

N°85 - JUIN 2015

AUVERGNE *Sciences*

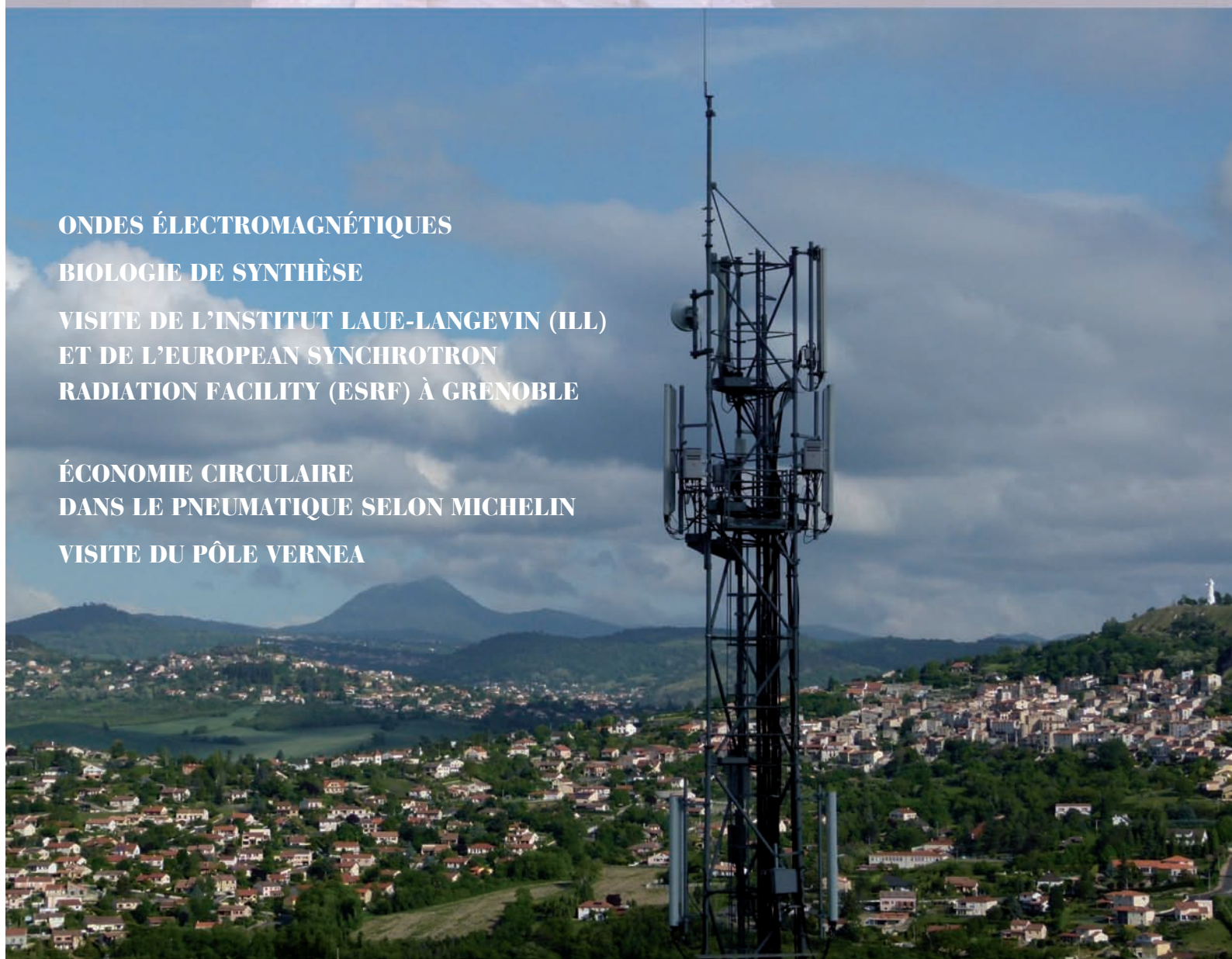
ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

BIOLOGIE DE SYNTHÈSE

**VISITE DE L'INSTITUT LAUE-LANGEVIN (ILL)
ET DE L'EUROPEAN SYNCHROTRON
RADIATION FACILITY (ESRF) À GRENOBLE**

**ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DANS LE PNEUMATIQUE SELON MICHELIN**

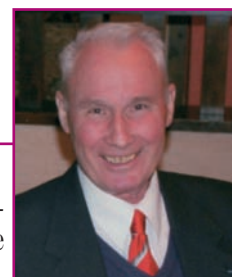
VISITE DU PÔLE VERNEA



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



EDITORIAL



Cette première revue de 2015 me donne l'occasion d'évoquer les principaux événements qui ont marqué l'ADASTA en ce début d'année ainsi que les projets en cours.

- Tout d'abord j'ai le regret de devoir renoncer, pour raisons familiales, à la Présidence de l'Association à la fin de l'exercice 2014. Pour cette année 2015, en accord avec le Conseil d'Administration, je continue à piloter l'ADASTA en lien avec Bruno Rakinski, membre élu comme administrateur lors de la dernière Assemblée générale. Docteur en Physique, ayant travaillé comme enseignant en mathématique et en physique puis comme chercheur d'abord à la DGA, puis de longues années chez Michelin, il a accepté cette mission, en tant que vice-président délégué.

- L'ADASTA a été contrainte de quitter rapidement le bureau de Chamalières pour des raisons de réorganisation du centre Riche-Lieu. Les recherches menées dans l'urgence par divers membres ont été fructueuses: l'ADASTA a pu obtenir un bureau équipé et facile d'accès au premier étage de POLYTECH aux Cézeaux.

Le Directeur, M. Larroche, accueille l'ADASTA avec joie et fierté et met à notre disposition des moyens nouveaux qui vont permettre à notre association de renforcer sa présence dans le milieu universitaire scientifique de haut niveau.

Des amphithéâtres devraient être plus facilement disponibles pour des conférences et surtout, les professeurs et certains élèves de POLYTECH pourraient être amenés à proposer des sujets pour des conférences ainsi que des articles pour notre revue. Une réunion ADASTA/POLYTECH est envisagée pour définir les modalités d'un véritable partenariat dans cet esprit.

La bonne réputation de l'ADASTA a permis cette évolution.

Nous nous réjouissons de ce nouvel environnement qui devrait préparer au mieux l'avenir.

Vous trouverez les nouvelles coordonnées du secrétariat en page 4 de couverture dans l'encadré "Adhésions et abonnements".

Hélas en ce début d'année, l'ADASTA a été endeuillée par le décès de notre ami Francis Asford, Centralien, membre actif et apprécié, conférencier très communicatif, scientifique pluridisciplinaire et souvent original, sportif organisateur dans l'âme et de surcroît amateur éclairé de locomotives à vapeur.

Nous avons pu apprécier durant toutes ces années son humour spécial, parfois hors du temps et ses remarques pertinentes lors des réunions du Conseil d'Administration.

La cérémonie d'adieu a été empreinte d'hommages et d'émotions.

Nous garderons un souvenir particulier de notre ami qui, même à l'hôpital dans un état physique difficile, continuait à travailler sur ses futures interventions.

Parlons à présent des projets et des actions à engager ou à finaliser.

- pose et inauguration devant la Mairie de Chamalières du cadran solaire conçu par Gérard Baillet, adhérent et spécialiste de ce domaine. La réalisation est effectuée par Aubert et Duval et les services techniques de Chamalières

- formalisation de partenariats de l'ADASTA avec la SFEN et l'IESF Auvergne

- partenariats avec les entreprises les plus significatives de la Région Auvergne

... sans oublier les missions traditionnelles de notre association.

Le Président Henri Bouffard

MERCI À NOS SPONSORS



SOMMAIRE

LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.....	01
LA BIOLOGIE DE SYNTHÈSE.....	08
VISITE DE L'INSTITUT LAUE-LANGEVIN (ILL) ET DE L'EUROPEAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY (ESRF) À GRENOBLE	11
L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS LE PNEUMATIQUE SELON MICHELIN	14
LA CHRONIQUE DE FRANCIS	17
COMPTE-RENDU DE LA VISITE DU PÔLE VERNEA.....	19

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, Bruno Rakinski, André Schneider

photo couverture : Bouquet d'antennes à Soulasse (photo Jean Chandezon)

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



LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

JEAN CHANDEZON

*docteur ès Sciences, Professeur émérite,
Université Blaise Pascal
Vice président de l'Adasta,*

1- INTRODUCTION

En ce début du XXI^{ème} siècle les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) prennent une importance croissante. Actuellement on a, dans l'instant et presque partout, accès à une quantité phénoménale d'informations et de savoirs. Pour beaucoup le Smartphone est devenu l'accessoire indispensable sans lequel il n'est plus possible de vivre et que l'on doit toujours avoir à portée de la main.

Le revers de ces technologies nouvelles est que, pour ne pas avoir de fil à la patte, il faut, pour transmettre les informations, faire très souvent appel aux ondes électromagnétiques qui, pour l'homme de la rue, sont complètement mystérieuses et, comme tout ce qui est mystérieux, font peur. Du point de vue scientifique l'électromagnétisme est l'une des branches les mieux maîtrisées de la physique, mais, comme très peu de gens sont compétents dans ce domaine, il existe de nombreux illuminés voire des escrocs qui empruntent son vocabulaire pour proposer des théories fumeuses souvent destinées, en alimentant les peurs, à faire vendre des produits merveilleux. L'une des craintes les plus répandues concerne les effets néfastes que pourraient avoir les ondes électromagnétiques sur la santé humaine. Depuis plus de 20 ans de très nombreuses études ont été faites sur ce sujet sans qu'il en soit sorti rien de bien convaincant.

En fait, le principal danger des ondes électromagnétiques concerne la démocratie et les libertés individuelles. En effet, il est actuellement possible, avec des technologies peu coûteuses qui existent déjà, d'exercer une étroite surveillance électronique de tous les citoyens à la manière de ce qui se fait pour les délinquants avec le bracelet électronique. On ne peut qu'être effrayé par l'usage que pourrait faire un état totalitaire de ces techniques.

Le but de cet article est de donner quelques éléments scientifiques qui devraient permettre aux curieux de se faire une opinion objective sur ce qu'ils peuvent entendre et lire à propos de l'électromagnétisme.

2. LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES QUI NOUS ENTOURENT

Tout a commencé le premier jour du monde lors du big-bang lorsque le Créateur a dit : « que la lumière soit ». A cet instant les ondes électromagnétiques étaient créées car la lumière n'est qu'une onde électromagnétique parmi les autres.

Depuis sa création, l'univers dans son ensemble est baigné d'ondes électromagnétiques créées par des sources naturelles très diverses : étoiles, rayons cosmiques, foudre, aurores boréales... Sur la terre, la plus importante des ondes électromagnétiques est la lumière du soleil, indispensable à la vie. Jusqu'à une époque récente cela ne posait aucun problème. A la fin du XIX^{ème} siècle la « *fée électricité* » qui a été accueillie avec enthousiasme a commencé à révolutionner la société humaine à la satisfaction de tous. A la fin du XX^{ème} siècle une autre révolution technologique est apparue avec l'essor des techniques numériques de l'information et de la communication. Ce que l'on aurait pu qualifier de « *fée de la communication* » est plutôt devenu, pour beaucoup de nos contemporains le génie du mal des ondes électromagnétiques. Cette

révolution est basée sur une utilisation intensive des ondes électromagnétiques, seules capable de transmettre sans fil toutes les informations qui sont devenues indispensables au fonctionnement de la société moderne.



Jusque dans les années 1980 l'usage des ondes électromagnétiques n'a posé aucun problème particulier. On a pu installer de nombreuses sources émettrices souvent très puissantes sans que personne ne s'inquiète ; c'est à ce prix qu'on a pu créer un réseau dense de radiodiffusion puis de télévision. L'apparition du téléphone portable a changé tout cela car la quantité phénoménale d'informations à transmettre a obligé d'avoir recours à des ondes décimétriques et centimétriques dont la faible portée a contraint à multiplier les antennes relais émettrices. Brusquement, sont apparues dans le paysage sur un grand nombre de points hauts des antennes relais disgracieuses, au fonctionnement totalement mystérieux pour l'homme de la rue qui sont autant de dispositifs inquiétants soupçonnés d'avoir un impact négatif sur la santé.

3. DE L'AMBRE AU TÉLÉPHONE PORTABLE

Dans l'antiquité, les Grecs avaient constaté que l'ambre préalablement frotté avait l'étrange propriété d'attirer des petits brins de paille. Le terme « Electricité » provient du terme grec désignant l'ambre. Parallèlement à cela les Grecs avaient aussi remarqué qu'une certaine pierre, la pierre d'aimant, avait une propriété voisine, des petits morceaux de cette pierre pouvant s'attirer ou se repousser. Cette pierre s'appelle actuellement magnétite, terme qui provient du nom de la ville grecque de Magnésie. Bien avant que ne soit compris le principe de l'aimantation, la propriété des pierres d'aimant d'attirer le fer a été remarquée par les chinois dès le début de notre ère, ce phénomène a été utilisé, toujours par les chinois, pour fabriquer les premières boussoles vers 1040.



Les mystères de l'électricité et du magnétisme ont été élucidés au XIX^{ème} siècle avec la mise au point de l'électromagnétisme, théorie unitaire de l'électricité et du magnétisme. L'électromagnétisme est une **théorie physique rigoureuse** dont les équations ont été écrites par le grand savant écossais James Clerk Maxwell en 1870. Avec la gravitation, l'interaction électromagnétique permet d'expliquer le monde qui nous entoure et a donné naissance à la fée électricité puis au génie des ondes.

Actuellement, nous savons que la matière est formée de particules élémentaires électriquement chargées, les électrons et les protons et de particules neutres les neutrons. Les particules chargées s'attirent si les charges sont de signes contraires ou se repoussent si elles sont de même signe. On explique l'interaction électrique par le fait qu'une particule chargée crée, dans l'espace qui l'entoure, une grandeur abstraite appelée champ électrique noté **E** qui agit sur les autres particules chargées. Le champ électrique se mesure en volts/mètre.



Lorsque des particules chargées sont en mouvement elles créent un courant électrique. Ce courant électrique crée alors dans l'espace environnant un autre champ, appelé champ magnétique en général noté **H** qui se mesure en ampères/mètre. Le courant électrique fait dévier l'aiguille d'une boussole placée à proximité.

L'ensemble d'un champ électrique variable et du champ magnétique variable qui lui est associé forme un champ électromagnétique.

4. UNE BRÈVE HISTOIRE DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ARTIFICIELLES

En 1870, Maxwell, d'un point de vue purement théorique, a prévu l'existence des ondes électromagnétiques et montré que la lumière était une onde électromagnétique. En 1888 Hertz, dans une expérience restée célèbre, les a mises en évidence. Une dizaine d'années plus tard, en 1897, Marconi les a utilisées pour créer les premières liaisons télégraphiques sans fil. C'est grâce à l'un des tous premiers émetteurs Marconi que, le 14 avril 1912, 700 passagers du Titanic purent être sauvés du naufrage par le Carpathia averti par TSF de la catastrophe.

C'est l'invention en 1907, par Lee de Forest, de la lampe à vide triode qui, en permettant l'amplification des signaux électriques, a donné naissance à la radioélectricité ce qui a conduit à la mise en place d'un réseau de radiodiffusion dans les années 1920 puis de télévision à partir des années 30. Avec l'invention en 1947 du transistor, la TSF devient mobile et le gros récepteur de salon est peu à peu remplacé par le petit transistor que l'on connaît aujourd'hui. En 1970 avec la mise au point du circuit intégré par Gilbert Hyatt, les dispositifs électroniques commencent à devenir intelligents, permettant peu à peu l'apparition des télécommunications numériques. En 1983 c'est l'ouverture du système de téléphonie cellulaire Radiocom 2000, première génération du téléphone mobile (1G), réservé à la voix ; en 1987 Radiocom 2000 comptait 10 000 abonnés et 200 000 en 1990. En 1993 ouverture du service GSM de la seconde génération du téléphone mobile (2G) permettant l'envoi de texte (SMS). Depuis, le progrès a continué sans cesse avec la 3G permettant l'envoi d'images puis, actuellement, la 4 G permettant la communication de vidéos.

5. PEU À PEU LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ENVAHISSENT NOTRE UNIVERS

Pendant tout le XX^{ème} siècle l'usage des ondes électromagnétiques s'est peu à peu généralisé, elles sont devenues l'influx nerveux de la société moderne qui s'effondrerait immédiatement si elles cessaient de fonctionner. Ce scénario catastrophe arrive parfois localement et brièvement dans les territoires nordiques lors des orages magnétiques solaires. Marconi après avoir établi le 27 mars 1899 la première liaison radio transmanche a réalisé, le 12 décembre 1901, la première liaison radio transatlantique. Le 14 juillet 1965 la sonde Mariner 4 réalise la première liaison Mars Terre.



En 1962 à Pleumeur Baudou, une immense antenne cornet assure, avec le satellite Telstar 1, la première liaison télévisée entre l'Amérique et l'Europe. De nos jours les progrès de la technique font qu'une simple antenne en forme de couvercle de lessiveuse permet à chacun d'entre nous de capter plusieurs centaines de chaînes de télévision satellitaires.

En 2014 avec le système GSM le téléphone mobile permet à tous d'être joignables de presque n'importe quel coin du globe partout et tout le temps.

6. LES VIBRATIONS ET LES ONDES

Les vibrations mécaniques

Une notion très importante en physique est celle de vibration. Lorsque quelque chose est animé d'un mouvement périodique on parle de vibrations. L'exemple le plus connu est celui du balancier de l'horloge. On appelle période, en général notée **T**, le temps que met l'objet vibrant pour revenir à sa position de départ. L'unité de période est la seconde. Pour le balancier de l'horloge comtoise qui bat la seconde, cette période est de 2 secondes : une seconde aller et une seconde retour. L'inverse de la période notée en général **f** est appelée fréquence, par conséquent, il existe entre la fréquence et la période la relation : $f = 1/T$. Anciennement on exprimait la



fréquence en cycles par seconde cette unité a été remplacé par le hertz qui correspond à une période d'une seconde. Dans la pratique, en électromagnétisme on utilise des multiples du hertz dont : le kilohertz noté kHz pour 1000 Hz, le mégahertz avec 1 MHz=1 000 000 Hz, puis le gigahertz avec 1 GHz = 10⁹ Hz et le térahertz avec 1 THz = 10¹² Hz.



La vibration mécanique d'un corps matériel, une corde de violon par exemple, entraîne une vibration de l'air au voisinage de ce corps. Cette vibration de l'air se propage dans tout l'espace environnant la source avec une vitesse finie v en donnant ainsi naissance à ce que l'on appelle une onde sonore : c'est tout le milieu environnant qui vibre avec une intensité qui diminue lorsqu'on s'éloigne de la source. On parle alors d'onde progressive ; l'exemple le plus commun est l'onde de surface créée lorsqu'on jette un caillou dans l'eau.

Les vibrations électromagnétiques

Lorsque des particules chargées sont animées d'un mouvement périodique, de la même façon que pour les ondes sonores elles créent, dans le milieu environnant la source, une onde électromagnétique. La vibration électromagnétique est créée par un courant électrique alternatif. Tout courant variable dans un conducteur est la source d'ondes électromagnétiques. Ce qui est surprenant c'est que, contrairement aux ondes sonores, les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide. Ce phénomène a priori totalement contraire au bon sens avait beaucoup intrigué les physiciens du XIX^{ème} siècle qui avaient supposé que le vide n'existait pas vraiment mais qu'il était rempli d'un milieu ténu aux propriétés étranges appelé éther. Au début du XX^{ème} siècle il a bien fallu se rendre à l'évidence que l'éther n'existe pas et que les ondes électromagnétiques se propagent bel et bien dans le vide. C'est cette constatation qui a donné naissance à la théorie de la relativité d'Einstein.

Les caractéristiques des ondes électromagnétiques

Une onde est en premier lieu caractérisée par sa vitesse de propagation v . Pour les ondes électromagnétiques, cette vitesse a été mesurée très précisément au XIX^{ème} siècle, elle est de 300 000 km/s dans le vide. La longueur d'onde, notée par la lettre grecque λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période, par conséquent la relation qui existe entre longueur d'onde, la vitesse et la période est : $\lambda = vT$

Lorsqu'on considère l'ensemble des ondes, on utilise le terme *spectre électromagnétique*. Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Le spectre électromagnétique s'étend des rayons γ jusqu'aux très basses fréquences. Les longueurs d'ondes vont de 6000 km pour le courant alternatif à 50 Hz à 0,3 μ m pour les UVA qui font bronzer à la plage.

Le spectre électromagnétique est une ressource rare, son utilisation est réglementée, n'importe qui ne peut pas émettre n'importe comment. Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée. Dans le tableau suivant sont rassemblées les désignations, les fréquences, les longueurs d'ondes et les applications des ondes radiofréquences et des micro-ondes.

Les ondes électromagnétiques et leurs usages

Désignation internationale	Fréquence	Longueur d'onde	Applications
ELF (extremely low frequency)	3 Hz à 30 Hz	100 000 km à 10 000 km	Détection des phénomènes naturels
SLF (super low frequency)	30 Hz à 300 Hz	10 000 km à 1000 km	Communication avec les sous-marins
ULF (ultra low frequency)	300 Hz à 3000 Hz	10000 km à 100 km	Détection de phénomènes naturels
VLF (very low frequency)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	Communication avec les sous-marins, implants médicaux
LF (low frequency)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	Radionavigation, radiodiffusion GO (Grandes Ondes)
MF (medium frequency)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	Radio AM, appareils de recherche de victimes d'avalanches
HF (high frequency)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	CB, radioamateurs...
VHF (very high frequency)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	Radio FM, aéronautique, maritime..
UHF (ultra high frequency)	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	Télévision terrestre, GSM, Wi-F
SHF (super high frequency)	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	Télévision par satellite, faisceaux hertziens..
EHF (extremely high frequency)	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	Radioastronomie, liaisons par satellites
IR (infra-rouge)	300 GHz à 400 THz	1 mm à 0,750 μ m	Télécommandes, fibre optique ...
Visible	375 THz à 770 THz	0,750 μ m à 0,390 μ m	Optique classique
UV (ultra-violet)	500 THz à 30 PHz	0,390 μ m à 10 nm	Lumière noire, DVD blue ray...
X (rayons X)	30 PHz à 30000 PHz	10 nm à 0,01 nm	Radioscopie, cristallographie...
γ (rayons gamma)	>30000 PHz	< 100 pm	Rayons ionisants...

La mesure des champs électromagnétiques

Le champ électromagnétique est une notion très abstraite. Si, pour une onde dont la fréquence est donnée, connaître l'amplitude du champ électrique associé n'est pas très difficile par contre, définir un champ électrique caractérisant le brouillard électromagnétique existant en un point donné, composé d'un ensemble complexe de fréquences est beaucoup plus délicat. On trouve dans le commerce des sondes qui mesurent, en volts/m, la valeur du champ à un endroit donné ; ces sondes sont surtout destinées à mettre en évidence et à localiser les sources électromagnétiques qui existent à proximité du point de mesure. Grâce à de telles sondes on peut détecter des émetteurs espions bien dissimulés mais utiliser ces mesures pour évaluer la dangerosité électromagnétique d'un lieu en alimentant des peurs irraisonnées est très discutable.

Finalement, réduire la connaissance du champ électromagnétique existant quelque part à une seule valeur de champ électrique c'est un peu comme réduire une symphonie à une seule note et en conclure que Mozart est meilleur musicien que Beethoven ou réciproquement.

La compatibilité électromagnétique

À la fin des années 70 l'usage de plus en plus important des ondes électromagnétiques a conduit à se pencher sur le problème consistant à faire fonctionner simultanément en un même endroit un ensemble de dispositifs électroniques sans qu'ils se perturbent les uns les autres. En effet tout appareil électrique ou électronique rayonne et peut être affecté par le rayonnement d'un appareil voisin. Cela a conduit à créer une nouvelle discipline appelée « *compatibilité électromagnétique* » qui étudie les interférences de fonctionnement entre dispositif électroniques.

Une des premières réglementations à ce sujet remonte aux années 50 lorsque la législation a rendu obligatoire un dispositif antiparasite pour l'allumage des motocyclettes afin de ne pas parasiter la réception des émissions radio ou télévision.

De nos jours, chaque appareil électrique doit satisfaire à des normes de rayonnement assez sévères pour assurer qu'il ne va pas perturber l'environnement électromagnétique. Prendre, comme certains le font parfois, ces normes pour montrer que les humains sont moins bien protégés que les matériels n'a absolument aucun sens.

7. L'USAGE ABUSIF DE LA NOTION D'ONDES

La plupart de nos contemporains n'ont qu'une très vague connaissance de la notion d'onde. L'électromagnétisme est une science complexe qui fait appel à des connaissances mathématiques très abstraites qui ne sont accessibles qu'après de longues études. Cette méconnaissance permet à des charlatans ou des

illuminés d'utiliser abusivement la notion d'onde pour expliquer à peu près tout et n'importe quoi. La plupart des gens ne disposent pas des connaissances de base qui leur permettraient de faire le tri entre ce qui est la science «vraie» et la pseudo-science qui n'a pas plus de valeur pratique qu'un conte de fées ; c'est pourquoi ils prennent souvent les pires calembredaines comme argent comptant. Pour s'en convaincre il suffit d'aller se promener dans le monde Internet pour rencontrer les théories les plus fumeuses expliquant tout et surtout créant des superstitions modernes faisant craindre que le ciel nous tombe sur la tête. Dans ce qui suit sont donnés quelques exemples de ces balivernes trouvées sur la toile :

Un exemple : la géobiologie

«Au début des années 50, ... le docteur Ernst Hartmann a mis en évidence l'existence d'un réseau géomagnétique, gigantesque maillage de rayonnements telluriques. Celui-ci arrive à la surface du sol où nous vivons, pour continuer à monter verticalement, traversant tout sur son passage (humains, maisons...).

Après de nombreuses expériences en laboratoire qui se chiffrent par milliers, il s'est avéré que ce rayonnement pouvait, dans certains cas, avoir une incidence sur l'épanouissement de toute forme de vie se situant à son aplomb.

Il ne s'agit que des informations résultant des actions des hommes ou de la nature et stockées sur un plan vibratoire. Le géobiologue, au travers d'une approche sensible, veillera à l'harmonisation de ces énergies afin d'assurer le bien-être des habitants.»

Ceci, malgré une apparence scientifique n'est que de la pseudo-science.

Un autre exemple tiré du quotidien régional la Montagne du 25 mars 2013

«Dans une maison du village de La Roche en Lozère des phénomènes étranges se produisent : des ampoules qui éclatent, des meubles qui tombent et bien d'autres manifestations très étranges.

Tout cela a bousculé la raison des gendarmes, pompiers et villageois avant la découverte, d'une explication scientifique faisant appel à l'électromagnétisme.»

Le champ électromagnétique éclipse les fantômes

« Alors que le village commençait à parler de «l'affaire de La Roche», la vérité est finalement venue de la science. La municipalité, en quête de rationalité, a fait venir un spécialiste des phénomènes électromagnétiques qui a mis en évidence l'existence d'une faille tellurique passant sous la maison et l'habitation mitoyenne. Bien que profondément enfouie, elle serait à l'origine d'un puissant champ électrique plutôt que magnétique... »

On se demande bien quelles étaient les compétences scientifiques de la personne, qui se disant spécialiste des phénomènes électromagnétiques, a fourni ces explications. Cependant ces explications ont eu le mérite de mettre fin à ces étranges phénomènes.

L'eau aimantée

Trouvé sur un prospectus distribué dans les foires vantant les mérites d'un récipient fournissant de l'eau soit disant aimantée aux propriétés merveilleuses :

«L'eau magnétisée combat la constipation, réduit l'épaississement et la viscosité du sang, diminue les risques de calcul, agit de façon bénéfique sur tout le système digestif et rénal. Buvez au moins 1,5 litre par jour. Une bonne hydratation c'est la santé retrouvée».

Contenance 40 cl, 4 aimants néodyme 50 x 10 x 3 mm.
Rémanence 12 200 Gauss le tout pour 59,60 €

L'eau ne s'aimante pas elle n'a donc ni plus ni moins de propriétés que l'eau ordinaire ce qui n'est pas si mal !

Comment créer une légende : l'antenne menhir

De tout temps les menhirs et dolmens ont intrigué les hommes qui leur ont attribué des propriétés mystiques merveilleuses. On trouve, par exemple, sur internet :



*«Les **menhirs** comme les **dolmens** se retrouvent dans la plupart des cas sur un croisement de **réseau Hartmann et Curry**, ... ces **mégalithes** canalisent la combinaison des différentes énergies émises par cette conjonction de réseaux telluriques. Les **menhirs***

*canalisent cette énergie pour la renvoyer au cosmos tandis que les **dolmens**, telle une parabole, reçoivent l'énergie du cosmos et la renvoient au sol.»*



En partant de ces explications parfaitement fantaisistes il m'est facile d'ajouter mon grain de sel avec une hypothèse pseudo-scientifique qui pourra sembler très rationnelle au lecteur non scientifique :

« Les antennes relais par leur forme et leur conception ne sont qu'une forme mo-

derne des menhirs. Si l'antenne est implantée à un croisement du réseau de Hartmann elle va capter les ondes telluriques nocives issues du sol pour les renvoyer amplifiées par l'intermédiaire des ondes électromagnétiques à toute la zone environnante. Pour minimiser les risques sur la santé il convient donc d'éviter soigneusement d'utiliser un téléphone portable dans ces zones. Il ne faut pas s'étonner que les personnes présentant une grande sensibilité aux ondes électromagnétiques puissent, dans ces zones, se sentir mal à l'aise et présenter des troubles de la santé très divers».

Je suis certain qu'une telle création pseudo-scientifique issue de mon imagination mise en ligne sur Internet pourra recevoir un accueil favorable auprès des personnes crédules et, qu'à terme, une association bien intentionnée n'exige que l'on fasse, avant toute implantation d'antenne relais, une étude tellurique approfondie du site !

8. LES ANTENNES

Tout conducteur parcouru par un courant variable rayonne



plus ou moins un champ électromagnétique et constitue une (mauvaise) antenne. Les antennes sont des dispositifs conçus pour rayonner efficacement les ondes électromagnétiques. La forme des antennes dépend de la longueur de l'onde émise.

Une antenne peut être directionnelle lorsqu'il faut l'orienter vers l'émetteur ; c'est le cas des antennes râteaux que l'on pose sur le toit des immeubles pour capter la télévision terrestre ou les antennes paraboliques destinées à la réception de la télévision par satellite. Pour le téléphone portable on utilise des antennes omnidirectionnelles captant les ondes dans toutes les directions sans avoir besoin de les orienter. Les antennes relais émettent et reçoivent également de façon omnidirectionnelle selon l'horizontale et très peu selon la verticale puisque les portables sont toujours au voisinage de la surface du sol.

A proximité d'une antenne il existe un champ quasi-statique : le champ proche qui diminue très rapidement comme le carré de la distance à l'antenne, et disparaît au bout de quelques longueurs d'ondes. A ce champ proche s'ajoute un champ lointain qui transporte l'énergie électromagnétique ; il s'étend sur de grandes distances et diminue comme l'inverse de la distance. Pour une antenne relais il s'étend sur quelques kilomètres, pour le téléphone sans fil sur une centaine de mètres et pour le bluetooth sur quelques mètres.

Si l'on divise par deux la puissance rayonnée par une antenne son rayon d'action est également divisé par deux. Le choix des puissances émises a été fait pour optimiser le fonctionnement du téléphone portable.

9. LES INTERACTIONS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Avec la matière inerte

Selon la fréquence, les ondes électromagnétiques pénètrent plus ou moins profondément dans les matériaux. On peut retenir que, dans la plupart des matériaux sauf pour les métaux, la profondeur de pénétration est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. Elles perdent leur énergie en chauffant le matériau. Pour les infra-rouges d'un grill, dont la longueur d'onde est de l'ordre du dixième de millimètre, la pénétration est très faible par conséquent le transfert de chaleur et donc la cuisson des grillades se fait uniquement en surface. Pour les micro-ondes du four à micro-onde la longueur d'onde est de l'ordre de 12 cm, la cuisson se fait en profondeur ce qui explique que l'on peut cuire très rapidement les aliments.

Dans les métaux la profondeur de pénétration des ondes électromagnétique est très faible. Une fine couche de métal suffit à les arrêter c'est ce que l'on appelle l'effet de peau. Si l'on pratique un trou dans un écran métallique les ondes ne peuvent passer par ce trou que si son diamètre n'est pas très petit par rapport à la longueur d'onde. C'est pour cette raison que l'écran métallique percé de petits trous empêche les micro-ondes de sortir du four à micro-ondes alors que la lumière dont la longueur d'onde est beaucoup plus faible peut passer laissant ainsi voir l'intérieur du four.

Pour les rayons X et les rayons gamma les longueurs d'onde deviennent de l'ordre de grandeur de la taille des molécules. Les ondes électromagnétiques pénètrent alors à l'intérieur des molécules ou des atomes qu'elles peuvent casser, c'est pour cette raison que l'on parle de rayons ionisants.

Avec la matière vivante

A ce jour, aucun effet biologique autre que l'effet thermique n'a pu être directement mis en évidence dans la matière vivante. Compte tenu des longueurs d'ondes mises en jeu il ne peut pas y avoir d'effet direct sur les molécules organiques. Les effets possibles suspectés par les détracteurs des ondes sont des effets sur le com-

portement électrique des cellules vivantes qui serait perturbé par la présence d'un champ électrique ou magnétique haute fréquence. Bien entendu, l'absence de mise en évidence de tels phénomènes ne suffit pas à assurer qu'ils n'existent pas mais cela ne permet pas non plus d'affirmer qu'ils existent.

Classement CIRC

Pour appuyer la dangerosité des ondes électromagnétiques, on utilise souvent le classement du CIRC qui est une agence de recherche de l'OMS sur le cancer, basée à Lyon. Les ondes électromagnétiques sont classées 2B c'est-à-dire agent peut-être cancérigène ou cancérigène possible. Quand on regarde cela d'un peu près, il n'y a guère de raison de s'inquiéter. En effet le CIRC définit 4 groupes (de 1 à 4) correspondant à des degrés d'indication de cancérigénicité pour l'être humain. Le deuxième est subdivisé en groupe 2A et 2B :

- ❑ Groupe 1 : agent cancérigène (parfois appelé cancérigène avéré ou cancérigène certain), (113 agents)
- ❑ Groupe 2A : agent probablement cancérigène, (66 agents)
- ❑ Groupe 2B : agent peut-être cancérigène (parfois appelé cancérigène possible), (285 agents)
- ❑ Groupe 3 : agent inclassable quant à sa cancérigénicité, (505 agents)
- ❑ Groupe 4 : agent probablement pas cancérigène. (1 agent)

On constate que dès que le risque n'a pas pu être totalement exclu on classe l'agent en 2B. Dans le groupe 4 il n'y a qu'un seul agent. Le fait d'être classé 2B signifie qu'on ne peut rien affirmer et qu'aucune étude n'a, jusqu'alors, montré sans aucun doute possible un effet cancérigène.

Rapport AFFSET

Un rapport important sur le sujet est le rapport d'expertise collective de 500 pages AFFSET qui, en octobre 2009, concluait :

« Les données issues de la recherche expérimentale disponibles n'indiquent pas d'effets sanitaires à court terme ni à long terme de l'exposition aux radiofréquences. Les données épidémiologiques n'indiquent pas non plus d'effets à court terme de l'exposition aux radiofréquences. Des interrogations demeurent pour les effets à long terme, même si aucun mécanisme biologique analysé ne plaide actuellement en faveur de cette hypothèse ».

Un nombre important d'études de qualité ne rapportant pas d'effets a conduit le groupe d'experts de l'AFSSET à conclure que le niveau de preuve est insuffisant pour retenir des effets dommageables pour la santé. Ce rapport incluait l'analyse de 12 rapports d'expertise internationaux.

Les hypersensibles électromagnétiques

Certaines personnes trouvent dans la présence d'ondes électromagnétiques la cause ressentie des nombreux maux dont ils souffrent. Ces personnes sont réellement malades et doivent être prises en charge par la médecine. Cela ne constitue en aucun cas une relation de cause à effet comme le montrent les études réalisées à ce jour, en double aveugle, qui concluent à une absence de relation causale entre les symptômes observés et l'exposition au champ électromagnétique. La suppression des ondes n'est pas perçue par les malades. L'OMS reconnaît ce syndrome et l'englobe sous le terme général d'intolérance environnementale idiopathique (IEI)

du fait de son absence de spécificité à un agent ; cela ne signifie donc pas que l'OMS reconnaît la cause de la maladie. De la même façon on trouvait souvent dans un passé récent des personnes malades attribuant leur maladie à un envoûtement ce qui, d'un point de vue scientifique, fait beaucoup moins sérieux que la présence d'ondes électromagnétiques.

Les effets des antennes relais

Les personnes qui pensent que les ondes électromagnétiques sont nocives réclament en général une baisse de puissance des antennes relais. En pratique avec une antenne l'exposition est 100 à 100.000 fois plus faible qu'avec un portable : être exposé pendant 24 heures à une antenne à 1 volt par mètre donne la même exposition de la tête que de téléphoner avec un portable pendant 30 secondes. Diminuer la puissance des antennes relais obligerait de les densifier ce qui ne changera guère le champ moyen des zones couvertes et ne diminuerait donc pas l'exposition aux ondes. La puissance des antennes n'a pas été choisie au hasard mais pour permettre une couverture optimale compatible avec la puissance qu'il est possible d'émettre et de recevoir avec un portable de petite taille pendant un temps raisonnable de plusieurs heures.

10. LES PUISSANCES MISES EN JEU

Pour estimer les effets énergétiques des ondes électromagnétiques il est important d'avoir à l'esprit l'ordre de grandeur des énergies mises en jeu. L'unité de puissance est le Watt, c'est en kW que sont exprimées les puissances des moteurs des automobiles. A titre d'exemple voici quelques puissances émises :

Emetteur Grandes Ondes de France Inter à Allouis 2000 kW
Relais de télévision terrestre: 1 kW
Emetteur de radio FM : 1 kW
Emetteur de télévision par satellite: 1 kW
Four à micro-ondes: 0.8 kW
Relais de téléphone portable GSM: 100 watts
Téléphone portable GSM: 2 watts au maximum
Téléphone sans fil DECT : 0.1 watt
Une box Wi-Fi : 0,1 watt
Emetteur Bluetooth : de 0.001 à 0.1 watt (selon l'usage)

Comprendre les énergies avec les calories

L'unité internationale légale d'énergie est le joule qui correspond à une puissance de 1 watt pendant 1 seconde. Pour l'homme de la rue le joule ne représente rien de bien concret, on lui préfère en général d'autres unités plus commodes. L'énergie contenue dans la batterie d'un portable est mesurée en milliampères.heure. Une batterie de 800 mAh correspond à 2.96 Wh c'est-à-dire à $2.96 \times 3600 = 10\,656$ joules.

Une unité d'énergie très courante pour indiquer la valeur nutritionnelle des aliments est la calorie. Une calorie est l'énergie qui permet de réchauffer un gramme d'eau de 1°C , elle est égale à 4,18 joules. On utilise plutôt ce que l'on appelait autrefois la grande calorie qui est égale à 1000 calories soit une kilocalorie notée kcal.

Un être humain a besoin pour vivre d'environ 2100 kcal par jour soit 8778 kJ/jour ce qui correspond à une puissance moyenne de 100 watts. On compte encore souvent la puissance des moteurs en chevaux-vapeur, puissance qui avait été choisie comme celle d'un cheval moyen, un cheval-vapeur correspond, par définition à 735 watts. D'après cette définition un cheval vaudrait un peu plus de 7 humains ! Un coureur cycliste peut développer une puissance de plusieurs centaines de watts sur son vélo.

Avec une puissance de 2 watts, ce qui est la puissance d'émission maximum d'un portable, il faudrait 4 jours pour faire bouillir



un litre d'eau à 20° . La batterie du portable d'une tension de 3,7 V et d'une capacité de 800 mAh ne peut fournir cette énergie que pendant 1,5 heure ($0.8 \times 3,7/2$). On constate immédiatement que les expériences que l'on trouve sur Internet consistant à faire cuire un oeuf avec un portable sont complètement farfelues. L'échauffement de la tête au voisinage du portable est très faible. Les effets thermiques des ondes électromagnétiques liées au téléphone portable sont insignifiants et inférieurs au réchauffement obtenu en portant une écharpe en laine.

Si l'on considère l'énergie rayonnée par une antenne relais d'une puissance de 100 W, à une distance de 100 m si l'antenne rayonnait uniformément dans l'espace, l'énergie rayonnée par mètre carré est de 0.8 mW. Si l'on suppose que l'antenne rayonne de façon préférentielle horizontalement avec un gain de 6 décibels ce qui multiplie par 4 la puissance, l'énergie à 100 m devient 3.2 mW/m^2 . Rapportée à une journée longue de 86400 secondes l'énergie reçue par 1 mètre carré de surface est de 276 calories. Cinq fois plus loin, à 500 m de l'antenne, il faut diviser ces valeurs par 25. De telles énergies n'ont aucun effet thermique perceptible, les seuls effets sur les êtres humains ne peuvent être que des effets biologiques d'origine actuellement totalement inconnue. On peut comparer cela à l'énergie électromagnétique solaire reçue par la terre qui est, à midi, de l'ordre de 1 kW/m^2 .

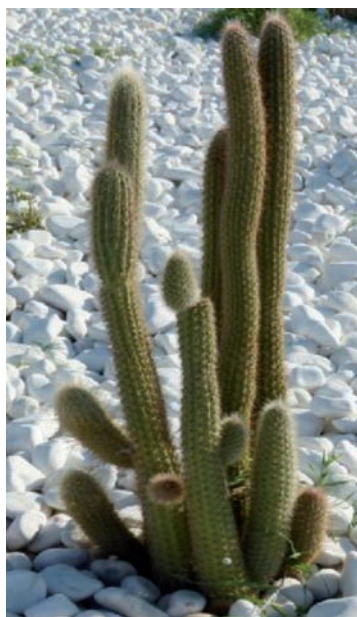
11. SE PROTÉGER DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les personnes qui pensent être sensibles aux ondes électromagnétiques cherchent à s'en protéger. La première chose à faire est de proscrire l'usage du portable et d'éviter tout émetteur tel que la Wi-Fi dans son environnement. Si l'on pense être sensible au champ magnétique créé par l'installation électrique 50 Hz c'est plus compliqué car il faudrait la réaliser entièrement avec des fils blindés ce qui, de toute façon, ne supprime pas le rayonnement des appareils électriques. Pour supprimer ou au moins atténuer les ondes venant de l'extérieur il faut blinder son habitation ou vivre dans un logis souterrain.

On trouve dans le commerce un grand nombre de dispositifs et accessoires sensés assurer une protection contre les ondes électromagnétiques. Il existe par exemple des pastilles que l'on colle sur son portable qui, soit disant, permettent de se protéger des ondes. Les explications du fonctionnement sont totalement fantaisistes et parfaitement pseudo-scientifiques. On trouve par exemple sur Internet un grigri en shungite aux propriétés merveilleuses dont la description est la suivante :

«La shungite est un minéral organique qui ne se trouve que dans un seul endroit au monde : dans le Nord-Ouest de la Russie.

Une des propriétés majeures de la Shungite est sa puissante capacité à neutraliser toutes sortes de rayonnements. Cette pierre est très efficace pour lutter contre les perturbations dues aux ondes électromagnétiques émises par nos appareils modernes sans fil : wifi, ordinateurs, téléphones portables et DECT, etc. ».



Il existe une rumeur comme quoi les cactus protégeraient des ondes avec l'argumentaire suivant :

«Le Cereus Peruvianus a la réputation d'absorber les ondes électromagnétiques émises par les écrans d'ordinateurs et de télévision, nous protégeant ainsi de ces ondes «nocives», il peut mesurer plus de 15 mètres de haut...

Plusieurs tests dont celui du physicien français Bovis nous ont montré que la vibration normale d'une personne est de 6500 unités Bovis (unités liées à notre Champ Vibratoire).

Quand un ordinateur est allumé la vibration d'une pièce peut passer de 8000 à 3500 Bovis à cause des ondes électromagnétiques ce qui est trop faible. Mais avec le cactus Cereus Peruvianus, la vibration de la pièce remonte à 8000 unités Bovis et revient donc à la normale.»

Bien entendu, de telles propriétés sont totalement sans fondement mais croire cela n'a aucune conséquence néfaste sur la santé physique.

Tous ces dispositifs sont complètement inutiles. On peut tout de même les considérer comme d'une excellente efficacité dans la mesure où en les protégeant d'un risque insignifiant ils rassurent les utilisateurs.

12. CONCLUSION

Le XXI^{ème} siècle est le siècle de la révolution numérique, toute l'information du monde est très facilement et très rapidement accessible à tous, à tout instant et à tout endroit. Le téléphone portable s'est développé beaucoup plus vite qu'on ne le prévoyait il y a une trentaine d'années. Il y a actuellement, en France, plus de portables en fonctionnement que de Français. Un retour en arrière dans ce domaine est complètement inenvisageable, il faut donc nous habituer à vivre dans un important brouillard électromagnétique. Il n'apparaît nulle part que la généralisation du portable ait créé une catastrophe sanitaire. L'argument du manque de recul souvent avancé par les détracteurs est en grande partie tombé car il y a maintenant une douzaine d'années que son usage s'est généralisé et les effets suspectés sur la santé restent très ténus et discutables. Par contre on n'a jamais fait le compte des vies sauvées par les portables qui permettent dans bien des cas d'alerter très rapidement les secours. Malheureusement, périodiquement dans les médias, apparaissent des études épidémiologiques du type «on vous l'avait bien dit» montrant que les ondes seraient responsables de cancers. L'une des dernières affichait à la une des médias que pour les 10% d'utilisateurs qui téléphonent beaucoup, l'usage du portable pourrait multiplier par 2,9 le risque de gliome du cerveau. Cette valeur de 2,9 est très anxiogène il faut cependant la relativiser

par le fait que pour la France il y a 2400 nouveaux cas de gliomes par an soit 4/100000 nouveaux cas par an. Les médias ne retiennent dans ces études que ce qui irait dans le sens des dangers en omettant toujours de rapporter de ce qui va dans le sens du doute. Les critiques scientifiques sérieuses de ce type d'enquêtes n'ont, d'une part, pratiquement aucun écho dans les médias et, d'autre part, si elles montrent la présence de biais ou d'erreurs les auteurs sont le plus souvent accusés d'être de mauvaise foi, à la solde des opérateurs de téléphone.

Chacun est libre de croire que les ondes électromagnétiques sont dangereuses pour la santé mais il ne faut pas confondre croire et savoir. Les croyances sont de l'ordre du religieux, elles ne sont pas basées sur la connaissance scientifique mais sur un ressenti individuel ou collectif. Bien entendu il arrive qu'une croyance se transforme en connaissance mais cela ne justifie en rien la véracité scientifique de l'ensemble des croyances. C'est pour cela que les discussions et les débats entre ceux qui croient et ceux qui savent sont des dialogues de sourds totalement stériles qui ne débouchent sur rien de concret et ne permettent pas, en général, de se faire une opinion objective. La plupart des scientifiques fuient de tels débats car ils en ressortent le plus souvent déprimés sans avoir pu faire face à des arguments simplistes et polémiques qu'ils ont du mal à réfuter. Pour le grand public la confusion entre sciences et pseudo-sciences est encore accentuée par le fait que les pseudo-sciences utilisent abondamment le jargon scientifique et ressemblent à de la science alors que ce n'en n'est pas.

A mon sens, le vrai danger des ondes électromagnétiques n'est pas leur impact sur la santé mais leur impact sur les libertés individuelles. Les nouvelles technologies permettent de disposer dans l'instant, pour le meilleur et pour le pire, de toutes les informations sur l'ensemble des individus. Grâce à un portable en fonctionnement il est possible de savoir où l'on se trouve à une centaine de mètres près. Les possibilités colossales de conservation des données donnent accès au comportement des individus et la mise en mémoire systématique de très nombreuses informations comme les conversations téléphoniques ce qui enlève toute confidentialité du téléphone. Les ondes électromagnétiques constituent un élément essentiel de cette toile d'araignée de la surveillance en donnant accès à l'information sans faire appel à des liaisons filaires. Cela fait froid dans le dos lorsqu'on imagine ce que pourrait être une société totalitaire exploitant au mieux l'ensemble de ces technologies qui sont déjà disponibles à faible coût. Nous ne sommes pas très loin de pouvoir bâtir la société dont Georges Orwell a donné un avant goût dans son célèbre roman «1984».

Finalement si l'on pense que les ondes électromagnétiques sont dangereuses pour la santé il suffit de ne pas utiliser de téléphone portable ou au moins d'utiliser un kit mains libres et de n'utiliser qu'un téléphone fixe filaire, de bannir la Wifi au profit d'une liaison filaire Ethernet, de proscrire le four à micro-ondes et les télécommandes et de vivre à la campagne loin des antennes relais. Bien entendu il reste encore le très faible champ émis par les nombreux satellites artificiels qui jusqu'à présent n'a jamais été soupçonné d'avoir des effets sur la santé.

Références

Le lecteur intéressé pourra trouver sur ce sujet, sur le site Internet de l'Afis (Association française pour l'information scientifique), de très nombreux dossiers très bien documentés destinés au grand public : www.afis.org

On peut en particulier consulter sur ce site ce qui a été écrit par la présidente de l'Afis, M^{me} Anne Perrin, docteur en biologie cellulaire et moléculaire, diplômée de philosophie, chercheur en biophysique, spécialisée en bioélectromagnétisme.

LA BIOLOGIE DE SYNTHÈSE

CONFÉRENCE DE THIERRY LANGIN, DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS,
A L'ADASTA LE 24 SEPTEMBRE 2014

INTRODUCTION ET RAPIDE HISTORIQUE

«*La biologie synthétique*» est le titre d'un ouvrage, paru en 1912, de Stéphane Leduc qui propose, pour tester la validité de nos connaissances en biologie, que la synthèse succède à l'analyse. Ainsi faisait-on depuis quelques décennies en chimie. Un quart de siècle s'était écoulé depuis que Gaston Bonnier avait réussi la synthèse d'un lichen à partir d'une algue et d'un champignon, et il faudra attendre presque un siècle pour que la biologie de synthèse prenne réellement son essor, au début des années 2000.

Entre temps, suite au développement de la Biochimie, sont apparus le Génie Génétique et les Biotechnologies (1970/1980). A partir de 1960, dans un autre champ disciplinaire, le développement des outils de modélisation informatique, combiné aux progrès rapides de la miniaturisation a rendu possible l'explosion des montages complexes aux capacités toujours plus importantes résultant de la combinaison de circuits intégrés, considérés comme des modules. Ce fut le début de l'ingénierie électronique.

La fin des années 2000 vit l'apparition et le développement des technologies dites «omiques» (génomique, transcriptomique, protéomique, métabolomique, épigénomique) et le développement des outils capables de générer ces informations «omiques» à très haut débit, en produisant un nombre considérable de données. Cette évolution alla de pair avec un intérêt croissant des informaticiens et des physiciens pour la biologie. Cette interaction déboucha sur l'émergence d'une Biologie plus intégrative, **la Biologie des systèmes**. Elle vise à comprendre, modéliser et prédire les règles fondamentales qui gouvernent le fonctionnement dynamique d'une cellule à l'échelle globale.

PRÉSENTATION DE LA DISCIPLINE

Dans sa généralité

C'est à partir des outils de Biotechnologies et des concepts issus de la Biologie des systèmes que s'est développée la **Biologie de synthèse**. En voici deux définitions :

«L'ingénierie de composants et systèmes biologiques qui n'existent pas dans la nature, et la ré-ingénierie d'éléments biologiques existants»

Consortium international Synbiology

«Une véritable rupture dans l'évolution des biotechnologies, en considérant le vivant comme un immense meccano, à partir duquel sont imaginées et construites de nouvelles entités (bactéries), des micromachines (autoreproductibles ou pas), des systèmes qui n'existent pas dans la nature»

**Pierre Tambourin,
Directeur Général du Génomipole d'Evry**

La Biologie de synthèse, c'est la rationalisation des pratiques de la biotechnologie, pour aller vers une véritable ingénierie du vivant. L'essor des biotechnologies a reposé sur un paradigme, le «**tout génétique**» : puisque les gènes déterminent les caractères, les manipuler conduirait à modifier ces caractères. S'ensuivit

l'apparition des **OGM (Organismes Génétiquement Modifiés)**. La Biologie de synthèse a pour objectif de dépasser les limites de ces technologies, en prenant en compte la complexité du vivant, en diminuant cette complexité par la création de «cellules minimales», et en utilisant des outils de modélisation similaires à ceux mis en œuvre dans l'industrie de la machine-outil, de l'automobile...

Pour être plus précis, l'idée directrice de la Biologie de synthèse est d'échapper **aux processus naturels** qui gouvernent l'évolution des êtres vivants :

1) en les traduisant en principes ingénieriques simples, comme par exemple, considérer une fonction biologique comme un circuit constitué de modules (gènes et ou fonctions), qui vont alors constituer autant de bio-briques

2) en agencant ces modules et ces circuits suivant un plan déterminé comme des pièces détachées.

Ainsi, ces modules ou bio-briques sont modélisés et combinés pour (1) concevoir et fabriquer à la demande des fonctions biologiques, soit complètement nouvelles, soit simplement optimisées, (2) voire, à termes, créer *de novo* de nouveaux organismes vivants.

La Biologie de synthèse, une véritable rupture conceptuelle et méthodologique

Les limites du Génie génétique classique sont de deux ordres :

1) **le caractère polygénique des caractères d'intérêt** limite les perspectives espérées et attendues du développement des OGM. Par exemple 99% des plantes OGM dans le monde ont simplement acquis une résistance aux herbicides, ou une activité insecticide, alors que la plupart des caractères agronomiques intéressants sont polygéniques.

2) **l'existence d'interférences négatives** entre les fonctions nouvelles apportées par les gènes introduits et l'organisme receveur. Le fonctionnement d'une cellule est le résultat de processus évolutifs complexes. Introduire un nouveau gène peut désorganiser ce fonctionnement, et conduire à des résultats inattendus.

La révolution proposée par la Biologie de synthèse repose sur deux éléments principaux, (1) la création d'organismes receveurs dont on a artificiellement simplifié le génome et (2) la définition de bio-briques, considérées comme de simples éléments constitutifs d'une machine complexe : **«Les gènes, les protéines entre autres, sont à la cellule ce que les transistors, les condensateurs et les résistances sont à l'ordinateur».**

Des chercheurs de l'Université de Princeton.

Il est aujourd'hui possible de synthétiser, en une journée et pour un coût modeste, des séquences ADN de dizaines de milliers de nucléotides. Les cellules minimales au génome simplifié peuvent alors servir de véritables «**châssis cellulaires**» dans lesquels on peut introduire à volonté des combinaisons de bio-briques, comme dans un lego.

La Biologie de synthèse, le Ying et le Yang de la Biologie :

La Biologie de synthèse touche aujourd'hui de très nombreux champs d'activité : la santé humaine, avec de nouvelles thérapies, des médicaments moins chers, les bio-matériaux, les biocarburants, la valorisation et le recyclage des déchets plus ou moins toxiques, avec des bactéries capables de dégrader des substances toxiques ou initialement non recyclables, etc. La Biologie de synthèse est devenue ces dernières années un domaine scientifique qui intéresse de plus en plus les industriels de la Chimie (médicaments, agrochimie, pétrochimie), de l'Informatique, et encore plus le secteur des Bioénergies.

Toutefois, il existe une certaine **ambiguïté** entre les objectifs clairement finalisés de nombreux programmes de recherche utilisant les outils et concepts de la Biologie de synthèse, souvent avec des enjeux économiques importants, et une communication présentant la Biologie de synthèse comme un moyen puissant d'étude et de compréhension du vivant, à même potentiellement de nous éclairer sur les conditions ayant déterminé l'apparition de la vie.

Cette dualité de la Biologie de synthèse est illustrée de façon caricaturale par le généticien controversé Craig Venter. Celui-ci avait réussi dès 2003 la première synthèse d'un génome viral, un bactériophage, qui, réintroduit dans des cellules bactériennes, s'était montré capable de produire des virions. Les virus sont des microorganismes avec le plus souvent des génomes de très petite taille et un faible nombre de gènes. En 2010, C. Venter a annoncé la création de la première bactérie synthétique, *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn 1.0, en présentant cette « invention » comme la première création artificielle d'une nouvelle espèce. L'équipe d'une vingtaine de chercheurs et techniciens du J. Craig Venter Institute a créé, après 10 ans d'effort et un budget de 32 millions d'euros, une cellule bactérienne fonctionnelle dotée d'un génome artificiel. Pour cela, ils ont utilisé une bactérie avec un génome de très petite taille (500 000 paires de bases), *Mycoplasma genitalium*, agent pathogène de l'homme. Dans un premier temps, l'équipe s'est d'abord attachée à identifier un par un les gènes essentiels de la bactérie, au nombre de 500 environ, puis dans un deuxième temps, elle réalisa la synthèse chimique de chacun de ces 500 gènes essentiels, par fragments de 1 000 paires de base. Ces fragments ont ensuite été introduits dans une cellule de Levure afin que sa machinerie de recombinaison et de réparation les réassocie fragment par fragment de façon à reconstituer un génome bactérien entier. La réintroduction de ce génome synthétique de *Mycoplasma genitalium* dans des cellules de *Mycoplasma capricolium* (agent pathogène de la chèvre) échoua. Ce n'est finalement qu'avec le génome synthétique de *Mycoplasma mycoides* (1,1 million de paires de bases) que le transfert dans *Mycoplasma capricolium* réussit. La bactérie génétiquement modifiée a été nommée *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn 1.0 par Craig Venter qui la présenta comme **« la première espèce capable de se reproduire ayant pour parent un ordinateur »**. En fait seul le génome de cette bactérie est synthétique. Le reste de la cellule de *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn 1.0 correspond à la cellule de *Mycoplasma capricolium* « naturelle », seulement déplétée de son génome, mais ayant conservé tout le reste. Sans nier la prouesse technique, on reste loin toutefois d'une véritable création de *novo* d'une nouvelle espèce. Par contre, la démarche expérimentale adoptée par l'équipe de C. Venter illustre parfaitement ce à quoi peut correspondre la Biologie de synthèse, *ie* un ADN synthétique (le module) introduit artificiellement dans un « châssis cellulaire », la cellule bactérienne, dont à l'exception de son génome, on a conservé l'ensemble des éléments permettant à celle-ci d'assurer ses fonctions vitales.

Le même C. Venter utilise les mêmes outils de la Biologie de

synthèse pour développer, dans le cadre d'une collaboration entre sa société Synthetic Genomics et le géant EXXON, un biocarburant à partir de micro-algues « optimisées » (avec un investissement > 100 millions de dollars). *British Petroleum*, autre géant du pétrole, investit plus de 500 millions de dollars dans des projets de Biologie de synthèse ayant le même objectif de développement de nouveaux bio-carburants.

Dans le domaine de la Santé, les projets sont également très nombreux, avec un rôle très actif de la fondation Bill & Melinda Gates. **Un des exemples les plus représentatifs est celui** de l'artémisine. Il s'agit d'un terpénoïde naturellement produit par l'Armoise, et connu depuis longtemps comme un médicament efficace pour lutter contre le paludisme. Le problème est que l'extraction directe à partir de l'Armoise reste encore aujourd'hui très difficile, limitant *de facto* les quantités disponibles. La synthèse chimique est possible, mais elle est compliquée, chère et peu productive. Après 10 ans d'efforts, en 2013, Jay Keasling et son équipe à l'Université de Californie ont rendu possible la production par Sanofi d'une Artémisine (>60 tonnes/an) issue d'une stratégie reposant pour l'essentiel sur la Biologie de synthèse (fig. 1). Ces chercheurs ont modifié génétiquement une souche de levure de bière, ou *Saccharomyces cerevisiae*, en lui transférant les 11 gènes de biosynthèse de l'artémisine de l'Armoise. La souche de levure transgénique résultant de cette manipulation est devenue capable de synthétiser une molécule proche de l'artémisine. Cette molécule est ensuite facilement transformable en Artémisine active, par un processus chimique simple et peu onéreux.

Le développement de ces nouveaux outils, et les perspectives nombreuses et prometteuses ouvertes ont favorisé la création d'entreprises spécialisées en Biologie de synthèse au niveau international : *Tech Dragon Limited* (entreprise localisée à Hong Kong qui offre, entre autres, un service de construction à façon de gènes synthétiques, vu comme une véritable « Fonderies de gènes »), *Gene Art* (Entreprise allemande qui propose un catalogue de gènes de cerveau, de foie et de cœur humains), *DNA 2.0* (qui propose des logiciels gratuits permettant de « concevoir des séquences d'ADN sans être limité par ce que la nature peut offrir »). La France n'est pas restée à l'écart, bien que la dynamique soit encore assez limitée : plusieurs Startup se sont développées autour du Génomipole d'Evry, Total s'est doté d'un département Biotech, et, en 2007, a été créé l'IBSS (Institut de Biologie Systémique et Synthétique). Par ailleurs, Sanofi s'est également positionné sur ce secteur avec l'artémisine.

Un autre exemple d'application de la Biologie de synthèse :

Chez la Levure (*Saccharomyces cerevisiae*, cellule eucaryote, à noyau) encore, un pas de plus vient d'être franchi avec la re-construction de l'un de ses 16 chromosomes, dans le cadre d'une collaboration franco-américaine dirigée par Jef Boeke de l'Université de New-York (Science, mars 2014). La stratégie employée a été 1) de réaliser la synthèse chimique de petits fragments d'ADN modifiés correspondant à la séquence de ce chromosome, 2) d'introduire un par un les fragments d'ADN synthétisés dans une cellule de Levure, pour remplacer la séquence naturelle du chromosome par la séquence synthétique, 3) 300 000 paires de bases ont été échangées, 4) 16 000 ont été éliminées (séquences répétées pour l'essentiel), et 5) le chromosome artificiel « simplifié » reste fonctionnel.

« Pour être fonctionnel, le chromosome ne doit pas seulement aligner les bonnes séquences d'ADN, il doit aussi s'intégrer dans la disposition en trois dimensions du génome dans le noyau cellulaire »

Pierre Tambourin, Directeur général du Génomipole d'Evry

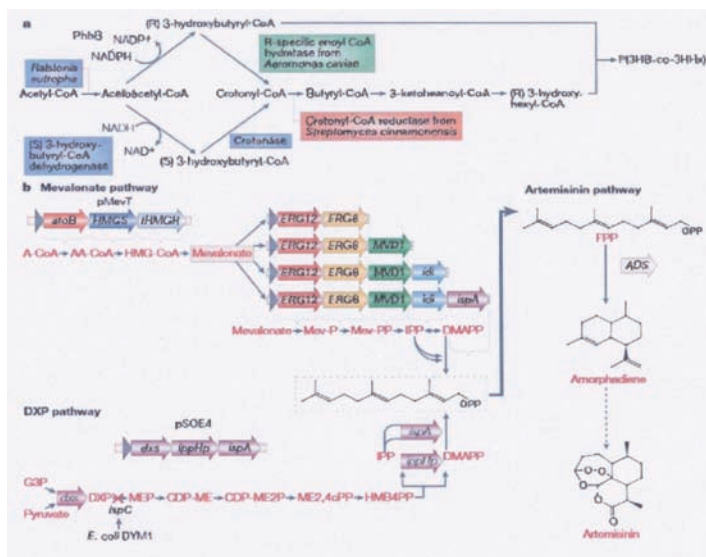


Figure 1

Applications de la Biologie de synthèse.

a) production de P(3HB-co-3HHx), poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate), thermoplastique, par la bactérie *Ralstonia eutropha* ayant reçu le gène de la crotonyl-CoA réductase de la bactérie *Streptomyces cinnamomensis* et celui de la @-specific enoyl-CoA hydratase de *Aeromonas caviae*.

b) 11 gènes de l'Armoise ont été transférés dans une souche de Levure de bière, de telle sorte que cette souche puisse synthétiser, à partir de sucre, un précurseur de l'artémisine, transformable en Artémisine. La voie de biosynthèse de l'Artémisine est reconstituée.



Figure 2.

Aperçu (de mauvaise qualité) de la carte du gène synthétisé par l'équipe du J. Craig Venter Institute JCVI-syn 1.0., et qui, introduit dans la bactérie *Mycoplasma capricolium*, s'exprime sous la forme de la bactérie *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn 1.0.

LES ENJEUX BIOÉTHIQUES SOULEVÉS PAR LA BIOLOGIE DE SYNTHÈSE SONT NOMBREUX

La biosécurité

L'objectif est de contrôler la dissémination des organismes génétiques modifiés issus des biotechnologies et de la Biologie de synthèse :

1) **Par confinement**, en n'utilisant que des laboratoires présentant un niveau de sécurité de type P3 voire P4. Le nombre, aujourd'hui encore limité, d'entreprises fabriquant des organismes de synthèse devrait faciliter un contrôle efficace.

2) **Face au risque de privatisation** (par brevets) des produits issus de la Biologie de synthèse, différentes initiatives visent à défendre un libre accès, non seulement au savoir (open source), mais également aux ressources, dont les biohackers. Elles prônent le développement d'une Biologie de synthèse du type «Do it yourself», par laquelle n'importe qui pourrait «bidouiller» des organismes de synthèse dans son garage, démarche facilitée par la baisse des coûts de séquençage, l'accès aisé à des équipements même sophistiqués (on peut trouver des synthétiseurs d'oligonucléotides d'occasion sur e-Bay !!!), et des protocoles sont disponibles en ligne sur Internet. Il faut noter un développement important de ce type d'actions et de mouvements aux Etats-Unis, et même en Europe et en France. Cela peut sembler une bonne idée *a priori*, mais qui n'est pas sans présenter des risques de prolifération de constructions et produits plus ou moins élaborés issus de la Biologie de synthèse, avec une difficulté croissante à en contrôler la dissémination.

3) **D'autres possibilités** de biosécurité existent, comme le «dispositif suicide» qui implique que les OGM ou les organismes synthétiques s'autodétruisent une fois leur tâche terminée. Un des premiers exemples de ce type de stratégie est le gène Terminator de Monsanto, qui rend stériles les graines OGM de 2^e génération.

4) **Enfin, pour un futur plus lointain**, il est envisagé de modifier l'alphabet du vivant par l'utilisation d'autres nucléotides que les 4 existant dans l'ensemble du monde vivant (ATGC), ce qui permettrait d'éviter toute contamination d'organismes vivants par de l'ADN synthétique. On parle alors de Xénobiologie ou de «confinement sémantique» (projet Xenome coordonné par P. Marlière au Génopole d'Evry). L'idée maîtresse de ce projet est que, plus les organismes synthétiques seront éloignés des organismes naturels, plus les risques d'échanges ou d'interférences seront limités.

Propriété intellectuelle

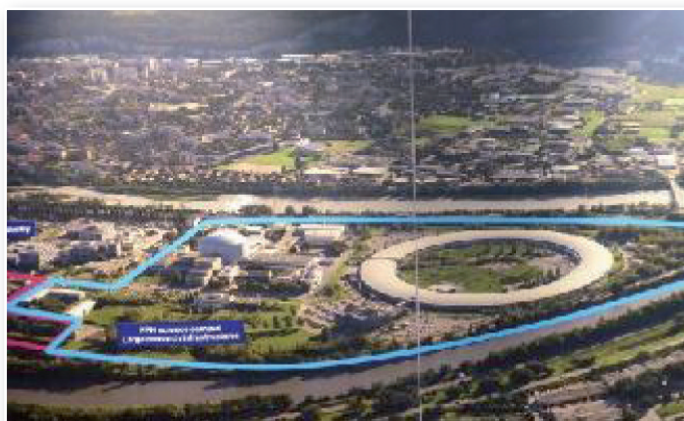
Au-delà des problèmes posés par la privatisation du vivant (gènes, ressources génétiques...) sous forme de brevets, et des différences de réglementation existant entre les Etats-Unis et l'Europe, leur quasi-absence en Chine, il reste à la planète un important problème à régler :

Quel est le statut des organismes vivants créés par la biologie de synthèse ?

VISITE DE L'INSTITUT LAUE-LANGEVIN (ILL) ET DE L'EUROPEAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY (ESRF) À GRENOBLE

(RÉDIGÉ PAR GEORGES JÉMINET, MEMBRE DE L'ADASTA)

Ce mardi matin 20 mai 2014, campus des Cézeaux, nous sommes 40 membres (ADASTA et SFEN) à partir très tôt, dans un bus confortable, vers le polygone scientifique de Grenoble situé sur la presqu'île au confluent du Drac et de l'Isère.



Nous allons vers la découverte de deux centres de recherche prestigieux qui étudient la structure de la matière sous toutes ses formes. Pendant tout le parcours aller et retour Michel Massaux nous présente au micro, avec son enthousiasme et sa gentillesse naturelles, l'histoire scientifique écrite par les physiciens des particules et les applications qui en découlent. Le voyage apparaît très court.

La première impression à notre arrivée par la rue des Martyrs, sur le site de 250 ha, est la concentration des grands laboratoires présents. En effet, l'ILL et l'ESRF occupent une superficie importante liée à leur conception technique, mais on trouve également sur les panneaux des indications pour le CEA, le LETI, le CNRS (Institut de Biologie Structurale...), l'EMBL, l'Institut Néel ou encore ST Microelectronics, Ericsson, BioMérieux, Clinattec et Minattec centre européen des nanotechnologies. D'autres projets sont en cours de réalisation.

Notre première visite est pour l'ILL. La présentation générale a lieu dans l'amphithéâtre Chadwick. Quelques photos seulement sont tolérées dans le hall d'accueil, uniquement.



L'Institut Laue-Langevin (ILL) est un organisme de recherche international créé en 1967. Il est géré par les trois principaux pays européens dont la France (34%), représentée par le CNRS (17%) et le CEA (17%), auxquels s'associent dix pays partenaires scientifiques. Il est au service des chercheurs de ces 13 pays. 40 spectromètres de haute technologie donnent des informations uniques sur la structure et la dynamique de la matière (solides, liquides, gaz...) et couvrent de nombreux champs d'investigation : physique des particules, physique nucléaire, chimie, biosciences, sciences des matériaux¹.

Le réacteur à haut flux de l'ILL fonctionne en continu durant des cycles de 50 jours (il est en arrêt du 9 août 2013 au 8 juillet 2014 pour différents travaux). Son cœur est constitué d'un élément combustible unique d'uranium très enrichi (de moins de 10 kg), refroidi à l'eau lourde. Sa puissance thermique de 58 MW est évacuée par un circuit de refroidissement secondaire alimenté par l'eau du Drac. La cuve à eau lourde contenant le cœur est située dans une piscine d'eau déminéralisée, qui assure une protection vis-à-vis des rayonnements neutrons et gamma émis par le cœur. Les neutrons produits dans le réacteur par la réaction de fission ont une très grande énergie (vitesse : 20 000 km/s). Afin d'être utilisés pour la recherche, ils sont ralentis par l'eau lourde, avant d'être guidés jusqu'aux instruments scientifiques. L'ILL produit le flux continu de neutrons thermiques le plus intense du monde ($1,5 \times 10^{15}$ neutrons/s/cm²)².

Lorsque les neutrons interagissent avec des matériaux, ils se comportent comme des ondes. En fonction de la technique neutronique utilisée, les mesures obtenues fournissent des informations sur la structure nanoscopique et la dynamique de l'échantillon étudié². A l'ILL quatre techniques sont pratiquées : la diffraction neutronique, la spectroscopie neutronique, l'analyse de polarisation et les expériences de physique nucléaire et fondamentale². Nous parcourons le gigantesque hall ILL 7 où sont situés de nombreux postes dédiés aux instruments spécifiques pour les mesures et les contrôles. Une jeune femme chercheuse, M^{me} Giovanna Fragneto (ILL Senior Fellow for soft matter) qui se trouve là nous sert agréablement de guide, elle nous précise qu'elle travaille sur les membranes biologiques. Ce qui impressionne particulièrement, c'est la complexité et le gigantisme des montages expérimentaux nécessitant des compétences très spécifiques en ajustage, plomberie, électricité, électronique, informatique... De très belles images de ce hall, ainsi que du réacteur peuvent être trouvées dans le remarquable film de présentation de l'ILL disponible sur internet.

Puis vient le temps du déjeuner pris dans le restaurant du personnel. Ce contact avec les acteurs du site permet à beaucoup d'entre nous de retrouver une ambiance vécue.

L'après-midi, M^{me} Dominique Cornuéjols nous attend, dans un hall d'accueil dédié à la présentation du synchrotron ESRF où les nuances du bleu au violet dominant sur les murs.

L'exposé pédagogique et souriant, par une professionnelle de la communication, séduit tout le monde.



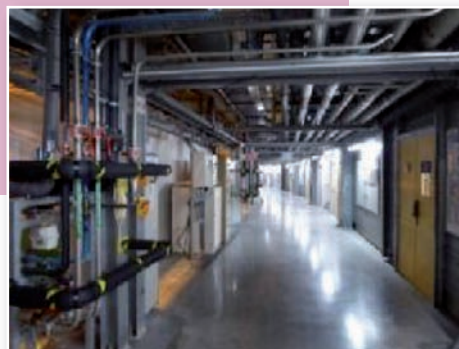
L'ESRF est d'abord un accélérateur d'électrons circulaire d'environ 320 m de diamètre. La courbure de la trajectoire des particules génère une onde électromagnétique appelée rayonnement synchrotron. Ce rayonnement polychromatique de photons (dont le spectre est relativement large, et peut s'étendre de l'infrarouge lointain aux rayons X durs) est émis tangentielle-ment à la trajectoire des électrons. C'est la plus puissante source de ce type en Europe, elle est partagée par 20 pays. Chaque année plusieurs milliers de chercheurs se rendent à Grenoble où ils peuvent travailler dans un environnement scientifique de haut niveau pour effectuer des expériences passionnantes, aux frontières de la science moderne.

Un synchrotron produit notamment de nombreux faisceaux de rayons X de haute brillance. Chaque faisceau est guidé par une série de lentilles, miroirs, monochromateurs et autres instruments afin de sélectionner la gamme de longueurs d'ondes et de modifier les caractéristiques du faisceau (taille, divergence) qui sera utilisé dans l'expérience. L'ensemble constitue une «ligne de lumière». «Au bout» de chaque ligne de lumière est monté un échantillon de matière servant de cible, suivi d'un détecteur qui détermine l'orientation des rayons émergents et enregistre leur intensité.



De nombreux pays possèdent des synchrotrons, il y en a 10 en Europe, mais seulement quatre au niveau mondial sont semblables à l'ESRF dans leur conception et leur puissance. 40 stations spécialisées sont situées sur des lignes de lumière.

Les physiciens travaillent côte à côte avec les chimistes et les spécialistes des matériaux, mais les biologistes, médecins, géophysiciens et archéologues sont aussi des utilisateurs. Les entreprises délèguent également des chercheurs, particulièrement dans le domaine pharmaceutique, les produits de consommation, la pétrochimie ou la microélectronique³.



Au fil de notre parcours où nos yeux découvrent des «montages» extraordinaires, nous avons la chance de rencontrer un chercheur du CNRS M. Michel Pirocchi qui nous présente avec passion et d'une manière détaillée sa station, dont le niveau d'équipement est à la hauteur d'une station spatiale selon ses termes. Au bout de sa ligne de lumière, il étudie la structure de protéines virales par diffractométrie X, sur un microcristal de la protéine (100 m). Les cristaux biologiques sont fragiles et nécessitent d'être protégés lors de l'analyse en les refroidissant dans de l'azote liquide à -200°C.



Toutes les manipulations pour positionner le cristal sur le faisceau X sont effectuées à l'aide d'un robot constitué par deux bras autonomes, beaucoup plus précis qu'un expérimentateur. Un détecteur extrêmement onéreux collecte l'ensemble des taches de diffraction obtenues. L'image de ce diffractogramme est stockée dans un puissant ordinateur externe qui va ensuite déterminer la structure atomique de la protéine. Ce processus est la base de la cristallographie aux rayons X dont 2014 a précisément été déclarée «année internationale» par les Nations Unies (23 prix Nobel décernés dans le domaine⁴). L'utilisation du rayonnement synchrotron comme source X a fait progresser cette technique d'une manière fantastique, on sait maintenant étudier des amas de protéines par exemple. En aval, il y a bien sûr une compréhension de plus en plus précise des processus biologiques à l'échelle moléculaire. Toutes les structures obtenues sont stockées (notamment les coordonnées atomiques) dans des banques informatiques dont la plus connue est PDB (Protein Data Bank : www.rcsb.org) qui met à la disposition des chercheurs de la planète des milliers de structures de protéines. Nous quittons ce chercheur enthousiaste en traversant un hall où une nouvelle station est en cours d'élaboration. Notre retour vers le bus se fait un peu comme à la sortie d'un rêve qui nous a permis d'approcher les démarches actuelles de la recherche de très haut niveau menée dans une collaboration européenne. Les photos sont dues à Bernard Schafer, le texte à Georges Jemmet et la relecture à Michel Massaux, pour ce superbe voyage qu'il a organisé.

Références :

- 1 – ILL, site internet du CNRS.
- 2 – ILL, notice officielle qui nous est remise.
- 3 – ESRF, site internet de présentation
- 4 – Site www.aicr2014.fr

L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS LE PNEUMATIQUE SELON MICHELIN

(DOMINIQUE AIMON – INGÉNIEUR)

Dans un contexte de raréfaction et de renchérissement des matières premières et de lutte contre le changement climatique, la mobilité doit progresser toujours plus. Parce que Michelin est convaincu que la mobilité est un fondement du développement humain, Michelin innove avec passion pour répondre à ces enjeux.

C'est tout au long du cycle de vie du pneu que l'impact sur les ressources naturelles, énergie, matière, eau, peut être amélioré dans une approche d'économie circulaire.

La proposition de Michelin est de mobiliser simultanément 4 leviers d'action sur l'ensemble du cycle de vie du pneu et d'apporter une combinaison de solutions en faveur d'une meilleure utilisation des ressources. C'est la stratégie 4R, réduire, réutiliser, recycler, renouveler.

1. L'INNOVATION AU SERVICE DE LA MOBILITÉ DURABLE

1.1. L'innovation a toujours été au cœur de la stratégie du groupe Michelin

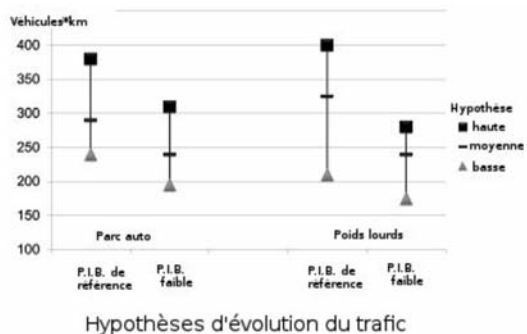
Sous une apparente simplicité, le pneu cache une nature complexe, combinaison de nombreux matériaux aptes à assurer diverses fonctions. Composite à l'échelle du millimètre mais aussi à l'échelle nanométrique, c'est un produit de très haute technologie.

Michelin vise systématiquement à réunir davantage de performances dans un seul pneu grâce au déploiement de technologies de pointe et à l'innovation. C'est la stratégie MICHELIN Total Performance. Sécurité, plaisir de conduite, économie de carburant, longévité kilométrique... c'est par l'innovation que Michelin parvient à répondre à l'ensemble des attentes des utilisateurs et aux enjeux futurs.

1.2. L'augmentation de la mobilité, un enjeu crucial pour 2050

La roue il y a plus de 5 000 ans, les voies romaines, les bateaux qui ont permis de découvrir le Monde, le train, premier transport de masse, la voiture, premier transport individuel à grande échelle et enfin l'avion qui change drastiquement les rayons d'action des hommes, chaque rupture dans la mobilité a été un carburant du progrès et du développement. C'est pourquoi la demande de mobilité va continuer à croître, particulièrement dans les pays en développement.

L'ITF, International Transport Forum, estime que la mobilité mondiale va augmenter considérablement dans les 30 à 40 prochaines années. En 2050, selon les scénarii, le transport de passagers, évalué par le nombre de véhicule*km, pourrait doubler voire quadrupler par rapport à 2010 ; les ordres de grandeur sont similaires pour le transport de marchandises, évalué par le nombre de tonnes*km de transport de surface.



Source ITF Transport Outlook 2013

Il est évident que la mobilité, telle que nous la vivons aujourd'hui, n'est pas durable.

En effet si la mobilité est source de progrès, elle a aussi des impacts majeurs.

En termes de sécurité tout d'abord, car plus d'un million de personnes meurent chaque année sur les routes.

En termes d'impacts sur l'environnement ensuite. Sans être exhaustif, citons 2 éléments :

□ Le transport routier est responsable de 18% des émissions

de CO₂ mondiales.

□ Le transport est très dépendant des énergies et des matières premières fossiles dont les ressources sur terre sont par définition finies.

Zoom sur les matériaux

Le pneu est constitué de mélange de gomme et de renforts textiles ou métalliques. Les chercheurs puisent dans cette palette pour élaborer les composants du pneu, chacun ayant un rôle à jouer selon le type de pneu fabriqué et la zone du pneu où il se situe.

Plus de 200 matériaux entrent dans la composition du pneu :

- Un quart est du caoutchouc naturel : aujourd'hui, le caoutchouc naturel produit dans le monde répond tout juste aux besoins. Difficile de multiplier par 2 ou par 3 les productions, pour répondre à l'augmentation de mobilité en 2050.

- Pour le reste, caoutchouc synthétique, noir de carbone et silice, câbles métalliques, produits chimiques sont des ressources d'origine fossile donc non renouvelables.

La mobilité doit donc être plus sûre, plus propre, plus efficace et plus agréable.

Dans un contexte d'augmentation considérable de la demande mondiale en mobilité, alors que les ressources se raréfient et se renchérissement (matières premières et énergie), et que la lutte contre le réchauffement climatique est un enjeu majeur, faire progresser rapidement la mobilité devient crucial.

C'est encore par l'innovation que Michelin répond à ces enjeux, pour contribuer à une mobilité durable, au service du progrès, de l'homme et de l'environnement.

2. ÉCONOMIE CIRCULAIRE : LA STRATÉGIE 4R DE MICHELIN

Dans un monde fini, le fondement même de l'économie circulaire est une meilleure utilisation des ressources : « produire plus et mieux avec moins ». Cela couvre l'ensemble des ressources utilisées : l'eau, les matières premières et l'énergie.

L'enjeu est multiple : sécuriser les approvisionnements bien entendu, mais c'est aussi réduire les impacts sur la santé humaine et la biodiversité et limiter les effets sur l'évolution du climat.

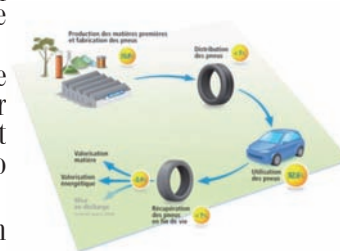
Les analyses du cycle de vie des pneus montrent que plus de 95% de l'impact environnemental du pneu est généré lors de la phase d'utilisation du pneu.

Ainsi pour une voiture 1 litre de carburant sur 5 est consommé pour vaincre la résistance au roulement des pneus. Pour un camion ce ratio passe à 1 sur 3.

Réduire la consommation d'énergie liée au pneu est donc un véritable challenge pour réduire la pression sur les ressources naturelles, réduire les émissions de CO₂ et la pollution liée au transport routier. C'est aussi, pour l'utilisateur, un enjeu économique.

Néanmoins, c'est bien tout au long du cycle de vie du pneu que l'impact sur l'ensemble des ressources naturelles, énergie, matière, eau, peut être amélioré.

Comment ? En mettant en place des méthodes de travail spécifiques dès la conception du pneu afin de préserver la ressource, de mieux capter le « juste nécessaire » à la performance recherchée, en développant de nouveaux matériaux, dans le respect de la santé et de l'environnement, et en créant de nouveaux services et de nouvelles approches.



La proposition de Michelin est de mobiliser simultanément 4 leviers d'action sur l'ensemble du cycle de vie du pneu et d'apporter une combinaison de solutions en faveur d'une meilleure utilisation des ressources.

C'est la stratégie 4R, réduire, réutiliser, recycler, renouveler.



2.1. Réduire

L'objectif est de réduire la quantité de ressources utilisées pour accomplir le même usage : faire le meilleur usage de chaque gramme de matière utilisée.

2.1.1. Des pneus plus légers

Les pneus Michelin sont en général plus légers que ceux de ses concurrents car Michelin a toujours veillé à faire le meilleur usage de la matière.

Un exemple : depuis 2000, dans les pays dont la réglementation le permet, le pneu Poids Lourd «MICHELIN X-One» remplace deux pneus jumelés permettant ainsi d'augmenter la charge et les volumes transportés tout en réduisant la masse de pneumatique utilisée et de réduire également la consommation de carburant des véhicules.

2.1.2. Des pneus qui durent plus longtemps : autant de matière, plus de km

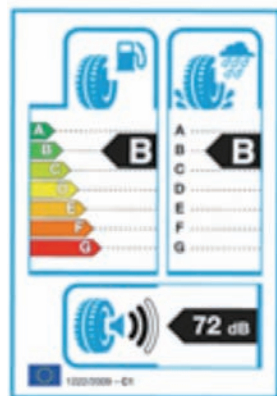
Dès 1910, l'ajout de noir de carbone renforce la résistance des gommages de caoutchouc et multiplie par cinq la longévité des pneus : avec autant de matière, on fait cinq fois plus de kilomètres.

Dans les années 50, le pneu à carcasse radiale multiplie la longévité des pneus par trois. Après les pneus pour véhicule Tourisme, cette technique est progressivement adaptée à l'ensemble des véhicules, Poids-Lourds, Génie Civil, Avions, Motos...

En 2001 Michelin met au point une nouvelle technologie pour pneu avion : la technologie radiale NZG («near zero growth»). Elle augmente fortement la longévité du pneu (plus grand nombre d'atterrissages) grâce à l'utilisation d'une fibre composite ultra résistante composé de nylon et d'aramide. Cette technologie qui a permis au Concorde de reprendre son vol est aujourd'hui utilisée pour les pneus de tous les avions modernes.

2.1.3. Des pneus qui permettent d'économiser du carburant

En 1992, Michelin invente les premiers pneus à faible résistance au roulement en remplaçant, dans la gomme, le noir de carbone par de la silice. Cette technologie permet d'améliorer l'efficacité énergétique des pneus tout en augmentant la sécurité et la longévité. En 2012, a été lancée la 5^{ème} génération de pneus de voitures à basse consommation de carburant, le pneu MICHELIN Energy Saver +.



Michelin s'est également beaucoup engagé pour la mise en place d'un étiquetage des performances des pneus donnant au consommateur la possibilité de choisir des pneus qui permettent d'économiser le carburant. Celui-ci a vu le jour en 2011 au Japon et en Corée, en 2012 en Europe, et il se déploie sur tous les continents.

Cette mesure réglementaire est en général couplée à une obligation, pour les fabricants, de respecter un niveau minimum de performance pour les pneumatiques mis sur le marché : un

pas de plus vers l'amélioration de la sécurité et la réduction de la consommation de ressources naturelles.

2.1.4. Des services : l'économie de fonctionnalité ou «Quand on fait mieux travailler les pneumatiques »

La mission fondamentale de Michelin est de contribuer à la mobilité durable. Michelin n'est pas seulement un pneumaticien, mais une entreprise qui apporte des solutions pour une meilleure mobilité, dans le respect des contraintes ou exigences économiques et environnementales. Il est donc tout à fait naturel qu'au-delà du produit, le pneumatique, Michelin innove aussi dans les services pour la mobilité et les business models.

Cette innovation dans les business models, qui ouvrent de nouveaux marchés, est aussi une source d'optimisation de la matière. Par exemple, MICHELIN Solution apporte un service sur les flottes de véhicules Poids Lourds pour extraire beaucoup plus de valeur de chaque gramme du pneu. Ainsi les pneumatiques utilisés et la façon dont on les entretient réduit de manière significative la consommation du nombre de pneus et la consommation de carburant des camions.

MICHELIN Solution – Gestion des flottes Poids Lourds Qu'est-ce que c'est ?

Depuis 1920 le service Entretien de Michelin est une référence en matière d'exploitation des potentialités du pneumatique. Il répond au souhait des clients de ne plus avoir à gérer le poste «pneu». Il est déployé en Europe depuis 2002.

Sur ce service Michelin est responsable de la gestion du parc de pneumatiques de grosses flottes poids lourds pour optimiser leur performance (moindre consommation de carburant et de pneumatiques, donc de matières) dans le cadre d'une facturation des kilomètres parcourus.

Michelin est le leader européen de l'approche intégrée pneu et services avec environ 50% de parts de marché. Cela représente plus de 250 Millions d'Euros de CA, plus de 500 contrats signés, et plus de 270 000 véhicules sous contrats en Europe.

L'entretien des pneumatiques des flottes : les 4 vies du pneumatique



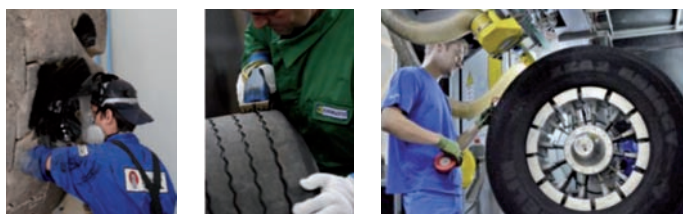
Quels sont les gains environnementaux ?

- 1) Une réduction de la consommation de carburant des camions et une réduction de leurs émissions de CO₂ par
 - a. L'utilisation de pneus basse résistance au roulement,
 - b. La surveillance de la pression qui permet au pneu d'être toujours à la bonne pression,
 - c. L'utilisation du recrusage, qui permet d'utiliser le pneu dans une phase où il a besoin de moins d'énergie car l'épaisseur de la bande de roulement est plus faible
- 2) Un allongement de la durée de vie du pneumatique (et donc une économie de matière) par :
 - a. Le recrusage,
 - b. Le rechapage,
 - c. Une maintenance adaptée.

2.2. RÉUTILISER

La réutilisation des pneumatiques passe par 3 solutions :

- La réparation permet de ne pas envoyer au recyclage des pneumatiques qui ont été endommagés et qui après réparation peuvent encore servir jusqu'à usure complète de la bande de roulement. Les techniques de réparation, bien que différentes, sont mises en œuvre tant sur des gros pneumatiques, comme par exemple dans le Génie Civil, que sur des pneus plus petits de véhicules de tourisme.
- Le recreusage (en particulier pour les pneus Poids Lourds) permet de régénérer des sillons sur la bande de roulement des pneus améliorant ainsi la sécurité et la durée de vie des pneumatiques.
- Le rechapage permet de remplacer uniquement la bande de roulement et donner une nouvelle vie au pneu, allongeant encore sa durée de vie.



2.3. RECYCLER

La majorité des pneus sont valorisés en fin de vie, dans beaucoup de Pays du Monde, l'équilibre entre valorisation matière et valorisation énergétique variant.

En France la filière mise en place par les manufacturiers pour la collecte et le recyclage des pneumatiques fonctionne bien puisque 100% des gisements sont collectés et le financement est assuré à 100% par les manufacturiers.

Les voies de valorisation des pneumatiques ainsi collectés sont :

- le réemploi et le rechapage pour 18%, la valorisation matière pour 34%, pour fabriquer par exemple des terrains de sport ou des roues de caddies mais aussi en utilisant les pneus entiers par exemple pour réaliser des murs de soutènement.
- et la valorisation énergétique 48% : 1 t de pneu valorisé énergétiquement fait économiser 1 t de charbon environ.

Michelin ne s'arrête pas là et développe encore de nouveaux projets très innovants : utiliser les pneus en fin de vie pour faire de l'alcool (projet TREC Alcool) et pour faire des mélanges de gomme régénérés d'excellente qualité qui seront réincorporés dans les pneus neufs (projet TREC régénéré). Ce projet est à nouveau l'illustration de la stratégie d'innovation du groupe Michelin de toujours faire le meilleur usage possible de chaque gramme de matière première.

Projet TREC : pour des valorisations innovantes des pneus usagés

Lancé en janvier 2014 et piloté par Michelin, en partenariat avec le CEA, Protéus et SDTech, le projet TREC sera développé sur 8 ans.

Il couvre 2 voies de valorisation des pneus usagés :

- TREC Régénération : utiliser et régénérer des mélanges de gomme pour fabriquer des pneumatiques neufs.

Des technologies en matière de micronisation et de dévulcanisation sélective seront développées afin de créer une « micro-poudrette » qui pourra être utilisée comme matière première dans la fabrication de pneus neufs performants.

- TREC Alcool : produire un intermédiaire chimique nécessaire à la synthèse de matières premières utilisées dans la fabrication de pneumatiques.

Une chaîne de technologies sera mise au point, allant de la gazéification des pneumatiques usagés à la production d'alcool par fermentation du gaz de synthèse ainsi obtenu (syngaz). L'alcool ainsi produit interviendra notamment dans la filière française de production de butadiène BioButterfly, en complément des alcools issus de biomasses telles que sucres, bois, résidus agricoles.

2.4. RENOUVELER

25% de la matière première des pneus est renouvelable : essentiellement le caoutchouc naturel et quelques produits comme des résines ou de l'huile de tournesol utilisée dans certains pneumatiques.

Michelin a lancé tout récemment 2 projets visant à accroître la part des matériaux renouvelables dans les pneumatiques :

- le projet Amyris qui a pour objectif de fabriquer de l'isoprène à base d'autres sources renouvelables que l'hévéa et ayant les mêmes caractéristiques techniques que celles du caoutchouc naturel,

- le projet Biobutterfly qui permettra de fabriquer du butadiène, base du caoutchouc synthétique, à partir d'alcool, l'alcool pouvant provenir de biomasse ou du recyclage de pneus usagés (projet TREC Alcool).

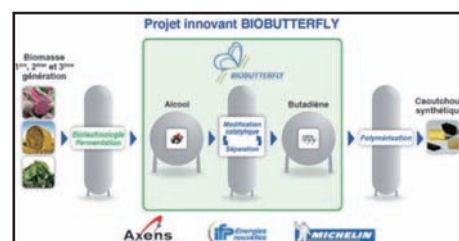
Projet BIOBUTTERFLY : création d'une filière de production de caoutchoucs synthétiques à partir de biomasse

Ce projet de recherche dans le domaine de la chimie du végétal a été lancé en novembre 2013, en partenariat avec Axens et IFP énergies nouvelles. Il vise à développer un procédé innovant de production de butadiène à base de biomasse (biobutadiène). Le butadiène, usuellement d'origine fossile, peut ensuite être utilisé dans la fabrication de caoutchoucs synthétiques.

D'une durée de 8 ans, BioButterfly dispose d'un budget de 52 M€. Le projet a été sélectionné par l'ADEME pour un financement à hauteur de 14.7 M€ dans le cadre du programme Investissements d'Avenir.

Les recherches s'articuleront autour de cinq enjeux prioritaires :

- la production d'un biobutadiène économiquement compétitif,
- la réduction des impacts environnementaux, et notamment des émissions de CO₂, sur l'ensemble de la chaîne de production par rapport à la voie fossile équivalente,
- la fabrication de caoutchoucs de synthèse très performants et l'applicabilité du procédé à toutes les utilisations du biobutadiène,
- la réduction des coûts d'investissement,
- la préparation de la future filière industrielle française de production de caoutchoucs bio-sourcés.



Avec sa stratégie 4R en faveur de l'économie circulaire, Michelin déploie sa stratégie de développement durable Performance et Responsabilité Michelin pour répondre aux besoins croissants de mobilité.

Michelin aborde l'économie circulaire non pas comme une contrainte mais s'inscrit dans les solutions et les business models du futur.

LA CHRONIQUE DE FRANCIS

Tous ceux qui ont assisté à ses conférences ont remarqué que Francis Aspard était un passionné de sciences et qu'il faisait preuve d'un enthousiasme très communicatif. Il abordait des problèmes complexes de la physique et des mathématiques avec la ferveur du militant quitte, pour mieux se faire comprendre, à prendre quelques libertés avec la rigueur de la science académique ce qui ne manquait pas de faire sur-sauter silencieusement les scientifiques présents.

Lorsqu'il luttait contre la maladie qui a fini par l'emporter, au cours de ses nombreux séjours à l'hôpital, pour échapper un peu à ses misères, il cherchait refuge dans la science en écrivant des chroniques qui auraient dû être le sujet de futures conférences certainement passionnantes. Nous publions ici l'une de ces chroniques qu'il venait de terminer sans que le destin ne lui laisse l'occasion de se relire. En hommage à Francis elle est publiée ici en l'état.

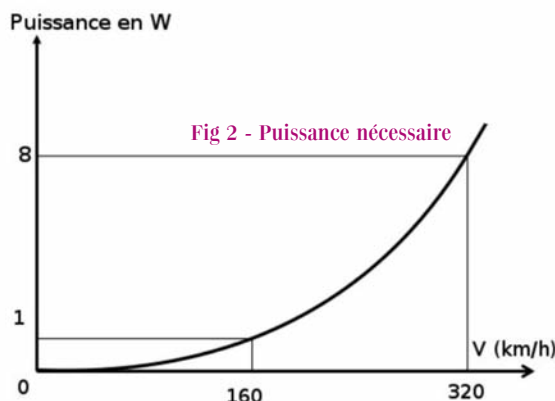
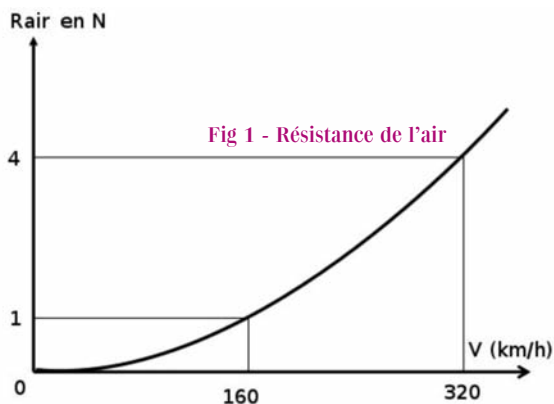


FRANCIS ASPORD

Ancien élève
de l'Ecole Centrale de Paris,
Membre de l'ADASTA,
Retraité SNCF,
Ingénieur Conseil

INTRODUCTION

Contrairement au transport routier où le gasoil coûte cher et le personnel peu, jusqu'à l'arrivée des TGV la SNCF se préoccupait surtout d'utiliser au mieux le personnel de conduite, le poste énergie étant considéré comme mineur, d'autant plus qu'elle était propriétaire de certaines centrales électriques du Massif Central. Avec la mise en marche des TGV, la SNCF a dû faire face à une augmentation importante de ses dépenses électriques. En effet passer de 160 à 320 km/h multiplie la résistance de l'air par 4, la consommation électrique par 4 et la puissance nécessaire par 8. Un TGV est donc l'équivalent de 8 locomotives à la queue leu leu, ce qui explique que tous les bogies soient moteurs, mais il ne consomme que comme 4 (consommation = force x distance).



Le problème s'est alors posé de la façon suivante :

Sachant que je veux relier 2 villes distantes de «1 unité de longueur» en un temps imposé de «1 unité de temps», quelle est le profil de vitesse le plus économique ? L'écart est-il important par rapport à la solution classique ?

La réponse est assez surprenante et c'est donc l'objet de cet article de vous la faire découvrir.

La solution classique :

Accélérer fort pour atteindre la vitesse de «1». Rouler à vitesse constante. Freiner fort à l'arrivée. Mettre une marge de régularité de 5 mn/heure pour pallier les aléas du trafic. Quelle est la consommation correspondante ? :

Energie cinétique au démarrage $1/2Mv^2$ soit ici (M unité de masse) $1^2/2 = 0.5$

Energie en ligne : résistance de l'air x distance = $1^2 \times 1 = 1$

Energie cinétique au freinage $1/2Mv^2 = 1^2/2 = 0.5$ dans le cas où cette énergie n'est pas récupérable, ce qui était le cas à l'époque (on considère dans ce cas que le coût de freinage équivaut au coût de l'énergie correspondante).

Total de la solution de référence = 2

Peut-on faire mieux ?

L'équation de Newton nous dit que l'accélération (A) est due aux forces en présence, soit la force de traction des moteurs (F) et la résistance de l'air

$M.A = F - K.V^2$ ce qui en prenant des coefficients simples donne $F = A + V^2$

Si F est positive les moteurs tirent, si F est négative les moteurs freinent. Si F = 0 les moteurs sont coupés, on dit que le train est en marche sur l'erre. Il n'y a alors aucune consommation électrique !

La puissance est le produit F.V mesuré en watts. Le freinage ne pouvant pas être récupéré dans notre cas, il ne faut pas garder le signe négatif éventuel ce qui se fait en utilisant la valeur absolue : $P = |A+V^2|.V$

La consommation est le produit de la puissance en watts par le temps en secondes et se mesure officiellement en joules, mais en fait en kWh : $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MEGA joules}$.

On va donc diviser le temps en «n» petits «pas de temps» notés traditionnellement «h». «n» vaut 2, 4, 8, 16, 32, 64... jusqu'à stabilisation des résultats ou dépassement de capacité de la calculette !

On se donne un profil de vitesse $V(t)$ à l'aide des «n» points intermédiaires, d'où une accélération $A(t)$ et une distance parcourue $D(t)$. Bien sûr $D(0) = 0$ et $D(1) = 1$

Quant à la vitesse on s'autorise une discontinuité $V(0-) = 0$, le train est à l'arrêt mais $V(0+)$ est positive, le train est censé démarrer instantanément. Idem à l'arrivée : $V(1-)$ positive, mais $V(1+) = 0$ le train est à l'arrêt. Ce faisant on s'autorise donc une accélération infinie, seule susceptible de faire changer instantanément une vitesse !

Ce point est délicat à étudier et donc intéressant. Pourquoi diable se lancer dans une telle hypothèse qui est à l'origine de la «fonction de Dirac», dite fonction «percutielle», une grande avancée en physique et en math. Tout simplement parce que notre problème en a besoin ! Plus vous autorisez une accélération forte moins vous consommez car vous atteignez votre vitesse de croisière sans retard et cela vous évite de devoir rouler plus vite en moyenne. Ne pas oublier que le temps de parcours est imposé.

Deux aspects du problème semblent alors s'opposer : l'aspect physique qui dit qu'une accélération infinie est insupportable et l'aspect mathématique qui dit que votre question étant de consommer le moins possible il n'y a pas d'alternative : si vous refusez une accélération infinie alors vous consommerez plus et ne serez plus à l'optimum. Heureusement on va trouver un compromis. Accélérer le plus possible et tolérer une petite surconsommation.

La simulation numérique nous fait alors découvrir la bonne solution, ce que des considérations théoriques dues à l'équation d'Euler-Lagrange (cf. web «calcul des variations») nous enseignent aussi :

- accélération infinie pour prendre la vitesse $V_1 = 1,1603$, donc 16% au-dessus de la vitesse moyenne, ce qui est peu.

$$W_1 = 1,1603^2/2 = 0,6731$$

- garder cette vitesse constante pendant le temps $t_1 = 0,4160$, soit sur une distance $D_1 = V_1 \cdot t_1 = 0,4826$, soit à peu près la moitié du parcours. $W_2 = V_1^2 \cdot D_1 = 0,6497$

- marche sur l'erre pendant un temps $t_2 = 0,5840$, soit sur une distance de $D_2 = 0,5174$. $W_3 = 0$, strictement nulle !

- en fin de marche sur l'erre, la vitesse est tombée à $V_2 = 0,6916$, du fait de la résistance de l'air. Un train peut parcourir ainsi des dizaines de km, de même qu'un pétrolier. C'est dû au fait que les résistances sont très faibles vis-à-vis de son inertie. Pour une voiture, sur autoroute, ça ne dure que 1500 m, la distance d'annonce d'un péage.

- freinage infini. $W_4 = 0,6916^2/2 = 0,2392$. Seule cette énergie pourrait être récupérée avec un système de renvoi électrique dans la caténaire, aidant ainsi les autres trains à rouler.

Total = 1,5619 contre 2 en solution de référence soit un gain de ...28%. Pas mal ! Pour le problème de Lindberg [New-York Paris au plus court (orthodromie)] le gain n'est que de 6%.

C'est ça la marche «éco» des TGV.

CONCLUSION :

Outre le fait de faire des économies d'énergie substantielles, cette question nous a fait découvrir qu'une solution mathématique optimale peut comporter des discontinuités de vitesse, ce qui est physiquement impossible. Cela signifie que nous n'atteindrons donc jamais le minimum mathématique annoncé, il faudra toujours laisser une «part du feu» si on ne veut pas tuer les passagers ! La même situation se présente en astronautique dans la trajectoire des fusées. Mais là on est moins regardant en accélération avec des astronautes entraînés ! Par contre je n'ai pas eu à en parler pour le problème de Lindberg. Partir de New-York plein Nord pour ensuite tourner à l'Est n'a aucun intérêt pour réduire la distance totale. Ce problème ne nécessite pas de discontinuité. Il suffit de partir en biais Nord-Est pour être sur la bonne trajectoire.

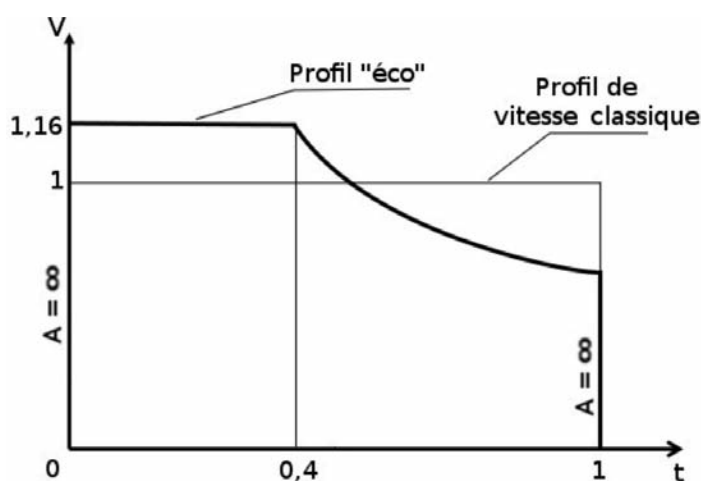


Fig 3 - Discontinuités «théoriques» de la vitesse.
Optimum mathématique mortel

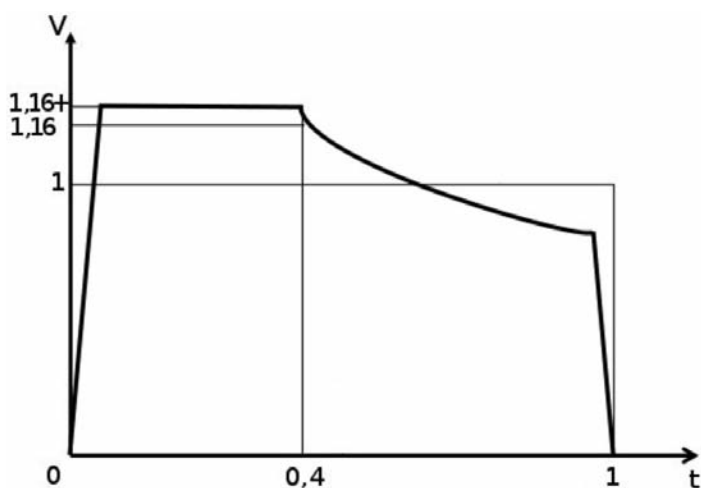


Fig 4 - Profil optimum physique.
Les accélérations sont au maximum tolérable pour le matériel et les passagers.
Il y a donc une légère surconsommation.

Ce type de problèmes, où il faut gérer des discontinuités abruptes, a donné des «cheveux blancs» aux mathématiciens théoriques, jusqu'à ce que Laurent Schwarz mette au point, en 1945, la théorie des «distributions» ce qui a constitué une grande avancée en physique.

COMPTE-RENDU DE LA VISITE DU PÔLE VERNEA "INCINERATEUR" DE CLERMONT-FERRAND LE 26 FÉVRIER 2015

PAR PIERRE ROULLEAU ET ANDRÉ SCHNEIDER, ADHÉRENTS DE L' ADASTA

1 - INTRODUCTION

En janvier 2013, l'ADASTA avait organisé une visite du chantier VERNEA. Cette fois-ci nous avons pu voir l'installation en fonctionnement, dans la limite des règles de sécurité très strictes.

La collecte, le transport et le devenir des déchets ménagers est historiquement de la responsabilité des communes. L'évolution de la législation, la technicité croissante des procédés et l'importance du facteur d'échelle ont incité ces dernières à se regrouper en collectivités souvent appelés "Syndicats ... des Ordures Ménagères" qui à leur tour se sont regroupés en 1997 dans le VALTOM (Syndicat pour la Valorisation des déchets Ménagers et assimilés). Ce dernier réunit aujourd'hui 11 collectivités du PDD et du nord de la Haute Loire, 544 communes et plus de 656 000 habitants.

Le pôle multifilières de traitement et de valorisation des déchets VERNEA est plus qu'un incinérateur. C'est l'outil essentiel qui manquait au VALTOM pour assurer une gestion responsable des déchets ménagers. Il permet en effet de réduire l'enfouissement final tant critiqué dans le passé de 63% à moins de 30% des déchets ménagers collectés. La construction et la mise en service de l'incinérateur a éveillé l'inquiétude et la méfiance de la population :

- largement influencée par des polémiques de nature écologique, politique, financière ou autre,
- insuffisamment informée sur les techniques maîtrisées depuis des décennies par nos voisins européens et qui se perfectionnent continuellement.

Cette visite et ce compte rendu devraient permettre de mieux comprendre la situation actuelle et les progrès réalisés.



2 - RAPPELONS-NOUS



Eugène Poubelle

Monsieur POUBELLE, Eugène de son prénom et préfet de son état, qui n'avait évidemment jamais rencontré Saint Exupéry, agacé qu'il était de voir les rues de Paris encombrées d'immondices, signa en 1884, un arrêté préfectoral obligeant les propriétaires à fournir à leur locataire, un récipient fait de bois et de tôle destiné à collecter les ordures ménagères. Comme quoi la gloire d'un homme peut avoir, comme auraient aussi pu le dire MM. Rossini, Pascal notre auvergnat éclectique, Godillot, Kir, Macadam, sans oublier : Alzheimer...et un petit dernier pour couper court à ces élucubrations : Guillotin etc., cette gloire donc peut avoir des origines...originales.

A cette époque tout commence par un simple ramassage de déchets qu'il faudra bien "mettre" quelque part. Pendant de longues décennies, ces ordures seront stockées dans des décharges à ciel ouvert, libres d'accès, même le dimanche. C'était bien pratique, peu hygiénique et pas respectueux du tout de l'environnement immédiat du lieu de vie.

Il était commode d'ignorer les produits toxiques de l'époque, mais les infiltrations appelées aujourd'hui lixiviats, polluaient déjà la nappe phréatique, le vent dispersait les papiers, plus tard les films plastiques sans parler des odeurs et de la prolifération de certains rongeurs ou oiseaux. On a fini par rendre les décharges étanches, on a enterré les ordures, mais on ne traitait toujours pas. A quoi bon puisqu'on croyait les ressources inépuisables, les

campagnes suffisamment vastes pour faire de l'enfouissement. Les écologistes de l'époque peu nombreux étaient des respectueux de la nature, non encore politisés.

Les limites du tolérable ont cependant été rapidement atteintes et une prise de conscience collective s'est opérée, avec un brin de pression, car le retard sur nos voisins était déjà considérable.

Aujourd'hui tout un chacun est fortement incité (et aidé) à trier ses déchets : poubelle verte, jaune, bleue, conteneur pour les piles, ou pour le verre et grand bacs à la déchèterie où la surveillance est parfois draconienne pour éviter de tout mélanger (le bois, les gravats, les déchets verts, les cartons, le plastique dur, les pneus et ...le NON RECYCLABLE)

Le mot est donc lâché : RECYCLABLE, RECYCLAGE et pourquoi pas VALORISATION. Nos déchets ne sont plus un souci, ils ont de la valeur : PO-SI-TI-VONS !

3 - LA VISITE DU CENTRE DE VALORISATION VERNÉA

Nous voilà dans le hall d'accueil de VERNEA après un contrôle des participants inscrits et la remise des badges.

Nous apprenons que pour des raisons de sécurité, la visite se fera en bus car la circulation des engins et des bennes à ordures ménagères est dense et le déplacement des matériaux ne serait pas sans risque pour un groupe de visiteurs.

Nous avons donc vite compris que nous ne verrons rien du cœur de l'installation: le foyer de l'incinérateur et sa chaudière à vapeur, la turbine et son alternateur.



Nous sommes d'abord reçus dans la salle de réunion où le Directeur du site et un adjoint nous présentent VERNEA par un exposé bien illustré: photos, schémas et tableaux chargés de chiffres.

«Vernéa», un pôle multifilières de valorisation de déchets, mis en service industriel en novembre 2013 et inauguré le 13 décembre, peut traiter 230 000 tonnes de déchets par an.

«Vernéa est l'aboutissement de quinze années de travail pour offrir aux usagers une solution responsable, durable et sécurisée pour leurs déchets. Il nous permettra d'aller au-delà des objectifs de valorisation fixés par le Grenelle de l'environnement, puisque celui-ci préconise un taux de valorisation des déchets de 45 % et le nôtre est de 70 %», selon le président du Valtom, Laurent Battut.

La mise en service de cet incinérateur est le résultat d'un long parcours du combattant. Annoncé en 2003, il a affronté dix ans de procédures et 70 procès qui ont coûté 80M€, selon ses promoteurs.

Mais avant de rentrer dans le vif du sujet: la valorisation biologique et énergétique des déchets par VERNEA, il était nécessaire de décrire le contexte régional, ses différents sites et acteurs extérieurs.

4 - LES ORDURES MENAGÈRES

4.1 - Nature - Quantités

Chaque habitant produit 570 kg de déchets par an entre ce qui est collecté et ce qui est apporté en déchèteries.

Notre poubelle contient approximativement:

- 32 % de putrescible
- 22 % de papiers et cartons
- 12,5 % de verre
- 12 % de métaux divers
- 11 % de plastique
- 10 % de tissus y compris sanitaires

4.2 - Collecte - Tri - Transfert

Les 11 collectivités adhérentes "Syndicats ... OM" font la collecte et le tri au plus près de l'habitant et le VALTOM avec VERNEA et les partenaires extérieurs finalisent la valorisation et gèrent les déchets ultimes.

Ainsi le territoire dispose d'une cinquantaine de déchèteries, de 4 plateformes de compostage, de 5 plateformes de broyage, de 5 installations de stockage des déchets non dangereux, de 10 centres de transfert (opérationnels ou en construction) et du Centre de valorisation des déchets VERNEA.

Le premier tri est effectué par l'habitant à domicile sur la base de recommandations fortes des "Syndicats":

- la poubelle jaune (papier, bouteilles PET, emballage métallique, voire plastique à présent)
- la poubelle noire... parfois de couleur verte dans certains syndicats! (non recyclable ménager)
- le compostage chez soi
- le verre apporté aux points de collecte
- les piles et tubes néon ramenés aux points de vente
- les déchets verts, la ferraille, le bois, le carton, les gravats, les pneus, l'électroménager, les encombrants, le non recyclable, les huiles, les peintures, le placo-plâtre, les batteries au plomb, etc... en déchèterie.

- Sont exclus tous les déchets interdits en déchèterie et faisant l'objet d'une réglementation spécifique : amiante, pesticides, cadavres d'animaux, produits contaminants, déchets chimiques, médicaux ou radioactifs, bouteilles de gaz, munitions, etc. Des structures très spécialisées acceptent ces produits à titre onéreux.

Les poubelles noires et les poubelles jaunes sont ramassées en porte-à-porte, par des camions bennes à ordures ménagères (BOM) de taille adaptée aux localités. Les BOM vident leur contenu dans des caissons adossés à des quais dans l'un des centres de transfert (parfois contigus aux déchèteries) afin de limiter les trajets et améliorer le ratio temps de collecte/ temps de transfert des BOM.

Ces caissons après compactage et pesée sont ensuite acheminés vers les différents centres de traitement selon la nature du contenu par des camions et leurs remorques, parfois sur des distances plus importantes. Ainsi le papier, le plastique et les métaux sont traités par des entreprises spécialisées dans le recyclage et les déchets verts sont broyés et compostés majoritairement sur des plateformes dédiées, VERNEA n'en réceptionnant qu'une partie.

Notons que la complexité des circuits entre centres de transfert et centres de traitement est telle que nous ne pouvons pas les présenter ici. Le lecteur trouvera ces informations dans les magazines VALMAG téléchargeables sur internet.

5 - LES INSTALLATIONS DE VERNEA

5.1 - Les déchets entrants

En 2014, le flux entrant à VERNEA se composait ainsi:

- Ordures ménagères résiduelles 147 437 tonnes: poubelle noire après tri
- Déchets encombrants 22 796 tonnes: le non recyclable des déchèteries (matelas, meubles, objets indémontables, de nature

composite, etc)

- Déchets d'activité économique 23 347 tonnes: déchets des artisans par ex
- Refus de tri de la collecte sélective 7069 tonnes: emballages plastique non recyclable, verre, métal etc
- Biodéchets 11 501 tonnes: fraction fermentescible des déchets ménagers (restes de repas, épluchures ...)
- Déchets verts 8734 tonnes: réceptionnés directement par VERNEA

5.2 - LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS EXPLOITÉS

Pour la valorisation biologique et énergétique des déchets, l'usine dispose des unités suivantes:

- le **tri mécanique** des déchets ménagers qui conduit à deux fractions: les déchets humides et les déchets secs
- le **broyage des déchets secs**, des encombrants et déchets artisanaux
- le **compostage** des déchets verts (6500 tonnes par an) broyés préalablement, soumis à une dégradation naturelle à l'air ambiant. Le compost est vendu pour les besoins de l'agriculture ou des loisirs du jardinier.
- la méthanisation des bio déchets, transformés par fermentation anaérobie dans des enceintes étanches. Le biogaz ainsi produit est utilisé comme combustible complémentaire dans l'unité de valorisation énergétique
- la stabilisation biologique des déchets humides. Peu énergétiques, ils ne sont pas aptes à passer en incinération. La stabilisation leur fait perdre 35% de leur volume par fermentation et déshydratation afin de permettre l'enfouissement de ces déchets non dangereux, mais non valorisables.

Les gaz odorants provenant de la stabilisation biologique subissent un traitement chimique pour neutraliser les odeurs, puis passent à travers un biofiltre composé de fibres végétales pour en extraire toutes les particules volantes avant d'être rejetés dans l'atmosphère.

- l'**incinération** des déchets énergétiques secs broyés
- le **tri des métaux**
- la **valorisation des mâchefers**
- l'**enfouissement de déchets non dangereux** en extension du site du Puy Long. Il s'agit de certains encombrants, de gravats ainsi que d'une partie des déchets d'activités économiques et des déchets ménagers fins stabilisés. Comme indiqué dans l'introduction, leur proportion a fortement diminué avec la stabilisation et l'incinération.



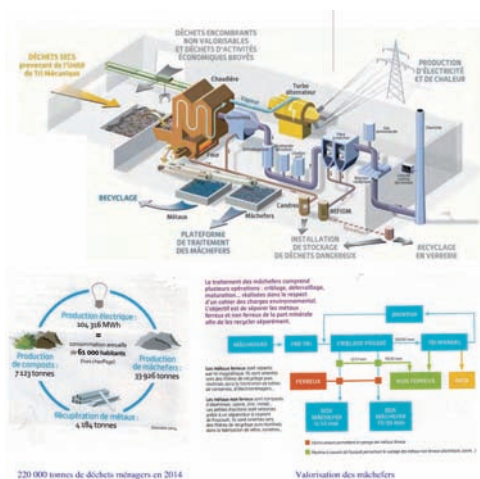
5.3 - L'INCINÉRATEUR ET LES PRODUITS SORTANTS

Nous avons vu ce qui entre dans l'incinérateur. Voyons ce qui en sort.

5.3.1 - L'ÉNERGIE

La chaleur de combustion produit de la vapeur sous haute pression. Envoyée sur les turbines couplées aux alternateurs, elle produit de l'électricité qui répond aux besoins (hors chauffage) de 61.000 habitants. Une partie est utilisée pour alimenter l'usine.

D'imposants condenseurs à air permettent de recycler l'eau et limitent les pertes.



Domage que l'infrastructure de l'agglomération ne permette pas de récupérer la chaleur basse température résiduelle pour assurer le chauffage urbain et l'eau chaude sanitaire comme dans d'autres grandes villes.



Utilisation du mâchefer pour les routes

5.3.2 - Le cendrier

En sortie basse, nous trouvons l'essentiel des résidus de combustion solides: des métaux et des cendres minérales appelées mâchefer. Ces résidus sont d'abord criblés.

- Les métaux sont triés selon leur nature: électro magnétiquement pour les ferreux (300t/mois), par courant de Foucault pour les non ferreux (60t/mois .. Al, Cu, Zn, Ni, etc) et manuellement pour l'inox. Ces métaux sont recyclés dans leurs filières métallurgiques propres.
- Les mâchefer exempts de métaux sont utilisés principalement pour les remblais routiers, remplaçant ainsi les matériaux de carrière devenus rares et coûteux.

5.3.3 - La cheminée

Qu'est ce qui sort de la chaudière? A peu de choses près ce qui sort de votre cheminée à feu de bois: de la fumée, des poussières, des gaz toxiques dont la dioxine, des métaux lourds et des odeurs âcres et irritantes. Il est donc indispensable de traiter ces effluents gazeux.

L'évolution continue et parallèle des techniques et des contraintes réglementaires environnementales impose et permet de résoudre ce problème de façon satisfaisante, mais obligera également à l'avenir l'exploitant à remettre à niveau son installation. C'est ce qui s'est passé avec les incinérateurs anciens lors des rénovations.

Le traitement est à la fois physique et chimique.

Les fumées issues de la combustion passent d'abord à travers un électrofiltre qui retient les particules solides en suspension (poussières, cendres). Elles sont ensuite dirigées dans un filtre à manche où l'on injecte des réactifs (charbon actif et bicarbonate de sodium) pour retenir les métaux lourds, les dioxines et autres polluants organiques. Enfin, un catalyseur traite les oxydes d'azote par injection d'eau ammoniacale qui les réduit en eau et en azote. La cheminée rejette donc de l'azote, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique et de l'oxyde de carbone comme dans toute combustion bien maîtrisée.

Nous n'avons pas eu l'occasion de rentrer davantage dans les détails, mais il est clair que l'élimination des poussières récupérées, du charbon actif et des liqueurs résiduelles est un problème en soi, traité en dehors du site. Cette question pourrait être traitée dans un article spécifique dans une prochaine revue.

5.4 - LE CONTRÔLE DES REJETS

VERNEA PREND DES ENGAGEMENTS DURABLES POUR L'ENVIRONNEMENT

Des appareils mesurent en permanence la composition des émanations du processus de combustion. Les résultats de ces mesures sont consultables en ligne et en temps réel sur le site www.vernea.fr.

Les dioxines sont prélevées en continu sur des périodes de 4 semaines à travers des cartouches qui sont analysées ensuite par un laboratoire indépendant. De plus, des contrôles inopinés sont opérés régulièrement par les services de l'Etat et le VALTOM. Chaque année une campagne de surveillance de l'atmosphère est réalisée dans un rayon de 4 km autour du site.

6 - VERNEA - EMPLOI ET COMMUNICATION

Pour assurer son exploitation, le pôle emploie une cinquantaine de personnes et génère de nombreux emplois indirects.

La communication de VERNEA est à plusieurs vecteurs : un site internet, des outils d'information pour le grand public et les scolaires, sans oublier les visites du site. Par ailleurs, VERNEA rend compte de ses activités aux élus, associations, riverains et salariés de l'entreprise via une commission de suivi initiée par la Préfecture.

7 - CONCLUSION - QUE PUIS-JE FAIRE CHEZ MOI?

Cette visite nous a montré que malgré les progrès liés au tri, au recyclage et à l'incinération chacun de nous devra continuer à faire des efforts pour faire régresser la montagne de déchets.

Le traitement des déchets coûte cher: environ 130 euros par personne et par an au frais des collectivités, donc des contribuables.

La redevance fixe est en train d'évoluer vers une redevance incitative que certains lecteurs ont déjà découverte dans ses grandes lignes. Il y aura des gagnants et des perdants, mais ne rêvons pas trop ... nous ferons de plus en plus d'efforts et paierons certainement le service de plus en plus cher, car si les quantités de déchets devaient vraiment diminuer, la filière de traitement dans sa globalité ne pourra pas travailler avec un budget moindre.

Tout un chacun a donc intérêt à modifier ses habitudes pour limiter les quantités (poids et volume) de déchets et en privilégiant à l'achat les matériaux recyclables.

Pour cela quelques solutions simples existent:

- refuser les quantités déraisonnables de publicité papier, en affichant "Pas de Pub SVP" sur la boîte aux lettres
 - choisir de faire ses courses avec des paniers ou des sacs réutilisables comme autrefois.
 - gaspiller moins à tout niveau : 23 kg de nourriture par an finissent dans notre poubelle, sans compter les invendus et périmés des circuits de distribution
 - privilégier les produits sans "suremballage"
 - privilégier les produits à emballage recyclable.... malgré son vaste problème d'identification
 - en compostant chez soi ou dans un composteur collectif en ville
- ALORS, n'oublions pas : les déchets les plus faciles à éliminer, sont ceux qu'on n'a pas produits.**

Certains regretteront que le recyclage direct (la récupération) ne soit plus possible, sauf à l'organiser, p.ex. la veille du ramassage des encombrants comme cela se fait chez certains de nos voisins. Par ailleurs la société devra lutter contre les incivilités et les dégradations volontaires des équipements collectifs qui finissent par augmenter la note.

Pour finir, voici une PETITE HISTOIRE DE POUBELLE ! pour rire un peu.

J'ai connu, dans le nord de la France, un village où le ramassage des ordures se faisait avec un tombereau tiré par un cheval. Devant chaque poubelle, qui était à l'époque en tôle, donc bruyante, l'attelage avait pris l'habitude de s'arrêter le temps que le préposé au ramassage la déverse dans le tombereau puis la repose sur le sol un peu bruyamment notamment en la recoiffant de son couvercle. Le problème, c'est que ce cheval communal (statut de fonctionnaire) avait un autre emploi. Il tractait de temps en temps : le corbillard ! Et gardant ses habitudes -ou par réflexe, voire conscience professionnelle-, il s'arrêtait aussi ce jour là devant chaque maison, attendant pour redémarrer ... le bruit de la poubelle. Je ne sais pas comment s'est terminée cette histoire, mais ne soyez pas surpris si en passant par là bas, vous croisez un jour un conducteur de corbillard avec un couvercle en tôle à la main, qu'il frappe sur le sol à chaque instant. **Fort heureusement, le "client" n'était jamais pressé d'arriver à destination.**

CONFÉRENCES À VENIR

24 juin - 17h30

Les métamatériaux - Emmanuel CENTENO
Professeur de l'Université Blaise Pascal
Chercheur à l'Institut Pascal
Spécialisé en modélisation électromagnétique de systèmes nanophotoniques

23 septembre - 17h30

Renversement du temps - Ziad AJALTOUNI
Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand

21 octobre - 17h30

Captage et séquestration du CO₂ - Mickaël SIMOND
Docteur en Chimie Physique

25 novembre - 17h30

Nanotubes de carbone - Frédéric TARAN
Service Chimie Bioorganique et Marquage
CEA Saclay

16 décembre - 17h30

La conquête de l'infini - Jean CHANDEZON
Docteur ès Sciences,
Professeur émérite Université Blaise Pascal
Vice-Président de l'ADASTA

SORTIES - VISITES

2 et 16 juin: les véhicules Ligier à Abrest (*Allier*)

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 invitations aux conférences et aux visites d'entreprises
(une participation aux frais peut être demandée lors de certaines visites).

Permanences - elles sont assurées par les bénévoles:

lundi de 14h à 17h, mercredi de 9h à 12h

En cas d'absence laisser un message sur répondeur ou E-mail.

adresser le courrier à **ADASTA**

POLYTECH Clermont Ferrand

Campus Universitaire des Cézeaux

2 avenue Blaise Pascal - TSA 60206 - CS 60026 - 63178 AUBIERE CEDEX

Siège social : 10 rue de Bien-Assis - 63000 Clermont-Ferrand

Tél. 04 73 92 12 24

E-mail : adasta@gmail.com - Site internet : www.adasta.net

Dépôt légal Juin 2015 - N° ISSN - 1166-5904