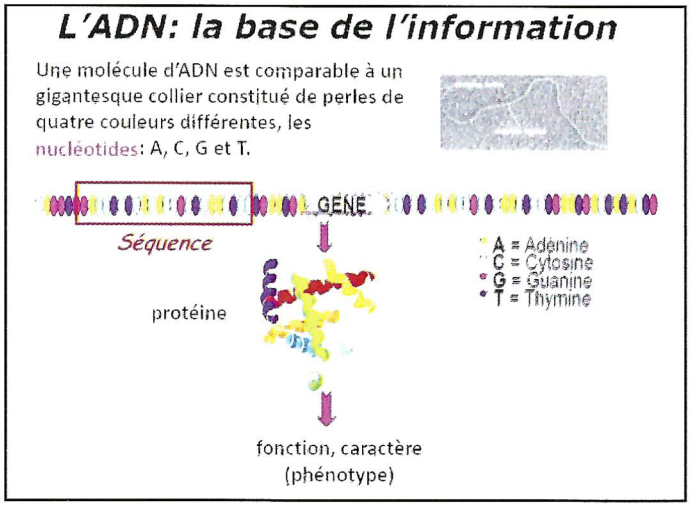


Fig. 6 .- De l'ADN : l'expression de son information

Comme tout lecteur, le chercheur doit d'abord repérer la séquence des lettres et, dans cet ensemble, découvrir les messages (les chapitres) contenus dans cette séquence et leur signification (figure 7).

Fig. 7 .- De l'ADN : l'expression de son information

LE GÉNOME DU BLÉ TENDRE

Le génome du blé tendre est un « combinat » de trois génomes ABD qui se sont pris à cohabiter au cours des millénaires (figure 8). Par ce fait, il est 121 fois plus grand que celui de l'arabette des dames, plante modèle de la biologie moléculaire végétale et 43 fois plus grand que celui du riz. Si l'on ajoute les gènes «sauteurs», éléments transposables, susceptibles de brouiller le texte, séquencer le génome du blé tendre, donc son ADN, relève du défi scientifique et technologique.

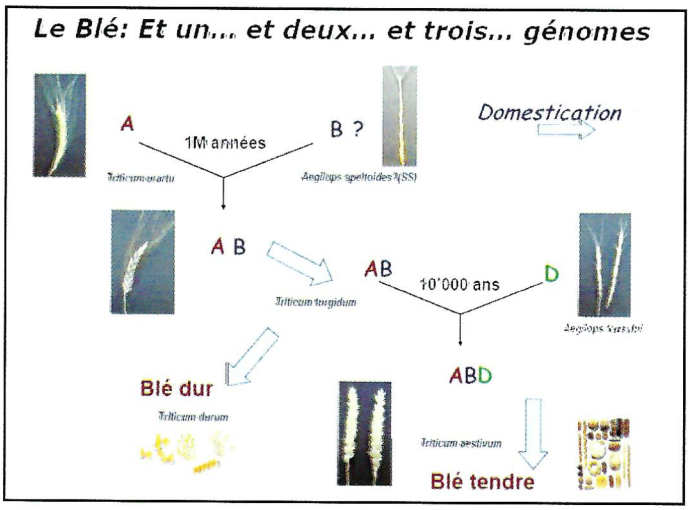


Fig. 8 . - Histoire du génome du blé tendre

Pour ce faire, est mise en oeuvre une stratégie chromosome par chromosome. Par des techniques de cytologie, les chromosomes, des génomes A, B ou D, sont libérés, marqués de sondes fluorescentes et séparés les uns des autres par cytométrie de flux (figure 9). Prenant un chromosome après l'autre, il est alors envisageable d'en séquencer l'ADN, d'autant, d'une part, que le coût de l'opération a chuté, entre 2007 et 2011, de 100 à 1 dollar par mégabase et que, d'autre part, s'est créé «**The International Wheat Genome Sequencing Consortium**» à l'initiative des producteurs de blé du Kansas.

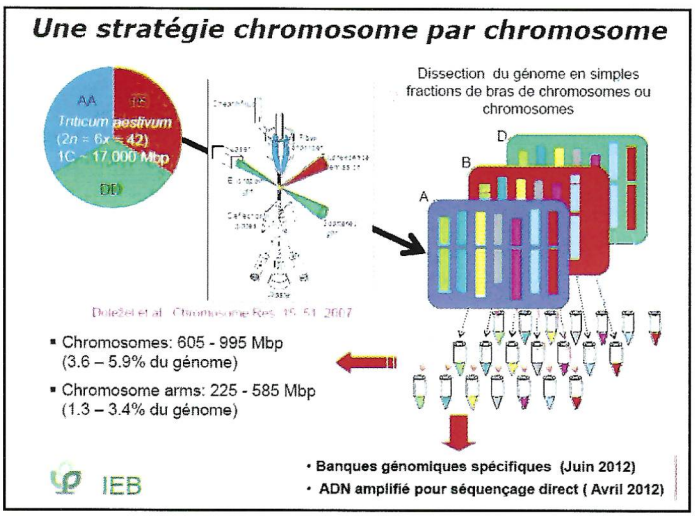


Fig. 9.- Séparation des chromosomes.

L'examen de la figure 10 montre que, dans cet effort international, la France, donc l'**UMR 1095 GDEC**, s'occupe du chromosome 3B, troisième chromosome du génome B du blé.

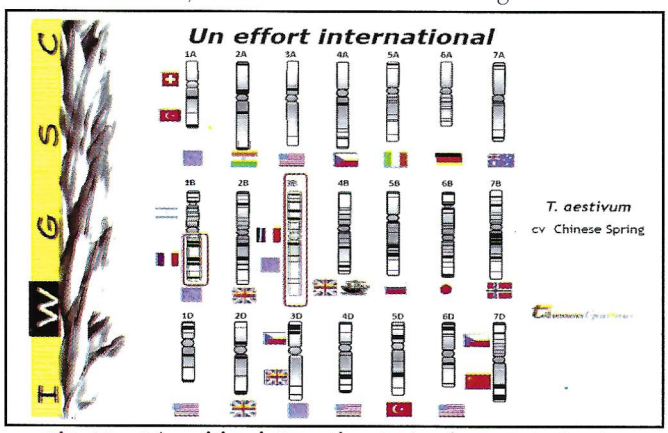


Fig. 10.- Répartition internationale du séquençage du génome.

Dans un premier temps, partant de la carte génétique qui a défini l'emplacement relatif des gènes sur le chromosome, elle en dresse la **carte physique** (figure 11), collection de fragments d'ADN obtenus par des coupures en des points identifiés. L'utilisation de modes de coupures différents permet l'obtention de fragments qui se chevauchent. Le but de l'opération est de poser des repères dans la longue molécule d'ADN que renferme le chromosome. Dansun second temps, avec l'aide des résultats précédents, est réalisé le **séquençage**, base par base de cet ADN (figure 11).

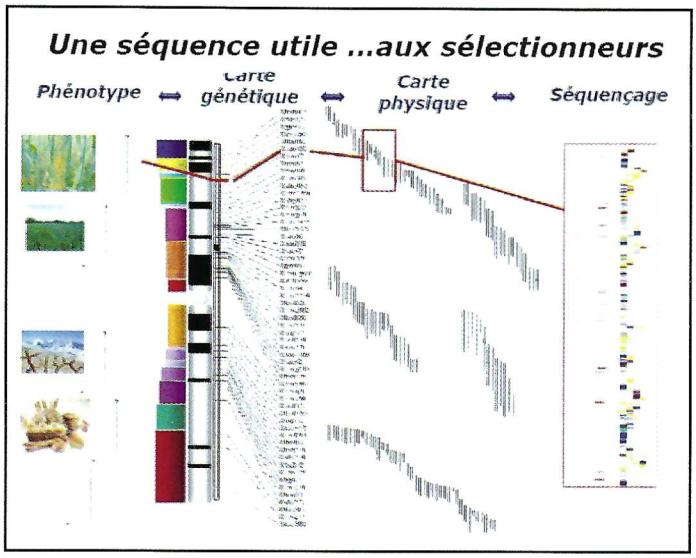


Fig. 11.- La préparation du séquençage.

POUR CONCLURE

De la connaissance de la séquence sont attendues une accélération du clonage de gènes et son application en sélection variétale, dans le cadre du projet «**Breed Wheat**» pour :

1) Mettre en place et exploiter **une boîte à outils basée sur la séquence génomique**,

2) Identifier les bases génétiques et écophysiologiques de caractères d'intérêt,

3) **Exploiter la variabilité génétique** naturelle et induite pour accélérer le progrès génétique,

4) Développer et utiliser de **nouvelles méthodes de sélection**.

Ce projet intégré conduit de la génomique à la sélection du blé tendre, en vue de sa production et de sa consommation et l'Auvergne y joue un rôle central (figure 12).

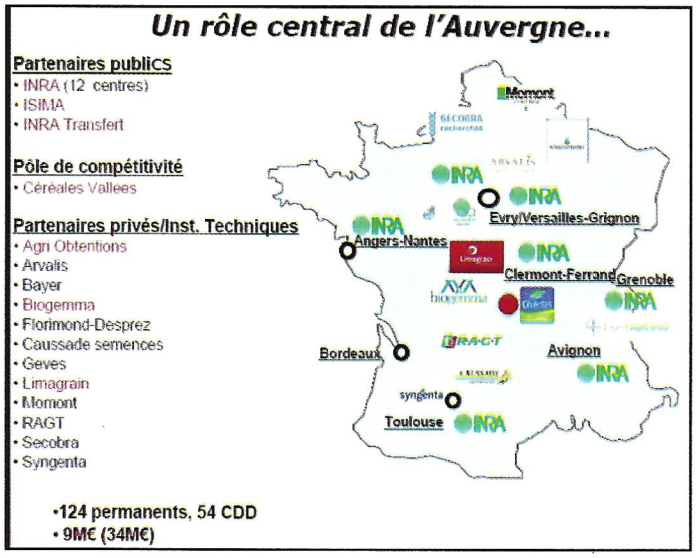


Fig. 12.- Position de l'Auvergne dans le projet Breed Wheat.

Radiofréquences, risque et société cas de la téléphonie mobile

Anne Perrin
Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), antenne CRSSA - Département "Effets biologiques des rayonnements" - 38700 LA TRONCHE

INTRODUCTION

Les ondes (ou rayonnements) électromagnétiques naturelles ou artificielles sont mises à profit dans de multiples applications technologiques et font partie de notre environnement quotidien depuis le début du siècle dernier. Les communications sans fil reposent sur l'utilisation des radiofréquences (RF) situées essentiellement dans une gamme de fréquence qui va de 100 MHz à 5 GHz. Parallèlement au déploiement massif des systèmes de téléphonie cellulaire GSM[1] en 1993, puis UMTS[2] vers 2003, des craintes sont apparues concernant de possibles effets sur la santé, en particulier quant à l'induction de cancers. Elles ont suscité un effort de recherche considérable. C'est surtout la téléphonie mobile qui a engendré ce questionnement du fait de sa diffusion massive (près de cinq milliards d'utilisateurs dans le monde, environ 73 % de la population), et du positionnement de l'appareil contre la tête durant les communications.

RADIOFRÉQUENCES ET SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

On peut séparer le spectre électromagnétique en deux grandes catégories de rayonnements. Dans la gamme des fréquences élevées du spectre (au-delà de 300 GHz), les rayonnements dits ionisants sont suffisamment énergétiques pour modifier des molécules en leur arrachant des électrons par un phénomène d'ionisation. Ce mécanisme peut entraîner des cassures d'ADN et être à l'origine de mutations génétiques pouvant entrainer des cancers (cas des rayons gamma ou ultra-violets par exemple).

Les champs et rayonnements électromagnétiques dont l'énergie est trop faible pour produire une ionisation dans les milieux qu'ils traversent sont regroupés sous le terme générique de rayonnements non ionisants (RNI). Leur mode d'action sur l'organisme est différent selon leur fréquence, fondé sur la circulation de courants et/ou des phénomènes d'apport énergétique. Les effets pris en compte pour prévenir l'apparition d'effets sanitaires dépendent de l'interaction des ondes avec la matière selon la fréquence considérée. Ils s'expriment différemment en fonction du type de champ prééminent : électrique ou magnétique, et de sa fréquence. Jusqu'à 100 kHz, il s'agit des champs et courants pouvant entraîner la stimulation de tissus excitables (systèmes nerveux et muscles). Au-dessus de 10 MHz, l'absorption par les tissus devient prédominante et l'échauffement le mécanisme essentiel ; c'est le cas des RF. Aux fréquences intermédiaires, il y a un mélange des deux [1].

Une erreur courante consiste à penser que la dangerosité potentielle d'un rayonnement non ionisant est d'autant plus grande que la fréquence est élevée, ce n'est pas le cas : c'est la puissance transportée par le champ électromagnétique qui est à prendre en compte. La puissance décroît très rapidement lorsque l'on s'éloigne de la source (en $1/d^2$). Pour les radiofréquences, le paramètre utilisé pour caractériser le niveau exposition de la matière est la densité d'absorption spécifique (DAS) qui rend compte de la puissance absorbée par unité de masse en watt par kilogramme (W/kg).

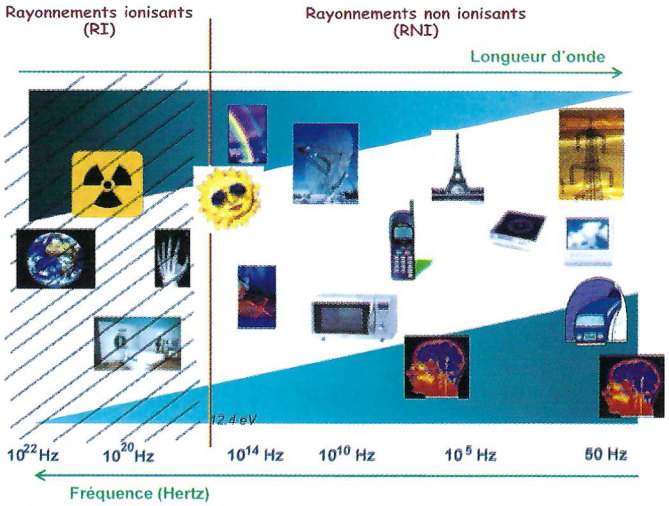


Fig. 1.- Spectre électromagnétique et exemples d'applications (Source : Perrin et Souques, Éd. Springer 2010)

Réglementation pour les radiofréquences

Pour la protection des personnes dans la gamme de fréquences de 0 à 300 GHz, des valeurs limites d'exposition aux rayonnements non ionisants (appelées lignes directrices ou restrictions de base) ont été proposées en 1998, puis actualisées en 2009[3] par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP)[4]. Celle-ci entretient une veille bibliographique permanente sur le sujet. Ces seuils sont exprimés en termes d'absorption spécifique (DAS) pour les radiofréquences et sont fondées sur leurs effets avérés, c'est-à-dire dont l'existence a été démontrée, et qui sont des effets résultant d'une élévation de température (effets thermiques).

A partir d'un DAS de 4 W/kg des modifications du comportement ont été observées chez des animaux exposés (réaction d'évitement du faisceau chez le rat). Les lignes directrices préconisées par l'ICNIRP sont fixées avec une marge de sécurité notamment vis-à-vis des populations potentiellement plus sensibles telles que les personnes âgées et les enfants. Les valeurs limites pour le public sont 50 fois inférieures aux seuils d'apparition des premiers effets décrits. Elles sont 5 fois plus élevées pour les professionnels. Lorsqu'il s'agit d'un DAS localisé au niveau de la tête, du cerveau ou des mains par exemple, la valeur du DAS (DAS local) est plus élevée que le DAS «corps entier» qui est une moyenne sur la totalité du corps (tableau 2).

[1] GSM : Global System for Mobile Communications, système de deuxième génération (2G), émettant en Europe aux fréquences de 900 MHz ou 1800 MHz.
[2] UMTS : Universal Mobile Telecommunications System, système de troisième génération (3G), émettant dans diverses bandes de fréquences notamment 2100 MHz et 900 MHz en Europe.

[3] ICNIRP, ICNIRP statement on the "guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", ICNIRP Statement (2009). Disponible en ligne : http://www.icnirp.org/documents/StatementEMF.pdf
[4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection : composée d'experts internationaux et reconnue par l'OMS.

Tableau 2 : lignes directrices définies par l'ICNIRP pour la gamme des radiofréquences.

	Public	Professionnel
Corps entier	0,08 W/kg (moy)	0,4 W/kg
Tête	2 W/kg	10 W/kg
Extrémités	4 W/kg	20 W/kg

En pratique, respecter ces limitations n'est pas simple car le DAS n'est pas mesurable directement mais obtenu par dosimétrie biologique avec l'aide de physiciens spécialisés [2]. En revanche le champ électrique ou la densité de puissance peuvent être mesurés (en volt/mètre et watt/m^2) et des valeurs limites à ne pas dépasser pour respecter les lignes directrices de l'ICNIRP ont été évaluées. Ainsi, les lignes directrices fournies par l'ICNIRP ont été transcrites dans la Recommandation du Conseil Européen du 12 juillet 1999, puis en droit français sous forme d'un décret stipulant les niveaux de champ électrique à ne pas dépasser (n°2002-775 du 3 mai 2002). Sur le territoire français, pour les fréquences relatives à la téléphonie mobile les valeurs limites d'exposition du public sont de 41 V/m (GSM 900 MHz), 58 V/m (GSM 1800 MHz) et 61 V/m (UMTS 2100 MHz et Wi-Fi 2400 MHz).

Plus spécifiquement pour les travailleurs, une Directive (20/40/CE du 29 avril 2004) a été publiée au Journal Officiel de l'Union Européenne pour fixer les prescriptions minimales de sécurité. Elle est actuellement en cours de refonte et devrait être votée en juin 2013 pour une mise application en 2016.

TECHNOLOGIE ET EXPOSITION DU PUBLIC

En France, il y a environ 70 000 stations de base exploitées par des réseaux distincts. L'information vocale et le transfert de données sont codés numériquement[5]. Chaque téléphone mobile émetteur-récepteur, opère dans des bandes de fréquence de 800 à 2 100 MHz. Dans le système GSM par exemple, la puissance maximale d'émission du portable est de 2 W, mais la puissance moyenne est toujours inférieure à 1/8 de cette valeur (0,25 W) et le contrôleur de puissance réduit l'émission à la valeur minimum nécessaire pour une bonne réception.

Les stations de base ont une puissance d'émission pouvant aller de quelques milliwatts à environ 50 watts pour les macrocellules. Les antennes sont directives et rayonnent majoritairement dans un lobe (faisceau principal). Elles sont souvent placées sur les toits d'immeubles. Au niveau du sol, l'exposition maximale a lieu à environ 200 m de la station de base, elle est pratiquement nulle au bas de l'immeuble ou du mât sur lequel est érigée l'antenne. L'exposition du public au rayonnement de l'émetteur est typiquement 1/10 000 de la limite de puissance recommandée et souvent inférieure à celle qui est due aux stations de radio FM. Le niveau moyen de champ électrique en France est de 0,1 V/m et dépasse rarement 1,5 V/m pour la téléphonie. Pour faire les mesures de champ sur le terrain, il existe un protocole de mesure accrédité Cofrac et des organismes certifiés[6].

Concernant l'exposition des personnes, la répartition du champ électromagnétique est plus complexe à proximité immédiate des émetteurs (champ proche) et l'évaluation du DAS est alors indispensable pour estimer l'exposition. C'est le cas pour le téléphone mobile lui-même, pour lequel la valeur de DAS maximale pouvant être atteinte doit être fournie par le constructeur (0,12 à 1,36 W/kg selon les modèles). En condition d'usage normale, cette valeur n'est jamais atteinte car le téléphone ne fonctionne jamais à puissance maximale comme indiqué précédemment. Dans le cas de l'exposition à un téléphone portable durant une conversation, le DAS est en moyenne entre 10^{-2} W/kg (UMTS) et 10^{-1} W/kg (GSM), soit 10 000 à 100 000 fois plus élevé que celui engendré par l'exposition aux antennes. La nouvelle norme UMTS (téléphonie mobile de troisième génération) tend à remplacer le GSM ; elle entraîne une exposition environ 100 fois moindre de la tête de l'utilisateur lors des communications téléphoniques, avec une puissance d'émission de l'ordre de celle du Wi-Fi.

A titre de comparaison et du point de vue de l'exposition moyenne, une exposition de quelques minutes à un téléphone portable est donc équivalente à l'exposition d'un mois à une antenne. Toutefois, ceci ne donne qu'un ordre d'idée car, en réalité, l'énergie est dissipée et ne s'accumule pas au cours du temps.

LES RECHERCHES

C'est en Europe que cette recherche a été la plus active. Ainsi, 2 421 études scientifiques (sciences biomédicales et dosimétrie) portant sur les fréquences de téléphonie mobile étaient répertoriées en octobre 2012 dans la base de données EMF portal[7] qui fait actuellement référence pour l'OMS. Puisque l'échauffement dans les tissus est négligeable lors des expositions aux RF dans les limites réglementaires, la recherche d'effets sanitaires porte sur l'existence éventuelle d'effets d'origine «non thermique». Elle a été essentiellement motivée par l'exposition au téléphone mobile qui représente une situation nouvelle du fait de la proximité de la source avec la tête et du nombre très important d'utilisateurs justifiant de ne pas négliger un risque, même faible..

Des expériences ont été conduites sur des cellules en culture, des modèles animaux et des humains pour chercher si des effets biologiques et physiologiques ou des maladies peuvent être provoqués ou aggravés par l'exposition aux RF. En laboratoire, des animaux ont été exposés ponctuellement ou tout au long de leur vie, y compris à partir de la période de gestation. Dans la population humaine, des études épidémiologiques permettent de rechercher un lien entre maladie et exposition, la plus vaste conduite à ce jour est l'étude INTERPHONE évoquée plus loin.

Des effets trouvés par des chercheurs puis non confirmés par des expériences complémentaires ayant été souvent rapportés, il faut rappeler que l'existence d'un effet ne peut reposer que sur des expériences dont la méthodologie est validée tant pour les parties physique que biologique (système d'exposition aux RF, système biologique étudié, dosimétrie biologique) et qui ont pu être reproduites, «répliquées», par plusieurs équipes indépendantes (et par les auteurs eux-mêmes). De même, seules les études épidémiologiques dont la méthodologie est correcte sont réellement convaincantes. Néanmoins des études ne remplissant pas ces critères de qualité sont régulièrement publiées et leurs résultats alimentent parfois des polémiques. Enfin, des résultats incohérents entre différents travaux scientifiques et l'observation d'effets difficilement discernables de ceux existants en condition physiologique, sans exposition RF, ne permettent pas de conclure à l'existence d'un effet ou d'un risque avéré.

[5] Pour en savoir plus : site de l'Agence nationale des fréquences (www.anfr.fr) et Rapport AFSSET 2009 sur les radiofréquences : http://www.afsset.fr/index.php?pageid=671&newsid=497&MDLCODE=news

[6] La version 3 (2011) du protocole de mesure des niveaux d'exposition du public aux champs électromagnétiques est téléchargeable sur le site de l'ANFR : http://www.anfr.fr/fr/protection-controle/exposition-du-public/protocole-demesure.html

[7] http://www.emf-portal.de/

À ce jour, les résultats des recherches validées portant aussi bien sur des études épidémiologiques que sur des cellules en culture *(in vitro)* ou des animaux en laboratoire exposés ponctuellement ou tout au long de leur vie *(in vivo)*, n'ont pas apporté la preuve que l'exposition RF soit la cause de cancers ou d'autres maladies en dessous des limites d'exposition réglementaires. Par ailleurs, aucun mécanisme biologique pouvant entrainer des effets nocifs à ces niveaux infrathermiques n'a été identifié (i.e. qui n'engendrent pas d'échauffement significatif). Depuis 1995, plusieurs études ont rapporté une légère variation de certains paramètres de l'électroencéphalogramme (EEG) suite à l'exposition de volontaires à des fréquences de type GSM, sans que soit établie une relation avec la zone de la tête exposée au champ électromagnétique, ni de corrélation avec une modification de paramètres physiologiques. Les auteurs s'accordent sur le fait qu'une association de ces effets biologiques avec un risque sanitaire n'apparaît pas plausible en raison de leur nature et de leur faible amplitude.

L'activité de recherche se poursuit. Le calendrier de recherche 2010 de l'OMS avait donné la priorité aux études sur les enfants et, dans une moindre mesure sur la fertilité et la reproduction humaine (ou avec des modèles animaux), deux domaines où la plupart des études publiées à ce jour étaient de qualité méthodologique médiocre.

LES RAPPORTS D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE

Seules les expertises collectives permettent l'évaluation rigoureuse du risque. Il s'agit de processus encadrés au cours desquels toute la littérature scientifique disponible est analysée en détail par des équipes multidisciplinaires d'experts. Ceci est d'autant plus nécessaire qu'une forte proportion des recherches publiées dans ce domaine présente une méthodologie médiocre qui rend les résultats inexploitables pour l'analyse du risque (de l'ordre de 40% en 2009).

En France, un rapport d'expertise collective de 500 pages a été publié par l'AFFSET[8] en octobre 2009. Après analyse détaillée de l'ensemble des études publiées depuis janvier 2005 et compte tenu des connaissances antérieures, il conclut « *Les données issues de la recherche expérimentale disponibles n'indiquent pas d'effets sanitaires à court terme ni à long terme de l'exposition aux radiofréquences. Les données épidémiologiques n'indiquent pas non plus d'effets à court terme de l'exposition aux radiofréquences. Des interrogations demeurent pour les effets à long terme, même si aucun mécanisme biologique analysé ne plaide actuellement en faveur de cette hypothèse*». Un nombre important d'études de qualité ne rapportant pas d'effets a conduit le groupe d'experts de l'AFSSET à conclure que le niveau de preuve était insuffisant pour retenir des effets dommageables pour la santé. Ce rapport incluait l'analyse de 12 rapports d'expertise internationaux et du rapport Bioinitiative[9], ainsi que l'analyse des aspects sociétaux concernant la perception du risque, la réglementation et la controverse publique.

Depuis 2009, l'ICNIRP a édité un important document faisant la synthèse de l'ensemble des connaissances disponibles [3]. D'autres études expérimentales et épidémiologiques ont été publiées ainsi que plusieurs rapports d'expertise dans différents pays (33 ont été dénombrés entre 2009 et 2011), la Suède, la Norvège et la Grande-Bretagne ont fourni les plus récents, sans modifier les conclusions de 2009.

[8] AFFSET : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (maintenant devenue Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES).

[9] Le rapport BioInitiative, ou l'apparence de sérieux scientifique. J.-P. Krivine - SPS n° 285, avril-juin 2009.
http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1133

ÉPIDÉMIOLOGIE ET CLASSIFICATION DES RADIOFRÉQUENCES PAR L'OMS

Il existe deux grandes catégories d'études épidémiologiques. Les études cas-témoin portant sur des sujets atteints d'une maladie dont on cherche à identifier s'ils ont été plus particulièrement exposés par rapport à des contrôles sains, et les études de cohorte où l'état de santé d'une population exposée est comparé à celui d'une population témoin[10].

Sans entrer dans le détail des travaux réalisés en épidémiologie, il semble intéressant de citer l'étude cas-témoin INTERPHONE, pilotée par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Très attendue et médiatisée durant les années 2000, celle-ci rassemblait les données de 13 pays et portait exclusivement sur les cancers de la tête dont 2 708 gliomes (tumeurs du cerveau), 2 409 méningiomes (cancers des méninges), 1 105 neurinomes de l'acoustique, et 400 tumeurs de la glande parotide. Concernant les tumeurs cérébrales, les auteurs n'ont pas conclu à l'existence d'un risque, sans pour autant être en mesure de l'exclure totalement [4]. Cela en raison d'un accroissement du risque de développer un gliome trouvé pour le sous-groupe de malades ayant rapporté les temps de communication les plus longs sur une période de 10 ans (jugés peu réalistes par les auteurs pour certains cas), tandis qu'un effet protecteur pour le méningiome avait été trouvé chez les utilisateurs plus récents (1 à 4 ans). Il n'est pas exclu que ces effets soient dus à des biais ou obtenus par hasard. Des résultats similaires ont été obtenus pour le neurinome de l'acoustique qui est une tumeur bénigne du nerf auditif.

En mai 2011, les champs électromagnétiques radiofréquences des téléphones portables ont été classés «cancérogènes possibles pour l'homme» (groupes 2B)[11] suite à l'expertise organisée par le CIRC[12]. Cet avis repose sur l'existence d'une preuve limitée (limited evidence) essentiellement d'après l'analyse de l'étude INTERPHONE pour les gliomes et neurinomes. Pour les risques liés aux radiofréquences émises en milieu professionnel (radar, thermo-soudage, etc.) et dans l'environnement, par les antennes de télédiffusion, radio et téléphonie ainsi que d'autres systèmes de communication sans fil (Wi-Fi, Bluetooth...), le niveau de preuve a été jugé insuffisant. Cette classification ne concerne que le cancer et évalue l'état des connaissances sans quantifier un risque. Elle a conduit le directeur du CIRC à proposer un usage prudent du téléphone en attendant d'autres études.

S'il existe une relation causale (ou de cause à effet), le fait qu'une large majorité de la population utilise maintenant le téléphone portable devrait se traduire par une augmentation sensible du nombre des gliomes au cours des 10 dernières années, avec un risque accru estimé, par le CIRC à 40 % de gliomes en plus chez les plus gros utilisateurs. Pour tester cette hypothèse, plusieurs équipes de recherche, en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas, et aux Etats-Unis, ont analysé l'évolution de l'incidence des cancers (nombre de nouveaux cas par an) au cours du temps, à partir des registres nationaux. Ces études ne montrent pas de variation d'incidence de ces cancers corrélée à l'usage du portable [5].

[10] Notions de base sur l'épidémiologie. M. Souques - SPS n° 286, juillet-septembre 2009.
http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1128

[11] Groupe 1 «cancérogène pour l'homme» pour lesquels les preuves sont suffisantes, le risque est avéré (amiante, tabac, etc.) ; groupe 2A «cancérogène probable pour l'homme», groupe 2B «cancérogène possible pour l'homme» ; groupe 3 «non classifiable comme cancérogène pour l'homme» et groupe 4 «probablement pas cancérogène pour l'homme».
Actuellement, 275 composés ou agents sont répertoriés dans le groupe 2B (janv. 2013), dont le plomb, le chloroforme, les légumes au vinaigre, le dioxyde de titane ou le café par exemple
http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php

[12] Communiqué du 31 mai 2011.
http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_F.pdf

En 2011, une vaste étude de cohorte conduite sur 18 ans au Danemark n'a pas montré d'augmentation du risque de développer une tumeur cérébrale avec l'usage prolongé d'un téléphone portable dans la population générale. Néanmoins, l'exposition des personnes a été estimée par le seul fait d'avoir un abonnement de téléphonie mobile qui ne rend pas compte de l'exposition réelle ni de l'usage éventuel d'un téléphone portable professionnel, ce qui a suscité des critiques. La même année, les résultats d'une étude cas-témoin internationale (CEFALO ; Suisse, Danemark, Norvège et Suède) sur des enfants et adolescents de 7 à 19 ans (350 cas avec tumeur cérébrale et 650 contrôles sains) n'ont pas indiqué de risque accru lié à l'usage du téléphone par rapport à ceux qui ne l'ont pas utilisé, y compris pour les plus gros utilisateurs, ni de localisation particulière des tumeurs dans les zones de la tête exposées aux radiofréquences.

Actuellement, deux études épidémiologiques internationales sont en cours pour rechercher un lien éventuel entre une pathologie et l'exposition aux fréquences de téléphonie mobile : COSMOS qui est une étude de cohorte prospective visant à suivre, durant 30 ans, l'état de santé d'une large population de volontaires (Danemark, Finlande, Pays-Bas, Grande-Bretagne, Suède, et depuis peu France pour une étude de faisabilité), et MOBI-KIDS qui est une étude cas-témoin portant sur les cancers de la tête chez les enfants (Australie, Autriche, Canada, Allemagne, France, Grèce, Israël, Italie, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Espagne, Taiwan).

HYPERSENSIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Des études ont porté sur les personnes se déclarant hypersensibles aux champs électromagnétiques (EHS), notamment ceux émis par des sources RF telles que les antennes relais ou le Wi-Fi [6]. Ce syndrome se caractérise par un ensemble de troubles rencontrés dans la population générale (maux de tête, palpitations, troubles du sommeil, de la mémoire, irritations de la peau, fatigue, acouphènes, etc.) mais ressentis de façon exacerbée en présence de la source incriminée. Des études, dites de provocation, ont été conduites pour savoir si les personnes EHS étaient capables de ressentir la présence du champ électromagnétique. Lorsque les expériences sont conduites en double aveugle, c'est-à-dire que ni la personne testée, ni celle qui lui pose des questions ne savent si le champ est effectivement présent ou non, il apparaît que les personnes EHS ne sont pas plus capables de détecter les RF que celles du groupe témoin. Par ailleurs, il n'existe pas de récepteur sensoriel connu aux RF qui sont des ondes électromagnétiques pour lesquelles il n'y a pas de source naturelle.

En 2004, l'OMS a rattaché ce syndrome à la catégorie des « intolérances idiopathiques environnementales » (IEI) dans la mesure où les symptômes observés n'ont pas d'origine connue [7]. Non spécifiques, ces troubles sont retrouvés dans d'autres syndromes comme le syndrome du bâtiment malsain, l'hypersensibilité chimique multiple ou encore le syndrome de la guerre du Golfe. Le rapport 2009 de l'AFSSET concluait le chapitre sur l'EHS par : «*aucune étude ne montre que l'électrohypersensibilité est due aux ondes électromagnétiques. Les études suggèrent un effet nocebo (inverse de l'effet placebo : troubles relatés résultant d'un mécanisme psychologique) et des facteurs neuropsychiques individuels*» (page 308).

Cependant, la souffrance de ces personnes est bien réelle et ce syndrome peut les conduire à un isolement social. Depuis février 2012, un protocole de prise en charge spécialisée a été mis à l'étude en France[13], avec des points d'accueil dans 24 centres hospitaliers [8].

SUR LA SCÈNE PUBLIQUE

Les téléphones portables sont apparus en France sur le marché grand public en 1992 et, très rapidement, des milliers de françaises et français se sont équipés. Vingt ans après, le pourcentage d'usagers dépasse 80% de la population française et le taux d'équipement atteint 100 % pour la tranche d'âge 18-25 ans (enquête SOFRES). Toutefois, depuis les années 90, le sujet fait l'objet de polémiques récurrentes sur les «dangers des ondes» et l'installation d'antennes relais entraîne régulièrement des tensions entre riverains, opérateurs et élus locaux. De plus en plus de recherches sont conduites en sciences humaines et sociales sur cette thématique dans laquelle les sociologues trouvent un substrat de choix pour étudier l'amplification sociale du risque, la dynamique des alertes, la perception du risque ou les politiques du risque.

L'information sur le risque dont dispose majoritairement le public est dominée par des messages d'alertes où l'émotion et l'opinion prennent le pas sur l'information scientifique. Il y a une demande récurrente d'abaissement des seuils réglementaires à 0,6 V/m et d'éloignement des antennes des écoles et des hôpitaux de la part des ONG et de collectifs de riverains actifs sur le sujet. Pourtant cette valeur de 0,6 V/m n'a aucune justification scientifique, comme expliqué dans le rapport Afsset 2009, et l'utilisation de la radio date de plus d'un siècle maintenant. Une telle mesure entrainerait une dégradation de la couverture obligeant ainsi les téléphones à émettre plus fort pour fonctionner, ainsi qu'une multiplication du nombre d'antennes et des frais d'infrastructure supplémentaires. En parallèle, tirant profit de la peur des ondes toute une activité commerciale se développe, proposant des études de l'habitat avec mesures de champ électromagnétique, gadgets, tapisserie, peintures, vêtements ou voiles protecteurs, objets censés transformer les «ondes nocives» en «ondes bénéfiques», etc. dont l'efficacité reste souvent à prouver.

Les enquêtes d'opinion indiquent que les expositions aux ondes téléphoniques sont une source de préoccupation bien que le risque soit globalement considéré comme faible. L'Eurobaromètre (2010) indiquait que 81% la population estimait manquer d'information sur ce sujet et que les principales sources d'information sont la télévision, suivie par les journaux et les magazines. Une enquête réalisée auprès des médecins généralistes français indique qu'ils ont une perception similaire de l'information, 89% déclarent manquer d'information [9]. A la question « Est-ce que les personnes peuvent percevoir les champs électromagnétiques ?», 1/3 répondent «oui», 1/3 «non» et 1/3 «ne sait pas». Comme dans la population générale, les risques subis sont globalement considérés comme des situations plus dangereuses pour la santé, tandis que les risques maîtrisables sont estimés à un degré moindre de dangerosité, indépendamment du danger réel.

Sur le plan juridique, les RF sont arrivées à grand bruit médiatique dans l'arène judicaire en 2009, avec le jugement de la Cour d'appel de Versailles condamnant un opérateur à démonter des antennes relais de la commune de Tassin-La-Demi-Lune (Rhône) au motif de «troubles de voisinage», de «ressenti du plaignant» et d'absence de certitude de l'innocuité de ces équipements. Quelques jours plus tard, le Tribunal de grande instance de Carpentras a condamné un autre opérateur à démonter une antenne relais sur des motifs similaires et de crainte qu'un trouble encore non démontré puisse survenir.

[13] Portail radiofréquences – santé - environnement. http://www.radiofrequences.gouv.fr/

Ensuite, le principe de précaution a été mis plus clairement en avant lors d'autres jugements, ou encore la nécessité de dédommagements même en l'absence de relation causale entre une maladie et l'exposition RF. Toutefois, la médiatisation de ces affaires ne rend pas vraiment compte des conclusions les plus fréquentes de tels procès dont 90 % se terminent en faveur des opérateurs.

En 2009, ces premières décisions juridiques ont été associées à une situation de crise qui a eu pour conséquence d'ouvrir le débat de manière officielle, entre les autorités publiques et les différentes parties prenantes. Une table ronde radiofréquences, santé, environnement», a été organisée en avril-mai par le Ministère de la santé, avec le concours du Ministère du développement durable et du Secrétariat d'État au développement de l'économie numérique. Un comité technique opérationnel (COMOP) a été mis en place à partir de l'été 2009 pour étudier la faisabilité d'une diminution de l'exposition aux antennes relais dans 17 «villes test», à l'aide de simulations et de campagnes de mesures [10].

Un million d'euros a été alloué à cette opération qui se poursuit encore actuellement. Parmi les 10 orientations issues de cette table ronde, il était aussi question d'améliorer l'information du public, ce qui n'a pas été mis en place avec ampleur à ce jour.

CONCLUSION

Certaines technologies comme la téléphonie mobile ou le Wi-Fi font l'objet d'inquiétudes alors que leur dangerosité n'a jamais été démontrée scientifiquement malgré une activité intense de recherche et la multiplication des rapports d'expertise en France et dans le monde. En définitive, les résultats des recherches méthodologiquement correctes ne démontrent pas que l'exposition aux radiofréquences, dans le respect des limites réglementaires, soit la cause de cancers ou d'autres maladies, et aucun mécanisme n'a été identifié qui pourrait produire des effets nocifs à des niveaux infra thermiques. Après une période de recherche intense durant les années 2000, une vigilance est maintenue avec la poursuite de recherches dans certains domaines, en biologie, en physique et en épidémiologie. L'activité de recherche se poursuit sur des axes précis, soit pour prendre en compte des conditions particulières d'exposition pour lesquelles les données sont estimées insuffisantes notamment en milieu professionnel et pour les enfants, soit pour répondre à des inquiétudes sociétales (sur les effets du Wi-Fi par exemple).

Seules des recommandations de bon sens sont préconisées pour s'exposer moins au portable, pour ceux qui le souhaitent, en utilisant le kit main libre, en réduisant la durée des communications ou en téléphonant dans des lieux où la réception est la meilleure possible.

Mais la situation est paradoxale : les téléphones mobiles sont très prisés et le déploiement d'autres réseaux de communications est en cours tandis que les antennes suscitent plus d'inquiétudes et de polémiques que les téléphones portables indépendamment du niveau d'exposition effectif.

Le sujet fait l'objet d'une importante couverture médiatique où convictions et faits scientifiques sont souvent confondus. Cette situation trouve sans doute en partie son origine dans l'engouement du public pour la téléphonie mobile et le Wi-Fi qui a rendu ces technologies omniprésentes dans l'environnement privé, professionnel et public, modifiant profondément les habitudes de vie. De plus, le déploiement du réseau de télécommunication sans fil fait partie des grands travaux d'aménagement du territoire dont la mise en œuvre dépend des politiques publiques, conférant à cette question des dimensions patrimoniales, esthétiques et politiques. On comprend dès lors que l'expertise scientifique et technique soit nécessaire, mais que les mesures de gestion qui sont prises ne sont pas forcément adossées à une rationalité scientifique. Pour autant, un effort d'information mérite d'être fait pour éviter des inquiétudes inutiles.

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. Perrin et M. Souques, « Champs électromagnétiques, environnement et santé », Paris, Ed Springer, 2010, 271 p.

[2] Perrin A. & Wiart J., « Communications sans fil, téléphones portables et antennes relais », Revue de l'électricité et de l'électronique, n°5/2012, 27-35, 2013.
www.see.asso.fr/node/3323

[3] ICNIRP, "Blue Book" Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (100 kHz-300 GHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences, Munich, 2009.

[4] INTERPHONE StudyGroup, "Brain Tumour Risk in relation to Mobile Telephone Use: Results of the INTERPHONE international case-control study", Int J Epidemiol., Vol 39(3), pp. 675-94, 2010.

[5] J. Schüz, I. Deltour, "Mobile Phones, Power Lines and Cancer: The Epidemiological Evidence Leading to Classification as Possible Carcinogens", Actes Journées URSI, JS'12, CNAM, Paris, 2012.
http://ursifrance. institut-telecom.fr/index.php?id=60

[6] J.-P. Marc-Vergnes, « Etat des connaissances sur l'hypersensibilité électromagnétique (EHS-EM)», Actes Journées URSI JS'12, CNAM Paris, 2012.
http://ursi-france.institut-telecom.fr/index.php?id=60

[7] OMS, « Champs électromagnétiques et santé publique: hypersensibilité électromagnétique » - Aidemémoire N°296, Décembre 2005
http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs296/fr/

[8] L. Bensafa-Colas, «"Hypersensibilité" électromagnétique, il faut prendre en charge la souffrance de manière précoce», Le Concours Médical, n° 1 134, n°2, pp. 140-142, 2012.

[9] Lambrozo J., Souques M., Bourg F., Xavier G. & Perrin A., « Les médecins généralistes français face aux champs électromagnétiques », La presse Médicale, 2013, en ligne
http://dx.doi.org/10.1016/j.lpm.2012.09.026

[10] Gaudaire F., Noé N., Benoit Dufour J., René de Seze R., Cagnon P., Selmaoui B., Thuroczy G., Mazet P., Mauger S., «Analyse conjointe de l'exposition des populations et de la couverture radio des réseaux de téléphonie mobile GSM et UMTS», Revue de l'électricité et de l'électronique, n°5/2012, 36-45, 2013. www.see.asso.fr/node/3323

Remarque

Une version similaire de ce texte, complétée par une partie dosimétrie et mesures d'exposition détaillée, se trouve dans la Revue de l'Electricité et de l'Electronique, 2013, n°5/2012 (référence 2).
www.see.asso.fr/node/3323

L'HISTOIRE DU CALCUL NUMERIQUE
1ÈRE PARTIE : DE LA PRÉHISTOIRE AU 17E SIÈCLE

FRANCIS ASPORD
Ancien élève de l'École Centrale de Paris, Membre de l'ADASTA,
Retraité SNCF, Ingénieur Conseil

INTRODUCTION

«Les maths sont nées le jour où l'on s'est rendu compte qu'il y avait quelque chose de commun entre un couple de faisans et une paire de claques».
Bertrand Russel

«Dieu a fait les entiers, tout le reste est l'oeuvre de l'Homme».
Kronecker

Qu'est-ce que le «calcul numérique», on dit maintenant «analyse numérique»? Un ensemble d'outils qui permet d'obtenir une solution numérique approchée d'un problème de math, lui-même modèle d'un problème physique, tout en contrôlant l'erreur commise.

Pour illustrer ce propos j'ai choisi «le grand saut» qui a fait l'objet d'un article dans le N° 76 de notre revue. Comment faire une chute libre de 40 km et arriver en vie au sol ?

Le problème physique est fait de forces :

- la pesanteur, quasi constante
- la résistance de l'air, fonction de la vitesse et de la masse volumique de l'air, donc de l'altitude et de l'ouverture du parachute

Le problème de math a été théorisé par Newton : une force «f» donne à une masse «m» une accélération «a» telle que f = ma. Mais l'accélération, ici, dépend de la vitesse et de l'altitude.

Résultat attendu : altitude et vitesse fonctions du temps. Ce type d'équation dans lequel l'accélération dépend de la vitesse et de la position s'appelle «équation différentielle». Leibniz et Newton ont été les premiers à les rencontrer et Euler à en trouver une solution numérique approchée.

Malheureusement, on ne sait pas trouver la solution exacte de ce problème. Or il faut absolument connaître la vitesse maximale atteinte pour vérifier qu'elle n'est pas létale et le temps de chute pour calibrer les réserves d'oxygène. C'est une caractéristique importante de l'analyse numérique : comme il faut OBLIGATOIREMENT trouver une réponse à un problème concret et incontournable, il faut faire des approximations et des majorations puis comparer le résultat à la réalité et décider si la méthode est acceptable ou non.

LA PRÉHISTOIRE :

Tout commence vers **-35 000**. On a retrouvé dans différents sites des os gravés dont un os de loup qui portait 55 encoches en 11 groupes de 5. De nombreuses grottes sont ornées de taches rouges ou de mains. Que peut-on en conclure si ce n'est que l'on savait déjà compter à cette époque ? Mais compter quoi ? L'élevage ne débutera qu'en **-8 000** avec la révolution du néolithique.

La longue histoire des nombres vient de débuter. Nous voici en Australie dans une tribu primitive :

- 1 = orapun
- 2 = okosa
- 3 = orapun okosa
- 4 = okosa okosa
- 5 et au-delà = beaucoup.

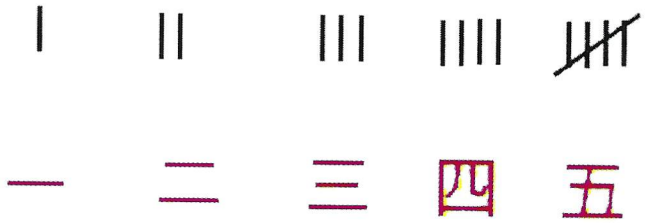
On pense que ceci explique la curiosité linguistique du polonais : il possède 2 formes de pluriels, une de 2 à 4 et une autre pour 5 et au-delà. Curieuse coïncidence non ?

On appelle «ethno-mathématiques» l'étude des différences entre toutes les cultures dans le domaine des chiffres. Comme il y a 6.700 langues différentes vous voyez qu'on peut s'attendre à de grandes différences.

Préparez-vous à remettre en cause tout ce que vous considériez, jusqu'à présent, comme évident, de par votre environnement culturel.

Nous écrivons de gauche à droite et de haut en bas. Les arabes de droite à gauche et de haut en bas, les japonais de haut en bas et de droite à gauche. On a même essayé l'écriture en «boustrophédon» [1], mais cela n'a pas duré : une ligne de gauche à droite, la suivante de droite à gauche.

Sans doute en lien avec notre type d'écriture, nous comptons en traçant des bâtons verticalement, alors que les japonais les tracent...horizontalement.



Comparons un peu les différentes prononciations des chiffres, dans quelques langues de plus en plus éloignées de la nôtre.

Il est curieux de constater qu'à des milliers de kilomètres de distance, certains chiffres se prononcent de façon proche. Exemples :

Français = six, sept
Anglais = six, seven
Allemand = sechs, sieben
Breton = sèr, èr
Arabe = seta, seba [2]
Grec = hexa, hepta
Français = sept, huit, neuf, dix
Russe = ciem, vociem, diéviat, diéciat
Japonais = hichi, hachi, ku, dju
Vietnamien = sao, baï...donc ce n'est pas une généralité.

Rien qu'en Occident, il y a quelques différences :

Si une amie vous écrit son numéro de téléphone en utilisant ces formes de chiffres :

0123456789

c'est qu'elle est anglo-saxonne.

Si elle vous dit qu'elle a septante ans : c'est qu'elle est belge, suisse ou québécoise.

Si votre calculatrice affiche π= 3.1416 avec un point décimal au lieu de 3,1416 avec une virgule, c'est qu'elle est aux normes US.

Le SI, Système de mesure International, a fixé comme norme le découpage par tranches de 3 chiffres :

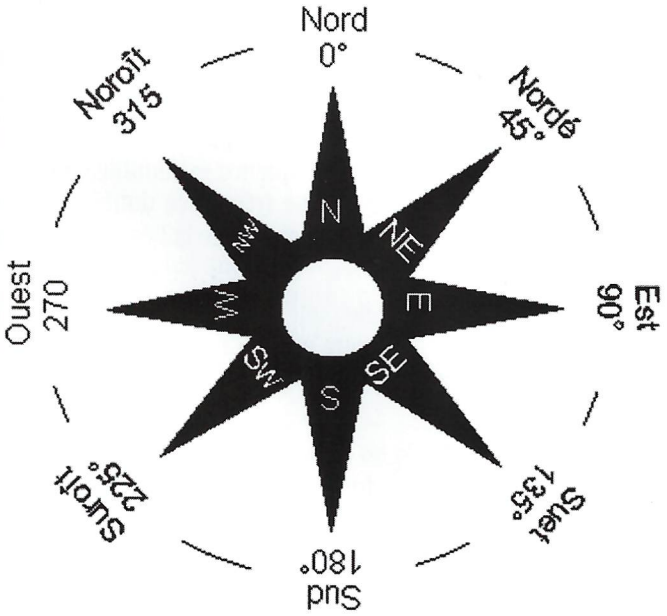
- kilo=3, méga=6, giga=9, téra=12, péta=15, exa=18
- milli=-3, micro=-6, nano=-9, pico=-12, femto=-15 (du danois 15), atto=-18

Mais les japonais les découpent par tranches de... 4 chiffres, appelées «ban». Donc la traduction du cri de guerre des kamikazes «ban zaï» signifie tout simplement «10 000 ans» que l'on doit traduire par «longue vie à l'empereur».

La préhistoire se termine en -3 000 avec l'invention de l'écriture cunéiforme [3] par les Sumériens.

LES BABYLONIENS :

-1700 Nous sommes à Babylone, ville qui possède une des 7 merveilles du monde antique : les jardins suspendus. Ce peuple érudit nous a légué le système sexagésimal de base 60. Il nous est familier puisque toutes les horloges du monde nécessitent 60 minutes pour changer d'heure. Toutes les boussoles du monde nécessitent aussi 360° pour faire une tour complet.



Ce système n'est pas près d'être abandonné, même si les révolutionnaires français ont essayé. Certaines horloges de cette époque comportent 20 heures de 100 minutes et un tour complet décompte 400 grades. Ce type d'horloge n'a vécu qu'une dizaine d'années. Quant au grade il a été la mesure d'angle officielle sur les cartes françaises jusqu'à ce que le GPS, en degrés, ne lui porte un coup fatal. Je vous rappelle que les astronomes comptent la longitude en heures et non en degrés car la rotation de la Terre correspond à 15°/h.

D'où le lien entre minutes de temps et minutes d'angle.

Puisque nous sommes en base 60, parlons un peu des autres bases. On appelle base d'un système de numération le nombre de chiffres qu'il utilise.

Exemple le plus simple : la base 2 dite binaire. Déjà connue des Chinois vers -2 500 elle est retrouvée par Leibniz au XVIIème siècle à titre théorique. En fait elle ne va se développer qu'avec l'arrivée des calculateurs électroniques et de l'ère du «tout numérique», disques CD audio, DVD vidéo, téléphones portables etc...Pourquoi cet engouement ? Parce que ce système est peu sensible aux perturbations de transmission. Si vous devez deviner un chiffre qui ne peut être que 0 ou 1 c'est plus facile que de deviner un chiffre entre 0 et 9. Donc les systèmes électroniques de contrôle s'en sortent plus facilement.

Un exemple de base 2, toujours surprenant pour le néophyte. A gauche en décimal, à droite le même nombre en binaire :

0 = 000, 1 = 001, 2 = 010, 3 = 011, 4 = 100...Logique, le chiffre des unités varie de 0 à 1 puis retombe à 0 en augmentant le chiffre de gauche d'une unité et ainsi de suite...

La base 16 dite hexadécimale est une façon pratique d'écrire un nombre binaire. Elle nécessite donc 16 chiffres qui vont de 0 à 9 puis A, B, C, D, E, F. En découpant un nombre binaire par tranches de 4 on passe directement en hexadécimal. On retrouve le découpage par 4 des Japonais.

Exemple :

«15» en décimal = «1111» en binaire = «F» en hexadécimal. On divise par 4 le nombre de chiffres binaires et c'est plus facile à lire.

Quelques bases en désuétude :

La base 12, utilisée en France sous l'ancien régime et restée adorée des Anglais. Jusqu'à une époque récente 1 shilling comptait 12 pence. Maintenant c'est 10. On achète toujours une douzaine d'huîtres mais de moins en moins une douzaine d'oeufs depuis que certains emballages sont par 10.

La base 20 qui ne se retrouve plus que dans le nom de l'hospice des «quinze-vingts» créé par St-Louis pour 300 aveugles et dans l'expression «quatre-vingts» qui est donc «l'octante» des Belges et des Suisses.

LES INDIENS :

Dans le domaine numérique, ils ont tout inventé. La numérotation de position, très ancienne, qui veut que dans le nombre 111, le 1 de droite pèse 1, celui du milieu 10 et celui de gauche $100=10^2$, et ainsi de suite.

-700 Ils inventent le zéro qui permet de conserver la position de chaque chiffre comme dans 101. On lit parfois que «zéro» signifierait «rien» dans une des nombreuses langues de l'Inde. Peut-être. En tout cas pas en Tamoul, j'ai vérifié.

LES GRECS :

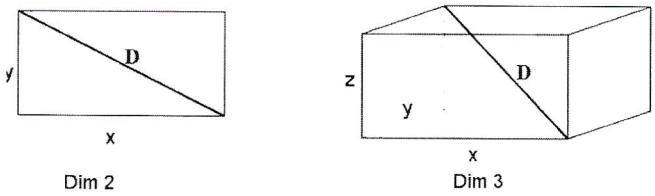
Ils nous ont légué les théorèmes les plus connus. Quoique, comme disait Raymond Devos : on dit chez les matheux que, si un théorème porte le nom d'un mathématicien, on peut être sûr que ce n'est pas lui qui l'a démontré !(Théorème d'Arnold)

-580 Le théorème de Pythagore. «Hyper connu» en dimension 2, il permet de calculer une longueur en biais par rapport aux lignes de coordonnées perpendiculaires.

$D^2 = x^2+y^2$

Il se généralise en dimension 3 :

$D^2 = x^2+y^2+z^2$



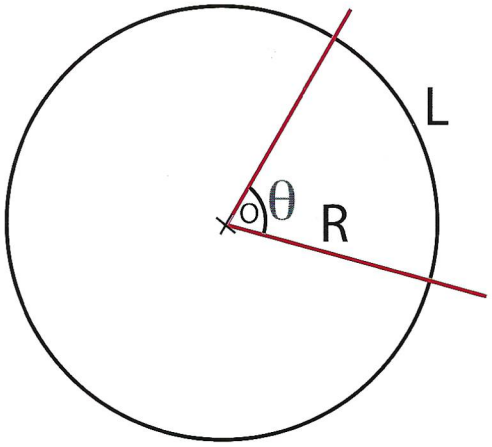
Et en dimension 4 de la relativité d'Einstein :

$D^2 = x^2+y^2+z^2-t^2$

Vous remarquerez cependant que la coordonnée de temps n'a pas le même rôle qu'une coordonnée d'espace car elle est précédée du signe moins. L'espace-temps d'Einstein est donc bien un mélange entre l'espace et le temps mais les deux ne sont pas totalement identiques.

-275 L'histoire d'Eratosthène est assez incroyable car il réussit à calculer le rayon de la Terre, donnée capitale, et qui, pourtant, fut perdue et totalement ignorée de Christophe Colomb qui avait en tête une valeur 2 fois plus petite. C'est pourquoi en arrivant en Amérique, soit en ayant parcouru un quart de parallèle, il pensait en avoir parcouru une moitié et donc être arrivé au Japon.

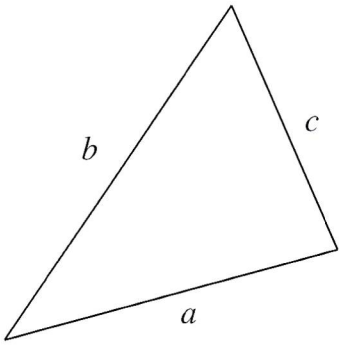
Quelle fut la méthode géniale d'Eratosthène ? Très simple ! La longueur d'un arc de cercle est égale au produit du rayon par l'angle au centre. $L=R\theta$ (θ en radians)



A midi, le jour du solstice d'été, à Assouan, le Soleil est à la verticale, il n'y a pas d'ombre. Or à Alexandrie il fait un angle de 7° sur la verticale, ce qu'on peut vérifier en mesurant la longueur de l'ombre d'un bâton vertical. Alexandrie est à peu près au nord d'Assouan et les deux sont sur le Nil. Les marcheurs professionnels égyptiens connaissant la distance Assouan-Alexandrie, Eratosthène n'avait plus qu'à appliquer la relation : Rayon = Longueur/Angle pour trouver la réponse à 10% près.

Archimède était un physicien et mathématicien grec qui vivait à Syracuse (Sicile) du temps où cette ville était un comptoir grec. Lors de la prise de cette ville par les Romains, Archimède, selon la légende, demanda à un soldat de bien vouloir dégager ses pieds de son dessin géométrique. Le soldat le tua malgré les ordres de ses chefs qui auraient bien voulu utiliser les dons du savant.

An 10. Voici la formule d'Héron d'Alexandrie qui est à la fois belle et peu connue des élèves d'aujourd'hui. Soient a, b, c les 3 côtés d'un triangle quelconque.



Soit $p = (a+b+c)/2$ son demi périmètre et S sa surface, alors :

$S^2 = p(p-a)(p-b)(p-c)$.

Présentons maintenant la grande invention des Grecs : la dichotomie [4], soit l'art de couper en 2. Vous allez voir que c'est une méthode très efficace.

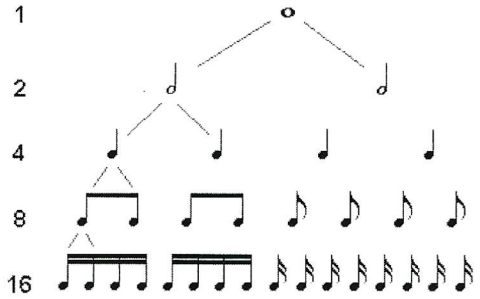
Alors pourquoi diviser ou multiplier par 2 ? Parce que c'est l'entier le plus simple qui donne un résultat intéressant. En effet multiplier par zéro ne donne toujours que zéro et multiplier par 1 ne change rien.

Pas facile, dans la vie, de doubler ses revenus ou de diviser par 2 ses consommations d'eau, de gaz, d'électricité, d'essence ou de chocolat !

Prenons l'exemple d'une voiture 2x4 avec pneus d'été. En hiver, au moindre faux plat, c'est rapidement la catastrophe. Avec des pneus d'hiver (attention à bien choisir le fabricant) vous doublez l'adhérence. Avec une voiture 4x4 vous redoublez. Avec des «chaussettes à voiture» sur tous les pneus vous redoublez. Vous avez multiplié votre adhérence par 8, vous voilà revenus à la situation d'été : plus de soucis, vous allez finir par rechercher la neige !

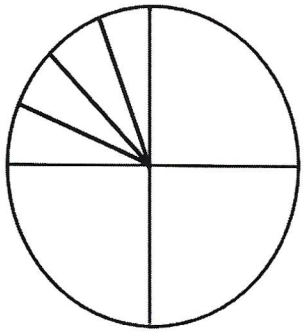
Parlons un peu musique. On sait depuis Pythagore qu'il y a un lien étroit entre la musique et les nombres : c'est la fameuse gamme pythagoricienne formée de 12 demi-tons. Chaque demi-ton multiplie la fréquence par $2^{(1/12)}=1,06$, ce qui fait qu'au bout de la gamme la fréquence est doublée. Or, curieusement, l'oreille considère une fréquence double comme une seule et même note mais plus aiguë. Le la3 est à 440Hz, le la2 à 220Hz et le la4 à 880Hz.

Autre dichotomie musicale : une ronde vaut 2 blanches, une blanche vaut 2 noires, une noire vaut 2 croches...le rythme est donc doublé à chaque fois.



C'est bien ce que fait un bon batteur de «rythm and blues», ma musique préférée.

Faisons un peu de gastronomie. Comment découper un gâteau en N parts égales sans vous tromper si vous savez uniquement couper en 2, ce qui est très facile ? Exemple N=3. Vous découpez votre gâteau en 4, vous donnez 3 parts, il en reste 1. Vous la recoupez en 4, vous en donnez 3, etc. Cela marche avec tous les nombres !



Faisons un peu de ferroviaire, vous constatez une fuite d'air sur un train de 32 wagons. Si vous testez wagon après wagon vous risquez de devoir manoeuvrer 32 robinets. Or le manuel de dépannage vous préconise d'aller fermer le robinet n°16. Si la fuite s'arrête c'est qu'elle est située dans la deuxième moitié du train. Vous venez donc de couper votre problème en 2. Comme $32=2^5$ vous allez isoler votre fuite en 5 manoeuvres au plus. Génial !

Appliquons cette méthode à la recherche d'un humain sur 6 milliards~2^{33}, sachant que chaque recherche dure 1 seconde. Dans le cas d'un fichier non trié, la méthode à la queue leu-leu peut vous prendre 6 milliards de secondes soit 190 ans ; dans le cas d'un fichier trié, la méthode par dichotomie nécessitera au maximum… 33 secondes ! Vous ai-je convaincus de la puissance de la méthode ?

LES ROMAINS :

Que dire des Romains ? Ils avaient des légions puissantes, des empereurs connus, Auguste qui a donné son nom au 8ème mois de notre calendrier, Vespasien et le sinistre Néron, des orateurs tels Cicéron et des poètes tels Ovide et Virgile. En fait aucun scientifique romain n'a laissé son nom à la postérité, mais des ingénieurs ont su mesurer des niveaux pour construire des aqueducs. Le système de numération romain était mauvais, mais c'était celui des vainqueurs et l'Europe a traîné ce boulet pendant des siècles. Le seul reliquat qui soit romain en calcul c'est ?... le mot «calcul» qui vient de «calculus» petit caillou. Ah ! aussi les «carrés latins». Voici un exemple de dimension 3x3 :

1 2 3
2 3 1
3 1 2

Vous constatez que chaque chiffre figure dans chaque ligne et dans chaque colonne. Utilité pratique ? L'organisation d'un plan d'expérience en agronomie…

476 C'est la fin de l'Empire romain d'Occident.

LE MOYEN-AGE :

En Europe c'est une période de platitude numérique. Les moines copistes copient et recopient, en rajoutant des commentaires de leur cru.

6ème siècle :

En Inde π est estimé à 3,1416..., en Chine à 355/113=3,1415929... la vraie valeur étant 3,14159265358... Excellent donc.

9ème siècle :

En Perse vit un mathématicien du nom d'Al Kwarismi qui, déformé, va donner «algorithme».

Tout le monde sait ce qu'est une recette de cuisine. On prend des ingrédients, on touille dans un ordre précis et on obtient un mets délicieux. Un algorithme c'est la même chose dans le domaine numérique. On entre un nombre connu, on effectue une suite de calculs strictement codifiée et on obtient un résultat intéressant, inconnu au départ.

Exemple «simplissime» :

- Entrer le rayon R d'un cercle
- Multiplier π par R puis par R
- Afficher le résultat qui est la surface du dit cercle.

Tous ces algorithmes nécessitent, en fait, seulement 2 outils de base :

- le test
- la boucle.

Exemple utilisant le test : la fameuse équation du second degré chère à nos élèves de seconde d'autrefois.

Si a, b, c sont 3 nombres donnés, fixes, quels sont les nombres x qui annulent ax^2+bx+c ? Tout dépend du signe du nombre $d=b^2-4ac$.

Si $d<0 \rightarrow$ pas de solution
Si $d=0 \rightarrow$ 1 solution
Si $d>0 \rightarrow$ 2 solutions.

On voit donc que le déroulement du calcul tombe sur 3 cas très différents et donc qu'un test est obligatoire pour que le programme aille, seul, au bout du raisonnement.

Quant à la boucle voici un exemple tout simple : à quelle heure se lève le Soleil chez vous chaque jour de l'année 2013 ? Il va évidemment falloir recalculer cette heure 365 fois de suite.

10ème siècle :

De 999 à 1003 Gerbert d'Aurillac est pape sous le nom de Sylvestre II. Grand érudit, il essaiera, en vain, d'introduire en Europe la notation de position indienne en lieu et place du système romain désuet. Il avait simplement 3 siècles d'avance sur ses contemporains occidentaux.

13ème siècle :

1254 les «chiffres arabes» arrivent enfin en Europe, soit par Venise via Marco Polo, soit par le Sud de la Méditerranée et le Sud de l'Espagne via les Arabes qui les appellent d'ailleurs les «chiffres indiens». A cette époque la civilisation arabe est à l'apogée des sciences et en particulier de l'astronomie, raison pour laquelle beaucoup d'étoiles ont un nom à consonance arabe : Altaïr, Deneb…Il est possible que l'islam y soit pour quelque chose. En effet, déterminer, en tout lieu, la direction de La Mecque incite à faire des calculs astronomiques justes. Pour cela les savants arabes ont besoin d'une table précise des fonctions sinus, cosinus, tangente, ce qu'ils vont réaliser degré par degré [5].

A noter que les chiffres arabes actuels de certains pays, par exemple sur les plaques d'immatriculation, ont une graphie modernisée et donc illisible pour nous qui avons conservé la graphie ancienne des indiens.

15ème siècle :

1492 La découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, avec les aléas décrits ci-dessus (cf. -275), marque la fin du Moyen-Age.

16ème siècle :

1552 Que se passe-t-il le samedi 06/09/1522 à Cadix ? Une dizaine de rescapés de l'expédition de Magellan rentre au pays sur une coquille de noix. Or le livre de bord indique vendredi 05/09/1522. On se rend alors compte que le fait de tourner autour de la Terre peut modifier la date du jour. On appelle maintenant ligne de changement de date le méridien 180° qui se trouve au milieu du Pacifique. Son franchissement nécessite un changement immédiat de jour.

1569 Gérard Mercator met au point sa fameuse carte du monde. Son problème ? Tracer une représentation d'une sphère sur un plan de façon à ce que les angles sur la carte soient les mêmes que dans la réalité. Grâce à ce système, pour rallier le Portugal depuis le Brésil, il suffit de tracer la ligne droite qui les joint sur la carte de Mercator, de mesurer l'angle avec le Nord, de reporter ce même angle sur la boussole du bateau et de garder lecap sur des milliers de kilomètres. La solution est la suivante : en abscisse porter la longitude, en ordonnée porter la «latitude modifiée de Mercator» qui vaut log(tan(lat/2+45°)). Il fallait donc inventer les log, car la fonction tangente était bien connue depuis longtemps.

1577 Tycho Brahé, noble danois, s'est fait construire un observatoire astronomique qui lui permet des mesures 10 fois plus précises que tout ce qui existe ailleurs en Europe. Il note la position des planètes la nuit avec une précision inégalée. C'est la premier maillon de la mécanique newtonienne.

1582 Quel est le lendemain du jeudi 04/10/1582 à Rome ? Le vendredi 15/10/1582 ! Eh oui le calendrier grégorien vient de succéder au calendrier julien. Enfin à Rome, car les Anglais attendront 2 siècles pour l'adopter et l'Eglise orthodoxe russe ne l'a toujours pas fait. Le décalage actuel est de 13 jours entre les 2 calendriers.

1593 Adriaen van Rooman calcule 15 décimales de π.

17ème siècle :

1609 Ludolph von Ceulen calcule 34 décimales de π.

1610 Galilée achète en Hollande une lunette astronomique et découvre, entre autres, les 4 satellites galiléens de Jupiter, deuxième chaînon de la mécanique newtonienne.

1614 Neper, un écossais, invente les logarithmes. Qu'est-ce que le logarithme décimal d'un nombre ? C'est la puissance de 10 qui égale ce nombre.

Exemple : 1000 = 10^3. Donc le logarithme de 1000 est 3. Voici encore quelques exemples pour vous roder :

- log de 0,01 = -2
- log de 0,1 = -1
- log de 1 = 0
- log de 10 = 1
- log de 100 = 2

Remarquez la symétrie des logarithmes par rapport à 0 et celle du nombre et de son inverse par rapport à 1.

Neper a alors montré qu'on pouvait attribuer à chaque nombre un logarithme unique. Je n'entrerai pas, ici, dans le détail de sa méthode mais en voici le résultat qui va nous servir :

- log de 2 = 0,30103
- log de 5 = 0,69897

L'intérêt fondamental des logarithmes est le suivant : log(ab) = log(a) + log(b) pour tout nombre a et b, ce qui permet de remplacer un produit par une somme, beaucoup plus facile à calculer.

Exemple 2x5 = 10 et en effet 0,30103 + 0,69897 = 1,00000

C'est la base de la « règle à calcul » qui va régner sur le calcul numérique jusqu'en 1972, date d'apparition de la première calculette électronique. Eh oui, je n'ai pas connu les dinosaures, mais la règle à calcul si !

En effet, il est très facile d'additionner des longueurs. Il suffit de les mettre bout à bout. Le pensum d'école primaire devenait un vrai plaisir avec ce merveilleux instrument.

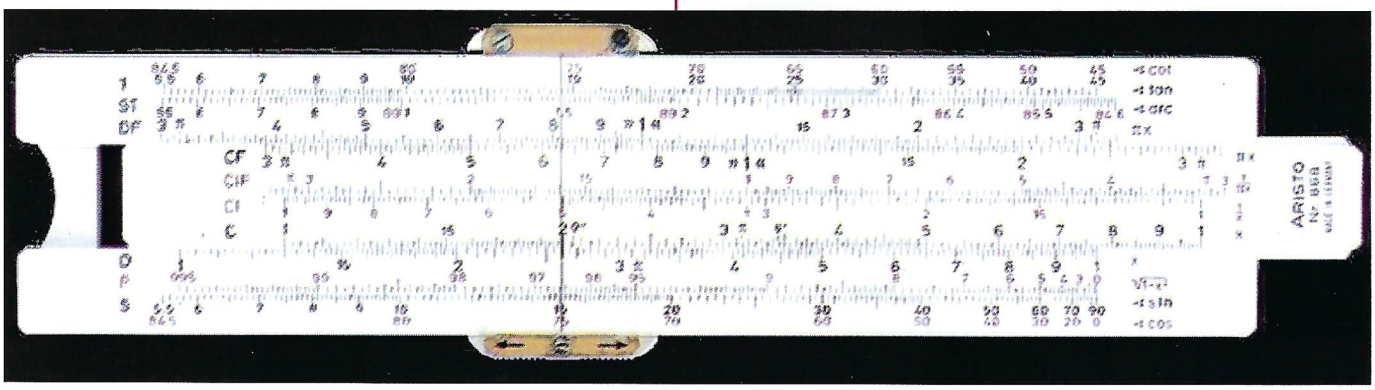
1618 Briggs, ami de Neper, met définitivement au point la méthode des logarithmes en base décimale ce qui va donner naissance à la fameuse «table de log à 5 décimales», le petit livre rouge des scientifiques pendant des siècles.

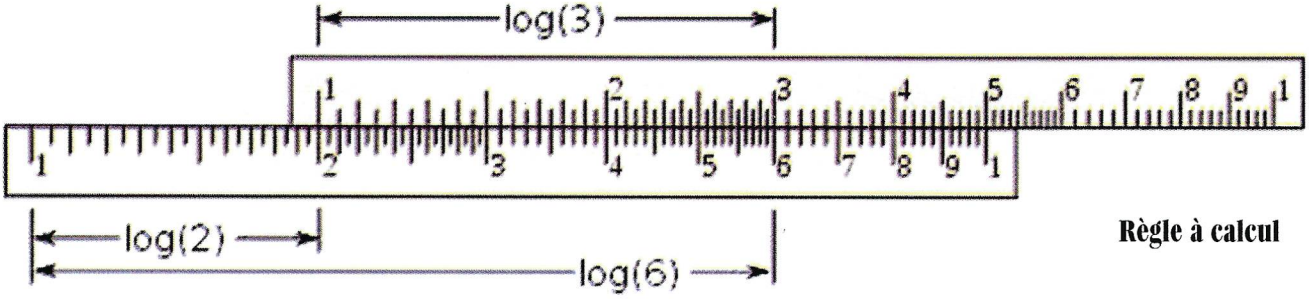
De nombreux phénomènes naturels suivent des lois logarithmiques :

- échelle de Richter pour les séismes
- magnitude des étoiles. +6 est la limite de visibilité à l'oeil nu. –27 est celle du Soleil.
- Le niveau sonore, mesuré en bels en l'honneur d'un savant américain Bell. En fait c'est toujours en décibels = dB. Je vous rappelle que le log de 2 vaut 0,3 bel soit 3 dB. Donc un lave-vaisselle à 53 dB est 2 fois plus bruyant qu'un autre à 50 dB.

En conséquence la «notation scientifique des nombres» s'impose avec la règle, très simple, suivante : 1 signe «+, -» , 1 chiffre de 1 à 9, puis la virgule, puis les autres chiffres, puis une puissance de 10 pour compenser et revenir au nombre de départ.

Exemple : 2013 = 2,013 x 10^3





Règle à calcul

Sous cette forme 2,013 est la mantisse et 3 l'exposant. Tous le nombres qui ont le même exposant sont du même «ordre de grandeur». On peut voir à la «Cité de l'espace» de Toulouse, une allée qui comporte tous les ordres de grandeurs de l'astronomie. C'est impressionnant de décupler ainsi une distance à chaque panneau, pour atteindre les confins de l'univers.

L'ordre de grandeur est une notion fondamentale en physique pour pouvoir simplifier un problème sans perdre trop de précision. Si une erreur de 10% vous convient, alors vous pouvez «oublier» tout nombre qui est à 1 ordre de grandeur en dessous du phénomène majeur.

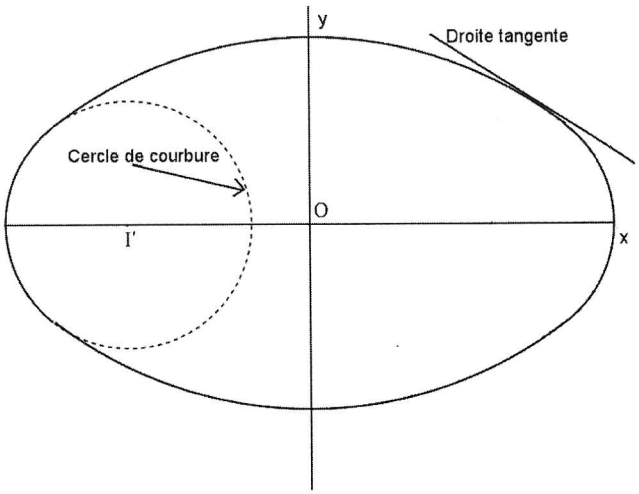
Faites tomber de la tour de Pise une feuille et une enclume. Les forces en présence sont strictement les mêmes : le poids, la résistance de l'air. Mais dans le cas de l'enclume la résistance de l'air est négligeable, alors que c'est le contraire pour la feuille.

Changer d'ordre de grandeur nécessite une rupture technologique. Exemple dans l'éclairage pour un même éclairement:

- lampe à incandescence à filament chaud 100W
- lampe basse consommation à gaz rare 10W
- LED à phénomène quantique 1W.

1619 Képler, utilisant les données de Tycho Brahé découvre sa fameuse loi :$T^2 = R^3$ [6] qui va permettre de cartographier le système solaire. En effet il est assez facile de mesurer la période de révolution d'une planète autour du Soleil. On en déduit donc sa distance au Soleil. C'est ainsi que l'on a pu classer les planètes dans l'ordre d'éloignement au Soleil : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne...Troisième chaînon de la mécanique newtonienne.

1619 Descartes invente la «géométrie analytique». C'est une révolution après des siècles de géométrie euclidienne. Celle-ci est une science difficile à maîtriser. La méthode de Descartes consiste à remplacer les figures par des nombres. A partir de là, si vous êtes bon en algèbre, vous devenez, ipso facto, bon en géométrie. Les conséquences sont gigantesques : toutes les courbes peuvent être tracées, ainsi que les droites tangentes, les cercles de courbure, etc.



Il faut noter aussi vers cette époque l'invention des nombres complexes par les algébristes italiens : Tartaglia, Cardan.

Tout commence par le phénomène numérique suivant :

$2^2 = 2x2 = +4$

$(-2)^2 = (-2)(-2) = +4$ aussi ! (rappelez-vous la règle des signes de l'algèbre)

Autrement dit : aucun nombre réel ne peut avoir un carré négatif. Qu'à cela ne tienne on va imaginer un nombre «imaginaire», noté i, dont le carré vaut -1. Les conséquences sont pharaoniques [7].

En électricité on utilise des résistances, des bobines et des condensateurs. Avec une résistance on a la relation simple U = RI. U est la tension électrique et I l'intensité. En fait on retrouve la même formule si on considère la bobine et le condensateur comme des «résistances imaginaires» qui varient, de plus, avec la fréquence d'oscillation du système.

En astronautique, une fusée au décollage est aussi instable qu'un parapluie tenu sur la pointe. On s'aperçoit alors, au bout d'une longue réflexion, qu'il suffit d'étudier certaines valeurs caractéristiques pour comprendre exactement si le système va être stable ou non. Si les valeurs sont :

- à parties réelles positives → le système explose, ce qui n'est pas conseillé
- à parties réelles négatives → le système se calme lentement, ce qui est idéal
- imaginaires → le système vibre sans arrêt, ce qui n'est pas souhaitable.

1637 Les nombres négatifs sont toujours mal aimés. Descartes en parle comme «de faux nombres». En 1803 Lazare Carnot, qui n'était pas totalement illettré, rejette toujours les nombres négatifs.

1642 Pascal fabrique quelques exemplaires de sa «Pascaline». Pour nous un simple compteur mécanique, mais pour l'époque la première machine à calculer. Pascal s'intéresse aussi aux lois du hasard [8] dont voici une application surprenante : dans un groupe de 23 personnes, je dirais SEULEMENT 23, vous avez une chance sur 2 qu'au moins 2 personnes soient nées le même jour (sans s'occuper de l'année). J'ai pris le risque de tester cette théorie, lors de la conférence, sur une assistance de 50 personnes : ça a très bien marché. Plusieurs couples de dates identiques ont été trouvés. L'explication ? Vous êtes né un jour J (l'année est sans importance et je néglige le problème spécifique du 29 février). Si vous voulez que chaque personne ait une date d'anniversaire différente, la deuxième personne doit choisir 364 autres dates possibles, celle d'après 363, etc... Chaque personne supplémentaire dispose d'un jour de moins. La probabilité est donc :
$364x363x...x(366-N)/(365^{N-1})$, fonction de N qui vaut 0,5 environ pour N=23, valeur très inférieure à 365.

1684 Leibniz (Allemand) invente le «calcul différentiel et intégral». Enfin pour les continentaux. Car pour les Anglais c'est à Newton qu'on le doit. Il s'en est suivi une guerre totale entre ces 2 savants pendant toute leur vie. De quoi s'agit-il ? Le calcul différentiel s'intéresse à la différence qui existe entre 3 points voisins d'une courbe.

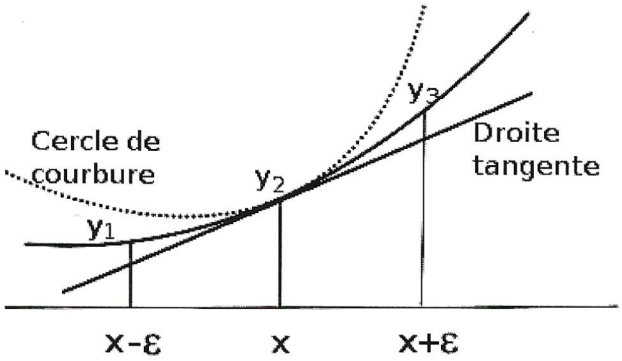
Ceci va conduire au calcul de la droite tangente à une courbe en un point donné et aussi à la notion de vitesse instantanée. La théorie mathématique me semblant trop ennuyeuse à décrire, je ne prendrai qu'un exemple numérique. Soient 3 points d'ordonnées y_1, y_2, y_3 et d'abscisses $x_0-\varepsilon$, x_0, $x_0+\varepsilon$. La vitesse de variation de la fonction y(x) au point x_0 a pour valeur numérique approchée $(y_3-y_1)/(2\varepsilon)$. Evidemment plus ε est petit, plus la valeur est juste. C'est ce que fait le GPS pour vous indiquer votre vitesse de déplacement et votre direction par rapport au Nord.

Dans le même esprit on peut s'intéresser à la courbure de cette même courbe au point x_0, ce qui correspond au cercle qui la représente le mieux et aussi à la notion d'accélération instantanée.

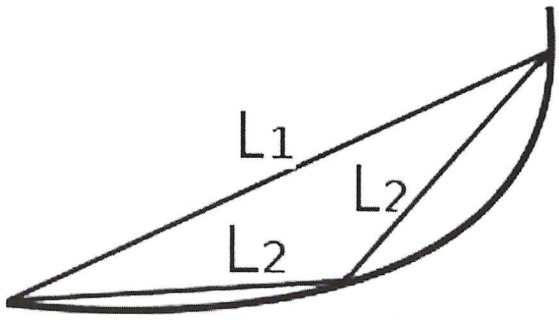
L'accélération se calcule par la vitesse de variation de la vitesse aux points $x_0+\varepsilon/2$ et $x_0-\varepsilon/2$, soit :

$$\frac{\frac{Y_3-Y_2}{\varepsilon}-\frac{Y_2-Y_1}{\varepsilon}}{\varepsilon}=\frac{Y_3-2Y_2+Y_1}{\varepsilon^2}$$

Cette notion, assez difficile de prime abord, nécessite un peu de réflexion de la part de nos étudiants du secondaire.



Ce calcul permet aussi de trouver la longueur d'une courbe et l'aire qu'elle délimite. Comme on ne sait calculer que la longueur d'un segment de droite et la surface d'un trapèze, on découpe l'intervalle d'étude par dichotomie (encore elle) et on additionne tous ces éléments au nombre de 2, 4, 8, 16, etc... jusqu'à convergence du résultat numérique. On remplace ainsi la courbe par une suite de segments de droite comme si l'on posait une chaîne d'arpenteur dessus. C'est très efficace.



Exemple : La parabole d'équation $y = x^2$ entre x=0 et x=1.

Avec 2 points (0 ;0) et (1 ;1) on trouve L=1,4142 et S=0,5000.

Avec 3 points (0 ;0) (0,5 ; 0,25) et (1 ;1) on trouve L=1,4604 et S=0,3750.

Avec de la persévérance on obtient L=1,4789 et S=0,3333.

Intérêt pratique ?

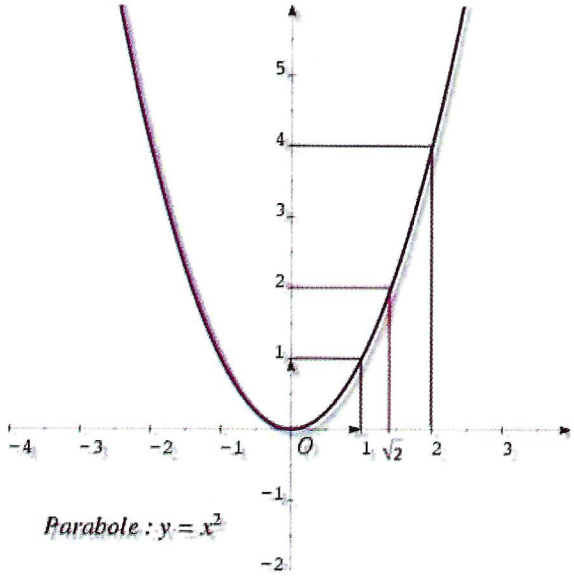
Si cette parabole est une ligne électrique cela donne la longueur de câble à prévoir.

Si cette parabole est le profil d'une ligne de TGV on obtient le volume de terre à remuer.

1686 Newton pose les fondements de la mécanique dite «newtonienne» et l'applique aux planètes. Elle ne sera remise en cause qu'en 1905 par Einstein.

1690 Raphson était le seul ami de Newton qui avait, semble-t-il, un caractère difficile. Raphson fait partie de ces mathématiciens dont le nom n'est passé à la postérité que pour une seule et unique formule : en général magistrale. C'est toujours mieux que de disparaître à jamais des livres d'histoire.

Je vous présente donc la méthode de Raphson-Newton pour résoudre n'importe quelle équation. Mais qu'est-ce qu'une équation ? C'est une relation comportant une valeur inconnue dont on cherche une approximation numérique.



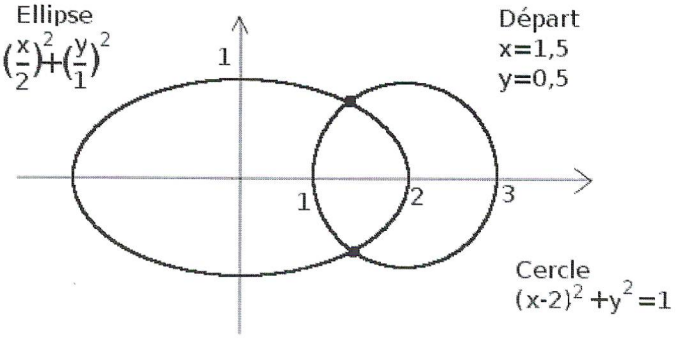
Exemple retenu : calcul de $x = 2^{1/2} = \sqrt{2}$. Par définition on cherche donc x tel que $x^2 = 2$.

$1^2 = 1$ donc trop petit. $2^2 = 4$ donc trop grand. Racine de 2 est donc compris entre 1 et 2.

La méthode est alors basée sur l'idée, simple, suivante. On part d'une approximation «pas trop bête» x_0, on remplace la courbe de départ, assez compliquée, par la droite tangente à la courbe en x_0. On tombe alors sur une équation simple qu'on résout, ce qui donne une nouvelle approximation x bien meilleure que x_0. On recommence jusqu'à ce que $x = x_0$ à la précision recherchée. C'est d'une efficacité diabolique

Démonstration : $(x_0+\varepsilon)^2 = x_0^2+2\varepsilon x_0+\varepsilon^2 = 2$ d'après les règles habituelles de l'algèbre sur le développement d'un carré. C'est parfaitement exact, pour tout x_0 et tout ε. Mais ε est toujours petit puisque l'on est près de la solution grâce à notre choix «pas trop bête». On néglige alors ε^2 devant ε [9]. L'équation se simplifie donc en : $x_0^2+2\varepsilon x_0 = 2$ qui est évidente à résoudre en $\varepsilon = (2-x_0^2)/(2x_0)$. Il suffit alors d'ajouter $x_0+\varepsilon \rightarrow x$ et de boucler.

La vitesse de convergence est époustouflante :
x_0 = 1,5000 point de départ «pas trop bête»
entre 1 et 2 → 1,4167 → 1,4142 → 1,4142. C'est fini en 3 coups, à 4 chiffres justes après la virgule.La méthode se généralise à des équations à 2 inconnues x et y ce qui permet, par exemple, de calculer les points d'intersection de 2 courbes quelconques, etc. Outil très puissant !



Fin de la première partie

Notes:

[1] Du grec «bous» le boeuf. Ce terme, rare, signifie enforme de sillon de charrue tirée par un boeuf.(une fois à l'endroit, une fois à l'envers).

[2] A noter que, comme monsieur Jourdain, vous savez dire zéro en arabe, sans le savoir. C'est «sifr» qui a donné «chiffre» en français.

[3] En forme de clou.

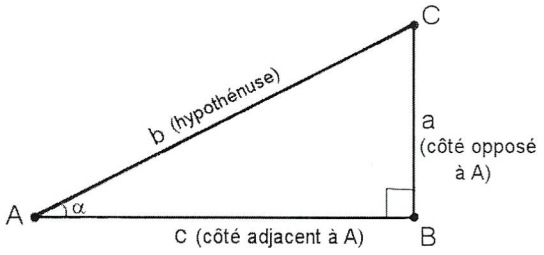
[4] Du grec «di» deux et «tomein» couper. Traduction latine «bissection» mais ça fait moins chic.

[5] Un triangle rectangle possède un angle droit et 2 autres angles «a» et «b» dits complémentaires car leur somme vaut toujours 90°. Nos étudiants connaissent alors la règle suivante : SOH CAH TOA

- Sinus = Opposé / Hypoténuse (sin α = a/b)
- Cosinus = Adjacent / Hypoténuse (cos α = c/b)
- Tangente = Opposé / Adjacent (tan α = a/c)

Ces fonctions sont très utiles pour calculer la valeur d'un angle avec précision, sans avoir à le mesurer directement.

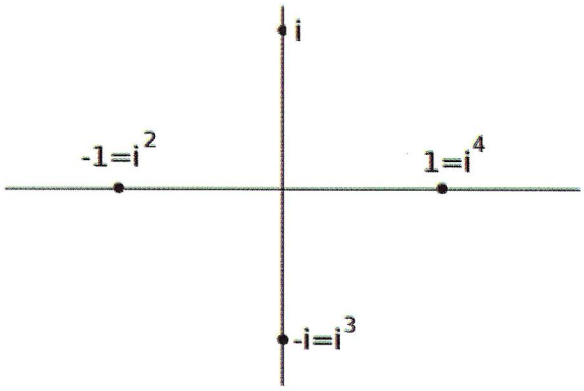
Exemple : Le problème d'Erastothène se réduit à la mesure de la longueur d'un bâton vertical et de son ombre portée au sol, ce qui donne directement la tangente de l'angle cherché. Dans le passé une «table trigo» donnait alors la valeur de l'angle. Maintenant une calculette donne la fonction ArcTangente et le tour est joué.



[6] T est la période de révolution en année et R le demi-grand axe de l'orbite elliptique en UA (Unité Astronomique distance Terre / Soleil, soit environ 150 millions de km).

[7] Facile à comprendre et donc à retenir. Multiplier par (-1) revient à faire un demi-tour. Donc multiplier 2 fois par (-1) revient à ne rien faire : (-1)(-1) = (+1). Encore plus fort. Multiplier par (i) revient à faire un quart de tour.

Donc (i)(i) = (-1), (-1)(i) = (-i), (-i)(i) = (+1) le tour complet est fait.



[8] De l'arabe « al zar » le dé.

[9] En effet, si un nombre positif est supérieur à 1 son carré est plus grand que le nombre de départ, exemple 100>10. Mais si un nombre positif est plus petit que 1 son carré est plus petit que le nombre de départ, exemple 0,01<0,1. On est dans ce cas avec ε.

ADASTA

Adhésions et Abonnements

Adhésions à titre individuel : 30 €
Adhésions à titre collectif : 80 €

L'adhésion donne droit à la revue Auvergne-Sciences, à des réductions sur les locations et les achats, à des invitations aux conférences et aux visites d'entreprises (une participation aux frais peut être demandée lors de certaines visites).

Permanences - elles sont assurées par les bénévoles:
lundi de 14h à 17h, mercredi de 9h à 12h
En cas d'absence laisser un message sur répondeur ou E-mail.

•

Adresser le courrier: **ADASTA,**
Centre Riche-Lieu
13 rue Richelieu - 63400 Chamalières

•

Siège social
10 rue de Bien-Assis - 63000 Clermont-Ferrand
Tél. 04 73 92 12 24
E-mail : adasta@wanadoo.fr
Site internet : www.adasta.fr

Dépôt légal mai 2013 - N° ISSN - 1166-5904

PROGRAMME DES CONFÉRENCES

Date	Thème abordé	Auteur
Mercredi 24 avril	L'arc-en-ciel	Sylvain HOUARD, Ancien chercheur au CEA Professeur de physique en classes prépa (section PSI) au Lycée St Louis à Paris Membre de l'ADASTA
Mercredi 22 mai	Les abeilles	Frédéric DELBAC Professeur Université Blaise Pascal Directeur-Adjoint du Laboratoire Microorganismes Génomes & Environnement (LMGE)-UMR-CNRS Université B.Pascal - Université d'Auvergne
Mercredi 12 juin	Maladies de Parkinson et Sclérose en plaques : l'alchimie des neurones	F. DURIF Professeur Biologie Faculté des Cézeaux
Mercredi 11 sept.	Pouvoirs et mystères du cerveau	Jean CHAZAL Neurologue Doyen Faculté de Médecine

PROGRAMME DES SORTIES

Visite de la roselière d'Aydat et conférence sur la pifométrie le 15 mai (journée)
Visite de la centrale 3CB de Bayet (Allier) le 30 mai et le 21 juin 2013 (matinées)

LES VISITES RÉALISÉES AU PREMIER TRIMESTRE 2013

Visite de Vernéa (incinérateur)

VISITE DU LABORATOIRE SCIENTIFIQUE DE LA POLICE JUDICIAIRE

COMPTE-RENDU RÉDIGÉ PAR PHILIPPE CHOISEL

Cette visite faisait suite à la conférence du 24 octobre 2012; elle s'est effectuée en 4 groupes d'environ 15 personnes, 2 groupes le mercredi 20 février, 2 groupes le jeudi 21 février, dans les nouveaux locaux de l'Hôtel de Police avenue de la République à Clermont-Fd.

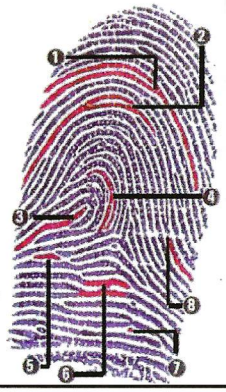
Deux étapes pour découvrir les techniques mises en oeuvre pour exploiter les empreintes digitales (ou papillaires), appelées aussi dermatoglyphes des doigts.

Dans une première salle nous découvrons les méthodes de "révélation" des empreintes laissées involontairement sur un site étudié. Ces méthodes sont différentes suivant le type de support, mais on distingue deux grandes catégories: les supports poreux (papier par exemple), qui sont placés dans une étuve puis traités par des poudres colorantes, les supports plus lisses (plastiques par exemple), que l'on plonge dans un bain de vapeur de cyanoacrylate de méthyle, adhésif très puissant, qui polymérise les empreintes. Les traces ainsi visualisées sont protégées ensuite pour une bonne conservation.

La deuxième salle est équipée d'ordinateurs permettant d'avoir accès au fichier national des empreintes digitales, qui comprend les données biométriques de plus de 4 millions de personnes. Les traces précédemment révélées, dont on cherche l'auteur, sont scannées et introduites dans ce fichier informatique. Celui-ci, après traitement interne, propose plusieurs "candidats" dont les empreintes semblent proches, triés par ordre décroissant de pertinence. C'est l'opérateur qui va décider d'attribuer la trace à tel ou tel "candidat".

Si l'opérateur décide, au vu des empreintes qu'il a sous les yeux, que la trace appartient à telle personne, on considère que la fiabilité est de 100%. Cela peut paraître étonnant, mais lorsqu'on étudie d'un peu plus près une empreinte digitale on se rend compte de la complexité du dessin.

1. **bifurcation** : strie qui se sépare en deux, formant une fourche
2. **éperon** : bifurcation avec un côté plus court que l'autre
3. **baguette** : strie droite
4. **enclos** : strie qui forme une boucle
5. **îlot** : strie courte isolée
6. **pont** : strie courte reliant deux stries parallèles
7. **point** : strie ponctuelle
8. **fin de pont** : fin d'une strie.

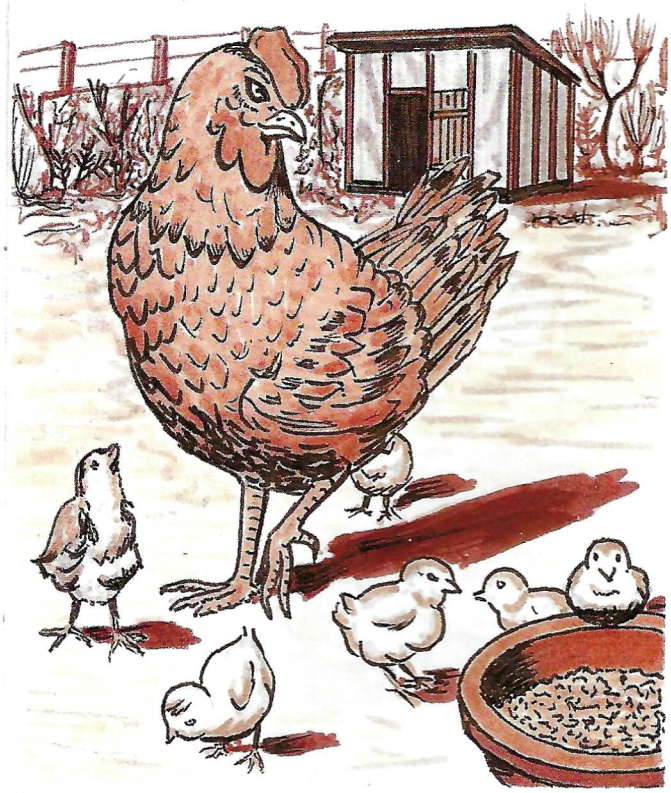


On trouve 8 types possibles de repères différents, indiqués sur la figure. Le nombre de combinaisons possibles sur une empreinte, ayant un ou plusieurs de ces repères, à telle ou telle position, est quasiment "infini". S'il est bien connu que tous les individus ont des empreintes digitales différentes, il l'est peut-être moins que pour un même individu tous les doigts ont des empreintes différentes. Il est précisé également que les empreintes existent déjà chez le fœtus et sont immuables toute la

vie. Même les vrais jumeaux ont des empreintes différentes, car les empreintes ne sont pas des caractéristiques génétiques. Il en résulte que la fiche d'identification d'une personne comporte les empreintes des dix doigts (et même de la paume de la main). La recherche informatique à partir d'une trace pourra donc se faire sur les dix doigts des personnes "fichées". Dans la réalité, comme c'est un gros travail, "même" pour un ordinateur, l'opérateur ne lance pas la recherche sur tout le fichier, il prédétermine d'une part une zone géographique probable, d'autre part il va présupposer le type de doigt concerné (index par exemple) lorsque la configuration de la trace le permet. Lors de la comparaison de la trace avec les empreintes d'un "candidat", l'opérateur voit tout de suite sur quelques repères s'il s'agit du bon "candidat". D'un point de vue légal il faut qu'il indique 12 repères identiques (situés au même endroit bien entendu) pour que l'identification soit effective.

L'unicité des empreintes digitales semble être connue depuis plus de 6000 ans. Elles ont été utilisées dans un passé lointain pour signer des documents. Utilisées déjà au XIXème siècle pour des enquêtes policières, c'est en 1902 qu'Alphonse Bertillon introduit en France cet outil, qui reste aujourd'hui très utilisé en raison de son excellente fiabilité et de son faible coût.

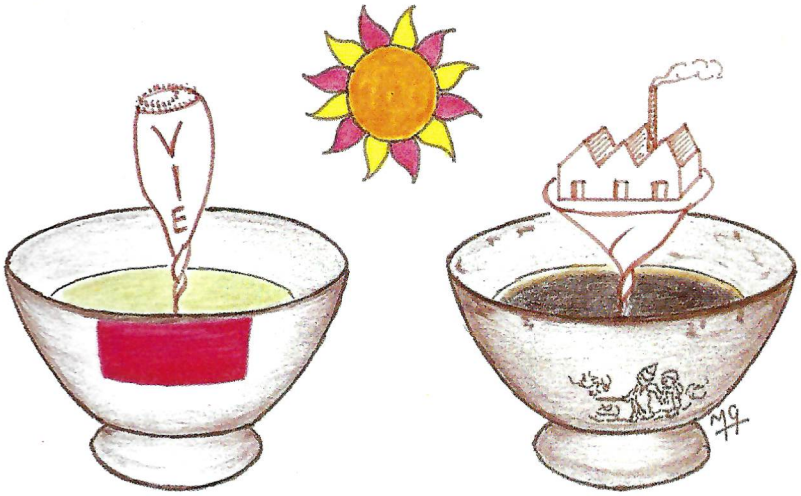
C'ÉTAIT POUR LES VITAMINES !



Entre le suc rocailleux et le Pâtural humide, deux champs, qu'un tertre séparait, se partageaient le flanc de la colline. Au pied du tertre, parmi les genêts, était un petit poulailler, de bois et de papier goudronné. Il appartenait à ce hameau de quatre feux, à mi-pente du mamelon d'en face. Aux moissons, les champs recevaient une poule et sa couvée pour glaner les grains échappés aux javelles, et le petit poulailler les abritait pour les nuits.

Chaque été, le garçon en assurait l'ouverture matinale et la fermeture vespérale. Ce faisant, il apportait à ses protégés une pâtée de pommes de terre cuites et de son, mouillée de petit lait. Mais il se demandait pourquoi les adultes affirmaient que le son sans farine et le petit lait sans fromage étaient bons pour la volaille.

Faisant quelques études, le garçon apprit plus tard que le son est riche de vitamine B_1 et que la vitamine B_2 donne sa couleur jaune-vert au petit lait...



DE SOUPE PRIMITIVE EN SOUPE PRIMITIVE

Si l'Homme, qui voit diminuer les combustibles fossiles, se pose questions, qu'il se tourne vers le passé, loin, très loin. Il verra, dans l'océan refroidi de la terre juvénile, le rayonnement solaire mitonner une soupe primitive de substances carbonées. Parmi elles, surgira la Vie, qui les brûlera pour croître, clarifiant ainsi la soupe qui finira par disparaître...

Qu'il concentre son attention sur ces temps révolus. Il verra la Vie se mettre à fabriquer ces molécules carbonées qui lui manquent, et injecter dans leur confection plus d'énergie qu'elles ne pourront lui rendre. Car la Vie a trouvé ses nouvelles sources, en oxydant le soufre et aussi l'azote, et en sollicitant le soleil, si constant.

Il verra, voici trois milliards et demi d'années, la bactérie bleue installer une solution planétaire: la photosynthèse végétale et son dangereux déchet, oxygène. Il verra la Vie maîtriser et même utiliser cet indésirable, et ce sera la respiration.

Dans le sillage, surgiront, avec les animaux qu'elles nourrissent, les algues, les prairies et les forêts, dont certaines, enfouies, feront la houille et le pétrole, soupe primitive de l'ère industrielle...

Imp. Vidal/Vichy IMPRIM'VERT®