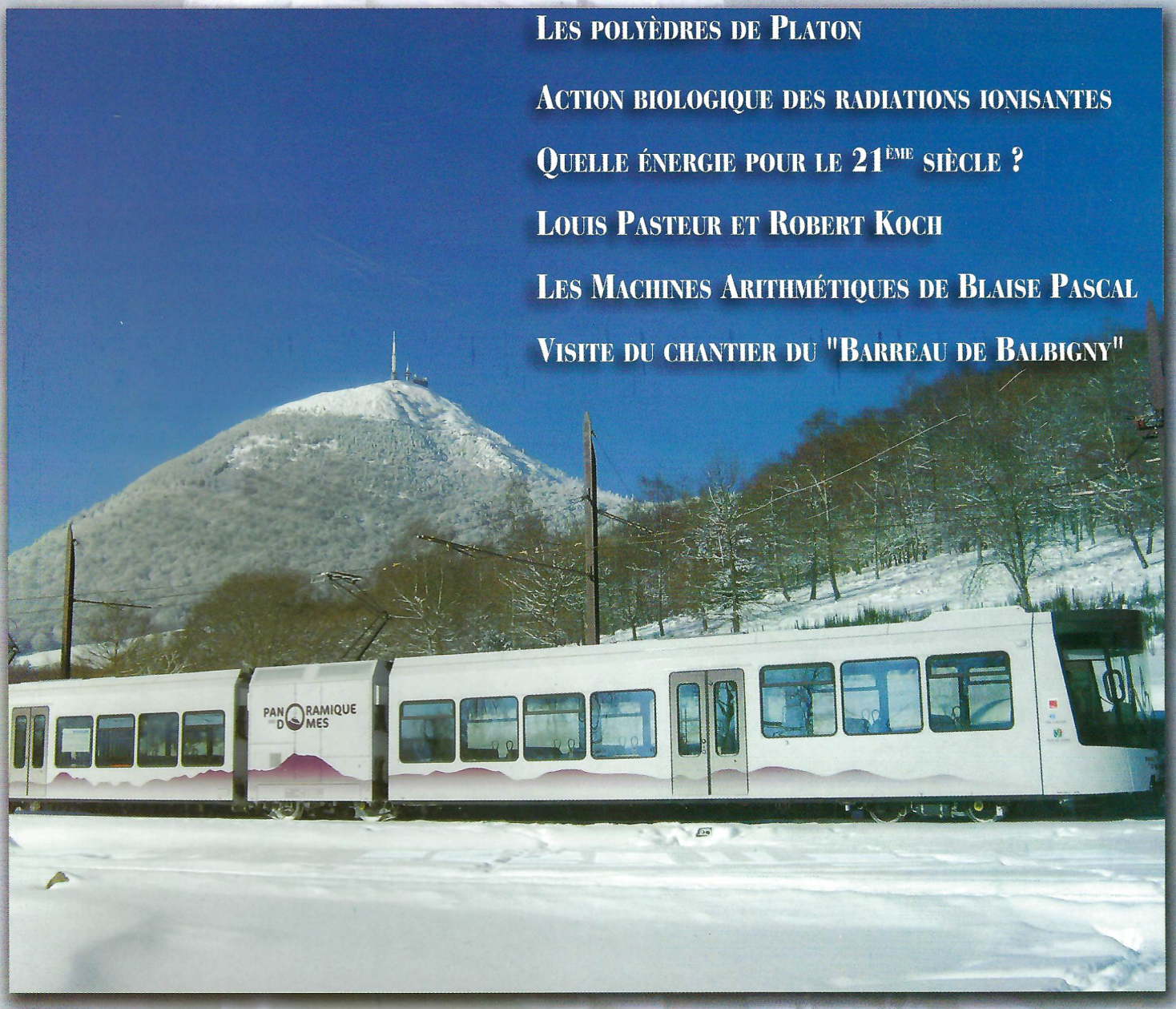
AUVERGNE Sciences

N° 78 - MAI 2012



LES POLYÈDRES DE PLATON

ACTION BIOLOGIQUE DES RADIATIONS IONISANTES

QUELLE ÉNERGIE POUR LE 21ÈME SIÈCLE ?

LOUIS PASTEUR ET ROBERT KOCH

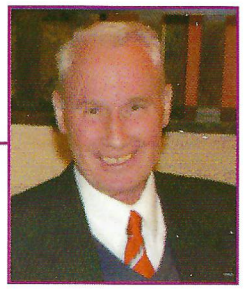
LES MACHINES ARITHMÉTIQUES DE BLAISE PASCAL

VISITE DU CHANTIER DU "BARREAU DE BALBIGNY"

Revue de l'ADASTA

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

EDITORIAL



Lors de l'Assemblée Générale, vous avez pu constater que L'ADASTA a terminé l'année 2011 avec des motifs de satisfaction :

- pour la première fois depuis 15 ans, les comptes sont positifs et vont permettre d'envisager des investissements productifs

- le nombre d'adhérents a fortement augmenté

L'ADASTA a proposé, lors de cette l'Assemblée, 3 grands projets pour 2012:

- Conception, réalisation et installation d'un grand cadran solaire de 2,5 m de haut sur 5m de longueur au sommet du puy de Dôme, près de la nouvelle gare du train à crémaillère. Après diverses conversations avec le Conseil Général, le projet semble évoluer car l'architecte des Bâtiments de France préfère que le cadran soit placé dans la gare du bas, et c'est cette solution qui est en nouvelle étude à l'Adasta. Le Conseil Général est très intéressé par ce projet ; il prendrait en charge les frais de réalisation et d'installation. A noter qu'un groupe d'adhérents a visité le site en travaux de ce train à crémaillère le 11 janvier dernier. La photo de couverture de ce numéro de la revue illustre cet évènement.

- Dans le corps du cadran est prévue la pose d'un grand baromètre à mercure. Un second baromètre identique sera installé dans la gare du haut, permettant de comparer les 2 valeurs de la pression barométrique et de renouveler ainsi l'expérience de Pascal.

- Organisation au second semestre d'une grande conférence à l'IFMA avec comme sujet : «émission des ondes électromagnétiques et leurs effets sur l'organisme».

Le premier conférencier sera notre Vice –Président Jean Chandezon et le second sera proposé par la SFEN.

Je tiens à remercier tous les membres de l'ADASTA pour toutes les actions entreprises et réussies. Elles ont nécessité compétence, dévouement et assiduité. Les résultats sont là et l'image de marque de l'ADASTA est particulièrement satisfaisante chez nos principaux partenaires : IESF, SFEN, Grandes Ecoles, Conseil Général, Municipalités, Entreprises.

Nos autres activités continuent : conférences et visites des sites ainsi que notre revue "Auvergne Sciences".

A ce sujet un appel d'offre auprès de différents imprimeurs de la Région Auvergne nous permet de réduire le coût et d'envisager d'éditer jusqu'à 3 revues par année.

Les membres de l'ADASTA qui souhaitent proposer des sujets sont les bienvenus et pourront contacter le secrétariat.

D'autres actions vont être entreprises auprès des élèves des lycées :
- initiations à l'astronomie avec notre planétarium transportable
- découvertes des cadrans solaires et des éclipses
- fonctionnalités du four à micro-ondes
- conférence sur les aspects scientifiques de l'orgue

D'autres sujets sont possibles avec les membres de l'ADASTA de bonne volonté et leurs compétences. Pas de sujets tabous s'ils sont à contenu scientifique.

Continuez à nous faire connaître vos remarques et suggestions pour nous permettre d'améliorer notre chère Association.

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 MECANIQUE AVANCÉE
MICHELIN Une meilleure façon d'avancer
EDF

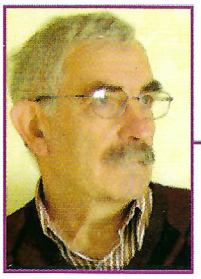
SOMMAIRE

Les polyèdres de Platon 1
Action biologique des radiations ionisantes 5
Quelle énergie pour le 21ème siècle ? 14
Louis Pasteur et Robert Koch 17
Les Machines Arithmétiques de Blaise Pascal 30
Visite du chantier du "Barreau de Balbigny" 31
Programme des activités ADASTA à venir (2012) 33
Histoires de plantes et autres 34

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

Photo de couverture : le train du puy de Dôme, photo Conseil Général
Remerciement également à nos auteurs pour les photos communiquées.

© toute reproduction partielle ou totale interdite.



LES POLYÈDRES DE PLATON

GÉRARD BAILLET
Ancien Ingénieur en opto-électronique
Membre de la S.A.F. et de la commission des cadrans solaires
Prix Henry Rey de la S.A.F. 2006

L'histoire de ces cinq polyèdres remonte à l'antiquité. Platon les associait aux quatre éléments et le cinquième au tout....

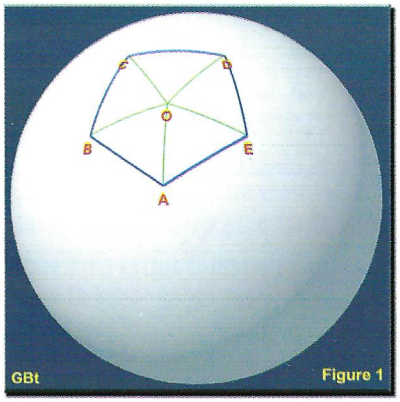
Ces polyèdres sont des volumes dont les faces sont formées de polygones réguliers et égaux, ils ne se coupent pas. Il n'existe que cinq polyèdres. La littérature contient des "démonstrations" prouvant qu'il ne peut en exister que cinq, ces démonstrations ne donnent pas de méthodes pour les définir (nombre de faces etc.).

La suite de l'article présente une méthode algorithmique pour les trouver, vérifier qu'ils sont "possibles" et déterminer automatiquement leurs caractéristiques à savoir :

Nombre :
- de côtés des polygones,
- de faces,
- de sommets,
- d'arêtes.

Cet algorithme peut s'appliquer à un programme informatique trouvant les caractéristiques des polyèdres, mais qui au départ, ignore la nature des polyèdres à trouver.

La méthode est fondée sur le pavage d'une sphère par des polygones curvilignes réguliers. Les côtés des polygones sont des segments de grand cercle[1]. Les sommets de chaque polygone curviligne sont aussi les sommets d'un polygone plan.



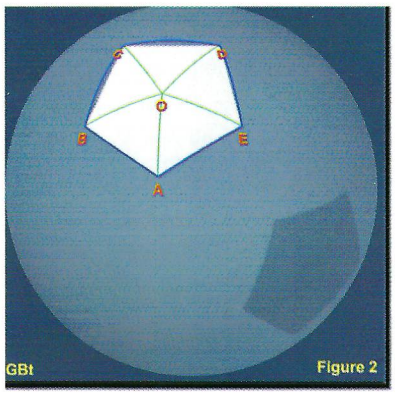
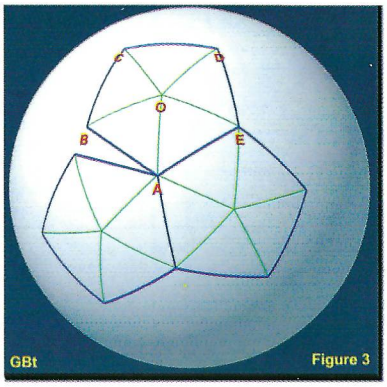


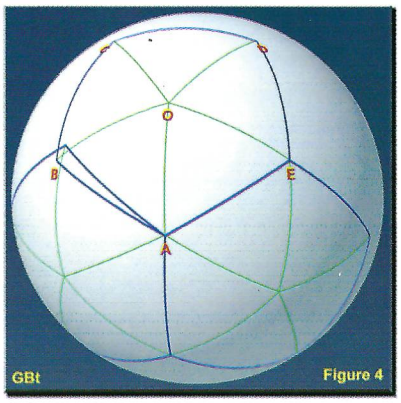
Figure 1 : un pentagone curviligne. Figure 2 : la sphère devient transparente et montre le polygone plan.

PAVAGE DE LA SPHÈRE

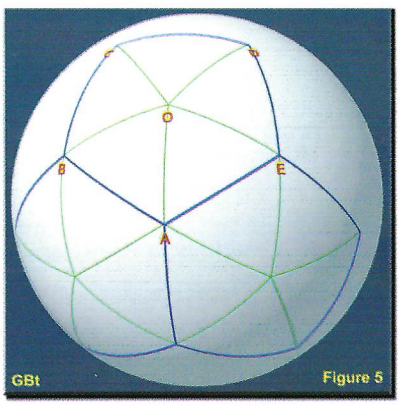
Nous pouvons maintenant commencer le pavage de la sphère en entourant, par exemple, le sommet A du polygone curviligne, par d'autres polygones identiques et jointifs comme sur la figure 3. Nous constatons que le remplissage est imparfait.



En sachant que les angles aux sommets du polygone curviligne changent avec la taille de celui-ci, voici une autre tentative avec un polygone plus grand, figure 4. Cette fois il y a un excès de remplissage.



La méthode par essais successifs n'est pas très élégante. Si les trois polygones sont jointifs, alors leurs angles aux sommets sont de 120°, et la trigonométrie sphérique, oubliée aujourd'hui, permet par un calcul simple[2] de trouver la bonne dimension du polygone pour obtenir un remplissage parfait. Après calcul on trace directement la figure 5.



Le problème est-il résolu pour autant ? Non ! On peut en effet se poser les questions suivantes :

Si l'on continue le pavage de la sphère est-ce qu'il y aura un reste non pavé ou la sphère sera-t-elle pavée sans manque ni superposition ? D'autre part quel sera le nombre de polygones ?

La géométrie sphérique permet de trouver simplement les polyèdres de Platon et leurs caractéristiques.

LE CALCUL

On part d'une sphère de rayon unité et des deux seules formules très simples suivantes :

Surface de la sphère

$$S_f = 4 \times \pi$$ Formule 1

Surface d'un triangle curviligne[3] dont les angles aux sommets sont A, B, O, exprimés en radian :

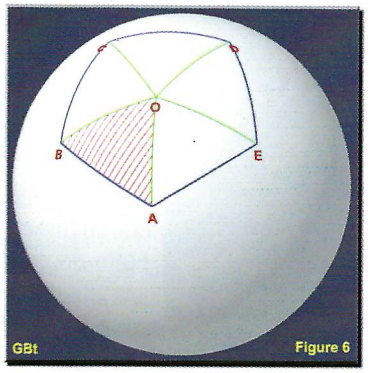
$$S_t = A + B + O - \pi$$ Formule 2

(1) Grand cercle : cercle à la surface de la sphère contenu dans un plan qui passe par le centre de la sphère
(2) Voir la suite - (3) La démonstrations est simple voir $ « Historique » à la fin

Pour automatiser la recherche on se donne les variables suivantes :

n_c Nombre de côtés du polygone curviligne
n_a Nombre de polygones curvilignes autour d'un sommet

Nous allons calculer la surface d'un polygone curviligne puis le nombre de polygones contenus dans la sphère et vérifier que ce nombre est entier.



Voir la figure 6

La surface du polygone est décomposée en triangles tel que ABO hachuré en rouge sur la figure 6.

Les angles seront exprimés en radian.

Dans le triangle ABO :

$$A = B = \frac{2\times \pi}{2\times n_a} \qquad \text{Formule 3}$$

$$O = \frac{2\times \pi}{n_c} \qquad \text{Formule 4}$$

Surface du triangle (formule 2) :

$$S_t = \pi \times \left[\frac{2}{n_c} + \frac{2}{n_a} - 1\right] \qquad \text{Formule 5}$$

ou

$$S_t = \pi \times \left[\frac{2\times (n_a + n_c) - n_a \times n_c}{n_a \times n_c}\right] \qquad \text{Formule 6}$$

Surface du polygone curviligne (en multipliant la surface du triangle par le nombre de côtés) :

$$S_p = \pi \times \left[\frac{2\times (n_a + n_c) - n_a \times n_c}{n_a}\right] \qquad \text{Formule 7}$$

Nombre de faces ou nombre de polygones (en divisant la surface de la sphère par la surface d'un polygone):

$$N_f = \frac{4\times \pi}{S_p} = \frac{4\times n_a}{2\times (n_a + n_c) - n_a \times n_c} \qquad \text{Formule 8}$$

Discussion des résultats.

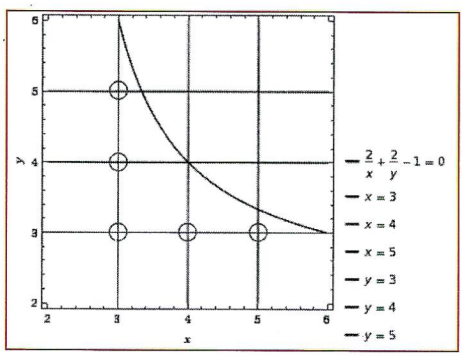
La première condition est que la surface du triangle S_t soit plus grande que zéro avec n_a et n_c supérieur ou égal à 3 et entier.
D'après la formule 5 il suffit de satisfaire cette inégalité :

$$\left(\frac{2}{n_a} + \frac{2}{n_c} - 1\right) > 0$$

La résolution de l'inéquation montre qu'il n'y a que cinq solutions, données dans le tableau ci-dessous.

n_c	n_a
3	3
3	4
3	5
4	3
5	3

Tableau 1



Les cinq solutions sont repérées sur le graphique à droite par des petits cercles.
Nota : au dessus et à droite de la courbe la valeur est négative.
Cette courbe est programmable sur :

WolframAlpha via Internet

Il reste à vérifier, à l'aide de la formule 8, que pour ces cinq cas le nombre de faces calculées est entier.

Le calcul pour les cinq cas montre que le nombre de faces est entier, la sphère sera donc remplie sans manque ni superposition.

n_c	n_a	Nb de faces	Dénomination
3	3	4	Tétraèdre
3	4	8	Octaèdre
3	5	20	Icosaèdre
4	3	6	Cube
5	3	12	Dodécaèdre

Tableau 2

On peut calculer maintenant d'autres caractéristiques : le nombre d'arêtes et le nombre de sommets.

Nombre d'arêtes ;

$$N_{ar} = N_f \times n_c / 2 \qquad \text{Formule 9}$$

Le nombre de sommets

$$N_{so} = N_f \times n_c / n_a \qquad \text{Formule 10}$$

Voici le tableau complet définissant les polyèdres :

Nb de côtés	Polygo / sommet	Nb de faces	Dénomination	Nb d'arêtes	Nb de sommets
n_c	n_a	N_f		N_{ar}	N_{so}
3	3	4	Tétraèdre	6	4
3	4	8	Octaèdre	12	6
3	5	20	Icosaèdre	30	12
4	3	6	Cube	12	8
5	3	12	Dodécaèdre	30	20

Tableau 3

On vérifie aisément que la formule d'Euler sur les graphes :

$$2 = N_f + N_{so} - N_{ar}$$ Formule 11

est valide pour les cinq cas.

CALCUL DES DIMENSIONS

On se réfère au triangle curviligne OAB de la figure 6.

Les angles aux sommets sont connus (Formules 3 et 4) il reste à calculer les côtés.

Calcul de l'arc AB

$$AB = \arccos\left(\frac{\cos(O) + (\cos(B))^2}{(\sin(B))^2}\right)$$ Formule 12

Calcul des arcs OA = OB

$$OA = OB = \arccos\left(\frac{\cos(B) + (\cos(B) \times \cos(O))}{\sin(B) \times \sin(O)}\right)$$ Formule 13

Voilà les valeurs de AB et OB en degrés décimaux.

ang_face : angle dièdre entre les faces.

		deg	deg	ang_face	Nom	ang face deg	mn	sec
nc	na	AB	OB					
3	3	109,47122	70,528779	70,528779	tetraedre	70	31	43
3	4	90	54,73561	109,47122	octaedre	109	28	16
3	5	63,434949	37,377368	138,18969	icosaedre	138	11	22
4	3	70,528779	54,73561	90	cube	90	0	0
5	3	41,810315	37,377368	116,56505	dodecaedre	116	33	54

Tableau 4

De chaque côté d'une arête il y a un plan qui contient le polygone plan, il est intéressant de trouver l'angle dièdre entre ces deux plans. Une remarque va nous faciliter grandement le calcul. À partir du tableau 3 on constate que pour chaque polyèdre il en existe un autre (ou le même) polyèdre qui a un nombre de sommets égal à son nombre de faces, par exemple : l'icosaèdre a 20 faces et le dodécaèdre a 20 sommets.

Nota : le tétraèdre a 4 faces et 4 sommets

Nous avons calculé la distance angulaire entre les sommets, il s'agit de AB, la distance angulaire entre les perpendiculaires aux deux plans sera la même et l'angle entre les deux plans sera 180° moins cet angle.

Exemple angle entre les plans des polygones plan de l'icosaèdre :

Distance entre les sommets du dodécaèdre 41,8103148958 l'angle entre les plans de l'icosaèdre sera de :

180 – 41,8103148958 = 138,1896851042

Ces valeurs sont reportées dans la colonne ang_face du tableau 4 et transcrites en degrés, minutes et secondes dans les colonnes de droite du tableau (entourées en rouge) à comparer avec la copie ci-dessous.

Inclination des plans des cinq figures regulieres.

Tetraedre	70 deg.	32 min.
Cube	90.	0
Octaedre	109.	28
Dodecaedre	116.	34 les adjoints de ceux-cy sont
Icosaedre	138.	12 mentionnez cy-dessus.

Dans : Invention nouvelle en l'algèbre par Albert Girard mathématicien (de 1629) téléchargé sur gallica.fr

On ne pourra qu'être respectueux du talent de ces anciens.

Longueur du côté du polygone plan : à partir de la formule 12

$$L_{pp} = 2 \times \sin\left(\frac{AB}{2}\right)$$ Formule 14

Rayon du cercle circonscrit au polygone plan à partir de la formule 13

$$R_{cc} = \sin(OA)$$ Formule 15

On trouve les valeurs des dimension linéaires pour les polygones plans :

Longueur du côté Rayon du cercle inscrit

		polyg plan	polyg plan
nc	na	côté	ray_cercl
3	3	1,6329931619	0,9428090416
3	4	1,4142135624	0,8164965809
3	5	1,0514622242	0,6070619982
4	3	1,1547005384	0,8164965809
5	3	0,7136441795	0,6070619982

Tableau 5

CONCLUSION

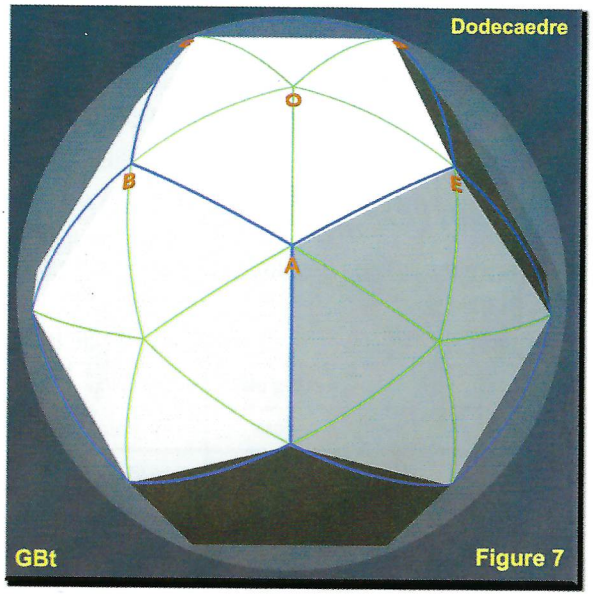
La méthode décrite ici me semble unique, en effet, je n'ai trouvé nulle part une méthode qui permet de trouver le nombre de faces des polyèdres réguliers de manière algébrique. Celle ci permet aussi de trouver des polyèdres limités par deux sortes de polygones, comme par exemple les ballons de football qui sont constitués de pentagones et d'hexagones, mais c'est une autre histoire...

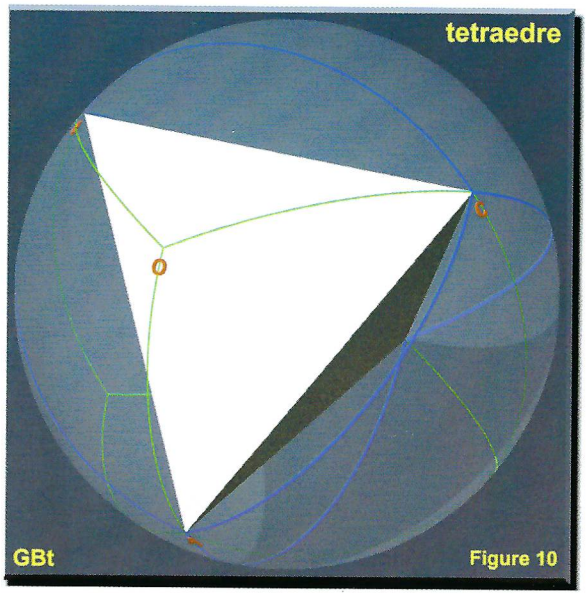
HISTORIQUE

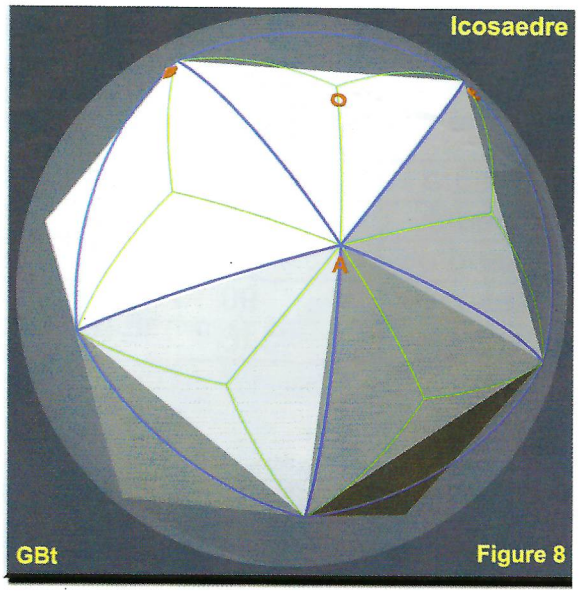
La formule 2 qui définit la surface d'un triangle sphérique quelconque est appelée dans les pays de langue anglaise «Girard's theorem» en l'honneur du mathématicien français Albert Girard (né 1595 à Saint Mihiel et mort en 1632 en Hollande) qui a publié le premier cette relation dans son ouvrage de 1629. Cette formule est importante car elle permet de calculer facilement des angles solides limités par des plans. Ces angles solides sont très utiles dans la détermination des échanges énergétiques par rayonnement (optique , radio électricité, échange thermique en infrarouge..).

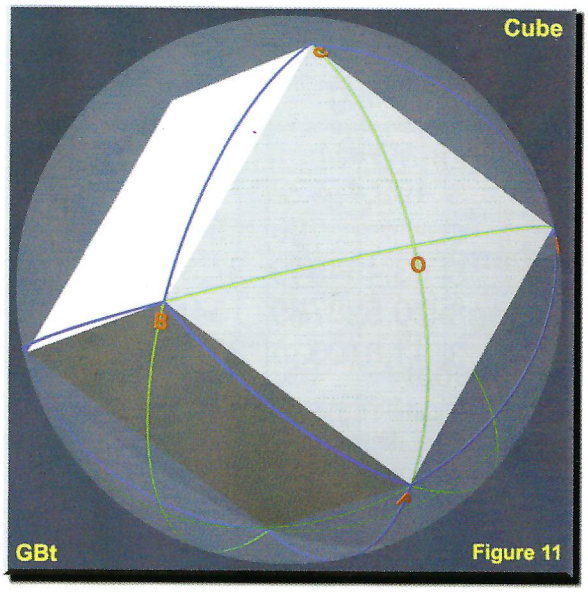
Voir une des démonstrations de ce théorème à "Rice University" de Houston à l'adresse internet :

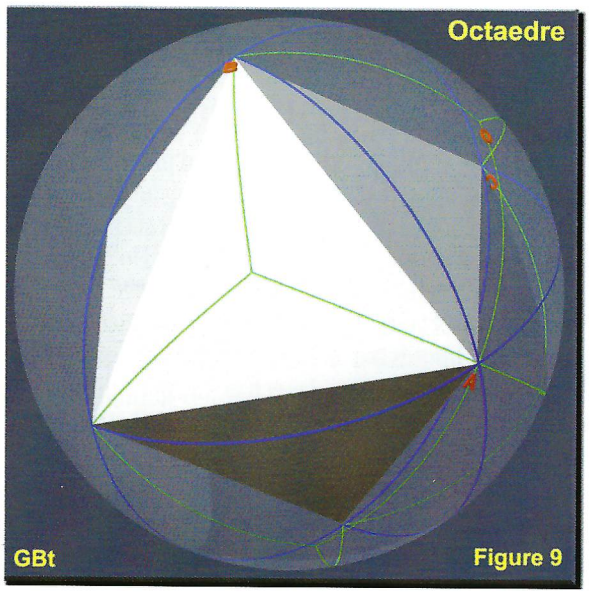
http://math.rice.edu/~pcmi/sphere/gos4.html

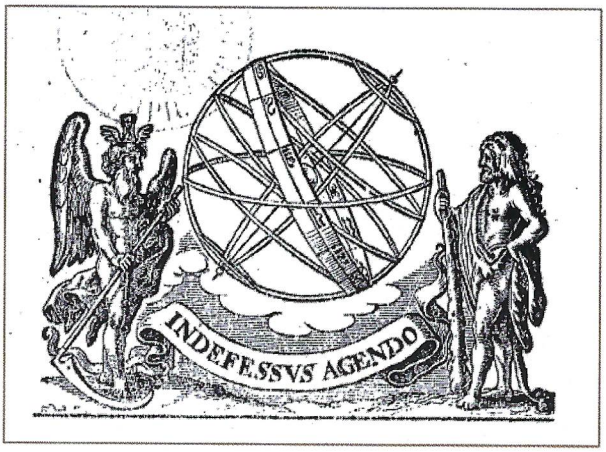




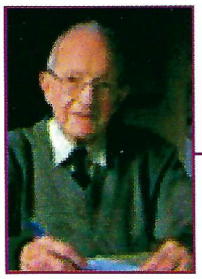








Frontispice de l'ouvrage de Albert Girard



ACTION BIOLOGIQUE DES RADIATIONS IONISANTES. UNITÉS DE MESURE ET LIMITES DE SÉCURITÉ. DONNÉES RELATIVES AUX CATASTROPHES DE TCHERNOBYL ET FUKUSHIMA

M. LOUIS AVAN
Professeur honoraire du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, membre actif de l'Adasta.

INTRODUCTION: dans deux numéros précédents d'Auvergne Sciences (N° 75 et 76) nous nous sommes intéressés aux recherches du "nucléaire civil" et sur les réacteurs dits "de la quatrième génération". Deux catastrophes récentes, Tchernobyl en 1986 et Fukushima ont attiré l'attention du grand public et des scientifiques, non seulement sur les risques, voire les dangers liés à la libération de flux importants de rayonnements "nucléaires", mais aussi sur la nécessité d'une clarification relative aux unités de mesure et d'efficacité biologique de ce qu'on appelle les "radiations ionisantes", ne serait-ce que pour éviter de graves confusions !

I) LES PREMIÈRES LEÇONS DE L'HISTOIRE DES RADIATIONS

Quelques semaines seulement après la découverte des rayons X par W. RÖNTGEN (janvier 1896), la nouvelle se répandit dans le monde entier. Très vite leurs propriétés pénétrantes furent exploitées à des fins médicales. Ainsi naquirent la "radiologie" et la "röntgenthérapie", d'abord sans le souci de ce que de telles radiations pouvaient provoquer d'effets délétères.

Pourtant, dès 1896, Elihu Thomson, l'inventeur du moteur à courant alternatif synchrone, exposant délibérément un de ses doigts aux rayons X en vue de réaliser des observations précises, découvrit des brûlures caractéristiques.

La même année, Thomas Alva Edison était engagé dans le développement d'une lampe fluorescente à rayons X quand il remarque que son assistant, Clarence Dally, se trouvait si gravement "intoxiqué" par les nouvelles radiations qu'il en perdit les cheveux et que son cuir chevelu devint le siège d'inflammations et d'altérations importantes. Vers 1904 Dally développa des ulcères aux mains et aux bras qui se transformèrent rapidement en cancer et provoquèrent sa mort.

Durant les décennies suivantes, de nombreux radiologistes et médecins développèrent brûlures et cancers des radiations X. Plus de cent "manipulateurs" payèrent de leur vie leur exposition imprudente à de tels rayonnements. Ces événements dramatiques conduisirent les professionnels à développer toute une série de précautions, tandis que naissait une nouvelle branche de la science: la "radiobiologie".

Les rayonnements des substances radioactives ne furent pas immédiatement reliés aux rayons X. En 1906, Henri Becquerel, découvreur en 1896 du phénomène de Radioactivité, se brûle lui-même accidentellement en transportant dans sa poche un matériau radioactif. La découverte du polonium et du radium en 1898 par Pierre et Marie Curie engendra - avec l'importance des applications médicales du radium – la naissance de la "curiethérapie", par analogie avec la "röntgenthérapie": les rayons alpha, bêta et gamma exercent sur les cellules vivantes une action "comparable" à celle des rayons X...avec les mêmes effets délétères: Pierre Curie provoqua délibérément le même type de brûlure qu'Henri Becquerel et Elihu Thomson. Des accidents graves ont été signalés par Marie Curie elle-même, au tome II de son Ouvrage de Radioactivité (Editions Hermann 1938):

«Les ouvrières chargées d'étendre les peintures lumineuses au radium avaient la fâcheuse habitude de mouiller le pinceau avec leurs lèvres. L'ingestion de petites quantité de radium, ainsi fréquemment répétée, a produit chez plusieurs de ces ouvrières des lésions qui apparurent chez quelques-unes à une époque où elles avaient abandonné le travail en question. Les lésions consistaient dans une nécrose envahissant les mâchoires et l'intérieur de la bouche et dans un trouble profond apporté à la constitution du sang, nommé "anémie pernicieuse". L'exploration faite par les "méthodes de la radioactivité" a prouvé chez les personnes atteintes la présence, dans le corps, de radium révélé par la production de son dérivé le "radon" et de dépôt actif (lui-même dérivé du radon).» (Marie Curie, loc. cit. p 959)

Marie Curie, elle-même, transportant quelques centigrammes d'une substance très active, fut atteinte de brûlures caractéristiques. Sa fille, Irène Joliot-Curie, à la suite du bris d'une ampoule contenant du polonium, nettoya de ses mains le sol pollué, interdisant toute intervention de sa collaboratrice. Irène Joliot-Curie mourut prématurément en 1956.

La peau et le sang ont longtemps été considérés comme témoins critiques de l'action des radiations ionisantes, les altérations de la formule sanguine constituant le mode de diagnostic. Le risque principal est l'apparition d'une complication "hématopoïétique". Dans le cas des médecins radiologistes morts aux Etats-Unis entre 1928 et 1948, une étude statistique de March (la première étude de biostatistique concernant les radiations) établit que 4,68% de ces médecins avaient succombé à des leucémies, alors que le pourcentage n'est que de 0,51 pour les médecins non radiologues décédés pendant la même période. Or ces deux éléments: organes critiques et biostatistique des radiations vont exiger de nouvelles mesures et des méthodes plus élaborées, d'autant plus qu'un double champ d'exploration va apparaître à partir de 1933 – premier cyclotron d'Ernest O. Lawrence construit à l'Université de Berkeley – et de 1942 – premier "réacteur nucléaire" construit sous la direction d'Enrico Fermi à Chicago.

Le type d'accélérateur réalisé à Berkeley était en fait "une source copieuse de neutrons", particules récemment découvertes par James Chadwick (1932). Lawrence et ses collaborateurs exposèrent des rats de laboratoire aux neutrons rapides engendrés par le cyclotron et estimèrent que "l'efficacité mortelle" de telles radiations était deux fois et demie plus importante que celle des rayons X.

Quant aux réacteurs, ils produisaient une quantité énorme de neutrons, avec bien d'autres formes de radiations. De même le développement des "accélérateurs de particules à haute énergie", autre source prolifique de radiations, imposera, avec celui des réacteurs "à neutrons", la création d'une médecine spécifique en même temps qu'une étude plus approfondie du mécanisme de l'action biologique des radiations ionisantes, et d'autant plus qu'à la fin des années 1990, l'avènement des vols spatiaux va nécessairement attirer l'attention sur certains types de radiations – les rayons cosmiques de haute intensité et énergie, les protons des ceintures de Van Allen, particules de haute énergie "captées" dans le champ magnétique terrestre, les ions lourds présents dans les flammes solaires ... - et envisager leurs conséquences sur la santé des cosmonautes.

Un certain nombre de confusions, notamment aussitôt après la catastrophe de Tchernobyl (mélange d'unités non définies) – un peu moins après celle de Fukushima (où beaucoup d'informations ont d'abord manqué, autre source d'incertitudes) …tout cela nous semble imposer deux types de clarifications:

1) Qu'appelle-t-on "radiations ionisantes" ?

2) Comment les unités essentielles se sont-elles précisées au cours d'une histoire d'un peu plus d'un siècle ?

II) Définitions relatives aux radiations ionisantes:

1) Une particule directement ionisante est une particule chargée [électron, proton, particule alpha (noyau d'hélium) …] possédant une énergie cinétique suffisante pour provoquer l'éjection d'un électron "planétaire" hors de son orbite. Une telle éjection se traduit par la formation d'une paire d'ions, à savoir l'électron libre et l'atome électriquement chargé du fait de son "ionisation".

2) Une particule indirectement ionisante est une particule neutre (photon X ou gamma, neutron) qui libère des particules directement ionisantes. Ainsi, dans le cas des photons X ou gamma, la production d'électrons par effets photoélectrique, Compton ou même matérialisation (dans le cas de rayons gamma d'énergie appropriée, et qui engendrent dans le champ des noyaux atomiques la formation de paires e+, e-). Quant aux neutrons ils peuvent interagir directement avec les noyaux atomiques au cours de réactions du type (n,p), (n,d), (n,α) …

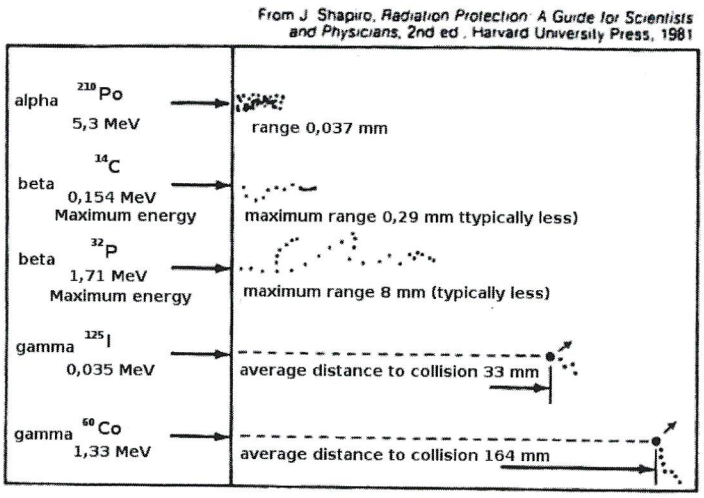
3) Une radiation ionisante est un rayonnement formé de particules ionisantes, directement ou indirectement.

4) Mécanisme de l'action biologique (premier regard). Prenons l'exemple d'un photon X ou gamma incident (processus d'action ionisante indirect): l'électron photoélectrique éjecté –relativement rapide- peut donner naissance à un radical libre hautement réactif, qui peut diffuser assez loin et attaquer alors une molécule cible –objet biologique-. Cette action indirecte, dans laquelle le dommage biologique intervient par l'intermédiaire d'un radical libre peut être aisément schématisé:

Photon X ou gamma incident
↓
Electron rapide (e-)
↓
Formation d'un radical ionique
↓
Radical libre
(par exemple, l'eau "biologique"
donnera ensuite les radicaux H• et OH•)
↓
Induction d'une modification chimique
due à une rupture de liaison moléculaire
↓
Effet biologique
(attaque des ADN, des protéines, des cellules)

Les premières étapes du processus peuvent intervenir presque instantanément (ionisation en ~10^{-16} seconde, modification moléculaire en ~10^{-9} seconde). L'action biologique peut intervenir beaucoup plus tard (heures ou années …) en fonction du type de dommage concerné. Un premier facteur déterminant est le coefficient appelé "Transfert d'Energie Linéique" (TEL), proportionnel au nombre de paires d'ions créés par unité de longueur de trajectoire. On peut l'exprimer, par exemple, en keV par micromètre de trajectoire.

On peut illustrer qualitativement l'action ionisante de certains rayonnements (d'après J. Shapiro "Protection contre les radiations: un guide pour scientifiques et médecins" – Harvard Ed. University Press 1981).



Un examen plus approfondi de l'action biologique des radiations exige une étude sérieuse des unités essentielles. Voici un historique rapide de l'évolution des conceptions.

III UNITÉS DE MESURE DE RADIATIONS IONISANTES

III-1 Le röntgen, unité d'exposition.

Le röntgen, unité historique, fut pendant longtemps la seule unité dosimétrique employée. On la rencontre encore dans certaine littérature ainsi que dans les mesures aéroportées effectuées dans la région de Fukushima par L'US Department of Energy, entre le 30 mars et le 3 avril 2011 (réf. Carte des débits de doses).

"Le röntgen est la quantité totale de radiation qui libère dans 1 cm^3 d'air standard (conditions normales de pression, température, humidité) une charge électrique d'ionisation transportant 1 unité électrostatique de chaque signe".

Il s'agit d'un "effet intégré" qui correspond dans l'air à la production de

1 / $4{,}80.10^{-10}$ = $2{,}08.10^9$ paires d'ions par cm^3 d'air (ou 1,293 mg d'air standard).

Pour des rayons gamma compris entre 0,1 et 3 MeV – domaine de la radioactivité – 1 röntgen (1 R) représente dans l'air une absorption de 83 ergs par gramme (1 erg = 10^{-7} joule), et dans l'eau une absorption de 93 ergs par gramme: or les tissus biologiques ont une consistance moyenne voisine de l'eau.

Au röntgen on associe le taux d'irradiation ou débit de dose en "röntgen par heure" (R/h) ou "milliröntgen par heure" (mR/h). En 1902 la proposition d'une dose maximale admissible était de 10 röntgens par jour. Elle va passer en 1925 à 0,2 röntgen par jour ! Dans les zones concernées par la catastrophe de Fukushima, les débits de dose vont d'une valeur supérieure 300 mR/jour à Fukushima-Daiichi à 0,72 mR/jour (la mer intérieure). Ces indications de l'US Department of Energy ne précisent évidemment pas en elles-mêmes la nature et l'énergie des radiations.

III-2 Unités de dose absorbée (valable en toute circonstance).

On a d'abord défini le "rad", qui est déjà une grandeur dosimétrique fondamentale, valable quels que soient le type de rayonnement et son énergie.

Par définition 1 rad = 100 ergs/g = 10^{-2} joule/kg. On définit de même le débit de dose absorbé. Le mérite du rad est d'avoir ouvert la voie aux unités du Système International (S.I.) et d'être valable pour tout type de rayonnement.

III-3 Unités S.I.de dose absorbée.

Le "gray" – du nom du physicien anglais Stephen Gray (1670 ? – Londres 1736), l'un des fondateurs de l'électrostatique - correspond à une dose d'énergie absorbée de 1 joule par kg:

$$1 \text{ gray (Gy)} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

On voit que 1 rad = 10^{-2} joule/kg = 10^{-2} Gy.

III-4 Dose biologique

La dose absorbée n'est pas encore, en elle-même, une mesure adéquate de l'effet biologique. Dans le cas des ionisations provoquées par les neutrons, les protons, les particules alpha, les ions lourds du rayonnement cosmique, la densité d'ionisation le long des trajectoires est beaucoup plus importante [les neutrons, nous l'avons dit, interviennent par la formation de protons de recul, voire de particules alpha de recul: réactions dites (n,p), (n,α), etc.]. Les ionisations correspondantes se traduisent par la formation d'"amas" appelés "clusters" ("grappes"). Or la probabilité de lésion dépend de la concentration des dommages moléculaires induits dans un site critique (la "cible"): gène, chromosome, cellule. A dose absorbée égale, exprimée en grays, ces particules vont induire, généralement, une "blessure" plus importante que les rayons X, gamma et les électrons d'énergie modérée. On devra donc faire intervenir un "Facteur d'Efficacité Biologique Relative", noté aujourd'hui FER (bien sûr le FER des divers rayonnements varie en fonction du transfert d'énergie linéaire TEL, mais cette relation est complexe).

La dose biologique s'exprime en sievert (du nom du physicien suédois Rolf Sievert (1896 – 1966), l'un des pionniers de la radiologie médicale.

a) Pour les rayons X et gamma (jusqu'à 3 MeV) et pour les électrons (au moins jusqu'à 1,5 MeV); le facteur d'efficacité biologique (FER) est pris égal à l'unité. FER = 1. D'où la dose biologique correspondant au sievert (Sv) = dose en gray x 1.

b) plus généralement, pour toute radiation

Dose biologique absorbée en sieverts = Dose en grays x FER

Remarque: le gray est – théoriquement – une grandeur physique mesurable en joules par kilogramme. Le sievert ne se mesure pas, il se calcule, en appliquant un facteur de pondération: le FER. De plus la nocivité d'un rayonnement varie non seulement en fonction de sa nature, mais aussi en fonction des parties du corps pouvant être préférentiellement irradiées.

Sauf exception que nous préciserons, nous considérons plus bas des expositions moyennes "corps entier". Enfin rappelons qu'anciennement – et c'était déjà un progrès par rapport au röntgen – la dose biologique absorbée, dérivée du rad, s'exprimait en "rem" (röntgen equivalent for men).

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ sievert}$$

En résumé le FER = Sv / Gy = rem / rad. Nous donnons ci-dessous, pour les différents types de radiations, une évaluation du Facteur d'Efficacité biologique Relative (FER).

(Réf Jean ROSSEL "Physique Générale" – Ed Neuchâtel)

Radiation	FER en sievert par gray
Rayons X et gamma	1
Electrons	1 à 1,5 (électrons de haute énergie)
Neutrons lents ou thermiques	5
Neutrons rapides, protons, deutérons	10
Particules alpha et ions lourds	20

Les débits de dose biologique absorbée s'expriment en sievert par an, sievert par heure, millisievert par heure etc. Enfin on exprimera la dose collective d'une population en personnes-sieverts: 1 Sv pour chacune des 100 personnes se note "100 personnes-Sv".

IV Unités radioactives

Il nous reste à caractériser brièvement le comportement d'une source radioactive. "L"activité" d'une substance radioactive est le nombre de désintégrations dont elle est le siège par unité de temps. A l'origine l'activité s'exprimait – naturellement – en "curies" (Ci). Le curie correspondait à l'activité radioactive d'un gramme de radium en équilibre avec le radon dérivé. Les mesures ont montré que le curie correspond à $3{,}70.10^{10}$ désintégrations par seconde (un millicurie $3{,}70.10^{7}$).

Exemples:

- bombe atomique d'Hiroshima équivalente à 20 kilotonnes de TNT: 2.10^{10} curies (une minute après l'explosion)

- bombe au cobalt 60 pour stérilisation des glossines: 2 à 5 Ci

Unité aujourd'hui retenue: le becquerel (Bq) est la quantité d'élément radioactif.siège d'une désintégration par seconde:

$1 \text{ Ci} = 3{,}7.10^{10}$ Bq $1 \text{ Bq} = 2.7.10^{-11}$ Ci

L'activité d'une substance radioactive est une donnée essentielle en radioprotection (manipulation de substance, contact accidentel, ingestion).

Transformations radioactives: un nombre initial N_0 de noyaux radioactifs d'un type donné diminue au cours du temps suivant une loi exponentielle de la forme:

$$N(t) = N = N_0 e^{-\lambda t}$$

λ est la constante radioactive, ou probabilité de désintégration d'un noyau par unité de temps. Son inverse $\tau = 1/\lambda$ est la vie moyenne. La demi-vie, ou période T, est le temps au bout duquel la moitié du nombre initial N_0 d'atomes (et de noyaux !) a disparu:

$N_0 / 2 = e\text{-}\lambda T$, $T = \text{Ln}2 / \lambda = 0{,}693 / \lambda = 0{,}693\ \tau$

Exemples (réf Encyclopedia Britannica 1998 – Notée E.B.1998 dans la suite)

Tritium $^{3}_{1}H$	T = 12,26 années	$^{226}_{88}Ra$	T= 1620 ans
$^{14}_{6}C$	T = 5568 ans	$^{224}_{86}Rn$	T= 3,8 jours
$^{90}_{38}Sr + ^{90}_{39}Y$	T = 28 ans	$^{238}_{92}U$	T= 4,51.10^{9} ans
$^{131}_{53}I$	T = 8,1 jours	$^{239}_{94}Pu$	T = 24 400 ans
$^{137}_{59}Cs$	T = 30 ans		

L'activité d'un échantillon R = λN, nombre de désintégrations par seconde, s'exprime également en becquerels.

Le tableau suivant compare, à titre d'exemple, des périodes radioactives, les périodes biologiques correspondantes en cas d'ingestion, et les périodes effectives pour l'organe critique. On notera la toxicité élevée du strontium, du radium, du plutonium et du polonium. Le corps entier peut être l'organe critique si l'élément se répartit de façon uniforme).

(Réf. Daniel Blanc "les Radioéléments" – Ed. Masson 1966)

Radioélément	Période radioactive (Tr)	Période biologique (Tb) (élimination par excrétion)	Période effective pour l'organe critique (Te)
Tritium $^{3}_{1}H$	12,26 ans	12 jours	12 j (corps entier)
$^{14}_{6}C$	5568 ans	10 jours	10 j (corps entier
$^{24}_{11}Na$	15 heures	11 jours	14,4 h (corps entier)
$^{32}_{15}P$	14,45 jours	257 jours	13,5 j (corps entier)
$^{45}_{20}Ca$	165 jours	50 ans	162 jours (os)
$^{60}_{27}Co$	5,3 ans	9,5 jours	9,5 jours (os)
$^{90}_{38}Sr$	28 ans	50 ans	18 ans (os)
$^{131}_{53}I$	8,04 jours	138 jours	7,6 jours (thyroïde)
$^{210}_{84}Po$	138,4 jours	60 jours	42 jours (rate)
$^{226}_{88}Ra$	1620 ans	45 ans	44 ans (os)
$^{239}_{94}Pu$	24 400 ans	200 ans	200 ans (os)
Remarque: 1/Te ~ 1/Tr + 1/Tb (formule approchée)			

V Problèmes de doses maximales admissibles

Pour bien comprendre ce sujet qui comporte deux aspects :
- irradiation par des rayonnements extérieurs
- concentration interne de certaines substances radioactives

il est essentiel de rappeler quelques données de base, hors de toute confusion ou dérive passionnelle et médiatique. Deux sources naturelles nous concernent directement: les rayons cosmiques, la radioactivité naturelle présente dans notre corps.

V-1 Exposition aux rayons cosmiques en divers lieux. La dose moyenne est exprimée en millisievert par an.

Localisation	Dose moyenne en mSv / an
Niveau de la mer en zone tempérée	0,20 à 0,40
Altitude 1500 m	0,40 à 0,60
3000 m	0,80 à 1,20
12 000 m	28
36 à 600 km	70 à 150
Espace interplanétaire	180 à 250
Ceinture de Van Allen	< 15 000
Flamme solaire (protons + hélium)	< 10 000

V-2 Dose externe due à la radioactivité naturelle (sol et roches)

Source	Dose en mSv par an
Régions ordinaires	0,25 à 1,6
Régions actives	
Granite en France	1,8 à 3,5
Argiles schisteux + aluns (Suisse)	1,6 à 2,2
Dépôts alluviaux de monozite (Brésil)	5 à 10
Sables de monazite (Inde)	3,7 à 28

Plus généralement, de larges domaines de variation sont dus aux différences de teneurs en potassium 40, radium, uranium et thorium dans la croûte terrestre. Nous avons pu vérifier, sur certains granits de Normandie pulvérisés très finement et incorporés à un gel nucléaire ionographique, ensuite coulé sur plaque de verre, la présence de trajectoires de particules alpha, caractéristiques des dérivés de l'uranium et du thorium, substances concentrées au cours de l'histoire géologique de ces granits.

Le problème du radon ($^{224}_{86}Rn$): dérivé de l'uranium, émanation du radium ($^{226}_{88}Ra$), ce gaz peut pénétrer dans les bâtiments par l'intermédiaire des sols, des murs, et être stocké, notamment dans les caves (sa période est légèrement inférieure à 4 jours). En l'absence de ventilation périodique, les occupants de tels locaux peuvent absorber par inhalation jusqu'à 100 mSv par an.

V-3 Dose moyenne annuelle totale pour l'ensemble du corps humain: compte tenu de toutes les sources naturelles, environnementales (présence de réacteurs nucléaires estimée à 0,02 mSv/an, hors personnel concerné professionnellement), médicales (radioscopie X etc.) elle est estimée pour l'ensemble de la population mondiale à 2,4 mSv/an (données du Comité Scientifique de l'ONU sur l'effet des radiations atomiques).

L'organisme humain normal, du fait de sa constitution (Potassium 40, carbone 14, Tritium, ...) est soumis en moyenne à 8000 désintégrations par seconde de radioéléments naturels, soit 8000 becquerels pour une dose voisine de 0,2 mSv/an.

VI Sievert et action cellulaire

L'action des radiations sur les cellules inclut l'interférence avec la division cellulaire, les dommages chromosomiques, les lésions sur les gènes eux-mêmes (mutations), les transformations néoplasiques (variations analogues à l'introduction d'un cancer), et la mort des cellules. Les mécanismes à travers lesquels ces transformations sont produites ne sont pas tous pleinement compris, mais chaque variation est considérée comme le résultat final des altérations chimiques évoquées plus haut: formation de radicaux libres initiés par toute radiation traversant de manière aléatoire la cellule biologique.

Les molécules de tous types constituant les cellules peuvent se trouver altérées par l'irradiation, mais l'ADN du matériel génétique constitue une cible critique, et la lésion d'un simple gène peut suffire à tuer ou à altérer profondément la cellule.

Une dose de 1 à 2 sieverts, qui a des chances de tuer une cellule en cours de division, produit des douzaines de lésions dans les molécules d'ADN de la cellule. Bien que la plupart de ces lésions soient normalement "réparables" grâce au processus réactif des molécules d'ADN intracellulaires, celles qui restent lésées ou insuffisamment restaurées peuvent donner lieu à des variations permanentes dans les gènes affectés (mutations) ou dans les chromosomes sur lesquels les gènes sont basés.

Ce seuil de 1 à 2 Sv est donc important, même si les cellules "non-divisantes" peuvent résister plusieurs fois à une telle intensité de dose absorbée sans signe clair de lésion. Il apparaît que les cellules qui sont en cours de division pour la première fois sont les plus fragiles (d'après les travaux sur les souris de laboratoire).

Un point particulier concerne les particules fortement ionisantes: la pente de survie cellulaire est pratiquement indépendante de la dose et de la vitesse de dose (en mSv/heure); la mort d'une cellule ainsi atteinte par une seule particule est presque certaine, les lésions produites étant relativement irréparables.

Pour toutes les autres radiations, la proportionnalité observée entre la fréquence des mutations et la dose de radiations absorbée a des implications importantes quant à la santé des populations humaines. Ce fait impliquerait que même une faible dose d'irradiation donnée à un grand nombre d'individus pourrait introduire des mutations génétiques dans les populations, si les individus nombreux faiblement irradiés se trouvent en âge de procréation au moment de l'irradiation. Une évaluation statistique [E.B.1998 tome 25 (Macropedia) p 491] donnerait sur un million d'enfants de 300 à 500 anomalies génétiques – toutes gravités comprises – dont 200 avortements, attribuables à l'irradiation purement naturelle de 2,4 mSv / an de la population génitrice. Nous donnons cette information statistique sous réserve: le problème délicat des faibles doses restant très ouvert. Les comparaisons n'ont pas été réalisées avec les populations vivant en altitude (Népal). Cette question des faibles doses est légitimement très discutée.

VII Quelques informations sur les doses maximales admissibles

Nous partons de la moyenne mondiale annuelle "naturelle" de 2,4 mSv. Mais cette moyenne ne doit pas engendrer la confusion: en Auvergne, en Corse et en Bretagne cette dose "naturelle" peut atteindre, en certains endroits, 4 ou 5 mSv.

• Une dose unique inférieure à 0,20 Sv (200 mSv) sur l'ensemble du corps humain ne provoque pas d'effet biologique immédiatement détectable. En France la limite supérieure pour les intervenants en situation d'urgence est de 100 mSv.

• Les conséquences sur la santé sont démontrées et suivies à partir de 200 à 300 mSv. Vers 300 mSv: peu de signes cliniques, mais nausées observées pour quelques personnes.

• Vers 700 mSv: nausées, fièvre, nécessité de suivi médical (mal des radiations, contrôle des zones hématopoïétiques).

• La zone de 1 à 2 Sv est appelée "sublétale": perte d'appétit, maux de gorge, pâleur et diarrhée. Nécessité d'hospitalisation. Pas de décès sauf complications.

• De 2,5 à 5 Sv: début et milieu du risque létal à 3 semaines. Nausées et vomissements en quelques heures. Commencement de la perte de cheveux, perte d'appétit, malaise général, fièvre, hémorragie, pâleur conduisant à une émaciation rapide. Mort dans 50 % de la population en moins de 3 semaines.

• De 6 à 10 Sv: zone supralétale en moins de 2 semaines. Mort pour 100 % des personnes irradiées.

• 10 Sv: mort pour tous les mammifères.

VII-1 Evolution des normes pour la population générale

• Jusqu'en 1960, la dose admissible, dose tolérable pour l'ensemble du corps était fixée à 1 mSv par semaine (hors irradiation naturelle). Un individu soumis à un tel régime accumulerait en 30 ans une dose biologique voisine de 2 sieverts (dose sublétale ! si elle était reçue d'un seul coup).

• Plus récemment cette dose maximale a été ramenée, annuellement, entre 2 et 5 mSv 'plus les 2,4 mSv de dose naturelle).

Dans le grand public il faut tenir compte de la sensibilité plus grande des femmes enceintes et des nourrissons aux agents chimiques ou radioactifs.

VII-2 Travailleurs exposés aux radiations, notamment dans l'industrie nucléaire: pour les normes appliquées en 1996, les professionnels étaient autorisés à recevoir 50 mSv par an. Des études récentes ont suggéré que cette limite de 50 mSv annuelle était trop élevée. En 2009 la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) dont la mission principale est d'élaborer des recommandations qui sont en fait reprises par les législations nationales, a retenu des critères volontairement restrictifs, au vu des incertitudes sur l'action des faibles doses: le CIPR a fixé, pour la population générale, un seuil de 1 mSv au-dessus des expositions naturelles, et pour les professionnels du nucléaire, 20 mSv au lieu de 50 mSv. Ces normes ne doivent pas être confondues avec des seuils de danger. La différence 1 mSv / 20 mSv tient au fait que les personnes exposées professionnellement sont connues, surveillées médicalement et régulièrement contrôlées. C'est le cas, en France, des 293 876 personnes qui – statistiques de 2009 – travaillent dans l'industrie du nucléaire.

VIII Problèmes spécifiques des organes critiques (E.B.1998)

Les données précédentes sont relatives à des moyennes pour l'ensemble du corps.

• Initialement, la peau fut considérée comme l'organe critique par excellence: on utilisait surtout des rayons X mous; la peau recevait donc des doses plus élevées que les tissus profonds: des cancers sont apparus sur des cicatrices de radiodermites plus de 40 ans après l'irradiation.

• Les altérations de la formule sanguine constituent encore un mode de diagnostic très sensible de l'action des radiations sur l'organisme.

Nous avons vu que de manière générale les cellules en cours de division sont les plus radiosensibles: en conséquence les lésions cellulaires tendent à apparaître plus tôt dans les organes ou tissus dans lesquels les cellules prolifèrent rapidement. C'est le cas de la peau, du revêtement du tube gastro-intestinal et de la moelle osseuse. La réponse du revêtement du tube gastro-intestinal est tout à fait comparable à celui de la peau [avec, par une irradiation importante: perte de substance protectrice (dénudation) et ulcération de la membrane muqueuse].

VIII-1 La moelle osseuse

Les cellules hématopoïétiques (génératrices des globules du sang) sont parmi les plus radiosensibles du corps. Si une partie importante de telles cellules est détruite par une irradiation intensive sur l'ensemble du corps, le remplacement normal des cellules sanguines se trouve compromis. Une dose absorbée inférieure à 0,5 sievert provoque seulement une réduction temporaire de la formation des cellules sanguines. La conséquence de cette dépression sera, en définitive, une infection et des hémorragies. Au-dessus de 6 sieverts pour l'ensemble du corps, une réduction massive de la formation des cellules sanguines entraîne la mort.

VIII-2 Les organes de reproduction

Bien que les spermatozoïdes matures soient par nature parmi les plus résistants, les spermatogonia, cellules qui engendrent les spermes immatures, sont très radiosensibles. Ainsi, une dose absorbée de l'ordre de 150 mSv peut induire une interruption temporaire de la production de sperme. Une dose supérieure à 4 sieverts suffit à provoquer la stérilité définitive d'un certain pourcentage d'hommes.

Dans le cas des ovaires féminins humains, les ovocytes de maturité intermédiaire sont plus radiosensibles que ceux qui sont moins matures ou plus matures. Une dose de 1,5 à 2 Sv rapidement absorbée au niveau des ovaires peut ainsi provoquer une stérilité temporaire. Au-dessus de 2 ou 3 Sv une stérilité permanente intervient pour un pourcentage important de femmes.

VIII-3 Les yeux

L'irradiation peut provoquer l'opacification du cristallin (cataracte), dont la sévérité croît avec la dose. L'effet peut ne devenir évident que quelques mois après l'irradiation. Durant les années 1940, des physiciens travaillant auprès des premiers cyclotrons ont développé des cataractes résultant d'une "irradiation neutronique occupationnelle". Ce fut la première preuve expérimentale de la haute efficacité biologique des neutrons.

VIII – 4 Le Cerveau et les organes sensoriels

En général, les hommes ne ressentent pas directement l'influence d'un champ de radiations modéré. Cependant de petites doses (inférieures à 10 mSv) peuvent produire des phosphènes (sensation lumineuse d'une rétine adaptée à l'obscurité). Les astronautes américains du premier vol spatial sur la lune (11 juillet 1969) ont observé des flashs irréguliers et des éclairs durant leur vol, sans doute dus à l'impact sur la rétine de rayons comiques lourds isolés. Dans des tests de "préférence alimentaire", les rats, quand ils ont le choix, évitent les zones irradiées à quelques milligrays.

En réalité le cerveau mature et le système nerveux sont relativement résistants aux dommages provoqués par les radiations. Tel n'est pas le cas des cerveaux en développement.

VIII – 5 Action biologique des radiations sur la croissance et le développement des embryons (d'après E.B.1998)

Les tissus de l'embryon, tout comme les autres tissus formés de cellules rapidement proliférantes, sont hautement radiosensibles. Les types et fréquences des effets des radiations dépendent cependant fortement du niveau de développement du fœtus lorsqu'il est exposé.

Par exemple, quand l'irradiation intervient lorsqu'un organe déterminé est en formation, une malformation peut en résulter. Des cas de microcéphalie, hydrocéphalie, anophtalmie ont été observés. Des anomalies du système nerveux, dont la fréquence normale atteint 1 ou 2 % des enfants humains, ont vu leur fréquence augmenter considérablement dans le cas des enfants dont les mères étaient prégnantes et résidant à Hiroshima et Nagasaki. L'incidence d'une réduction crânienne et d'un retard mental a augmenté de 40 % par sievert quand l'exposition s'est située entre la 8ème et la 15ème semaine de gestation.

IX Données disponibles relatives aux accidents et catastrophes de l'industrie nucléaire

Le premier accident nucléaire entraînant un risque à l'extérieur du site est celui de Three Mile Island (USA) en 1979. Cet accident mortel à l'intérieur du site a irradié une dose de 0,8 mSv à 16 km de Three Mile Island et 0,015 mSv à 80 km. Classé au niveau 5 (accident grave) de l'échelle INES (International Nuclear Event Scale), le "retour d'expérience" a pris plusieurs années; exactement six années furent nécessaires pour évaluer la proportion du cœur du réacteur qui avait fondu. Un autre accident grave s'est déclaré à Myak (URSS) en 1957 (niveau 6). Il est clair que des améliorations de sûreté ont été apportées, notamment après Three Mile Island.

Dans ce paragraphe IX nous nous proposons surtout, dans l'esprit de cet article, de comparer les retombées des deux catastrophes de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi, sachant que dans ce dernier cas, catastrophe du 11 mars 2011, le "retour d'expérience" pourra s'étendre sur une vingtaine d'années. Mais dès maintenant, comme il y eut un après-Tchernobyl, il y a déjà un après-Fukushima dans deux domaines:

- certaines décisions politiques (sortie du "nucléaire" pour l'Allemagne)

- renforcement (après analyse) de la sûreté des installations nucléaires, avec "investissement massif" suivant le terme d'André-Claude Lacoste, Président pour la France de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) le 3 janvier 2012.

Pour l'essentiel, nous nous limitons ici aux retombées des deux catastrophes, en termes de conséquences sanitaires, compte tenu des niveaux d'activité radioactive et de doses d'irradiations.

Il nous faut également préciser nos sources d'information:

• La note SFEN N°3 (Société Française d'Energie Nucléaire) utilise les informations données soit par les collègues japonais, par l'opérateur japonais TEPCO (Tokyo Electric Power Company) et par l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Cette note de la SFEN prenait en compte la situation au 2 avril 2011.

• Nous disposons également, puisées dans les mêmes sources, des informations de la Revue Générale Nucléaire (Notée RGN N° 3, 4 et 5, respectivement de mars-avril, mai-juin et septembre-octobre 2011. Aux sources précitées il faut ajouter les contrôles de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) localisée à Vienne, et qui est intervenue pour des contrôles sur le site dès le 5 avril. Il faut souligner également le rôle assumé localement par l'Agence de Sûreté" (NISA).

• Enfin la Revue de la Société Française de Physique intitulée "Reflets de Physique" N° 27, décembre 2011 – janvier 2012, présente les premiers enseignements tirés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (Article de Marie-Pierre COMETS, commissaire de l'ASN). Cet article reproduit la carte des débits de dose, réalisée à partir des mesures du Département Américain de l'Energie (DOE).

Deux rappels indispensables:

- Le 11 mars 2011, à 14h46 heure locale, un séisme de magnitude 9, suivi d'un tsunami, frappe la centrale nucléaire japonaise de "Fukushima Daiichi", à 250 km au nord-est de Tokyo, au bord de l'Océan Pacifique. Séisme et tsunami occasionnent directement la mort de près de 25 000 personnes. Aucun décès spécifique immédiat n'est dû à une origine nucléaire : les conséquences graves immédiates à Fukushima Daiichi ont été essentiellement accidentelles: 1 mort par chute de grue, 2 noyés, un décès brutal de cause indéterminée; 29 blessés ont été traités entre le 11 et le 25 mars.

- Corrélativement, l'accident est intervenu, contrairement à Tchernobyl (le 26 avril 1986), sur des réacteurs en cours d'arrêt et non en pleine puissance. La libération des produits radioactifs n'était pas due à un emballement de la réaction en chaîne, comme à Tchernobyl, mais à diverses autres causes impliquant des explosions d'hydrogène par défaut de refroidissement du combustible dans sa gaine de zirconium. La vague du tsunami a eu pour conséquence l'endommagement des prises d'eau en mer conduisant à la perte de la source froide, nécessaire pour évacuer en permanence la chaleur produite dans les réacteurs par la désintégration des produits de fission stockés dans le combustible avant l'arrêt des réacteurs.

IX 1 Quantités de radioéléments libérées

Dès le 25 mars 2011, l'Institut de Sûreté et de Protection Nucléaire (IRSN) estimait que les quantités libérées dans l'environnement par l'ensemble des réacteurs n'ont pas dépassé 10 % des quantités totales libérées à Tchernobyl. Fin mai 2011 l'opérateur TEPCO établissait ainsi les quantités totales d'Iode 131 et de Césium 137; par comparaison avec Tchernobyl. Bien évidemment les quantités totales, exprimées en Térabecquerels (1 TBq = 10^{12} becquerels) restent énormes. L'équivalence INES implique tous les types de substances radioactives:

	Rejets de Fukushima	Rejets de Tchernobyl
Iode 131	130 à 15 000 TBq	1 800 000 TBq
Césium 137	6 à 12 000 TBq	89 000 Tbq
Equivalence INES	630 000 Tbq	5 200 000 Tbq

<< En réalité seuls les éléments gazeux (essentiellement le Xénon 133), les isotopes de tellures, iodes, césiums, ont contaminé l'environnement. D'autres radioéléments rejetés par les explosions d'hydrogène jouent un rôle moins important, ainsi pour l'exposition externe les gaz rares et pour la contamination interne le Tellure 132, l'Iode 132, le Césium 134. la contribution des autres produits de fission -stockés avant le séisme – est faible. Les éléments réfractaires n'ont pas été portés à une température suffisante pour participer efficacement au panache radioactif. Des traces de strontium ont été détectées, jusqu'à 250 Bq / kg de sol, au nord-ouest de la zone évacuée. Quant aux faibles traces de plutonium détectées, leur niveau est équivalent à celui des retombées provoquées par les essais nucléaires aériens des années 1960.

Même estimées par l'agence de Vienne (AIEA) à environ 10 % des rejets radioactifs atmosphériques survenus à Tchernobyl, ces retombées ont été à l'origine de la contamination de plus de 1000 km2 autour du site, ainsi que des taches "de léopards" de contamination au nord-ouest de cette zone (d'où la décision d'évacuation, par les autorités japonaises, d'environ 200 000 personnes). Dans cette même zone, jusqu'au-delà des 30 km, les retombées de césium au sol varient de 0,02 à 3,7 millions de becquerels par m² (valeurs comparables à celles observées dans la zone évacuée de Tchernobyl).

Les quantités d'Iode 131 rejetées, 130 à 150 pétabecquerels (1 PBq = 10^{15} Bq ~ 27 000 curies!) restent considérables. D'où la fixation au niveau 7 – le niveau le plus élevé de l'échelle de gravité internationale INES – de la catastrophe (appelée "incident majeur") de Fukushima Daiichi. Rappelons que l'iode n'irradie pratiquement que la thyroïde; le césium irradie le corps entier. De toute façon l'évaluation des "doses internes" est relativement aisée.

Le comportement métabolique des produits de fission réfractaires du cœur du réacteur: ruthénium, strontium, zirconium, terres rares ... et du plutonium, est complexe. Ils sont à l'état de traces à Fukushima alors qu'ils étaient en abondance à Tchernobyl.>. (d'après Roland MASSE, Académie des Technologies, ancien directeur de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants – Revue Générale Nucléaire – Année 2011 N° 3 mai-juin, p.75-78).

Au bilan, l'accident majeur de FukushimaDaiichi a conduit à la fusion partielle des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3. Il a entraîné des rejets radioactifs importants d'abord atmosphériques, puis par écoulement dans le milieu marin d'eau fortement contaminée provenant des injections massives effectuées. Les rejets atmosphériques, souligne Marie-Pierre COMETS de l'ASN (loc. cit.) auraient été considérablement plus importants si TEPCO n'avait pas réussi à maintenir noyés les assemblages de combustibles dans les piscines des réacteurs 3 et 4.

IX 2 Chaîne alimentaire japonaise

Associée aux mesures multiples de radioactivité de l'air, de l'eau et des sols, la chaîne alimentaire a été très sérieusement contrôlée. Sur les 4218 mesures effectuées par le Ministère de la Santé entre le 19 mars et le 31 mai, 318 seulement dépassaient la limite de commercialisation. Les niveaux de contamination ont été confirmés par l'agence de Vienne. Les interdictions temporaires de vente et de consommation ont été largement diffusées.

Quantités considérées comme acceptables au Japon

Elles sont légèrement différentes de celles recommandées par notre "codex alimentaire"

- pour l'eau: Iode 131: 300 Bq / litre (100 Bq / l pour les enfants); Césium 137: 200 Bq / litre

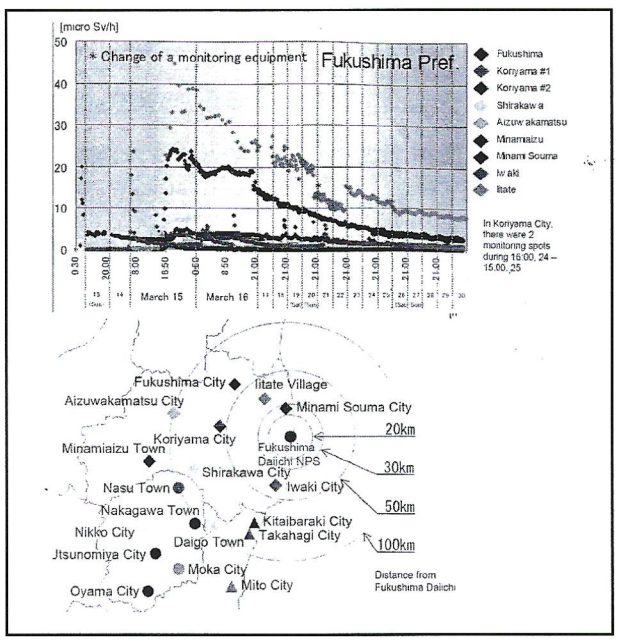
- produits laitiers; Iode: 300 Bq / kg; Césium 200 Bq / kg

- viande, œufs, poissons: 500 Bq / kg pour le césium (alors que le niveau précédent pour le poisson était 2000 Bq / kg).

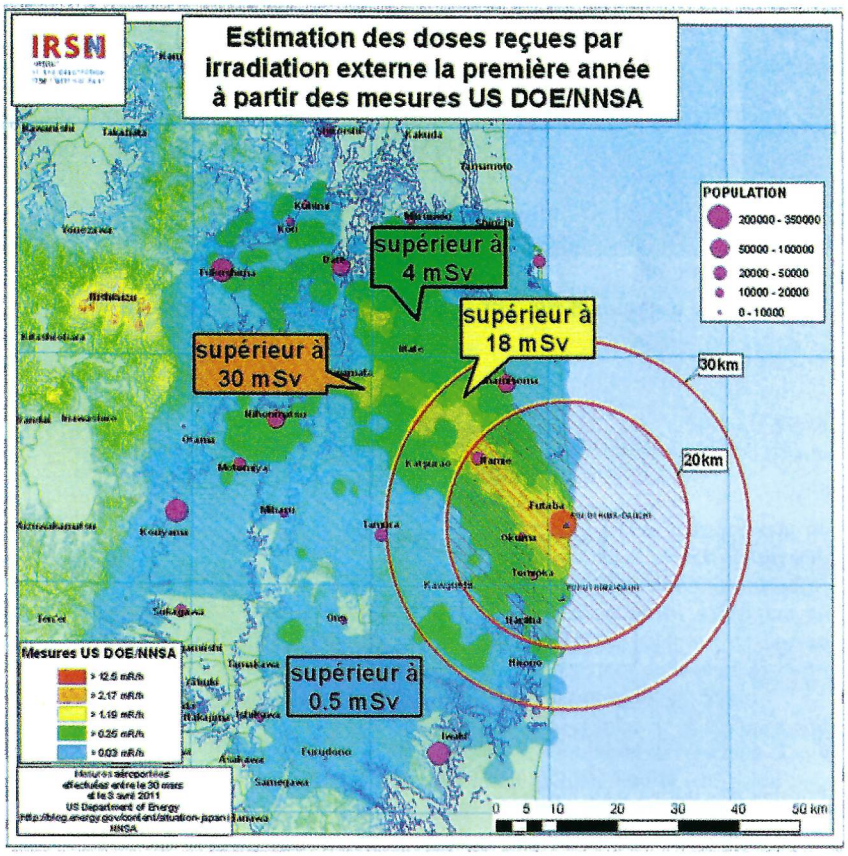
Les restrictions relatives à l'utilisation de l'eau de ville ont été levées le 10 mai 2011.

IX 3 Doses d'irradiation mesurées

IX 3-1 Région immédiate de Fukushima Daiichi (données publiées par la SFEN (N° 370 - avril 2011) pour des données relevées entre le 15 mars 8,00 h et le 16 mars 21,00 h. Doses enregistrées en microsievert par heure, de 0 à environ 40 (maximum).



IX 3-2 Doses par irradiation externe, la première année après l'accident. Estimation de l'IRSN à partir des mesures réalisées par le Département Américain de l'Energie (DOE), publiée par "Reflets de la Physique" – décembre 2011 / janvier 2012.



3. Carte des débits de dose émis par les dépôts radioactifs dans l'environnement de la centrale de Fukushima-Daiichi, et estimation des doses susceptibles d'être reçues par irradiation externe au bout de la première année, à partir des mesures effectuées par le Département américain de l'énergie (DOE).

IX 4 Répercussions en France

En France la contamination par la masse d'air circulant dans l'hémisphère Nord a été minimale, conforme aux valeurs modélisées par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Cette contamination est sans conséquence sanitaire. L'Iode 131 a été détecté, ainsi que des traces de Césium 134, de Césium 137 et de Tellure 132. L'activité en becquerels mesurée en France par ces radioéléments est inférieure de plusieurs ordres de grandeur à celle mesurée en France après Tchernobyl.

X CONSÉQUENCES MÉDICALES ET SANITAIRES

X – 1 Les "liquidateurs" de Fukushima sont les personnels d'intervention chargés de refroidir les réacteurs endommagés.

Plusieurs milliers se trouvaient sur le site de Fukushima au moment du tsunami. Le 15 mars, l'agence de Vienne indiquait que 150 d'entre eux avaient été contaminés par des produits de fission au niveau de 500 à 1500 Bq, ce qui nécessitait une décontamination mais ne comportait pas de risque sanitaire. Plus tardivement (fin mai) il est apparu qu'un nombre plus important avait pu faire l'objet de contamination interne, à partir de la découverte d'une fixation thyroïdienne de 9760 Bq et de 7690 Bq d'Iode 131 chez deux intervenants. Cette situation a conduit à identifier 2367 cas de contamination interne dont l'évaluation dosimétrique, au 15 juin – ce qui n'est évidemment pas définitif – varie d'un seuil inférieur à 10 mSv à plus de 290 mSv. Au 15 juin, d'après TEPCO, 102 agents ont dépassé la dose interne de 100 mSv considérée généralement comme "limite réglementaire en situation d'urgence". 8 ont dépassé la limite de 250 mSv, fixée ultérieurement par les autorités de radioprotection, et 6 l'approchent. Deux intervenants ont subi une contamination par immersion de la jambe dans l'eau à un niveau ne causant pas de brûlure radiologique (malgré les 2 ou 3 Sv): ces agents ont été hospitalisés jusqu'au 28 mars.

Le nombre total de "liquidateurs", ces agents intervenants et donc exposés quotidiennement sur le site de Fukushima Daiichi, a varié entre 50 et 250, pour environ 600 dans la zone de repli (Fukushima Daini).

X – 2 Situation de Tchernobyl en 1986

Nombre cumulé de "liquidateurs" réévalué par l'UNSCEAR (Comité des Nations-Unies pour l'étude de radiations atomiques, créé en 1950) à 530 000 avec une dose moyenne individuelle de 117 mSv.

Pour les pompiers intervenus pour éteindre l'incendie, après le 26 avril 1986, jour de la catastrophe de Tchernobyl, 237 avaient présenté des signes d'irradiation aiguë (au-dessus de 1000 mSv): 134 avaient été hospitalisés avec des doses comprises entre 800 et 16 000 mSv; 28 en moururent, dans la plage de doses de 4000 à 16 000 mSv, la plupart atteints de brûlures cutanées consécutives à des irradiations locales plus de 10 fois supérieures à la dose corps entier.

Dans cette cohorte, 33 décès supplémentaires ont été déplorés dans les 20 ans qui ont suivi, dont 19 dans le groupe ayant présenté des symptômes d'irradiation aiguë. Les causes de la mort ne sont pas toutes attribuables à l'irradiation; 4,6 % de cancers ont été relevés dans le groupe des liquidateurs, ce qui ne les distingue pas de la population générale.

X – 3 Conséquences sanitaires population générale Fukushima (bilan provisoire)

Lors d'une session de l'assemblée générale de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Makoto AKASHI, représentant l'Institut National des Sciences Radiologiques du Japon, a estimé "ne pas avoir à prévoir", comme conséquences des radiations provoquées par la catastrophe, de multiplication du risque de cancer et de leucémie. Le Japon, a-t-il expliqué, a contrôlé énormément de personnes, des travailleurs comme des habitants. Aucune victime de radiations ne nécessite actuellement des traitements médicaux.

La directrice de la Santé Publique et de l'Environnement à l'OMS, Maria NEIRA, a estimé que la décision des autorités japonaises d'évacuer les personnes vivant à l'intérieur d'un rayon de 20 km de la centrale a empêché un impact catastrophique sur la santé publique.

Le vice-ministre japonais de la Santé, K. OTSUKA, a souligné que "le nombre de décès dus aux radiations est de zéro pour l'instant" et annoncé que le gouvernement a l'intention de mener une étude à long terme sur la santé des résidents de la zone touchée. (RGN N° 3 mai-juin 2011 p. 14).

Roland Masse (loc. cit.) est plus nuancé: "il est vraisemblable que les niveaux de contamination interne de la population sont faibles. Aucune donnée publiée ne laisse envisager une importante contamination des enfants par l'Iode 131". R. Masse remarque cependant qu'on ne dispose pas, pour conclure, d'assez de données sur la zone non évacuée du Nord-Ouest (voir carte IRSN).

La distribution d'iode stable et l'imprégnation iodée importante au Japon ont contribué à limiter les niveaux de contamination interne de la population.

Dans l'immédiat, la situation au niveau des réacteurs 1, 2, 3 et 4 ne sera totalement maîtrisée que lorsque TEPCO aura mis en œuvre un refroidissement permanent. L'introduction de l'azote inerte dans l'enceinte de confinement des réacteurs 1,2 et 3 devrait prévenir de nouvelles explosions d'hydrogène avec émission de bouffées de produits radioactifs. Nous verrons en conclusion et compléments ce qu'il en est de cette prévision.

L'Autorité française de Sûreté Nucléaire (ASN) estime que toutes les informations précises sur la séquence des défaillances et des mesures prises ne sont pas disponibles aujourd'hui. L'ASN considère donc que "l'accident de Fukushima est un événement majeur dont le retour d'expérience approfondi sera très long".

X – 4 Tchernobyl après la catastrophe

Le tout dernier rapport UNSEAR des Nations-Unies (New-York 2011) donne une évaluation du désastre:

Première information: 7000 cancers de la thyroïde, en très grande majorité chez les jeunes enfants. Nombre de décès depuis 2006: 15, avec tendance à l'augmentation (5 à 10 % de l'ensemble des cas opérés). Des doses thyroïdiennes ont été évaluées à 500 mSv. Dans la zone affectée par les retombées d'iode vivaient plus de 2 millions d'enfants. Les doses thyroïdiennes moyennes attribuées à 6,4 millions d'habitants étaient de 100 mSv. On est dans un tout autre ordre de grandeur qu'à Fukushima. La consommation à Tchernobyl de produits laitiers locaux contaminés, la carence en iode de compensation, ont été des facteurs aggravants.

XI - CONCLUSION ET NOUVELLES EXIGENCES

Tout comme le 26 avril 1986, jour de la catastrophe de Tchernobyl, le 11 mars 2011 marquera une date déterminante dans l'histoire du nucléaire civil.

Le tout récent rapport de l'ASN (3 janvier 2012) illustre le fait qu'il y aura "un après Fukushima", en France et au niveau mondial, comme il y eut un "après Three Mile Island" et un "après Tchernobyl". La décontamination des sols et de l'environnement prendra des années, voire des décennies.

Pendant que nous terminons cet article, deux informations nous ont alerté.

1) Une étude conduite par Jacqueline CLAVEL (directrice de l'unité 754 de l'INSERM – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), mise en ligne sur le site de l'International Journal of Cancer et relayée par la presse nationale le 13 janvier 2012, fait apparaître une corrélation entre la fréquence des leucémies infantiles à proximité (moins de 5 km) d'une centrale nucléaire , pour deux populations:
- moins de 5 ans (8 cas observés au lieu de 3,6 attendus)
- moins de 15 ans (14 observés au lieu de 7,4 attendus)

Les auteurs de l'étude écartent, comme explication à cet accroissement du risque d'une leucémie aiguë, les rejets dans l'atmosphère de radionucléides, d'autant plus que les doses de radiations correspondantes sont mille fois moins élevées que la radioactivité naturelle. Des scientifiques de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) faisaient partie de l'équipe Clavel. La méthodologie de l'étude est saluée par des épidémiologistes réputés: étude comparative d'une population de 2753 cas de leucémies pour des enfants de moins de 15 ans (groupe de sujets témoins de 5000 par année, soit 30 000 au total). Comparaison avec les incidences de leucémies d'enfants et d'adolescents vivant dans un rayon de moins de 5 km autour d'une centrale et population générale. Jacqueline Clavel souligne que, si l'étude fait apparaître une corrélation, elle ne met pas pour autant en évidence les facteurs pouvant expliquer ce lien. "Nous ne pouvons, actuellement, tirer de conclusion en terme de prévention". Les résultats de cette recherche n'en possèdent pas moins une valeur de "signal sanitaire". D'où la nécessité d'une remontée vers toutes les causes possibles d'écart à une distribution normale des leucémies.
Cette enquête pose le problème, toujours ouvert, de l'action des faibles doses. Même si les centrales nucléaires peuvent être considérées comme sources "d'énergie propre" (hors déchets), elles contribuent légèrement, en l'absence de fuites, à une certaine (même faible) augmentation du fond de radioactivité naturelle.

Rappelons que ce problème ne peut être totalement évité en utilisant le charbon au lieu du combustible nucléaire en production énergétique: la plupart des sources de charbon contiennent de la radioactivité naturelle (par exemple le radium et ses dérivés, et les dérivés du thorium): à l'époque (1950) où les Facultés des Lettres et des Sciences de l'avenue Carnot (Clermont-Ferrand) étaient chauffées par une centrale au charbon, nous avons détecté, sur les plaques ionographiques, dites nucléaires, fixées sur une plaque métallique reliée à un générateur électrostatique de -50 000 volts, le tout disposé sur la terrasse de la Faculté des Sciences, de 20 h à 24 h, une quantité importante de traces radioactives caractéristiques des radioéléments précédents. Ils traduisaient ainsi une pollution atmosphérique importante. Il serait intéressant de reprendre l'expérience dans le cas d'un chauffage au fuel.

2) Le 19 janvier 2012, l'organisme TEPCO admettait le dysfonctionnement d'un système de transmission de données, la responsabilité de cette grave lacune revenant à la fois à la Compagnie de Tokyo et à l'Agence de Sûreté Nucléaire et Industrielle NISA. De plus TEPCO vient d'admettre qu'en ce mois de janvier 2012 les rejets de césium radioactif des réacteurs de la centrale endommagée de Fukushima viennent d'augmenter: les dégagements présentent une activité d'environ 70 millions de becquerels par heure contre 58 millions en décembre.

TEPCO attribue cette hausse à l'activité de déblaiement menée dans les réacteurs 2 et 3 ... Ce qui ne fait que confirmer l'urgence d'une information sérieuse et objective sur l'état de maîtrise des réacteurs nucléaires en cause dans la catastrophe de Fukushima, et la réduction nécessaire de l'émission des bouffées de produits radioactifs, notamment de césium 137 dont la période est de 30 ans.

Références bibliographiques essentielles:

1 - Encyclopedia Britannica. Vol 25 (Macropedia) 1998 – p 487-495

2- J. Shapiro – Protection contre les radiations: un guide pour scientifiques et médecins. Ed. Harvard University Press – 1981

3- Daniel Blanc: "les Radioéléments. Production. Dosage. Applications". Ed. Masson et Cie 1966 p. 147-175

4- Bulletin SFEN (Société Française d'Energie Nucléaire) N° 370 avril 2011

5- Revue Générale Nucléaire (RGN) Année 2011 N°2, 3 et 4 (avril-octobre 2011)

6 Roland Masse: "Accidents de Fukushima et Tchernobyl; une première approche comparée de leurs conséquences sanitaires". RGN N°3 mai-juin 2011 p.75-78

7- Marie-Pierre COMETS (ASN): "l'Accident de Fukushima: les premiers enseignements tirés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire" in "Reflets de Physique". Revue de la Société Française de Physique N°27 décembre 2011-janvier 2012 p.24-29

8- Enquête INSERM publiée en janvier 2012

9- Communication de TEPCO – janvier 2012



QUELLE ÉNERGIE POUR LE 21ÈME SIÈCLE ?

SUITE À LA CONFÉRENCE ORGANISÉE PAR LA SFEN EN DÉCEMBRE 2011, EN PARTENARIAT AVEC L'ADASTA

PAR GÉRARD PIERRE

PROFESSEUR ÉMÉRITE DE PHYSIQUE À L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE. PRÉSIDENT DE LA SECTION BOURGOGNE ET FRANCHE-COMTÉ DE «SAUVONS LE CLIMAT». CONFÉRENCIER DE L'ASSOCIATION DES ECOLOGISTES POUR LE NUCLÉAIRE.

En terme énergétique, les données mondiales les plus importantes à prendre en compte sont les suivantes :

• **La démographie :** la prévision de 9 à 10 milliards d'individus sera atteinte à l'horizon 2050. Avec l'aspiration de l'ensemble des êtres humains à vivre dans les conditions actuelles des pays développés, le besoin global en énergie pourrait doubler en 40 ans.

• **Les ressources énergétiques fossiles :** les disponibilités en combustibles fossiles ne devraient pas permettre de répondre à l'accroissement des besoins. La production de pétrole ayant atteint quasiment son maximum devrait décroître prochainement. La production de gaz est croissante, son maximum sera atteint au cours de ce siècle. La production de charbon est l'énergie fossile qui croît le plus fortement actuellement (5% par an). Elle devrait continuer à croître et continuera à le faire du fait d'importantes réserves. Mais globalement les combustibles fossiles qui assurent plus de 80 % des besoins mondiaux à ce jour, ne pourront répondre à l'augmentation des besoins.

• **L'écologie :** le principal problème de la planète reste les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation de ces combustibles fossiles. Même si leur croissance reste limitée comme vu ci-dessus, les rejets font courir le risque d'un réchauffement climatique trop important pour être supportable sans conséquences majeures pour l'humanité. Les scientifiques qui étudient les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre, estiment que l'ensemble de la planète n'est capable d'absorber que la moitié des émissions actuelles. Il faut donc, au niveau mondial, diminuer par 2 les émissions de ces gaz, pour ne pas augmenter la température moyenne de la terre. Mais il ne serait pas équitable de demander à tous le même effort. Les habitants des pays développés qui en rejettent le plus doivent réaliser l'effort principal. Il est couramment admis que ces pays doivent diviser au moins par 4 leurs propres émissions.

QUELQUES DONNÉES THÉORIQUES :

L'équation bien connue $E=mc^2$, issue de la théorie de la relativité d'Einstein, indique que la masse *(m)*, donc la matière, est équivalente à l'énergie *(E)*. Toutefois il est difficile d'obtenir ainsi l'énergie nécessaire aux activités humaines. Seuls certains éléments ou certaines molécules nous permettent de l'obtenir.

Pour produire de l'énergie adaptée à la consommation humaine, il faut bénéficier de forces qui se trouvent dans la nature. Actuellement les physiciens en ont dénombré 4 qu'ils appellent interactions fondamentales. On peut les présenter en 3 groupes :

• Interaction faible et interaction forte : ces 2 forces assurent la cohésion des noyaux nucléaires.

• Interaction électromagnétique : cette force assure la cohésion des atomes et des molécules.

• Interaction gravitationnelle : cette force assure la cohésion des système planétaires, comme le système solaire.

Ces interactions sont d'intensités extrêmement différentes. L'interaction gravitationnelle est environ un million de fois plus faible que l'interaction électromagnétique qui est, elle même, environ un million de fois plus faible que l'interaction nucléaire (interaction faible et interaction forte). C'est la raison pour laquelle les quantités de matières nécessaires pour fournir la même quantité d'énergie sont aussi disproportionnées.

Ces forces sont toutes utilisées :

• Les réacteurs produisent de l'électricité grâce aux réactions nucléaires.

• Les énergies fossiles carbonées en brûlant le charbon, le gaz ou le pétrole sont le siège de réactions chimiques exothermiques qui sont contrôlées par les forces électromagnétiques.

• L'électricité produite dans les barrages hydroélectriques et dans les usines marémotrices provient de la force de pesanteur et donc de l'interaction gravitationnelle.

Actuellement, au niveau mondial, 80 % de l'énergie consommée est d'origine fossile, 14 % d'origine renouvelable (6 % hydraulique, 6 % biomasse et 2 % solaire et éolien) et 6 % de nucléaire. L'épuisement des ressources fossiles et l'effet de serre responsable du changement climatique en cours nous imposent une transition énergétique. Un choix inadapté de cette transition pourrait entraîner un écroulement de notre niveau de vie et développer d'importants problèmes sociaux.

QUELQUES DONNÉES ÉCOLOGIQUES.

Le principal problème écologique mondial est celui du changement climatique. Celui-ci est essentiellement dû à l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Il est actuellement à plus de 380 ppm (partie par million), alors qu'il était de l'ordre de 280 ppm il y a seulement un siècle, soit plus de 25% d'augmentation. Cette augmentation est pour l'essentiel liée à la combustion des hydrocarbures qui sont utilisés pour produire l'énergie dont nous avons besoin. Ces émissions ne sont pas indépendantes de la technique de production. A titre d'exemple, le lieu de production d'un panneau photovoltaïque et celui de son installation ne sont pas sans conséquence sur l'environnement. La production d'un panneau nécessite de l'énergie électrique, aussi la façon dont l'électricité est produite a des conséquences sur son contenu en CO_2. Ces conséquences seront également différentes si ce panneau est installé dans un pays où il remplacera une production carbonée ou non. Par exemple il est beaucoup plus écologique de produire le panneau en France où il le sera avec un minimum d'émission de CO_2 et de l'installer en Chine (ou en Allemagne, au Danemark...) où il se substituera à une production d'électricité émettrice de CO_2. Mais c'est hélas, pour des raisons de coût de production que l'inverse se passe.

Pour produire de l'électricité, on émet du CO_2, mais en proportion très différente en fonction du mode de production choisi.

Tableau 1 : En grammes de CO_2 par kWh électrique (Jean-Marc Jancovici, http://www.manicore.com/missions/bilan_carbone.html)

Charbon	800 à 1050
Gaz (cycle combiné)	430
Nucléaire	6
Hydraulique	4
Photovoltaïque (1)	60 à 150
Éolien (1)	3 à 22

Chaque humain émet des gaz à effet de serre en fonction de son niveau de consommation, mais également en fonction de sa façon de produire ses biens de consommation. Examinons les émissions individuelles de CO_2 de quelques pays en fonction de leur PIB[2].

[1]. Il faut de plus ajouter à ce chiffre les émissions de CO2 liées à l'intermittence de production des éoliennes et du photovoltaïque

Tableau 2 :

Emission de tonnes de CO_2 par habitant et par an.

Pays	Classement mondial (2007)	Tonnes de CO_2 par habitant et par an (2007)	PIB en $ (2009)
Qatar	1	55,4	91 397
Luxembourg	8	23,0	83 821
Etats Unis	11	18,9	45 990
Danemark	36	9,2	37 721
Allemagne	39	9,9	36 338
Espagne	48	8,2	32 150
Italie	52	7,7	32 430
France	66	6,0	33 675
Suède	73	5,4	37 378

Ainsi le Danemark ou l'Allemagne émettent plus de 50 % de CO_2 de plus que la France ou la Suède pour une valeur de PIB relativement semblable. Ceci est essentiellement dû à la façon dont ces pays produisent leur électricité. L'Allemagne produit de façon très majoritaire son électricité avec du charbon (près de 60%) , le Danemark à l'aide d'un mixte de charbon (46%), de fioul (12%) et de gaz (24%). Alors que la Suède (50% d'hydraulique et 40 % de nucléaire) et la France (10% d'hydraulique et 80% de nucléaire) produisent leur électricité pratiquement sans émettre de CO_2.

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES.

Les coûts de l'électricité dépendent essentiellement du type de production choisie. Les diverses sources présentent une assez bonne cohérence entre elles.

Ces sources sont :

- Le journal «le Monde».
- PEGASE statistiques du ministère de l'écologie.
- ACQVALYS guide de l'énergie.
- Scénario NEGATEP de l'association Sauvons le Climat.
- Agence Internationale de l'Énergie.

[2]. Les valeurs du PIB trouvés dans la littérature datent de 2009 ce qui minimise les pays à très forte croissance essentiellement la Chine dans ce tableau.
[3]. Avant la décision de l'Allemagne de sortir du nucléaire.

Tableau 3 :

Prix de revient du MWh pour différents modes de production d'électricité.

Type de production	€
hydroélectricité	25
nucléaire	33
charbon	34
gaz naturel	45
fuel	50
éolien	60
biogaz	80
biomasse	80
solaire thermodynamique	120
solaire photovoltaïque	200

Pour les énergies fossiles il faut majorer d'au moins 25 % ces coûts en cas de séquestration du CO_2. Le coût du nucléaire dépend pour l'essentiel de l'investissement et donc du remboursement de celui-ci. Aussi celui-ci correspond à un EPR à 5 Milliards d'€ avec un taux remboursement à 3 %. Il reviendrait à 40 € avec un taux à 8 %.
Le prix payé par le consommateur dépend de la politique suivie dans chaque pays qui pratique des taxes différentes. Il dépend cependant fortement, comme on peut le voir sur le tableau 4, du coût de production.

Tableau 4 :

Prix payé du MWh électrique par le consommateur dans l'union européenne. (Dernières données Eurostat)

	€/MWh	Classement/27
Prix moyen dans l'Europe des 27	178	
Prix moyen dans la zone Euro	187	
Danemark	291	1
Allemagne	253	2
Belgique	214	3
...	...	...
France	138	17
...	...	...
Bulgarie	83	27

LE SCÉNARIO DE «SAUVONS LE CLIMAT» : NÉGATEP.

Pierre Bacher et Claude Acket, membres du conseil scientifique de l'association «Sauvons Le Climat», sont à l'origine d'un scénario énergétique intitulé Négatep. Cette association soutient et diffuse ce scénario.
Le scénario Négatep a été élaboré en 2006 puis réévalué en 2011 à la lumière des éléments nouveaux intervenus depuis, comme ceux liés au Grenelle de l'environnement.
Tel sera appliqué à la France l'objectif du scénario Négatep qui repose sur des propositions économiquement viables, tout en gardant l'objectif de la loi d'orientation sur l'énergie de 2005 qui prévoit :

- de préserver notre indépendance énergétique,
- de garder un prix compétitif de l'énergie,
- de préserver l'environnement,
- de garantir la cohésion sociale en assurant à tous l'accès à l'énergie.

La figure 1 permet de suivre l'évolution relative du PIB, des consommations et des rejets de gaz carbonique en France depuis 1960. Nous constatons que les rejets de gaz carbonique ont fortement baissé depuis la fin des années 70 jusqu'à l'an 2000. Ceci correspond à la mise en service des centrales nucléaires.

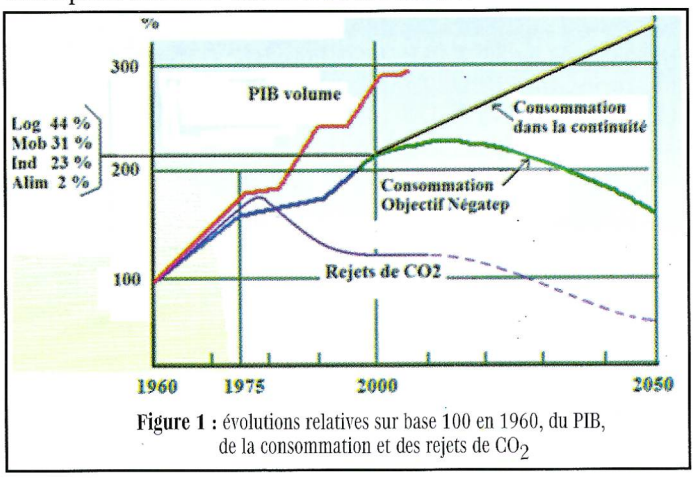


Figure 1 : évolutions relatives sur base 100 en 1960, du PIB, de la consommation et des rejets de CO_2

Outre ce constat du passé, la figure indique l'évolution attendue de la consommation dans l'hypothèse de la continuité, c'est-à-dire si aucun effort supplémentaire n'est fait pour réduire la consommation (données DGMEP extrapolées à 2050).

Pour atteindre le facteur 4, il faut agir sur les économies d'énergie (écart entre consommation haute dans la continuité et consommation basse objectif Négatep). Mais il faut aller au-delà et accentuer la baisse sur les rejets de gaz carbonique en sélectionnant des sources d'énergie non émettrices de gaz carbonique comme les renouvelables et le nucléaire.

Pour arriver à cette division par 4 d'ici 2050 Négatep agit sur 3 facteurs principaux (voir figure 2) :

• Une baisse d'environ 10 %, de la consommation finale d'énergie par les économies d'énergie, alors que la population augmente d'environ 10 %. La demande annuelle, actuellement de plus de 160 Mtep (Millions de tonne équivalent de pétrole), doit être ramenée à environ 150 Mtep, alors que le scénario de référence de la DGEMP prévoit une augmentation de la demande à hauteur de 226 Mtep en 2050, si rien n'est fait

• La multiplication par presque 4 (3,7) de toutes les énergies renouvelables chaleur : le bois, le solaire…

• La substitution partielle de l'électricité aux énergies fossiles dans l'habitat et dans les transports, dans la mesure où cette électricité est issue de sources non carbonées.

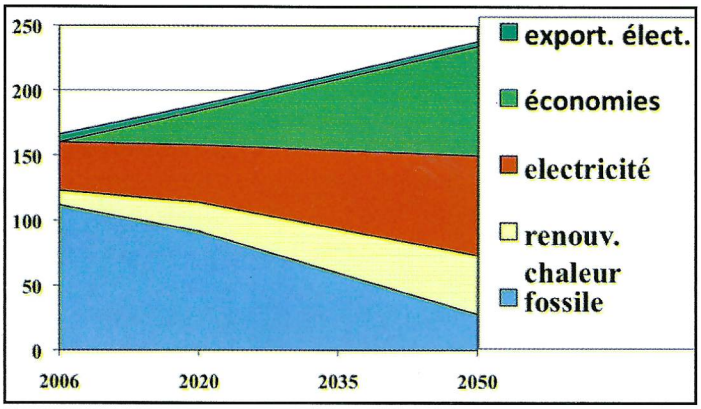


Figure 2 : Le scénario Négatep

Pour diviser par 4 les rejets de CO_2 d'ici 2050, il faut dans l'habitat et le tertiaire, miser sur les économies d'énergie, les énergies renouvelables thermiques et l'électricité produite sans CO_2. Les investissements nécessaires sont rentables compte tenu d'un prix de pétrole proche des prix actuels (100 à 150 $/baril).

L'habitat ancien chauffé au fioul ou au gaz consomme en moyenne 25 000 kWh par an. Réduire de moitié est relativement facile en profitant des travaux normaux d'entretien pour améliorer l'isolation, remplacer les fenêtres et huisseries, remplacer une chaudière par une plus performante ou sélectionner une pompe à chaleur, faire appel au solaire thermique pour une forte part de l'eau chaude sanitaire, etc.

Pour les nouvelles constructions, mieux isolées au départ, les énergies renouvelables thermiques sont à associer à des pompes à chaleur pour les habitations individuelles. Des réseaux de chaleur sont à développer pour les habitations collectives.

Pour les transports, le challenge est plus difficile. Il faut encore des progrès, voire des percées technologiques.

• Le développement des transports en commun.
• Les progrès techniques (voiture 3 l/100 km).
• Les véhicules hybrides rechargeables permettent d'ores et déjà de remplacer partiellement le pétrole par l'électricité, mais au prix d'un surcoût d'achat non négligeable.
• Les véhicules électriques doivent trouver un créneau en zone urbaine.
• Les agrocarburants de 2ème génération (ceux qui ne viennent pas en compétition avec l'alimentation) doivent se développer.
• Une nouvelle organisation de la cité permettra de réduire les besoins de transport : il faut aller dans ce sens, mais cela aussi coûtera très cher.

Il faut veiller à ce que l'industrie reste en France au lieu de se délocaliser vers des pays moins regardants vis-à-vis des rejets de CO_2. Globalement, hors production d'agrocarburants, le scénario se base sur une baisse modérée (de 44 à 40 Mtep) de la consommation d'énergie, avec une substitution importante (12 Mtep) des énergies fossiles par l'électricité et les renouvelables. L'industrie consommera 15 Mtep supplémentaires pour une production équivalente d'agrocarburants.

Les énergies renouvelables fourniront principalement de la chaleur.

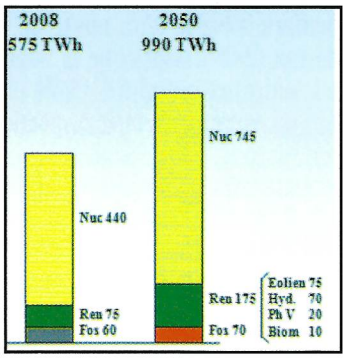
Négatep table sur un quadruplement (de 11 à 45 Mtep), ce qui représente un quart des besoins totaux d'énergie.

• La biomasse (le bois et tous les déchets cellulosiques, etc.) doit tripler son apport d'énergie, soit directement pour le chauffage, soit pour produire du biogaz (méthane), soit comme matière première pour produire des agrocarburants.

• Le soleil doit jouer un rôle important, associé ou non à des pompes à chaleur.

• La géothermie et la récupération des pertes thermiques peuvent apporter une contribution, à condition de développer des réseaux de chaleur.

Pour la production d'électricité, l'hydraulique qui ne peut guère se développer, continuera à jouer un rôle important pour l'équilibre du réseau, tandis que l'éolien et le solaire, limités par leur coût et, surtout, par leur caractère intermittent ou fluctuant nécessitent un renforcement très important des réseaux de transport électrique, réseaux qui doivent être capables d'absorber un excédent ou de compenser un déficit de puissance. Pour toutes ces raisons, Négatep limite la part de ces électricités à un peu plus de 10 % de la production.
Le développement du nucléaire peu émetteur de CO_2 est indispensable pour atteindre le facteur 4, comme le montre la figure 3 récapitulant la production électrique.



CONCLUSION

Les choix énergétiques dans cette période de transition doivent être réalisés avec raison. Ils sont importants pour l'avenir économique du pays et pour l'avenir écologique du monde. Les trois piliers sur lesquels doit s'appuyer la politique énergétique de notre pays sont les économies d'énergie, le développement des énergies renouvelables et celui du nucléaire.
Il est important, afin d'augmenter nos possibilités de développer également la recherche.

Enfin il faudra choisi avec discernement parmi les trois scénarii suivants:
• le développement mais pas durable… qui consiste à continuer à utiliser les énergies fossiles
• le non-développement durable… qui consiste à utiliser uniquement les renouvelables et les économies d'énergie,
• un peu de développement sur le moyen et long terme…qui consiste à utiliser le renouvelable, développer le nucléaire, et faire des économies d'énergie qui restent la seule solution.

Pour les lecteurs qui souhaiteraient des compléments, il est possible de se procurer ce scénario sur le site de «Sauvons Le Climat» à l'adresse suivante : www.sauvonsleclimat.org



LOUIS PASTEUR ET ROBERT KOCH

ANTAGONISME ET COMPLÉMENTARITÉ DE 2 BIENFAITEURS DE L'HUMANITÉ
NAISSANCE DE LA MÉDECINE MODERNE

PAR GEORGES ANTON
MEMBRE DE L'ADASTA, INGÉNIEUR CHIMISTE E.N.S.C.T

QUELQUES REMARQUES PRÉALABLES

Durant des millénaires, les Hommes ont pensé que la Terre était le centre du monde. Il a fallu que naissent des esprits audacieux, aidés d'instruments remarquables, pour que l'humanité prenne conscience de sa position réelle dans le système solaire.

Se soigner, combattre la maladie, éviter les souffrances, ont toujours été les objectifs fondamentaux de la médecine. L'invention du microscope fera plonger l'Homme dans l'infiniment petit. Cet appareil ne pouvait que susciter des espoirs. Encore fallait-il pour aller de l'avant et comprendre l'invisible qui nous entoure, dépasser les idées anciennes dans lesquelles des siècles nous avaient plongés. Quelques esprits, observateurs et curieux, mus par la démarche scientifique servirent de catalyseurs aux immenses progrès que la médecine va opérer à partir de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle.

Pasteur et Koch se situent dans cette lignée. Ils ne furent évidemment pas les seuls, mais leur contribution au bonheur de l'humanité se révèlera déterminante. Leurs idées dépasseront les frontières de leurs pays respectifs.

Les 2 déclarations suivantes sont données à titre indicatif afin d'avoir toujours présent à l'esprit que tout ce qui touche au vivant est, par essence même, complexe et sujet à variation. On pourrait penser qu'elles sont hors sujet. Elles méritent cependant d'être citées. Cf. lutte contre la tuberculose p.13 et postulats de Koch (annexe 2).

1) Il y a environ 45 ans maintenant, le Surgeon General William H. Stewart déclarait triomphalement au Congrès américain : "**Il est temps de refermer le livre des maladies infectieuses. La guerre contre les microbes est terminée**".

2) le 23 décembre 1971, Richard Nixon, alors président des Etats-Unis, annonçait à toute la presse : "**dans cinq ans soit en 1976, date du bicentenaire de l'Indépendance, la victoire sur le cancer sera totale**".

Nota : aux USA, le surgeon general est l'équivalent d'un ministre de la santé en France. William H. Stewart fut nommé à ce poste en 1965 sous la présidence Lyndon Johnson. R.Nixon a été élu Président des USA en 1969.

INTRODUCTION

Les travaux de Pasteur et Koch se situent dans une période particulièrement troublée des relations politiques franco-allemandes. L'exposé est ainsi divisé en 2 parties : avant et après la guerre de 1870 / 1871 (cf. annexe 1). Plusieurs personnalités scientifiques françaises et allemandes seront citées. La liste suivante indique les prix Nobel de Physiologie et de Médecine Français et Allemands depuis 1901 (date de la création du Nobel) jusqu'en 1914. Elle permet de se faire une idée quant aux mérites respectifs des deux nations dans le domaine de la médecine et d'introduire Koch – prix Nobel 1905 – ainsi que Pasteur par défaut, le savant français étant décédé 6 ans avant la date de création de cette prestigieuse récompense.

On dénombre ainsi 4 Allemands pour 3 Français. On peut artificiellement rétablir l'équilibre en incluant Metchnikoff dans les Français, si l'on a présent à l'esprit que les grandes découvertes de ce savant se firent après son arrivée à l'Institut Pasteur en 1888. On le considère d'ailleurs comme l'un des plus éminents pasteuriens. Mort en France en 1916, ses cendres reposent depuis cette date à l'Institut Pasteur.

Année	Lauréats et nationalité		Découverte ou domaine de recherche
1901	Emil von Behring	Allemand	Sérothérapie, immunologie
1905	Robert Koch	Allemand	Microbiologie, bacille de la tuberculose
1907	Alphonse Laveran	Français	Paludisme
1907	Eduard Büchner	Allemand	Enzymologie Prix Nobel de Chimie
1908	Paul Ehrlich	Allemand	Immunologie et phagocytose
	Elie Metchnikoff	Russe	
1910	Albrecht Kosse	Allemand	Cytologie
1911	Marie Curie	Franco-polonaise	Radio-éléments Prix Nobel de Chimie
1912	Alexis Carrel	Français	Transplantation d'organes
1913	Charles Richet	Français	Allergie

2 prix Nobel de chimie sont indiqués. Ils correspondent à des découvertes d'importance capitale dans le domaine de la biologie. En effet, toutes les réactions du métabolisme animal et végétal – sauf rares cas particuliers – sont des réactions enzymatiques. Quant à la radioactivité, on est en droit d'affirmer que nos connaissances en ce qui concerne le vivant, seraient des plus restreintes si les radioéléments n'avaient pas été découverts. D'où le bien-fondé de mentionner Eduard Büchner et Marie Curie en parallèle avec les prix Nobel de Physiologie et Médecine. (5 Allemands furent lauréats du prix Nobel de physique pour 4 Français - période 1901-1914 - et encore 5 Allemands pour 4 Français pour le prix Nobel de chimie durant la même période) .

A] Pasteur et Koch avant 1870 / 1871. Leur biographie sommaire et leurs travaux durant cette période. (cf. résumé chronologique : Annexe 1)

A-1 PASTEUR (1822 – 1895)

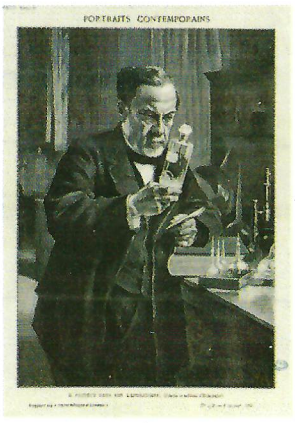


Fig.1

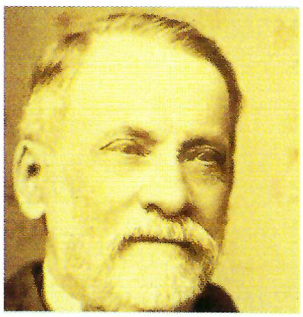


Fig.2

La fig.1 représente Pasteur en train d'examiner la moelle d'un lapin mort de la rage (certainement la photo la plus célèbre du savant) et la fig.2 Pasteur souriant, ce qui est exceptionnel vu le sérieux habituel et général du personnage.

1 – Enfance et études universitaires

Né à Dôle (Jura) le 27.12.1822. Son père exerçait le métier de tanneur (hérité de ses parents) et avait combattu dans les armées napoléoniennes. Pasteur eut 3 sœurs : 2 aînées et 1 cadette. Jeune, il ne manifesta aucun don exceptionnel si ce n'est une grande habileté dans le domaine du dessin et de la peinture (comme le montrent par exemple les portraits au pastel de ses père et mère).



Les parents de Pasteur, portraits au pastel exécuté par Pasteur pendant son adolescence.

Fig.3

Il voulait d'ailleurs être artiste peintre, mais ses parents l'en dissuadèrent, croyant cette voie peu sûre. Ses dons remarquables ne se révélèrent que plus tard : le directeur de son école primaire notera une régularité ainsi qu'une précision de travail remarquables et stimulera son aspiration aux études supérieures. Il entra au collège de Besançon, passa le baccalauréat ès lettres, puis le bac de mathématiques à Dijon avant d'intégrer l'École Normale en 1843. Il suivit avec passion les cours de J-B.Dumas et se plongea dans l'étude de la structure moléculaire des combinaisons chimiques. Il avait 24 ans quand il obtint le diplôme d'agrégé des sciences physiques mais refusa d'exercer dans un lycée de province et préféra la situation plus modeste de préparateur de chimie du Pr. Balard à l'École Normale. C'est là qu'il prépara ses deux thèses de doctorat : en chimie sur les combinaisons arsenicales du sodium et du potassium, et en physique sur les phénomènes de polarisation rotatoire des liquides. Ces 2 thèses furent soutenues avec succès : il se plongea alors dans des recherches de laboratoire et après quelques mois d'un travail tenace, fit sa première communication à l'Académie des Sciences sur le "dimorphisme". Il avait 26 ans.

Jean-Baptiste Dumas, chimiste et homme d'État né à Alès (1800 - 1884). Il énonça les principes de base de la chimie générale ; après avoir mesuré de nombreuses densités de vapeur et déterminé avec précision les composition de l'air, de l'eau et du CO_2, il étudia les alcools, leur éthérification et leurs dérivés, puis prépara l'alcool méthylique. Il étudie également l'acide benzoïque, prépare l'acétamide et découvre l'anthracène. Entreprend aussi des recherches systématiques sur le chlore, l'essence de térébenthine et l'acide acétique. Répétiteur puis professeur à l'École Polytechnique, il fonde avec A. Lavallée l'École Centrale de Paris. Membre, puis président de l'Académie des Sciences. Membre de l'Académie de Médecine.

Antoine-Jérôme Balard (1802 - 1876), chimiste, fut d'abord pharmacien, puis maître de conférences à l'École Normale Supérieure, professeur à la faculté des sciences de Paris et au Collège de France. Membre de l'Académie des sciences. On lui doit la découverte du brome et l'extraction directe du sulfate de soude à partir de l'eau de mer.

2 – Travaux sur la cristallographie

On savait à l'époque de Pasteur synthétiser par oxydation ménagée de l'acide fumarique, un acide dit "paratartrique", n'ayant pas d'activité optique, mais dont toutes les propriétés – hormis le pouvoir rotatoire – étaient celles de l'acide "tartrique". Celui-ci, sous-produit classique de la vinification et utilisé en teinturerie, se dépose sur les parois des récipients contenant du vin. C'est un acide organique dont la teneur dans les vins peut varier de 2 à 5 g/l. Ses solutions dévient le plan de polarisation de la lumière vers la droite : pour cette raison, il est dit "dextrogyre". Après observation minutieuse des cristaux d'acide paratartrique, Pasteur constata l'existence de deux types de cristaux asymétriques qu'il va séparer manuellement, obtenant ainsi des cristaux dextrogyres et d'autres dits "lévogyres" car déviant le plan de polarisation vers la gauche. Ces deux inverses optiques – actuellement désignés sous le terme "énantiomère" – sont image l'un de l'autre par rapport à un plan et ne sont pas superposables (de même l'image d'une main droite dans un miroir est une main gauche). Il découvre ainsi le "racémique" càd le mélange équimoléculaire de ces deux formes, mélange n'ayant aucun propriété rotatoire. Ce mot inventé par Pasteur vient du latin "racemus" signifiant "grappe de raisin" et rappelle l'origine vinicole de l'observation.

Il revient à Pasteur d'avoir postulé le premier : "Pour qu'une molécule soit douée de pouvoir rotatoire, il faut et il suffit qu'elle ne soit pas superposable avec son image dans un miroir plan".

La fig.4 est un exemple expliquant de façon simple ce phénomène : pour qu'une molécule quelconque soit douée de pouvoir rotatoire, il faut que les 4 substituants fixés sur l'atome de C soient différents. La flèche indique que toute rotation de la configuration située à gauche du plan ne permet jamais d'obtenir la représentation de droite.

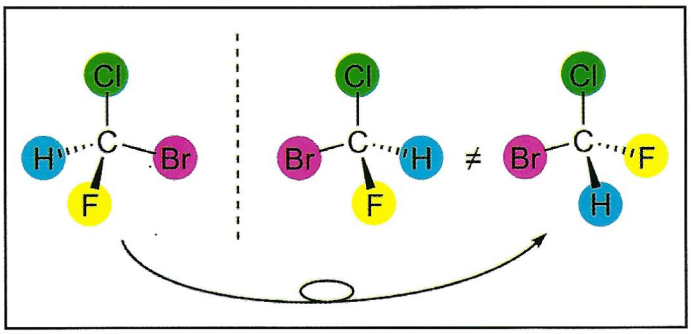


Fig.4

Les principes de la dissymétrie moléculaire sont découverts, expliquant les énigmes soulevées à ce sujet par Mitscherlich – cristallographe allemand réputé – et devant aboutir quelques années plus tard aux notions de stéréochimie et d'asymétrie de l'atome de carbone.

C'est un peu après la découverte de Pasteur que Mitscherlich se rendit à Paris pour remercier l'Académie des Sciences de l'avoir nommé associé étranger. Là, en présence de Biot – physicien renommé – et s'adressant à Pasteur, il aura ce mot : "si vous avez constaté ce que je n'ai pas su trouver, c'est que vous avez dû être guidé par une idée préconçue". Il faisait certainement allusion en disant cela, à la relation vivant/inerte, qui sera l'idée directrice de Pasteur durant toute sa vie. Un dîner en l'honneur de la cristallographie, chez le baron Thénard, chimiste de qualité, clôtura l'affaire.

Eilhard Mitscherlich (1794 – 1863), chimiste et minéralogiste allemand renommé. Professeur à Berlin, il effectue des recherches sur les composés à base de phosphore et d'arsenic, et sur les dérivés du benzène. Découvre les acides permanganique, sélénique, benzènesulfonique et le nitrobenzène. En 1819, il découvre les lois de l'isomorphisme et du polymorphisme des cristaux. Il s'intéressa également à la détermination des poids atomiques et étudia la dilatation des substances cristallines en étudiant le cas des cristaux anisotropes.

Jean-Baptiste Biot (1774 - 1862) physicien, astronome et mathématicien français est le pionnier de l'utilisation de la lumière polarisée pour l'étude des solutions. Suite à la chute d'une météorite dans l'Orne le 26.04.1803, le rapport qu'il écrit est considéré comme la 1ère preuve de l'origine non terrestre des météorites. Élu la même année – il a 29 ans – membre de l'Académie des sciences. Il est surtout connu pour avoir étudié et établi les lois de la rotation du plan de polarisation de la lumière traversant une solution liquide. Docteur ès sciences en août 1809, élu membre de l'Académie des inscriptions et belles-lettres en 1841 et de l'Académie française en 1856. Doyen de la Faculté des sciences de Paris à partir de 1840 jusqu'en 1849.

Ces travaux de cristallographie occupèrent Pasteur pratiquement de 1847 (année où il est nommé Docteur ès sciences) jusqu'en 1856. Entre temps, 2 dates méritent d'être notées :

• 1849. Alors professeur de chimie à l'Université de Strasbourg, il épouse la fille du Recteur. On rapporte que le mariage fut célébré de justesse, occupé qu'il était ce jour-là à étudier les cristaux de tartrate. Le voyage de noces eut lieu en Allemagne à Baden-Baden et dans la Forêt Noire.

• 1854. Nommé professeur de chimie à Lille, puis doyen de la Faculté des sciences de cette ville.

3 – De la cristallographie aux fermentations (1856 – 1865)

Pasteur considérait, suite à ses constatations sur les cristaux, que l'asymétrie moléculaire était le caractère distinctif fondamental entre les corps vivants et les corps inertes. Ses recherches en cristallographie vont donc l'entraîner vers l'étude des fermentations – provoquées par ce que l'on appelait alors les ferments – les dissymétries observées n'étant pas étrangères, pensait-il, aux phénomènes de la vie. Il avait en effet remarqué que de petits champignons microscopiques suppriment l'acide tartrique racémique en ne laissant que l'un des énantiomères. Il écrira : "Pourquoi ? C'est parce que le petit ferment est un corps vivant, formé comme tous les grands êtres d'un ensemble de produits dissymétriques et que pour sa nutrition, il s'accommode mieux de l'un plutôt que de l'autre".

Pasteur entre ainsi dans l'étude du vivant, ce qui est la conséquence directe de ses observations sur les cristaux.

Il n'est donc pas exagéré de penser que les découvertes cristallographiques du savant sont le catalyseur de ses découvertes ultérieures.

Les phénomènes de fermentation laissaient alors les meilleurs esprits perplexes : Claude Bernard (le grand physiologiste) et Dumas les jugeaient "étranges et obscurs". Constatés depuis la plus haute Antiquité, leurs causes étaient inconnues. Pour Liebig les ferments sont des matières azotées qui s'altèrent au contact de l'O_2 de l'air. Pour d'autres (Berzélius et Mitscherlich), le ferment est une substance albuminoïde doué d'une force" catalytique". Bref ! c'est une opération chimique étrangère à la biologie. On rappellera cependant que le caractère vivant des levures avait été suggéré par le Français Cagniard de Latour, puis par l'Allemand Schwann suite à des observations concernant la multiplication par bourgeonnement des levures de bière. Mais ces théories vitalistes furent rejetées par l'école de Liebig, alors dominante.

Pasteur va publier des études sur les fermentations pendant près de 10 ans et établira que celles-ci sont bien l'œuvre d'organismes vivants. Sa méthode est toujours la même : il isole au microscope quelques micro-organismes, les ensemence dans un milieu nutritif approprié dans lequel ils se multiplient. Les différentes fermentations sont identifiées par le produit final obtenu.

C'est ainsi qu'à partir de 1857 – sa candidature à l'Académie des Sciences sera rejetée cette année-là – il étudiera successivement :

• **La fermentation lactique** qui lui permet de découvrir le ferment lactique se reproduisant par bourgeonnement et conduisant à l'acide lactique.

• **la fermentation butyrique.** Il observe dans le beurre des micro-filaments qui sont responsables du rancissement. Ce ferment butyrique vit sans oxygène et l'acide carbonique ne l'asphyxie pas. Cette fermentation butyrique révèle ainsi la vie sans oxygène.

La question se pose alors de savoir si le ferment pourrait vivre privé d'oxygène ! Des observations sur la fermentation de la bière – il s'agit alors d'une **fermentation alcoolique** – l'amènent à constater que dans les cuves profondes, 1 kg de ferment peut décomposer 70 à 150 kg de sucre, alors que dans les cuves sans profondeur 1 kg de ferment ne décompose que 5 à 6 kg de sucre. Autrement dit, plus le ferment vit sans oxygène et plus grande est sa puissance comme ferment. Il y a donc inhibition de la fermentation par l'O_2 libre. Ce phénomène est connu sous le nom d'"effet Pasteur".

Certains organismes, suivant leur nature peuvent donc vivre en présence ou en absence d'oxygène. Les mots "aérobie" et "anaérobie" seront créés par Pasteur à cette occasion.

• **la fermentation acétique.** Avant Pasteur, l'industrie du vinaigre ne connaissait pas les causes de la fermentation acétique. Il va démontrer – par des expériences décisives et incontestables – que la transformation du vin en vinaigre s'opère par fixation de l'oxygène de l'air sur l'alcool du vin par action d'une bactérie du genre *Acetobacter*, le *Mycoderma aceti*. Ce mycoderme aggloméré à d'autres, constitue une substance visible à l'œil appelée fleur de vinaigre. Lorsque son action est achevée, l'alcool du vin a été transformé en acide acétique d'où l'absence d'alcool dans le vinaigre. Pasteur donne ainsi le coup de grâce à la théorie de Liebig selon laquelle l'agent de la fermentation acétique est une substance albuminoïde morte. Pasteur va parachever son œuvre en préconisant une méthode d'obtention du vinaigre beaucoup plus rapide que celle adoptée jusqu'alors. Il indique d'autre part la méthode à suivre afin de couper court aux deux menaces qui guettent l'industrie du vinaigre : la putréfaction tant aérobie qu'anaérobie, et l'assaut des anguillules (on désignait sous ce vocable des petits vers nématodes très fréquents considérés jusqu'alors comme d'utiles auxiliaires de la fabrication du vinaigre). D'où l'importance du nettoyage des cuves préconisée par Pasteur mettant à l'abri de ces fâcheux occupants.

On notera que malgré tant de preuves accumulées contre la théorie de la fermentation de Liebig, le savant allemand produisit en 1869 contre Pasteur, un véritable réquisitoire, fruit de dix ans de méditations. Afin de le convaincre, Pasteur se rendit à Munich en juillet 1870. Liebig reçut son hôte avec courtoisie, mais moins beau joueur que Mitscherlich, il prétexta un léger malaise pour se refuser le lendemain à toute discussion scientifique.

A l'occasion de ces études, Pasteur montrera que les putréfactions sont causées par des ferments organisés du genre vibrion, conséquence du fait qu'un ferment privé de nourriture devient matière organique morte soumise à d'autres bactéries réalisant la putréfaction.

Justus von Liebig (1803-1873). Chimiste allemand considéré comme le fondateur de l'agriculture industrielle, basée sur la chimie organique. Grâce à l'appui de A. von Humboldt il travailla dans le laboratoire privé de Gay-Lussac après avoir obtenu une bourse du gouvernement de la Hesse pour étudier à Paris. Professeur aux Universités de Giessen (où il réalisa la synthèse de la mélamine) puis de Munich, il fut le premier à organiser un laboratoire moderne. Il découvrit le rôle de l'azote dans le métabolisme végétal et réalisa le premier engrais azoté. Rival de J.B. Dumas jusqu'à leur réconciliation de 1850, date à laquelle la médaille de la légion d'honneur lui fut décernée par ce savant, alors ministre français du commerce. En 1865, la marque Liebig vit le jour grâce à son "extrait de viande Liebig". Il créa le premier lait pour enfants en 1867.

L'année 1862 verra l'élection de Pasteur à l'Académie des Sciences.

4 – Étude des maladies du vin (1863 – 1865)

On doit considérer Pasteur comme le premier des œnologues modernes. L'étude de la fermentation acétique du vin et des altérations du vinaigre le conduisent à examiner les maladies du vin. Les vins sont en effet très sensibles aux maladies et longue était la litanie de ces vins imbuvables : vins acides, piqués, aigres, tournés, amers, montés, poussés, gras ! On expliquait ces maladies (Berzélius, Liebig, Chaptal) parce que le vin est un liquide dont les principes réagissent sans cesse les uns sur les autres, par des actions mutuelles et lentes. Autant d'explications faisant sourire Pasteur. Par des expériences et des observations au microscope, il va montrer que le vieillissement est une conséquence de l'oxydation et mettre en évidence que les "maladies" du vin sont toutes occasionnées par des organismes microscopiques dont les germes, venus de l'extérieur, existent dans le moût de raisin dès le début de la vinification.

Mais assurer la conservation des vins serait un triomphe. Après plusieurs essais, il constata qu'il suffisait de les chauffer à 55/60°C pendant 1' et que ce procédé simple suffisait pour conserver des vins bien bouchés sans altérer leur robe, bouquet et limpidité. On notera à ce sujet une querelle de priorité avec le viticulteur Alfred de Vergnette (ce procédé avait été préconisé par l'industriel Appert en 1795 pour les viandes et sera à la base des travaux de Vergnette, eux-mêmes repris par Pasteur qui rendra hommage à ce dernier). Mais leurs techniques fondées sur des bases scientifiques incertaines ne pouvaient prospérer.

La notoriété de Pasteur est alors telle que le mot "pasteurisation" sera universellement retenu pour désigner ce procédé. On parlera également de "pasteurisation "du lait lorsque celle-ci sera étudiée plus tard (vers 1886) par l'Allemand F. von Soxhlet.

Ce procédé qui enthousiasma les viticulteurs de l'époque perdit peu à peu de sa valeur, compte tenu des règles d'hygiène et de propreté qui seront mises en œuvre par la suite. Il semblerait cependant que dans les années 1985/1990 un "flash pasteurien" était encore utilisé par certains propriétaires de crus célèbres, en Beaujolais notamment.

Nota : les termes "bactérie" et "virus" remplacent de nos jours les dénominations telles que ferment, vibrion, bacille, microbe, bactéroïde…utilisés vers 1850.

5 – Travaux sur la génération spontanée (1860 – 1864)

Quelle est l'origine de ces ferments que les travaux de Pasteur ont révélés ?

Au milieu du XIX^{ème} siècle, la croyance aux générations spontanées est générale pour ce qui est des êtres infimes observables au microscope. Combattre cette théorie n'est d'ailleurs pas sans risques : le grand physiologiste Claude Bernard ainsi que Clémenceau, médecin et grand orateur, pour ne citer qu'eux, en étaient de fervents partisans.

L'Académie des Sciences posera en janvier 1859 la question suivante: "Essayer par des expériences bien faites, de jeter un jour nouveau sur la question des générations spontanées". Ceci montre que l'on commençait à se poser quelques questions sur le sujet. Pasteur disait lui-même que ses propres recherches dans ce domaine étaient une digression obligée de ses travaux sur les fermentations. Il obtiendra le prix de l'Académie pour son "mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées" (1861). Il réalisera à l'appui de ses démonstrations diverses expériences mettant en jeu ses fameux ballons à col de cygne.

On admet que Pasteur fut le grand vainqueur du duel qui l'opposa à Pouchet – biologiste, avocat de la théorie de l'hétérogénie (ainsi appelait-on la génération spontanée) et coryphée des tenants du dogme – mais estimant cependant que la génération spontanée n'était pas réfutée de façon absolue si ce n'est dans les expériences réalisées. On voit bien là la prudence du scientifique qui évite la généralisation abusive et s'en tient à ses propres observations. C'est John Tyndall qui 10 ans plus tard, mettra la dernière main à l'abandon définitif de cette fausse théorie, suite à l'affaire Bastian (1878 cf. p.23).

On notera en effet une lacune dans les démonstrations de Pasteur, à savoir qu'il n'a jamais utilisé des infusions de foin comme le faisait Pouchet, et dans lesquelles on établira qu'un bacille (Bacillus subtilis) peut former des endospores résistant à l'ébullition. N'empêche que ce sont les travaux de Pasteur qui sont à la base de l'effondrement du mythe des générations spontanées.

John Tyndall (1820-1893) physicien irlandais. Il découvrit le phénomène du regel de la glace, ce qui lui permit d'interpréter la marche des glaciers. Il expliqua également la différence d'aspect que prennent les suspensions colloïdales, selon qu'elles sont regardées par transparence ou par réflexion, en faisant intervenir la diffusion de la lumière par les particules (effet Tyndall).

6 – LES MALADIES DES VERS À SOIE (1865 – 1870)

De 26 000 tonnes en 1853, la production de cocons passe à 4 000 tonnes en 1865. J.B. Dumas demande à Pasteur de prendre en mains le problème de la sériciculture. D'abord réticent et refusant même de traiter une question qui lui était complètement étrangère, il finit par céder aux instances de son ancien professeur et arrive à Alais (Alès depuis 1926) le 6.6.1865. Il emporte avec lui les travaux de Quatrefages (naturaliste à qui on doit le nom de la maladie, la pébrine, ce qui signifie la maladie du poivre, le ver malade prenant la couleur foncée du poivre) et de quelques auteurs italiens qui avaient noté la présence de petits corpuscules noirs dans les vers à soie et dans leurs papillons. Ce fait est immédiatement confirmé par Pasteur qui démontre la relation entre ces corpuscules et le mal. Des observations méticuleuses lui montrent que le mal est contagieux (les vers contractent la maladie suite à consommation de feuilles enduites avec les corpuscules : démarche expérimentale volontaire) et héréditaire (on donnera à ce mot un sens différent de ce qu'il a de nos jours), un ver malade pouvant contaminer le voisin en le blessant avec ses pattes griffues.

En 1867, il met en évidence qu'une 2ème maladie indépendante de la pébrine affecte les vers à soie. C'est la flacherie, nom donné en relation avec l'aspect du ver atteint (flache, flasque).

La lutte contre la flacherie ne présente guère de difficultés. De simples mesures de propreté dans l'exploitation séricicole garantissent les vers contre la flacherie accidentelle. Quant à la flacherie héréditaire – qui ne peut être décelée qu'au microscope – Pasteur donnera aux exploitants quelques règles simples leur permettant de réussir leurs élevages. En ce qui concerne la pébrine, c'est par une sélection d'œufs reconnus parfaits qu'on pourra l'éviter. Pasteur établira à cet effet des modes opératoires adéquats (1869-1870) et sera nommé "sauveur de la sériciculture française". Ce titre sera cependant contesté plus tard (1886) car malgré les améliorations apportées, les travaux du savant ne permettront pas de retrouver les chiffres de production d'avant 1853.

Le surmenage, conséquence de la perpétuelle tension d'esprit et de la multiplicité d'observations épuisantes au microscope, ébranleront la santé de Pasteur causant vraisemblablement sa première crise d'hémiplégie d'octobre 1868.

7 – Notoriété de Pasteur en 1870 L'affaire du parchemin

On comprend au travers de toutes les études mentionnées précédemment pourquoi et comment la notoriété de Pasteur avait pu s'étendre à toute l'Europe.

Dès 1868, la faculté de médecine de l'Université de Bonn, alors en Prusse rhénane, avait eu le mérite de pressentir l'influence que les découvertes de Pasteur pourraient avoir en médecine. Elle lui décerna le titre de Docteur honoris causa. Le diplôme rédigé en latin faisait avec précision l'éloge des travaux pasteuriens sur les fermentations et sur le rôle des "organismes microscopiques". Peu de distinctions avaient procuré au savant autant de satisfactions. Les médecins allemands, contrairement à la majorité des médecins français d'alors, reconnaissaient que les recherches du solitaire de la rue d'Ulm ouvraient aux études médicales des horizons nouveaux.

Tout ceci est à mettre au crédit de la médecine allemande. Pasteur exposa ce diplôme dans son cabinet de travail et le montrait avec une certaine fierté à ses visiteurs occasionnels.

Survint alors cette guerre de 1870/1871, désastreuse pour la France qui dut céder une partie de son territoire à l'Allemagne.

Patriote exacerbé comme tous les Français de l'époque, Pasteur se sentit offensé de voir alors, sur son diplôme, son nom accolé à celui du roi Guillaume voué désormais à l'exécration de la France. En janvier 1871, il écrira au doyen de Bonn précisant que "*la vue de ce parchemin m'est odieuse*" et qu'il obéit "*à un cri de sa conscience* " en priant le doyen de reprendre ce diplôme "*en signe de l'indignation qu'inspirent à un savant français la barbarie et l'hypocrisie de celui, qui pour satisfaire un orgueil criminel, s'obstine dans le massacre de deux grands peuples*". Pasteur reproche ensuite véhémentement au roi Guillaume de violer le droit des peuples à disposer d'eux-mêmes en annexant l'Alsace et une partie de la Lorraine. Cette lettre au doyen se termine de façon inattendue par une citation intégrale de Tocqueville sur la nation française.

Début mars 1871, Pasteur reçoit le billet suivant : "*Le soussigné, doyen actuel de la faculté de médecine de l'Université de Bonn, est chargé de répondre à l'insulte que vous avez osé faire à la nation allemande dans la personne sacrée de son auguste empereur, le roi Guillaume de Prusse, en vous envoyant l'expression de tout son mépris. Signé Docteur Maurice Neumann*" avec le PS suivant: "*Voulant garantir ses actes contre la souillure, la faculté vous envoie ci-joint votre libelle*".

A-2 KOCH (1843 – 1910) Enfance et études universitaires

Né à Clausthal le 11 décembre 1843 dans les montagnes du Harz, région faisant alors partie du royaume de Hanovre. Son père, ingénieur des mines, avait la réputation d'être un grand spécialiste de l'industrie minière. 3ème enfant d'une fratrie de 13, il va grandir sans surveillance particulière et jouira d'une grande liberté. Le petit Robert qui faisait de bonnes études à l'école, employait ses loisirs à collectionner plantes, insectes et minéraux de cette région montagneuse. Il deviendra rapidement un excellent joueur d'échecs et manifestera très tôt de grandes qualités scientifiques. Il rêvait de devenir médecin dans la marine, car ses goûts le portaient vers l'histoire naturelle et les voyages lointains. C'est dans cette intention qu'il entra à la faculté de médecine de Göttingen, où il subit l'influence du physiologiste Meissner, très connu à l'époque. Ce savant est le découvreur des "corpuscules de Meissner", récepteurs du derme sensibles au toucher.



Fig 5 **Robert Koch.** Koch (1843-1910) dans son laboratoire.

Koch aura pour professeur J. Henle, défenseur de la théorie microbienne des maladies infectieuses et qui est l'initiateur des postulats de Koch (cf. annexe 2). L'esprit scientifique de Koch va se développer sous l'influence de ces 2 professeurs. Il achève rapidement ses études médicales et commence à pratiquer dans le Hanovre d'abord, puis dans des petites villes de la Prusse orientale. Il a alors 22/23 ans.

21 ans plus jeune que Pasteur, il a 27 ans quand débute la guerre de 1870. Farouchement anti-français, il désire s'engager dans l'armée prussienne mais est refusé pour cause de myopie. Il sera cependant pris en tant que médecin militaire, suivra les armées prussiennes, ira même jusqu'à Orléans avant de reprendre ses activités normales en 1871, la guerre étant terminée.



Visite de Koch à Elie Metchnikoff (au centre) à l'Institut Pasteur de Paris en 1904

Fig. 6 Metchnikoff et sa femme Olga avec Koch à Paris en 1904

B] TRAVAUX DE PASTEUR ET KOCH APRÈS 1871

(cf. résumé chronologique : annexe 1)

1 – Les maladies de la bière maîtrisées par Pasteur

Les méthodes de fabrication de la bière seront étudiées par Pasteur à Clermont-Ferrand où il se rend en mai 71 suite à une invitation de son élève Duclaux, professeur à la faculté des sciences de cette ville. Il voulait doter la France d'une bière susceptible de concurrencer les bières allemandes. On rappelle que la bière est obtenue en faisant bouillir le malt (farine d'orge germé, additionnée de houblon pour l'aromatiser). Cette infusion – le moût de bière – est refroidie puis versée dans les cuves pour qu'elle subisse la fermentation. C'est à ce stade que les difficultés commencent car si l'ébullition a tué les germes, le moût en refroidissant devient une culture d'élection pour les ferments acétiques, lactiques ou butyriques. Après refroidissement on ajoute au moût un ferment particulier (le levain) qui permet la fermentation alcoolique. Celle-ci terminée, la bière est faite.

Mais la fragilité de la bière suscite l'inquiétude constante des fabricants : des maladies peuvent se déclarer, comparables à celles du vin. Les causes en sont les mêmes : des germes répandus dans l'atmosphère, lesquels se déposent sur les matières premières nécessaires à la fabrication de la bière.

Pasteur va alors utiliser le procédé de chauffage qui réussissait si bien pour le vin. Mais le chauffage de la bière à l'air libre, en libérant celle-ci de son acide carbonique risquait de la rendre impropre à la consommation. La difficulté sera esquivée en chauffant la bière mise en bouteilles à une température de 50 à 55 °C : c'est la pasteurisation de la bière.

La fortune de maints brasseurs fut ainsi assurée dans cette période de 1871-1873 où Pasteur s'occupa des maladies de la bière. Il ne faisait finalement que mettre en application stricte ses observations réalisées à partir de ses ballons à col de cygne mentionnés à propos de la "génération spontanée".

Nota : Büchner (prix Nobel de Chimie 1907) réussit à extraire des levures de bière une matière qu'il nomma "zymase", capable de faire fermenter des solutions sucrées sans aucune intervention de cellules vivantes. D'après la théorie de Liebig, l'intervention des cellules vivantes n'est pas nécessaire à la fermentation, qui serait provoquée par les produits de décomposition des ferments ou par d'autres matières albuminoïdes (caséine, gluten…). La découverte de Büchner implique que la zymase est élaborée à l'intérieur des cellules vivantes, les cadavres de levures n'étant pas capables de produire une fermentation comme l'exigeait la théorie de Liebig. La théorie de Pasteur sera donc reconnue comme incontestable, puisque ramenant les fermentations à des processus physiologiques intracellulaires.

On s'accorde généralement à penser de nos jours, que Pasteur ne comprit pas l'importance des "ferments solubles" que l'on appellera plus tard "enzymes" suite aux travaux de Büchner, car soulignant toujours de façon peut-être excessive le rôle des micro-organismes dans les fermentations proprement dites.

2 – Naissance de la médecine et de la chirurgie modernes

A l'issue de ses études sur les fermentations, Pasteur avait établi qu'une fermentation est provoquée par un micro-organisme vivant, spécifique. Ces germes se trouvent dans l'air ou l'eau. Ces produits purs n'en contiennent pas et la chaleur les tue dans certaines conditions propres à chaque espèce. Il était même parvenu à les isoler et à les cultiver dans un liquide nutritif adéquat.

Pasteur résumera sa théorie des germes en 15 propositions présentées à l'Académie de médecine les 22/1 et 19/2 1878. Moyennant quoi, il préconisera des règles générales d'asepsie et d'antisepsie.

Ces dispositions intervenaient à point nommé : médecine et chirurgie régressaient. On a du mal aujourd'hui à imaginer que les chirurgiens du milieu du XIX^{ème} siècle ignoraient l'existence des germes et que les notions courantes d'asepsie leur étaient étrangères. Certaines opérations chirurgicales pouvaient réussir mais entraînaient la mort dans des proportions considérables. Et pourtant, la chirurgie des siècles passés avait obtenu certains résultats. Larrey, le célèbre chirurgien de la Grande Armée pour ne citer que lui, utilisait des liquides bouillants, des produits désinfectants (huile chaude, vin, eau-de-vie), évitait de pénétrer dans la blessure avec les doigts. Les pansements étaient parfois ébouillantés dans de l'huile ou du vin. Sans le savoir, on pratiquait un peu l'antisepsie.

Dominique-Jean Larrey (1766-1842) médecin et chirurgien militaire français. Père de la médecine d'urgence. Il serait à l'origine de la mise en place au sein des armées françaises du système des "ambulances volantes" dans lesquelles il embarquait indifféremment amis et ennemis, afin de les soigner sans faire de distinction ni de nationalité ni de grade, ce qui lui valut l'estime des officiers et généraux des armées ennemies. Il reste la figure médicale la plus célèbre du Premier Empire. Considéré comme un bon chirurgien à une époque où l'anesthésie n'existait pas, il était capable d'amputer un membre en moins d'une minute, l'amputation étant à l'époque la seule asepsie efficace.

L'influence aussi considérable qu'incompréhensible de Broussais (1772-1838) brisa ce relatif essor. Ce médecin avait mis au point un pansement homicide : il empaquetait les plaies dans des cataplasmes hermétiques composés d'un mélange d'huile, de cire et de charpie, produit de l'effilochage des vieux draps des hôpitaux. Il s'en suivait une purulence galopante, prélude à une septicémie générale qui tuait le patient dans une pestilence accablante pour l'odorat des survivants. Les règles les plus élémentaires de l'hygiène étaient ignorées.

François Broussais (1772-1838) médecin et chirurgien français. A suivi les armées de Napoléon vers 1805, sans avoir été semble-t-il influencé par Larrey. Il est l'inventeur d'un principe selon lequel "il y a identité du normal et du pathologique, aux variations quantitatives près". Il soutiendra qu'en pathologie" tout est inflammation", expliquant tous les phénomènes pathologiques par l'irritation et l'inflammation des tissus. Il préconisait le traitement "antiphlogistique". La violence de l'épidémie de choléra de 1832 contribua à déconsidérer sa médecine physiologique.

Ces méthodes expliquent les hécatombes provoquées par la guerre de Crimée et le conflit franco-allemand de 1870. (En Crimée, l'armée française forte de plus de 300 000 hommes perdra ± 10 000 soldats sur le champ de bataille et ± 90 000 pour maladies et blessures dont 50 000 suite à opérations chirurgicales ; pour les Russes, ce fut pire : ± 600 000 morts pour blessures et maladies). L'insuccès de la chirurgie était désespérant. À Paris on comptait le décès d'une accouchée sur 5 pour cause de septicémie puerpérale. En 1868, 60% des amputés trépassaient. Un chirurgien de la Charité, Denonvilliers, conseillait à ses élèves : "quand vous aurez une amputation à faire, regardez-y à 10 fois car amputation signifie arrêt de mort".

Les idées de Pasteur vont se développer au lendemain de la guerre de 1870 grâce à Alphonse Guérin, chirurgien à l'Hôtel-Dieu qui pensait que si les "miasmes" càd les émanations, cause des maladies infectieuses, étaient des ferments, il suffirait alors d'utiliser des pansements débarrassés de ceux-ci. Pasteur conseilla une stérilisation dans un récipient hermétique (150°C, 30 mn). Des résultats excellents sont observés par Guérin à l'hôpital St-Louis dès 1873 et Pasteur préconise les méthodes à suivre début 1874 devant l'Académie des Sciences.

L'Allemagne, l'Angleterre et en particulier l'Ecosse où exerçait le célèbre chirurgien J.Lister vont s'éveiller aux idées pastoriennes. Pasteur recevra d'ailleurs 2 lettres très élogieuses, l'une de Lister – considéré par Metchnikoff comme l'un des trois fondateurs de la médecine moderne avec Koch et Pasteur – qui remercie le savant français de lui avoir démontré la vérité de la théorie des germes, et l'autre de Tyndall. Ce physicien irlandais attira l'attention de Pasteur sur le rôle néfaste d'un médecin anglais, le docteur Bastian. Nous sommes en 1876.

Lord Joseph Lister (1827– 1912) est un chirurgien britannique, un des pionniers et le vulgarisateur le plus efficace de l'antisepsie dans la chirurgie opératoire. Professeur de clinique chirurgicale à Glasgow, puis à Édimbourg et au King's College de Londres, il découvre en 1865, la théorie des germes formulée par Pasteur sur la putréfaction. En traitant ses instruments, les blessures et les blouses au phénol, Lister parvient en 1869 à réduire le taux de mortalité opératoire de 40 à 15 %. Sa méthode, qu'il appelle antiseptique, est d'abord accueillie avec scepticisme, mais, dans les années 1880, elle est acceptée par tous. Il est lauréat de la Royal Medal en 1880.

Le docteur Bastian, professeur d'anatomie à l'University College de Londres, rallumait avec brio la querelle des générations spontanées et attaquait les travaux entrepris depuis 16 ans au laboratoire de l'Ecole Normale. Il prétendait avoir découvert les conditions physico-chimiques nécessaires et suffisantes pour la génération spontanée de certaines bactéries. Mis au défi par Pasteur de soumettre cette prétendue découverte à l'examen d'une commission compétente, il vint à Paris en juillet 1877 et se rendit au laboratoire de la rue d'Ulm. Son expérience fut un échec, récipients et instruments mis à sa disposition ayant été stérilisés. Mais il nia l'évidence, persista dans l'erreur et soutint encore publiquement devant Pasteur, au congrès médical international tenu à Londres (1881) que "les organismes microscopiques, dans les maladies, se produisaient par les tissus mêmes". Pasteur prit alors la parole et Bastian accablé, ne se relèvera pas de cette ultime attaque.

Pasteur sera élu à l'Académie de Médecine le 25 mars 1873, à une voix de majorité seulement (il n'était pas médecin et les médecins n'aiment pas les chimistes). Le pourfendeur de l'hétérogénie va utiliser cette tribune pour exposer avec vigueur sa théorie des germes et des ferments. Perturbateur de l'ordre médical, il livrera contre les médecins de l'époque un combat sans merci. Les controverses sur la théorie des germes s'achèvera le 11.03.1878 lorsque le docteur Sédillot – inventeur du mot microbe – déclarera à l'Académie des sciences : "nous avons assisté à la conception et à la naissance d'une chirurgie nouvelle….à laquelle les noms de Pasteur et Lister resteront glorieusement attachés".

La plus grande joie de Pasteur sera peut-être d'avoir converti à la théorie des germes son ami Claude Bernard – quelques mois avant sa mort en 1878 – qui jusque-là s'était montré favorable à la théorie de la génération spontanée des micro-organismes.

Claude Bernard (1813-1878) médecin et physiologiste français considéré comme le fondateur de la médecine expérimentale. Il découvrit le rôle de la sécrétion pancréatique dans la digestion des graisses (1848), le rôle du foie dans la sécrétion interne du glucose dans le sang (1848), la libération du sucre par le foie et isola le glycogène (1857). Il indiqua la spécificité du curare dans certaines paralysies (1856) et démontra que le monoxyde de carbone bloque la respiration dans les érythrocytes (1857).

3 – Le charbon : une histoire commune Pasteur / Koch

Pasteur et Koch ont participé de façon directe à l'étiologie et au traitement de cette redoutable maladie. Il s'agit donc d'un exemple intéressant qui permet d'apprécier les contributions respectives des deux savants dans un domaine commun et par-là même de comprendre les succès rencontrés par cette médecine – que l'on peut déjà qualifier de scientifique – qui s'installe en Europe à partir des années 1850.

Le charbon est à l'époque de Pasteur une maladie endémique sévissant dans de nombreuses contrées européennes : elle est mortelle pour les moutons et pour les hommes qui peuvent la contracter au contact des animaux malades.

3-1 Hésitations préalables

En 1850, deux médecins français très connus à l'époque, Rayer et Davaine, observent dans le sang des moutons atteints la présence de petits corps filiformes faisant environ deux fois la longueur d'un globule sanguin. Cette observation fut confirmée en 1855 par Pollender en Allemagne qui crut avoir affaire à des plantes microscopiques. L'importance de ces vibrions ne fut pas comprise. 10 ans après la découverte de 1850, le vétérinaire français Delafond observe à son tour ces filaments. Ces formations ne peuvent provoquer le charbon – pense-t-il – mais il lui semble que le sang des animaux charbonneux acquière une prédisposition morbide, favorable à la pullulation de ces corpuscules.

Autrement dit, les bactéridies charbonneuses ne seraient pas la cause, mais la conséquence de la maladie qui serait due – en accord avec la théorie de Liebig – à des principes infectieux amorphes, sous forme de matière albuminoïde en voie de décomposition.

En 1861, Pasteur publie son remarquable travail sur le ferment butyrique, ferment formé de petites baguettes cylindriques possédant tous les caractères morphologiques des vibrions et des bacilles que l'on connaissait alors. Ceci sert de détonateur à Davaine qui se remet à l'étude du charbon alors que depuis 10 ans il ne pensait plus aux corpuscules filiformes trouvés par lui.

Durant les 10 ans qui suivirent, il recherchera avec minutie les faits capables de démontrer que ces vibrions ne sont pas des produits secondaires de la maladie, mais qu'ils en sont la cause réelle. Mais il ne réussit pas à les isoler du liquide sanguin. C'est surtout parce que les "corpuscules" de Davaine ne pouvaient expliquer la propagation naturelle du charbon que sa théorie était tenue pour inadmissible. Depuis longtemps en effet, il était établi que cette maladie était liée au sol. Elle réapparaissait en effet d'année en année : différents éléments indiquaient une résistance extraordinaire du principe infectieux du charbon alors que Davaine lui-même pensait que ses "bactéridies" comme il les appelait, étaient facilement détruites. Dans sa tentative d'explication de la propagation du charbon, Davaine prêtait une importance particulière aux mouches qui auraient pu être le vecteur de la transmission des bactéridies du sang des cadavres charbonneux vers l'animal sain. Mais là encore, il rencontra une forte opposition, les cas de charbon n'étant pas rares en hiver, avant l'apparition des mouches.

Cette théorie du "principe contagieux organisé" que Davaine n'avait pas réussi à faire triompher mais qui était en accord avec les principes de Pasteur, prit définitivement le dessus sur celle de Liebig dans les années 1860/70. Beaucoup de naturalistes et de médecins se mirent avec un zèle exagéré, à l'appliquer à toutes les maladies infectieuses. C'est ainsi que l'on vit apparaître des médecins et botanistes qui, dès qu'ils décelaient quelques champignons microscopiques à l'examen de telle partie du corps humain, s'empressaient de déclarer qu'ils détenaient le responsable de la maladie observée. Le célèbre botaniste allemand de Bary démontra que ces prétendues découvertes ne résistaient pas à la critique. Un scepticisme excessif se répandît. De nombreux médecins, qui observaient dans leurs recherches des parasites microscopiques, préféraient se taire pour ne pas s'exposer à la critique écrasante du savant botaniste. Tel fut le cas par exemple pour Obermeyer, assistant du célèbre Virchow, qui, dans une étude inattaquable vu la médecine de l'époque concernant une fièvre récurrente qui s'était développée à Berlin vers 1868, avait omis dans son article – par égard pour son chef probablement – de mentionner des filaments fins, décelés par lui au microscope et qui semblaient repousser avec force les globules rouges. Son chef, Virchow, était convaincu que la cause de la maladie résidait dans l'activité anormale des cellules de l'organisme : il ne prêtait aucune importance aux êtres inférieurs, microbes ou bacilles... rencontrés parfois dans les produits morbides. Ce n'est que 5 ans plus tard, en 1873, que Obermeyer publie son observation. Entre-temps, la guerre franco-allemande avait donné lieu à de nombreuses observations sur les maladies des plaies et les esprits se préparaient à l'application des idées pasteuriennes sur les maladies infectieuses. Dans ces conditions, la découverte des filaments en spirale d'Obermeyer prenait une importance particulière. N'empêche que les bactéridies charbonneuses de Davaine et les spirilles d'Obermeyer étaient toujours répartis dans les liquides de l'organisme atteint (sang la plupart du temps). On ne pouvait admettre comme prouvé que c'était eux, et non les substances inorganisées les accompagnant, qui déterminaient le charbon et la fièvre récurrente.

Rudolf Ludwig Karl Virchow (1821-1902) est un médecin pathologiste allemand, considéré comme l'un des fondateurs de l'anatomie pathologique moderne. Il effectua l'essentiel de sa carrière à l'hôpital de la Charité à Berlin, se faisant le promoteur d'une médecine strictement orientée vers les sciences naturelles. Connu également en tant qu'homme politique, il fut l'un des représentants du parti progressiste allemand.

3-2 Irruption de Robert Koch dans la science médicale.

Une puissante impulsion était nécessaire pour transformer la conception des ferments organisés, qui flottait dans l'air, en une conception scientifique rigoureusement prouvée quant à l'existence réelle de ces ferments organisés. Cette impulsion fut donnée par un mémoire sur le charbon de **Robert Koch** publié en 1876. Jusqu'alors inconnu, le jeune médecin sanitaire (il a alors 33 ans) de la petite ville de Wolstein, trou perdu en Posnanie, prit brusquement place dans les premiers rangs des savants. Habitant une région où le charbon était endémique, il se mit à l'étudier sans laboratoire, sans bibliothèque, abandonné exclusivement à ses propres forces. Il travaillait dans son appartement où il était obligé de se contenter d'une lampe à pétrole et d'organiser avec des assiettes remplies de sable humide un semblant d'appareil pour cultiver les bactéridies. Il obtint cependant des résultats supérieurs à tout ce qui avait été acquis jusqu'alors. C'est lui qui le premier parvint à transformer les "corpuscules microscopiques filiformes" de Davaine en longs filaments et ceux-là en chapelets constitués de grains minuscules, les spores.

Cette découverte de la spore charbonneuse – première découverte majeure de Koch en bactériologie (1876) – écarta tous les doutes sur le rôle de la bactéridie comme cause du charbon, car elle élucida tous les points jusqu'alors inexpliqués. Les spores se trouvèrent être bien plus résistantes que les bâtonnets et les filaments. Tandis que ceux-ci ne conservaient leur virulence que peu de temps après avoir été desséchés, les spores, soumises à la dessiccation pendant plusieurs années, provoquaient fatalement le charbon chez les animaux auxquels on les inoculait. Cette vitalité des spores expliqua très simplement la corrélation observée entre le charbon et le sol. Il est évident que les endroits où avaient été enterrés les cadavres d'animaux charbonneux, autour desquels des bâtonnets avaient pu se transformer en filaments et former des spores, pouvaient devenir une source de contagion pour de longues années.

Afin de démontrer ses résultats, Koch se rendit à Breslau (ville principale de la Prusse orientale, aujourd'hui Wroclaw en Pologne) chez le célèbre botaniste Cohn et montra en présence de nombreux savants, ses préparations et ses cultures. L'impression fut foudroyante. La découverte de Koch se répandit aussitôt à toute l'Europe, convainquant jusqu'aux plus acharnés des sceptiques. La bactéridie, cause exacte du charbon, ouvrit une ère nouvelle dans l'étude des maladies infectieuses.

Ferdinand Julius Cohn (1828-1898) botaniste et microbiologiste allemand, né et mort à Breslau. Etudie la médecine à Breslau et Berlin. Il sera nommé professeur de botanique en 1851 et dirigera l'Institut en 1859. Il étudiera les bactéries qu'il classera parmi les plantes et sera le premier à décrire le cycle de *Bacillus*. On considère qu'il est l'un des fondateurs, avec Koch, de la bactériologie moderne.

4 – La tuberculose et le bacille de Koch

Nombreux étaient alors ceux qui pensaient que l'habileté technique extraordinaire de Koch lui permettrait de découvrir d'autres ferments responsables de maladies plus importantes pour l'homme que le charbon. En octobre 1878, Koch fit un rapport au congrès des naturalistes allemands de Cassel mais il n'annonça rien d'important. Grande fut la désillusion des auditeurs qui ne remarquèrent même pas que son travail faisait faire des progrès importants à la technique bactériologique. Pour la première fois il introduisait la coloration des microbes par des dérivés de l'aniline et perfectionnait le microscope par utilisation de l'objectif à immersion et du condenseur de Ernest Abbe, ce qui lui permettra de réaliser les premières microphotographies de bactéries.

Un de ses collaborateurs (Julius Richard Petri) mettra au point un peu plus tard (1887) cette fameuse" boîte de Pétri", boîte universellement connue en tant que milieu de culture bactérien et qui va s'imposer d'emblée comme la reine des laboratoires de biologie. On y utilise comme agent solidifiant l'agar non attaqué par les bactéries et ne se ramollissant qu'aux alentour des 100°C. On peut ainsi cultiver des colonies bien isolées, visibles à l'œil nu. Cette invention apportera à la culture des bactéries la présentation que nous lui connaissons encore aujourd'hui.

Ayant obtenu peu après une place au "Kaiserliches Gesundheitsamt" (Office impérial de la santé publique) nouvellement inauguré à Berlin, Koch y organisa un laboratoire bien équipé. C'est là qu'il réussit, après quelques années d'efforts tenaces, à découvrir le bacille de la tuberculose, plus petit et beaucoup plus difficile à étudier et à cultiver que la bactéridie charbonneuse. La communication de cette découverte fut faite par Koch le 24 mars 1882 à la Société de physiologie de Berlin.

Elle fit le tour du monde avec la rapidité de l'éclair et produisit une impression indescriptible et ineffaçable.

(Metchnikoff) .

Cette découverte – chef d'œuvre de Koch – entra immédiatement dans le domaine commun. Les objections étaient si bien prévues et écartées d'avance que les critiques les plus sévères n'eurent qu'à s'incliner. Dans tous les laboratoires et hôpitaux surgit alors une activité intense afin de dépister et prévenir toutes les formes de tuberculose. On ne parla plus alors que du "bacille de Koch" encore appelé le BK.

Koch se rendit ensuite avec ses assistants en Égypte et aux Indes. La découverte du bacille du choléra se fera en moins d'un mois à l'occasion d'une épidémie qui sévissait à Alexandrie et qu'il étudie sur place en 1883. Il confirme l'existence de ce bacille – bâtonnet recourbé en virgule – l'année suivante aux Indes (1884) et découvre qu'il se transmet à l'homme principalement par l'eau.

Ces importantes découvertes fondèrent une nouvelle branche de la science – la bactériologie médicale – dont on doit considérer Koch comme le promoteur

5 – Intervention de Pasteur.
La vaccination anticharbonneuse

Pasteur plongé dans ses recherches sur la fermentation alcoolique et l'altération des vins, n'avait pu se résoudre à aborder l'étude des ferments pathogènes. Il craignait de s'embrouiller dans le labyrinthe de la médecine officielle malgré ses recherches fécondes sur les maladies des vers à soie. Il va surmonter ses hésitations après s'être assuré de la collaboration d'un jeune médecin de grand talent, Émile Roux. Le Ministre de l'Agriculture lui ayant demandé de façon pressante de s'occuper du charbon, maladie désastreuse pour le cheptel ovin, il va débuter par l'étude de la bactéridie charbonneuse et réussit à cultiver – dans de l'urine diluée et non acide – toute une série de générations successives dont chacune avait la même virulence que celle du premier ensemencement. Ainsi fut obtenue la preuve définitive que c'était indéniablement les bactéridies et non le liquide sanguin qui était la cause véritable du charbon.

On pourrait ainsi supposer que les travaux de Koch n'étaient pas complets et laissaient à désirer. Mais il n'en est rien car les expériences du médecin allemand prouvaient sans appel que la spore charbonneuse était la cause unique de la maladie. Cette conclusion n'avait pas entraîné la conviction générale : Roux a bien expliqué dans ses écrits, pourquoi les objections formulées par certains – conséquence des idées de l'époque – paraissaient pleines de force.

Sans entrer dans les détails et en guise de conclusion, on laissera parler Metchnikoff qui écrira: **"c'est grâce au Français Pasteur que fut comprise la signification réelle de la bactéridie du charbon et c'est grâce à l'Allemand Koch que fut prouvé son rôle d'unique principe infectieux de cette maladie".**

Pierre Paul Émile Roux (1853-1933), médecin, bactériologiste et immunologiste français fut un des plus proches collaborateurs de Pasteur et fonda avec lui l'institut Pasteur. Il découvrit le sérum antidiphtérique, première thérapie efficace contre cette maladie. En 1910, l'Institut Pasteur et l'Université de Paris feront construire l'Institut du radium dont la vice-présidence sera partagée par Roux et Marie Curie. Son ascétisme lui valut d'être qualifié parfois de "moine laïc" et beaucoup ont vu en lui le "sauveur de l'enfance humaine", ce qui lui vaudra des funérailles nationales.

On a vu que Koch concentrait essentiellement ses efforts à la découverte de nouveaux microbes pathogènes et à l'amélioration des techniques d'observation et de culture. Pasteur était guidé par la recherche d'un principe général de lutte contre les maladies infectieuses. En s'y préparant, il étudiait les œuvres de Jenner et tout ce qui concernait la vaccination antivariolique. Une observation fortuite de ses collaborateurs (Chamberland, Roux) quant à la perte de virulence de la bactérie responsable du choléra des poules quand on laisse les cultures correspondantes à l'étuve pendant 15 jours, lui donna l'idée que ces microbes non virulents pouvaient, peut-être, jouer le même rôle que la variole de la génisse, dont le vaccin était si efficace contre la variole humaine. Pasteur isolera et cultivera l'agent causal de la maladie, bactérie déjà repérée par Toussaint, vétérinaire à Toulouse. Il s'agit d'un microcoque aérobie dont la virulence s'atténue avec le temps à l'abri de l'air. Il constata que les poules, vaccinées par des cultures ayant perdu leur virulence, acquéraient réellement une immunité stable contre cette maladie, à laquelle, sans vaccination préalable, elles succombaient inévitablement.

Le microbe ainsi affaibli a agi en "vaccin" selon l'expression même de Pasteur qui venait ainsi de découvrir la vaccination bactérienne. Il désira en effet baptiser sa découverte" vaccination" en hommage au médecin anglais Jenner qui, à la fin du XVIIIème siècle, avait découvert le moyen d'immuniser l'homme contre la variole en le "vaccinant" par inoculation directe du cow-pox ou vaccine, maladie infectieuse de la vache. Mais il existe une différence profonde entre les découvertes de Jenner et de Pasteur, celle qui sépare l'empirisme de la science, l'observation de l'expérimentation.

Il fallait donc de façon générale cultiver le microbe donné, trouver un moyen d'atténuation et enfin établir le degré d'atténuation nécessaire pour prévenir l'infection.

Ces principes seront suivis dans la recherche d'un vaccin contre le charbon. Il convenait de tenir compte de l'importance du facteur "température" sur la culture de la bactérie charbonneuse et de l'éventuelle présence de spores : au-delà de 44° cette culture est impossible, à 42° elle est aisée et la bactérie ne produit plus de spores. En conservant au contact de l'air pur à 42° une culture de bactéries en bâtonnets et sans spores, la virulence va s'atténuer progressivement. L'inoculation se fera avec une préparation faite en conséquence (culture vieillie 44 jours à l'air pur à 42°) et sera testée avec succès par Pasteur sur des moutons vers fin 1880 / début 1881.

L'année 1881 verra la concrétisation de cet extraordinaire succès :

- 28.02.1881 - Pasteur annonce cette découverte sans précédent à l'Académie des Sciences et y déchaîne l'enthousiasme

- 28.04.1881 - expérience publique de vaccination anticharbonneuse sur des moutons à Melun

- mai 1881 - opération identique mais réalisée sur des vaches. Ce sont les fameuses expériences de Pouilly-le-Fort qui, comme la précédente, sont un succès complet.

Très rapidement la France rurale va se convertir au vaccin anti-charbonneux et en 1882 on vaccinera près de 400 000 animaux. On notera également que suite à ses multiples expérimentations, Pasteur en était arrivé à la conclusion de ne jamais enfouir un mouton charbonneux dans des sols dont la surface est destinée soit au pacage des ovins, soit à la production de leur fourrage.

6 – Pasteur et la médecine. La rage

Une maladie porcine, le rouget des porcs, signalée au savant dès 1877, fut étudiée par lui en 1882. La bactérie responsable isolée par Thuillier – collaborateur de Pasteur – sera traitée par les procédés habituels dont nous avons parlé (culture de la bactérie et vaccination par microbe atténué). Le vaccin mis au point sera une réussite complète et vaudra en 1883 une motion de reconnaissance à Pasteur, votée par la municipalité de Bollène (Vaucluse) qui l'avait alerté sur ce fléau.

Pasteur désirait passionnément couronner son activité scientifique par la découverte d'un moyen préventif contre une maladie humaine. Certaines considérations extérieures arrêtèrent son choix sur la rage : 2 de ses filles étant mortes de diphtérie et devant l'impuissance de la médecine, il décida d'étudier les maladies contagieuses humaines en utilisant les méthodes qui lui avaient si bien réussies. Mais celles-ci s'appliquaient à des animaux et il était impensable d'expérimenter de façon identique sur l'homme. Il fallait une maladie commune à l'homme et aux animaux. La rage présentait ces avantages.

La bave d'un chien enragé perd sa virulence en 24h (démonstration de Pasteur) et l'inoculation du sang d'un animal ayant la rage ne transmettant pas la rage (constatation du Dr. Duboué en 1879), Pasteur se rangera après expérimentations, à l'avis de Duboué pour qui la région cervelet/moelle épinière devait être primordiale dans le développement du mal.

Faisant des trépanations – mot qui à l'époque faisait sursauter les contemporains – sur des animaux malades (chiens, singes et lapins), et par inoculation d'un extrait de cerveau, il put ainsi transmettre la maladie, observable quelques jours plus tard sur un animal sain, mais sans pouvoir isoler l'agent causal (virus) vu les techniques de l'époque. N'ayant donc réussi, ni à découvrir le microbe de cette maladie, ni à en obtenir des cultures, il résolut le problème posé de façon détournée. Ayant mis de côté, au laboratoire, tout un stock de bocaux contenant des moelles épinières de lapins dans lesquelles on avait vainement essayé de cultiver le virus rabique et ces moelles s'étant desséchées, Pasteur chargea un de ses assistants (E. Viala) de déterminer leur degré de virulence, dans l'espoir de trouver une substance préventive, un "vaccin antirabique". On démontra ainsi sur des chiens l'action préventive de toute une série de moelles épinières atténuées dans leur virulence. Après des expériences" pour ainsi dire sans nombre" pour reprendre l'expression de Pasteur lui-même, le savant arriva à la conclusion que la moelle des lapins rendus malades est rabique dans toute son étendue avec constance de cette virulence, celle-ci étant conservée d'autant mieux que le produit est gardé à basse température. Mettant à profit les résultats des expériences de Viala, il indiquera alors les procédures à appliquer pour rendre un chien réfractaire à la rage.

C'est alors qu'arrive inopinément à son laboratoire le 6.07.1885 un jeune Alsacien, Joseph Meister, mordu par un chien enragé. Après maintes hésitations, il se décidera à appliquer à l'homme sa méthode mise au point sur des animaux. L'enfant sera sauvé après une dizaine d'inoculations de vaccin antirabique. Il en sera de même un peu plus tard pour un 2ème enfant, le jeune jurassien Jean-Baptiste Jupille. On notera qu'une petite fille, Louise Pelletier, décèdera suite à traitement trop tardif, ce qui déclenchera une violente polémique. Celle-ci se calmera rapidement, le père de la fillette ayant écrit : "parmi les grands hommes dont j'ai pu connaître la vie, aucun ne me paraît plus grand. Je n'en vois pas un seul, comme dans le cas de notre chère petite fille, capable de sacrifier de longues années de travail, de mettre en péril une réputation universelle de savant et marcher sciemment à un douloureux échec, simplement par humanité".


LA RÉPUBLIQUE ILLUSTRÉE

ET LA REVUE ILLUSTRÉE RÉUNIES

SIXIÈME ANNÉE — SAMEDI 3 AVRIL 1886 — NUMÉRO 293

ADMINISTRATION, RÉDACTION — 25 CENTIMES LE NUMÉRO — ABONNEMENTS

LE VACCIN DE LA RAGE

Fig 7- La vaccination du petit J. Meister par le docteur Grancher, sous l'œil attentif de Pasteur

On notera le destin tragique du petit Joseph : il devint gardien de l'Institut Pasteur, inauguré le 14.11.1888 à Paris. En 1940, sous l'occupation, alors âgé de 64 ans, il refusa l'entrée de la crypte où repose Pasteur, aux hommes de la Wehrmacht. Ne pouvant les empêcher d'entrer, il retourna chez lui et se suicida avec son ancien revolver de service qu'il détenait depuis la Première Guerre mondiale.

Pasteur est internationalement connu pour cette lutte victorieuse contre la rage. Il s'agit là très certainement, du point fondamental qui lui assure encore aujourd'hui son extraordinaire prestige.

Pasteur décèdera en 1895, une deuxième crise d'hémiplégie l'ayant frappé en 1887.

7 – Koch et ses recherches contre la tuberculose : la tuberculine

Pendant ces années où Pasteur s'occupait de la rage, Koch dans son laboratoire de l'Université de Berlin et après sa grande découverte du bacille tuberculeux, s'efforçait d'élaborer des moyens de traitement préventifs et thérapeutiques de la tuberculose. Au congrès international de 1890, il annonça la découverte de la "tuberculine" produit capable d'arrêter in vitro, mais aussi dans l'organisme animal, le développement des bacilles tuberculeux. Les mois qui s'écoulèrent après la parution écrite du travail de Koch (automne 1890) sont considérés par Metchnikoff comme l'une des époques les plus mouvementées de l'histoire de la médecine. Malades et médecins du monde entier affluèrent à Berlin.

On parla de la guérison de certains malades, mais pas tous. Il fut difficile de discerner la vérité, qui ne vit le jour que bien plus tard. Le nouveau remède était parfois efficace pour la tuberculose des os et des articulations, mais sans effet appréciable pour la tuberculose pulmonaire. Suivit une période de désillusion amère et exagérée envers Koch. Ses anciens admirateurs le précipitèrent du haut de son piédestal, oubliant tous les bienfaits que lui devait l'humanité pour ses travaux antérieurs.

On n'oubliera cependant pas le mérite qu'il convient d'attribuer à Koch pour toutes ces recherches qu'il entreprit sur la tuberculose, redoutable maladie qui, à l'époque, était la cause d'un décès sur sept en Europe. Après être resté encore quelques années à Berlin, il transporta son activité dans les contrées tropicales pour étudier le paludisme, la peste bubonique, la maladie du sommeil, la peste bovine. Il n'abandonnait pourtant pas l'idée de reprendre l'étude des moyens de lutte contre la tuberculose. Il fit sensation à la conférence de Londres en 1901 en indiquant que selon lui, la tuberculose bovine ne serait pas contagieuse pour l'homme. Dans d'autres mémoires, il communiqua sa découverte de procédés de modification de la tuberculine et indiqua des mesures diverses à prendre contre cette maladie. Quelques jours avant sa mort, il écrivait encore des rapports sur la propagation épidémique de la tuberculose.

On doit donc considérer Koch comme le précurseur fondamental ayant donné l'impulsion nécessaire à la lutte internationale contre cette maladie.

On indique dans l'annexe 2 les célèbres "postulats de Koch" qui établissent les relations causales entre un micro-organisme et une maladie spécifique.

Koch décèdera en 1910 après avoir reçu le prix Nobel en 1905, année où l'Institut des maladies infectieuses de Berlin prendra le nom d'Institut Robert Koch.

Nota relatif à la tuberculose : on ne saurait reprocher à Koch de n'avoir pas vaincu le "BK" (nom officiel actuel : *Mycobacterium tuberculosis*). Cette bactérie redoutable – plus petite et plus coriace que toutes celles auxquelles Pasteur avait eu à faire face – sera efficacement combattue par les antibiotiques dans la 2ème moitié du XXème siècle. Mais ceux-ci ont perdu leur efficacité, de sorte que le problème reste entier de nos jours. La tuberculose affecte aujourd'hui près du tiers de la population mondiale (en Asie et Afrique essentiellement) et cause 3 à 4 millions de décès/an. La découverte récente d'un modèle animal adapté (en lieu et place de la souris) permettra peut-être de résoudre le problème, mais pas avant plusieurs années, ceci dit sans faire preuve de pessimisme exagéré.

8 – Relations conflictuelles Pasteur / Koch dans les années 1880-1890

Les relations franco-allemandes sont maintenant au beau fixe… Tel n'était pas le cas vers la fin du XIXème siècle.

Une génération sépare les deux hommes. On soulignera la vivacité de leurs caractères et leurs fortes personnalités. Koch passe pour être entier, autoritaire, hautain. L'impétuosité et l'ardeur polémique de Pasteur, son besoin de vaincre et de convaincre, ses attaques passionnées contre tous ceux qu'il juge de mauvaise foi, sont bien connus.

Les querelles Koch / Pasteur dont il est question ci-après ne font que prolonger la polémique concernant la priorité de la découverte de la bactérie charbonneuse. Cette découverte est attribuée, en France, à Casimir Davaine et Pierre Rayer (1850) et, en Allemagne, à Aloïs Pollender (1849), qui n'a publié ses observations qu'en 1855. Par ailleurs, nous savons que Pasteur avait beaucoup d'attaches sentimentales avec Strasbourg. Quant à Koch, nous avons déjà parlé de ses penchants anti-français.

La première rencontre entre les deux hommes a lieu à Londres en **1881** au Congrès international de médecine. S'exprimant à cette occasion sur les travaux que Koch vient de présenter, Pasteur déclare: "*C'est un grand progrès, monsieur*". Déjà, à l'Académie des Sciences de Paris en 1877, il avait qualifié les découvertes de Koch sur les spores charbonneuses de "*remarquables*". Mais Koch fut irrité que Pasteur n'eût pas apprécié à sa juste valeur son travail sur le charbon (ce qui s'expliquait peut-être simplement, par le fait que Pasteur ne connaissait pas la langue allemande). Quelques mois après le congrès de Londres, paraît un recueil de l'Office sanitaire impérial allemand dans lequel, mettant en cause les travaux de Pasteur, Koch déclare :" *Pasteur ne sait pas distinguer le bacille du charbon d'autres bacilles pathogènes qui lui ressemblent […]. Jusqu'ici les recherches de M. Pasteur n'ont fait avancer en rien l'étiologie du charbon […]. La théorie du rôle des vers de terre (dans la propagation des spores du bacille du charbon) est insoutenable […].* Dans le même recueil, Löffler – élève de Koch – attaque la vaccination par germes atténués et écrit quant aux travaux de Pasteur sur le charbon : *"On n'a pas devant soi une étude expérimentale, mais une simple démonstration théorique* […]. *Les résultats de l'expérience de Pouilly-le-Fort ont été surprenants* […]". Pasteur attend le Congrès international pour l'hygiène et la démographie qui se tient à Genève en septembre **1882** pour repousser ces critiques, mais Koch "*ne croit pas utile de répondre ici aux attaques de M. Pasteur et se réserve de lui répondre par la voie des journaux médicaux*".

L'ignorance de leurs langues respectives est très certainement à l'origine de l'incident survenu lors de ce Congrès et à la polémique qui en a suivi. La méprise survient lorsque Pasteur commente les travaux du savant berlinois publiés dans le recueil de l'Office sanitaire impérial allemand. Parlant à plusieurs reprises du "*Recueil allemand*", Koch comprend alors "*orgueil*" pour "*recueil*". Gravement offensé par l'expression "*orgueil allemand*", il se lève et cherche à interrompre l'orateur. C'est alors que troublé dans son exposé par cette interpellation bruyante qui lui paraît déplacée, Pasteur manifestera son irritation en se laissant aller à une certaine violence de langage.

Conformément à ce qu'il avait dit, Koch 3 mois plus tard écrira : "*Pasteur a simplement entretenu de choses déjà connues, de quelques renseignements sans aucune valeur […]. Les méthodes employées par M. Pasteur doivent être considérées comme fautives. L'examen microscopique fait défaut ; ce sont des substances impures qui sont employées pour la vaccination […] sur des animaux impropres à ce genre d'expériences […].*(accusation non dénuée de fondement car Charles Chamberland – collaborateur de Pasteur – avant d'adresser en Allemagne le vaccin anticharbonneux, y avait ajouté du Bacillus Subtilis, à l'insu de Pasteur, pour empêcher la reproduction du vaccin par subculture). *M. Pasteur se complaît en des phrases générales qui ne changent rien à la chose […]. La tactique de M. Pasteur est de ne communiquer d'une expérience que ce qui parle en sa faveur […]'.*

Charles Chamberland (1851-1908) biologiste et physicien français, collaborateur de Pasteur, est connu pour ses travaux sur la stérilisation rendue nécessaire par le développement de la microbiologie. Il conçoit en 1884 le filtre Chamberland à partir d'une bougie en porcelaine poreuse permettant de filtrer les liquides et de retenir les microorganismes présents dans l'eau. Il travailla également sur les problèmes de désinfection et de stérilisation des milieux de culture. Ceci aboutira à l'étuve de stérilisation dite "autoclave de Chamberland".

Les attaques personnelles ne manquent pas : Koch reproche à Pasteur de ne pas être médecin et de disposer d'importants crédits dont lui-même est privé. On remarquera d'ailleurs dans cet ordre d'idées, qu'un médecin français dans une biographie élogieuse de Koch faite à peu près à cette époque-là notait : "*en Allemagne, un simple médecin de campagne peut arriver rapidement, quand il se signale par des travaux remarquables, aux premières situations de l'Empire. Il est permis de penser qu'en France, étant donné notre organisation scientifique ultra méthodique et routinière, un homme de la valeur de Koch, qui aurait abandonné la filière obligée pour se livrer à la clientèle dans une ville de province aurait été fatalement perdu pour la science et pour l'humanité*". (L'herbe est toujours plus verte chez le voisin, c'est bien connu !)

La réponse de Pasteur à Koch, publiée en janvier **1883**, est d'un ton aussi vif : "*Vous, Monsieur, qui êtes entré dans la science en 1876 seulement, après tous les grands noms que je viens de citer, vous pouvez avouer sans déroger que vous êtes un débiteur de la science française [...]. Il y a dans votre brochure une foule de passages où "l'impertinence de l'erreur, comme dirait Pascal" est vraiment trop grande [...]. Si vous voulez bien vous reporter au premier volume de mes études sur les maladies des vers à soie, vous y verrez que la priorité de la découverte de la formation des spores dans un bacille pathogène m'appartient [...]*".

La vraie raison de l'animosité entre Koch et Pasteur paraît être une méconnaissance réciproque de leurs travaux, due au manque d'une langue commune de communication et à une diffusion très limitée des connaissances. Pasteur doit se faire traduire les écrits de Koch qui lui-même, ne comprend que très imparfaitement le français. Pendant des années, Koch connaît de grandes difficultés à se procurer des documents scientifiques étrangers. Ainsi en 1877, alors officier médical de district à Wollstein, il remercie Ferdinand Cohn pour l'envoi d'ouvrages de bactériologie et lui exprime ses regrets de ne pouvoir lire les écrits de Pasteur : "*les publications de Pasteur quant à ses recherches sur le bacille du charbon sont très intéressantes. Si je pouvais, une fois seulement, les étudier dans le texte original*".

Les divergences entre Koch et Pasteur, leurs polémiques et leurs emportements n'ont évidemment dans ce contexte de chauvinisme et de patriotisme exacerbés régnant à l'époque, qu'un caractère maintenant anecdotique. Mais quelques observations de Metchnikoff méritent d'être rapportées. Prix Nobel de Physiologie et de Médecine 1908, Metchnikoff s'installe à Paris avec sa femme en octobre 1888 et fera de son laboratoire l'un des phares de l'Institut Pasteur. Fondateur de la théorie phagocytaire de la résistance aux infections, il établira le concept d'immunité cellulaire. Reçu froidement par Koch à qui il avait rendu visite à Berlin, probablement parce que celui-ci contestait sa théorie phagocytaire, il fut reçu très chaleureusement par Pasteur qui lui avait proposé de venir travailler dans son futur institut. Concernant Pasteur, il écrira : "*quand il recevait un livre ou une brochure allemande, il les prenait du bout des doigts pour me les passer, ou bien il les mettait de côté avec un air de répugnance*"). Pratiquement on peut dire qu'à partir de 1871 et pendant tout le reste de sa vie, Pasteur refusera de recevoir des Allemands dans son laboratoire. Ainsi en 1894, en dépit de l'insistance d'Émile Roux, il éconduit Emil Behring qui, en 1901, recevra le prix Nobel pour ses travaux sur les antitoxines et la sérothérapie antidiphtérique.

Dans son livre "Trois fondateurs de la Médecine moderne Pasteur-Lister-Koch" et en conclusion à ces comportements anachroniques, Metchnikoff écrira : "**il serait bien désirable d'exclure définitivement toute considération patriotique des questions scientifiques**".

Avec les années, la controverse Pasteur-Koch s'estompera. Lorsque Koch annoncera en 1890 sa découverte de la tuberculine, Pasteur lui enverra ses félicitations et défendra cette avancée scientifique à l'Académie des Sciences. Mais Koch n'assistera pas pour autant au jubilé de Pasteur dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne à Paris en 1892. La polémique franco-allemande portera préjudice aux deux parties : retard en France de l'introduction des milieux solides en boîte de Pétri et retard en Allemagne de l'application de la vaccination antirabique.

CONCLUSION

Il importe d'associer ces deux hommes aux destins remarquables, pionniers et découvreurs, et que beaucoup considèrent comme des bienfaiteurs de l'humanité. Leur génie, leurs talents d'expérimentateurs et la complémentarité de leurs travaux ont permis d'ouvrir d'importants chapitres dans l'histoire de la microbiologie, de la médecine, de l'hygiène et de la santé publique. Ce furent bien les créateurs de la médecine moderne.

2 citations de Pasteur méritent, dans ce court exposé, d'être mentionnées :

• la 1ère souvent reprise afin de souligner la primauté de la recherche fondamentale sur la recherche appliquée : "Il n'y a pas la recherche et la recherche appliquée, il y a la recherche et ses applications "ou sa variante de signification identique : "Il n'y a pas de recherche appliquée, il y a des applications de la recherche"

• la 2ème prononcée à l'occasion de sa nomination en tant que doyen de la Faculté des sciences de Lille (phrase souvent citée) : "Dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés".

Références bibliographiques

• Élie Metchnikoff :

trois fondateurs de la médecine moderne

(Pasteur - Lister - Koch)

• Maurice Vallery-Radot :

Pasteur, un génie au service de l'Homme

• Biofutur n° 311 (juin 2010)

• Internet (pour les monographies)

ANNEXE 1

Dates	PASTEUR	KOCH
1822 (27.12)	Naissance (Dôle - Jura)	
1840	Bachelier ès lettres puis ès sciences	
1843 (11.12)		Naissance (Clausthal – Royaume de Hanovre)
1844	Élève de l'Ecole Normale Supérieure	
1846	Agrégé ès sciences.	
1847	Docteur ès sciences. Travaux sur la cristallographie et la dissymétrie moléculaire († 1856)	
1849	Professeur de chimie à l'Université de Strasbourg mariage	
1854	Professeur de chimie et doyen de la Faculté des Sciences de Lille	
1856 – 1865	De la cristallographie aux fermentations	
1862	Élection à l'Académie des Sciences	
1862		Études à la Faculté de Médecine de l'Université de Göttingen
1860 – 1864	Les travaux sur la «génération spontanée»	
1865 – 1866		Exerce la profession de médecin libéral
1863 – 1865	Les maladies du vin	
1865 – 1870	Les maladies des vers à soie	
1868	1ère crise d'hémiplégie Docteur honoris causa de l'université de Bonn Affaire du parchemin	
	1870 – 1871 Guerre franco – allemande	
1870 – 1878	Étude des germes infectieux	
1871 – 1873	Les maladies de la bière	
1873	Élection à l'Académie de médecine	
1876		Découverte de la spore charbonneuse
1878		Congrès de Cassel
1882 (24.03)		Découverte du bacille de la tuberculose
1883 – 1885		Découverte du vibrion cholérique
1877 – 1885	Étude expérimentale des maladies virulentes a) vaccin choléra des poules b) charbon c) vaccin du charbon d) rouget des porcs	
1880 – 1885	La rage	
1887	Seconde crise d'hémiplégie	
1887		Invention de la boîte de Pétri (collaborateur de Koch)
1888 (14.11)	Inauguration de l'Institut Pasteur	
1890		Découverte de la tuberculine
1891		Directeur de l'Institut des maladies infectieuses de Berlin
1895 (28.09)	Décès de Pasteur	
1905		Prix Nobel de Médecine et Physiologie L'Institut des maladies infectieuses de Berlin prend le nom d'Institut Robert Koch
1910 (27.05)		Décès de Koch

ANNEXE 2- POSTULATS DE KOCH Postulats originaux

formulés par Koch et Löffler en 1884, redéfinis et publiés par Koch en 1890

Ce sont des critères établissant la relation de cause à effet liant un microbe et une maladie.

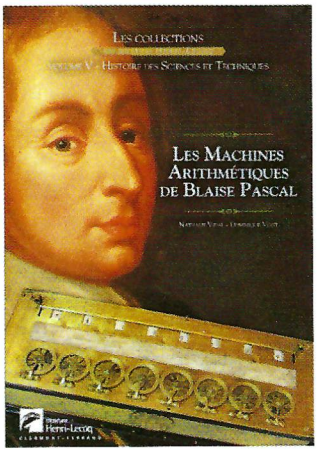
Depuis les années 1980, les postulats font l'objet d'une adaptation basée sur les techniques moléculaires.

1. Le micro-organisme doit être présent en abondance dans tous les organismes souffrant de la maladie, mais absent des organismes sains
2. Le micro-organisme doit pouvoir être isolé de l'organisme malade et cultivé in vitro
3. Le micro-organisme cultivé doit entraîner l'apparition de la maladie lorsqu'il est introduit dans un organisme sain
4. Le micro-organisme doit être à nouveau isolé du nouvel organisme hôte rendu malade puis identifié comme étant identique à l'agent infectieux original

La seconde partie du premier postulat a finalement été rejetée par Koch suite à la découverte de porteurs du choléra ne manifestant pas de symptômes.
Le troisième postulat doit être nuancé suite à la découverte par Koch lui-même dans les cas de la tuberculose et du choléra, d'organismes exposés à l'infection mais ne développant pas la maladie.

Les Machines Arithmétiques de Blaise Pascal

A l'occasion de la sortie du livre de Nathalie Vidal et Dominique Vogt (Les collections du Muséum Henri Lecoq, Volume V -Histoire des Sciences et Techniques, décembre 2011), Paul-Louis Hennequin, professeur honoraire de mathématiques à l'Université Blaise Pascal et membre actif de l'ADASTA, qui a préfacé cet ouvrage, nous donne un aperçu historique des «pascalines» ainsi que des animations qui ont été réalisées autour de ces machines.



La Ville de Clermont a le privilège de posséder deux machines arithmétiques fabriquées par Blaise Pascal.

La première, dite *de Marguerite Périer* appartint à cette nièce et filleule de Pascal, puis, jusqu'à la Révolution, aux Révérends Pères de l'Oratoire. Elle est alors confiée successivement à la Bibliothèque Municipale, aux archives du Puy de Dôme puis au musée Bargoin en 1905, et au musée d'histoire et d'art local du Ranquet en 1921. Enfin, après une longue restauration au Centre de recherche et de restauration des musées de France, elle est affectée en 2005 aux collections du Muséum Henri Lecoq,

La seconde, dite *du Chevalier Durant-Pascal*, devient, après la Révolution la possession de ce cousin de Pascal et reste dans sa famille jusqu'en 1985, date à laquelle elle est achetée par la Ville de Clermont-Ferrand; elle rejoint alors la première.

Un Portfolio détaille les vues en couleur de ces deux machines et de leur restauration et décrit une des reproductions contemporaines réalisées par un électromécanicien et ébéniste auvergnat , puis présente les six autres construites du temps de Pascal :

- *de la Reine Christine de Suède,* au Musée des Arts et Métiers à Paris depuis 1807.
- *du Chancelier Séguier,* au Musée des Arts et Métiers depuis 1951, par échange avec IBM.
- *de Louis Périer,* au Musée des Arts et Métiers depuis 1807.
- *de Dresde* au Musée de Mathématique et Physique de cette ville allemande.
- *d'arpentage* dans une collection privée depuis 1942, vendue par un brocanteur comme boite à musique.
- *d'IBM,* échangée en 1951 au Musée des Arts et Métiers avec la machine du Chancelier Séguier,

et enfin la machine tardive, assemblée après la disparition de Blaise Pascal avec des pièces d'origine et déposée au Musée des Arts et Métiers

Pendant longtemps, vue leur valeur exceptionnelle, les Pascalines ont été tenues endormies dans des armoires calfeutrées dont seuls quelques initiés avaient la clé; elles n'en sortaient à Clermont qu'à l'occasion de rares expositions où elles invitaient leurs consœurs, en 1962, 1981 et 1988.

La description de leur fonctionnement figure dans des textes publicitaires (Lettre dédicatoire, Advis nécessaire…) de Blaise Pascal lui même ou de contemporains puis tout au long du XVIII^{e} siècle

dans les éditions successives du *Recueil des machines et inventions approuvées par l'Académie royale des Sciences et de l'Encyclopédie.* Cependant les gravures de la pièce essentielle qu'est le Sautoir, qui assure le report automatique des retenues, permettent difficilement de comprendre la mise en œuvre de ce petit bijou de mécanique de précision.

En 1988, l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand publiait un mémoire de notre regretté collègue Guy Mourlevat qui rassemblait toutes les connaissances disponibles, tant dans le principe du mécanisme et des dispositifs auxiliaires que dans l'exécution des opérations, mais les 51 planches étaient loin de la qualité des photos en couleur d'aujourd'hui.

Dans les années 1990, le Musée des Arts et Métiers a réalisé des copies simplifiées à l'échelle 3 pouvant être manipulées par le public. L'une d'entre elles a été utilisée par des élèves au club de mathématiques du collège de Maringues de notre collègue Robert Charbonnier prématurément disparu l'année dernière. *Elle a été présentée à l'office du tourisme par* l'ADASTA durant les journées Les Pascalines de juin 2001. A cette occasion, l'ADASTA a réalisé une exposition de 10 panneaux et trois maquettes à l'échelle 10 du sautoir, décrites dans le Supplément pédagogique du n° 65 (mars 2007) d'*Auvergne-Sciences.*

Pour assumer pleinement sa mission de diffusion de la culture scientifique, le Muséum Henri-Lecoq

travaille dans plusieurs directions :

- édition de ce catalogue présentant ,grâce à un nettoyage complet des machines, de magnifiques photos et des schémas lumineux en couleur, détaillant le rôle des diverses pièces: baguette mobile, rondelles de mémoire et de soustraction, et interpellant le lecteur sur l'écriture à la plume des chiffres des cylindres et sur l'énigme du heaume
- démonstrations par un animateur sur la machine de Pierre Charrier et sur une maquette du sautoir : exécution d'additions, de soustractions, de divisons et de multiplications
- mise à la disposition du public d'une reconstitution virtuelle animée, réalisée par l'IFMA

On ne peut que le féliciter de cette nouvelle présentation si éclairante qui lui amènera, nous en sommes sûrs, de nombreux visiteurs de 8 à 88 ans.

P.-L.Hennequin

Visite du chantier du "Barreau de Balbigny"

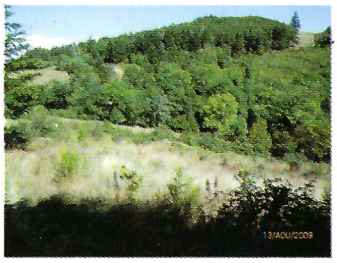
Le 7 novembre 2011 les adhérents de l'ADASTA sont allés visiter une partie du chantier de construction de l'autoroute appelée "barreau de Balbigny", permettant de prolonger l'autoroute A89 à destination de Lyon en évitant St Etienne.

Déclarée d'utilité publique le 17 avril 2003, l'A89 Balbigny - La Tour de Salvagny est longue de 50 km : 18 km dans la Loire, 32 km dans le Rhône, et plus de 3,5 km pour l'antenne de l'Arbresle. Son objectif : achever la grande liaison transversale permettant de relier la façade atlantique à la région Rhône-Alpes. La nouvelle section de l'A89 va également améliorer les échanges entre la région lyonnaise et les autres pôles européens et régionaux. Elle permettra le désenclavement du nord de la Loire et du nord-ouest du Rhône, notamment les agglomérations de Roanne et de Tarare.

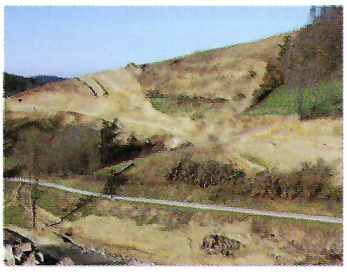
L'A89 Balbigny – La Tour de Salvagny s'inscrit dans la continuité des 340 km d'A89 Bordeaux - Clermont-Ferrand construits par ASF entre 1996 et 2008, et comprend 6 échangeurs (dont 1 bifurcation), 8 viaducs et 3 tunnels.

Les travaux du viaduc du Gonon étaient le but de la visite. Situé sur la commune de Ste-Colombe-sur-Gand, cet ouvrage permet de franchir la vallée du Gonon.

Viaduc du Gonon, les différentes étapes (photos ASF)



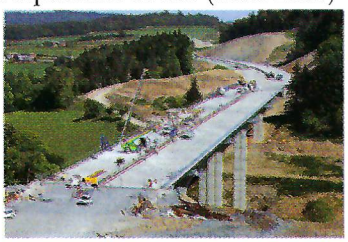
Avant travaux



Préparation du site (mars 2010)

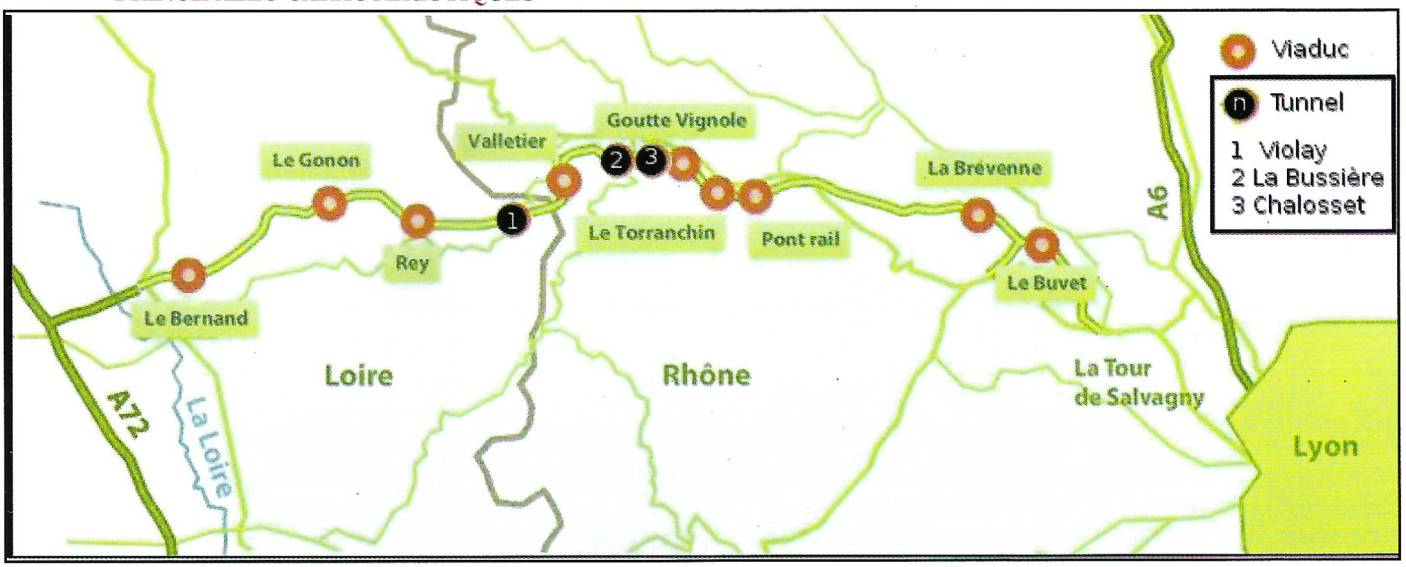


Octobre 2010



Octobre 2011

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES



Longueur : 307m et 313m (2 tabliers) Hauteur : 40 m

Tracé en plan : alignement droit avec une pente de 4,80%.

Structure : le viaduc est constitué de 2 tabliers indépendants de 13,47 m de large à ossature mixte (acier et béton) et de hauteur constante. L'ouvrage comprend 4 piles creuses par tablier soit 5 travées par tablier de 52m – 69 m - 69m -69m et 52m

Coût prévisionnel : 11,4 millions d'euros HT

Planning des travaux : été 2009 - début 2012

Le point sur le chantier:

Les travaux de bétonnage des tabliers sont désormais achevés. Le 4ème trimestre 2011 a vu la réalisation des dispositifs latéraux de sécurité ainsi que la pose des caniveaux corniches pour collecte des eaux de ruissellement. Restent désormais à achever le tapis final en enrobés ainsi que la pose des équipements en extrémité d'ouvrage (raccordement des dispositifs de retenue et d'assainissement).



Le groupe de l'Adasta (photo Jean-Claude CAPELANI)

DISPOSITIONS PRISES POUR PROTEGER L'ENVIRONNEMENT

La conception de l'ouvrage, et notamment le choix de l'implantation de ses piles, répond à un souci de préserver au maximum l'environnement existant. Les zones de chantier sont clôturées pour assurer la sécurité des promeneurs.

Grâce à leur connaissance du milieu local, les associations pour la protection de la nature ont permis de mieux appréhender l'écologie des territoires traversés par le projet et de compléter les inventaires déjà réalisés. Cette mise en commun des savoirs et compétences a conduit à une meilleure prise en compte de l'environnement au moment de la conception du projet, en particulier dans les secteurs les plus sensibles:

- le vallon du Boussuivre ;
- la vallée du Gand ;
- la vallée du Bernand ;
- les différentes zones naturelles d'intérêts écologiques, faunistiques et floristiques (ZNIEFF).

Tous les personnels amenés à intervenir sur le chantier, quel que soit leur travail, sont sensibilisés à la préservation de l'environnement. Ces actions de sensibilisation sont réalisées par les associations de protection de la nature. Au total, une centaine de séances seront dispensées tout au long du chantier.

Assurer la continuité biologique

Sur les 50 km du parcours de l'autoroute, la continuité des paysages et la circulation de la faune seront maintenus autant que possible grâce :

- aux 8 viaducs et aux tunnels de la section, représentant une longueur totale de près de 8 km, et offrant ainsi une transparence biologique totale





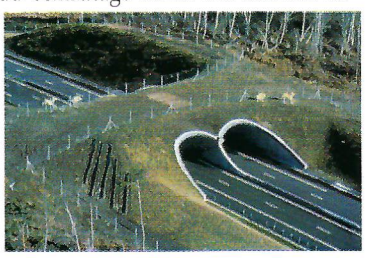
- à la construction de 6 passages grande faune (pour chevreuils et sangliers) et 16 passages petite faune (pour blaireaux, renards, fouines, martres, batraciens) qui viennent s'ajouter aux 28 ouvrages hydrauliques de rétablissement des cours d'eau et aux 33 ouvrages de rétablissement de voiries locales et passages agricoles qui sont également empruntés par la faune.

Les mesures de protection

Pour protéger la faune et la flore, plusieurs mesures sont en place depuis le début des travaux :

- inventaire des espèces et suivi du colmatage du lit des rivières de





première catégorie (truites Fario, Chabots, écrevisses à pieds blancs...);

- reconstitution d'une centaine de mares de substitution pour remplacer celles détruites situées sur le tracé de l'autoroute. Avant destruction des mares existantes, tous les batraciens sont pêchés puis relâchés dans les nouvelles mares;
- déboisements planifiés en fonction des cycles biologiques des espèces concernées, notamment les oiseaux et les chauves-souris avec auscultation systématique des arbres creux pour détecter leur présence;
- construction de deux galeries artificielles pour chauve-souris en collaboration avec la Fédération Rhône-Alpes de protection de la nature (FRAPNA) dans le remblai de l'autoroute côté Rhône et côté Loire, création de haies artificielles pour permettre aux chiroptères d'assurer leur route de vol.
- réalisation d'un élevage conservatoire d'écrevisse à pieds blancs au Muséum d'histoire naturelle de Besançon;
- mise en place d'une clôture opaque pour bien délimiter les zones de chantier et préserver le milieu naturel.

Reconstitution de mares de substitution et protection de la faune aquatique

La vallée du Boussuivre, l'un des sites préservés les plus sensibles de la section abrite une riche faune et notamment plusieurs espèces protégées d'amphibiens au niveau national et européen, dont le crapaud sonneur à ventre jaune, l'alyte (crapaud accoucheur) ou encore la salamandre.

Afin de préserver ces différentes espèces, une centaine de mares de substitution sont reconstituées pour remplacer celles détruites situées sur le tracé de l'autoroute. Avant destruction des mares existantes, tous les batraciens sont pêchés

Le programme de sauvegarde des écrevisses à pieds blancs





Espèce protégée au niveau européen, l'écrevisse à pieds blancs fait l'objet d'un élevage conservatoire ; l'espèce pouvant être fortement impactée en cas de pollution des cours d'eau. En novembre 2008, 61 écrevisses dont plusieurs femelles portant des œufs ont été prélevées dans le cours d'eau du Boussuivre (Rhône) et 78 dans le Gand (Loire) en juin 2009. Elles ont ensuite été transportées au Muséum d'histoire naturelle de Besançon pour assurer leur reproduction. En février 2010, 281 juvéniles sur les 340 éclosions de larves étaient en vie.

ARCHEOLOGIE

La réalisation de travaux autoroutiers rend nécessaires des opérations d'archéologie préventive qui peuvent impliquer la mise en œuvre de diagnostics archéologiques, de fouilles et dans certains cas de mesures de sauvegardes par l'adoption de solutions techniques.

Sur l'A89, les opérations archéologiques ont débuté au printemps 2007 par des diagnostics répartis sur 12 secteurs. Suite à ces diagnostics, des fouilles préventives réalisées par l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) ont été prescrites par l'État sur les communes de Fleurieux-sur-l'Arbresle, Sarcey, Saint-Romain-de-Popey, Joux, Sainte-Colombe-sur-Gand, Balbigny, Saint-Marcel-de-Félines et Néronde.

Elles ont mis au jour plusieurs vestiges intéressants, notamment la présence d'une ferme gallo-romaine datée du Haut-Empire à Fleurieux-sur-l'Arbresle dans le Rhône, ou encore des traces très anciennes d'occupation humaine à Néronde dans la Loire.

Références : les informations techniques présentées dans cet article, ainsi que la plupart des photos proviennent du site officiel de l'ASF, avec l'aimable autorisation de cette entreprise.

Programme des activités ADASTA à venir (2012)

Dates		Conférences
mardi 22/05	18h00	La nutrition et les maladies dégénératives *Conférencier : M. LOBACCARO Jean-Marc UFR ST-GReD Université Blaise Pascal Clermont Fd*
13-juin	17h30	Introduction aux sciences du goût *Conférencier : M. Erwan ENGEL chercheur à l'INRA Theix*
mardi 18/09/2012	17h30	Reconstruction de matière osseuse à partir de nouveaux bio-matériaux Conférenciers : Jean-Léon IRIGARAY Professeur émérite en retraite et J LAO Maître de conférences
24-oct.	17h30	Police technique et scientifique (titre à préciser) *Conférencières : Mmes Gisèle BLAISON et Emmanuelle AHR (Police scientifique de Lyon)*
14-nov.	17h30	Le mouvement de la terre *Conférencier : Luc DETWILLER de Physique et Professeur Math Spé PC au Lycée Blaise Pascal-Clermont Fd*
12-déc.	17h30	Comportement social des fourmis (titre à préciser) *Conférencier : Bruno Corbara - Labo Microorganismes - CNRS Univ. B. Pascal-Clermont Fd*

Dates		Sorties-visites
5-juin	journée	Radiotélescope de NANCAY
21-juin	18h00	Aubert & Duval site UKAD (transformation titane), 63 Saint-Georges-de-Mons
2e semestre	journée	Imprimerie à Ambert
fin 2012	10h00	Ciments Vicat (03 Créchy)



Visite du chantier du train du puy de Dôme



Livre écrit par un adhérent de l'ADASTA

"Croire ou voir, enquête sur le sens de la vie". Dans ce livre, Adrien van der Sluijs réfléchit à la condition humaine.

La première partie examine les croyances ou religions du monde, à travers plus de 40 civilisations qui ont chacune cherché à comprendre ou à maîtriser l'univers qui les entourait.

La deuxième moitié de ce livre se présente comme une approche scientifique à travers différentes étapes: l'univers, le système solaire, les débuts de la vie, la cellule, l'évolution, l'éthologie (étude du comportement des animaux).

En conclusion l'auteur tente une synthèse entre ces deux démarches: philosophique et scientifique.

"Croire ou voir" est disponible au secrétariat de l'Adasta.

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 18h, 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 2012 - N° ISSN - 1166-5904

HISTOIRES DE PLANTES ET AUTRES ...

PAR MICHEL GENDRAUD (DESSINS ET TEXTES)



LE SECRET DE LA FEUILLE DE HOUX

A l'été, la feuille de Houx, par ses photosystèmes, prend l'énergie de la lumière pour que ses rouages biochimiques transforment le gaz carbonique en sucre, comme les ailes du Moulin prennent l'énergie du vent pour que ses rouages mécaniques transforment le grain en farine et en son.

L'hiver venu, pour éviter la casse quand le froid grippe la mécanique, le Meunier enlève leurs toiles aux ailes du Moulin et le vent passe sans que les ailes ne le retiennent. Dans la feuille de Houx, quand le froid grippe la biochimie, les photosystèmes se dissocient et la lumière passe sans qu'ils n'en retiennent l'énergie.

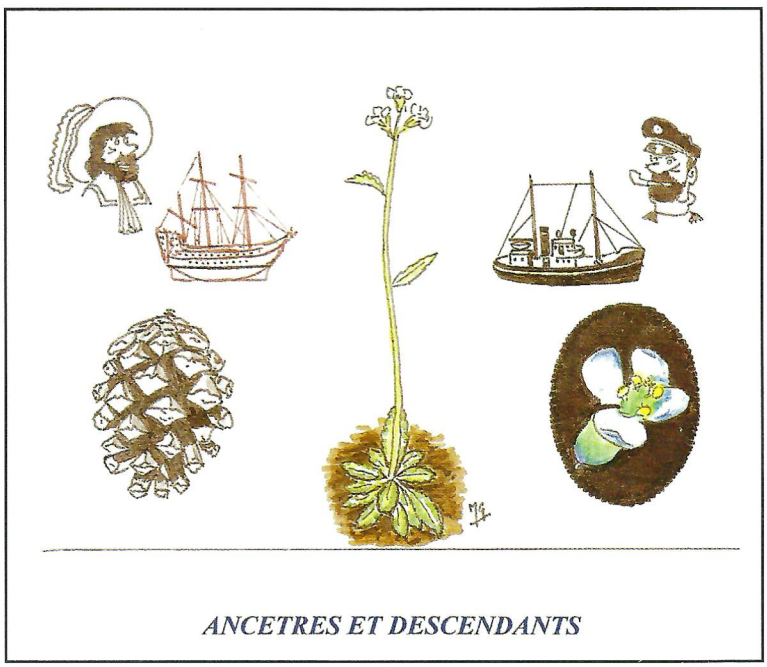
Aux beaux jours revenus, les photosystèmes de la feuille de Houx se réassocient et le Meunier remet leurs toiles aux ailes de son Moulin. Le réflexe du Meunier, voila le secret de la feuille de Houx.

Les gènes, minuscules acteurs qui régissent les formes vivantes, ont chacun leur ancêtre, en voici la preuve.

Un jour, dans la serre d'un laboratoire, une Arabette des Dames oublia de fleurir. Le régisseur appela un spécialiste qui diagnostiqua la perte de Maître Feuillu, ce gène sans lequel l'Arabette ne peut être que feuillue, puisqu'il prépare les cercles concentriques où les équipes de gènes «poseurs» installeront Sépales, Pétales, Etamines et Pistils, faisant ainsi la fleur.

Le régisseur trouva, dans le congélateur de son laboratoire, une sorte d'ancêtre, Maître Aiguillu, ce gène qui dirige la mise en place des Cônes chez le Pin car, sans lui, le Pin ne porte que des aiguilles. Quand le spécialiste l'eut inséré dans l'Arabette déficiente, celle-ci fleurit.

Ainsi Maître Aiguillu, hors du Pin, sut diriger les équipes de l'Arabette, privées des consignes de Maître Feuillu, pour l'amener à la floraison! Un peu comme si le Chevalier de Hadoque, hors de La Licorne, avait su diriger l'équipage du Sirius, privé des consignes du Capitaine Haddock, pour l'amener au port!



ANCETRES ET DESCENDANTS

IMPRIM'VERT
Vidal/Vichy