LE GRAND LIVRE DE LA VIE

## DU BIG BANG A L’ORDINATEUR QUANTIQUE

**LE GRAND LIVRE DE LA VIE**

 **Fresque cosmique** : **DU BIG BANG A L’ORDINATEUR QUANTIQUE**

**Introduction : Apres le BIG : le BANG**

**Chapitre I : Les débuts de l’univers**

Big Bang

Inflation

L’anti-matière primordiale

Equation de Dirac

Evolution

**Chapitre II : Etoiles et galaxies**

Création des étoiles et des galaxies

Vie et mort des étoiles

Résidus d’étoiles

 Etoiles à Neutrons

Trous noirs

Rayon de Schwartzchild

Vitesse de libération

Trou noir de Kerr

**Chapitre III : La Terre**

De la Terre a la Vie

Apparition de la vie sur terre

Que la lumière soit

Evolution : des algues bleues à l’homo Sapiens

Si l’Univers avait 1an

24 heures de la vie sur terre

Découvertes des continents

Découvertes du 6ème continent

**Chapitre IV : Sommes-nous seuls dans l’univers ?**

Recherches d’autres vies

Historique des découvertes sur la vie

Les planètes du système solaire

Loi de Bode

Les Sondes Spatiales

Exobiologie (recherche de planètes non solaires)

Recherches in situ

Mars

La conquête de Mars

ALH84001

Un homme sur Mars

Europa/Ganymède

Les Fusées de demain

Moteurs ioniques

 Moteurs a plasma

 Propulsion avancée

Recherches spatiales

HST

COROT

Recherches au sol

Manifestations humaines

Manifestations spontannées anciennes

Géoglyphes

Hiéroglyphes du temple d’Abydos

Hiéroglyphes de la Hunter Valley (Australie)

Civilisation Olmèque

Astronaute de Kiev

Tombes pré-colombiennes

Les lignes de NAZCA

La Madone de San Giovannino

La Bible (Isaï)

Manifestations spontannées récentes

UFOs

 40 ans de traques aux ET

 Equation de Drake

 SETI

 VLA

 Cyclops

 Arecibo

SETI@home

 Woh!

 Manifestations Humaines vers d’éventuelles vies pensantes

**Chapitre V : L’homme et la connaissance (Des algues bleues a Einstein)**

Les forces dans la nature

Le modèle Standard

 Les quarks

 Les Gluons

 Les anti-particules

Gravitation

Ondes Gravitationnelles

Projet Virgo

##### **L’ATOME ET SES APPLICATIONS**

L’ATOME QUI TUE

 Fission

 Le Projet Manhattan

 Le test Trinity

 Little Boy

 Fat Man

 L’ATOME QUI POURRAIT TUER

 Armes nucléaires

 Bombes N

 Armes électromagnétiques

 Radar tueur

 Bombe E

 Le canon laser du futur

 Autres Armes

 Armes chimiques

 Armes bactériologiques

 Armes climatiques

 Le Projet HAARP

 L’ATOME QUI GUERIT

Imagerie médicale

Ultra-sons

Bio-photonique

Diagnostic au laser

Endoscopie

CHAO

Téléchirurgie

### L’ATOME QUI ARRANGE

Datation par le 14C

Le saint suaire de Turin

### L’ATOME QUI DERANGE

Ralentissement de la lumière

Plus vite que la lumière !

Sources superluminiques

La Condensation de Bose-Einstein

###### **HIGH TECH AU XXI siècle**

Energies

Supraconductivité organique

Piles à combustible

CCD

Nanotubes

Les Nano –mondes

Voir les Atomes

Microscopie par Projection

Microscopes à effet Tunnel

Microscopes à force atomique

Microscopes à champ proche optique

La Nano-écriture

Microscopes à anti-matière

LE GENOME

Caryotypes

 Gènes

ADN/séquençage

Bases ACGT

Anomalie de Codage

Génomique fonctionnelle

Thérapie Génique

Médecine prédictive

Bio informatique

OGM

 Une tomate tansgénique

CLONES

 Clonage d’une Pomme de terre

 Clonage d’animaux

 Clonage Humain (recette et risques)

## Quand la Fiction devient réalité

 Les Chimères

 Le jeu de l’Arabette

 Le jeu de l’Homme virtuel

 Alors les séraphins descendirent de leurs chars de lumière….

Science et éthique

## INFORMATIQUE

 Semi-conducteurs

 Les RAW

 Transistors atomiques

 Mémoires holographiques

Les ordinateurs du XXIème siècle

Ordinateurs optoélectronique

Ordinateurs biologiques

Ordinateurs quantiques

**Chapitre VI** : **La Fin de l’humanité – La Fin de l’Univers**

Evolution du système solaire

Destructions artificielles de la planète Terre

 Le feu nucléaire

 Agressions

 Centrales nucléaires

 Usine de retraitement de produits radioactifs

Destructions naturelles de la planète Terre

 Heurt d’Astéroides/météroites

Le réchauffement de la Terre

Evolution de l’univers

Big Crunch après Big Bang ?

**CONCLUSION** : **Dieu et la science : Antinomie ?**

The overhelming beauty of the Universe

**Il est étrange le destin…..**

#### L’ASTRONOMIE

#### - chant 1 -

L’homme a sondé des cieux la vaste profondeur

Révélé des soleils la marche et la grandeur :

Parmi ces feux lointains qui roulent sur nos têtes,

Chaque jour, plus puissant, son œil fait des conquêtes ;

Des astres inconstants, qui ne brillent qu’un jour,

Son art trace l’orbite, et marque le retour.

Un mortel nous apprit qu’une force invisible

Anime et fait mouvoir la matière insensible.

Tous ces mondes brillants, dans l’espace lancés,

Attirés l’un par l’autre, y restent balancés,

Et, soumis à Newton, dans leur orbite immense

Gravitent par leur poids, qu’affaiblit la distance.

Mais quel est ce pouvoir, ce don mystérieux,

Par qui tout pèse, attire, et flotte dans les cieux ?

Quel peut être ce vide, océan de lumière,

Où tant d’astres brillants achèvent leur carrière ?

Hélas ! l’esprit de l’homme est étroit et borné

Comme le globe obscur sur lequel il est né :

Mais, tout faible qu’il est, il prend un vol sublime :

Du ciel qui l’environne il a franchi l’abîme ;

Et, de ces grands travaux, sous des lauriers en fleurs,

Uranie entretient ses immortelles fleurs.

L’homme ne peut atteindre à la cause première :

Le temps, la pesanteur, l’espace, la matière,

Que l’esprit croit comprendre, et ne peut définir,

Cacheront leur essence aux âges à venir.

# Une vie de découvertes

Mon enfance a été de découvrir l’environnement où j’allais évoluer.

Lors de mon adolescence, j’ai appris à découvrir les sciences dont les mystères me fascinaient.

Ma vie adulte a été de découvrir conjointement les joies de la vie familiale et de participer, à mon modeste niveau, à faire progresser la connaissance scientifique.

Au soir de ma vie, je tente de faire une synthèse des découvertes majeures.

C’est un travail d’une ambition démesurée, mais quel plaisir de s’intéresser à des domaines qui vous étaient jusqu’à présent peu familiers.

C’est ce plaisir que je vais tenter de faire partager aux étudiants de 5°A de l’ESIEA dans le cadre de conférences sur les Hautes Technologies au XXI siècle, en tournant ensemble quelques pages du « GRAND LIVRE DE LA VIE ».

Mon « Grand livre de la Vie » comporte évidemment beaucoup d’imperfections :

Puissent ces imperfections être considérées comme les impuretés d’un cristal de Silicium, qui transforment un matériau amorphe en un semi-conducteur aux innombrables magies…

## CHAPITRE 1: LES DEBUTS DE L’UNIVERS

# INTRODUCTION

###### APRES LE BIG : LE BANG

Nous allons tenter d’expliquer tout au long de ce livre l’évolution de l’univers du point initial que nous connaissons jusqu’à sa mort en passant bien évidemment par la création de la terre et l’évolution de la vie en sa surface, les connaissances humaines qui ne cessent d’évoluer sur le plan atomique, appliquées à l’informatique, à la médecine ou aux nouvelles énergies. Nous terminerons sur le thème « Dieu et la science : Antinomie ? ».

 Avant de commencer, on peut illustrer le mot Big Bang :

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **B** | **I** | **G** |  | **B** | **A** | **N** | **G** |
|  |  |  |  | **I** | **T** | **E** | **E** |
|  |  |  |  | **T** | **O** | **U** | **N** |
|  |  |  |  | **S** | **M** | **R** | **O** |
|  |  |  |  |  | **E** | **O** | **M** |
|  |  |  |  |  | **S** | **N** | **E** |
|  |  |  |  |  |  | **E** | **S** |
|  |  |  |  |  |  | **S** |  |

 Ou chaque lettre du mot bang va représenter un domaine de recherche essentiel du XXI ème siècle au niveau des **B**its représentant l’informatique au XX ème siècle, de l’**A**tome pour la recherche scientifique en général, les **N**eurones qui semblent être le début de l’ère informatique du XXI ème avec les futurs ordinateurs neuronaux qui s’adapteront à la tache qu’ils devront accomplir, enfin et ce n’est pas le moindre le **G**énome qui permettra lorsque l’on en connaîtra tous les secrets de traiter préventivement toutes les maladies.

 Pour étudier ce fameux **Big Bang** il existe aujourd’hui ce que l’on pourrait appeler trois niveaux de précision :

* ***La cosmologie classique***: qui va s’intéresser plus aux liaisons entre les instants autour de 1/100ème de seconde post-**Big Bang** jusqu’à aujourd’hui. Le modèle classique de l’évolution de l’univers à cette époque a du faire face à de nombreux changements.
* ***La cosmologie au niveau des particules*** : construit une image de l’ancien univers à ce niveau de température qui est toujours lié à une physique connue, par exemple, l’accélérateur de particules de forte puissance au CERN qui permet d’effectuer des tests pour savoir ce qui c’est passé à l’instant t + 1/100 000 000 000 soit à t + 10-12 seconde après le **Big Bang**. Ce domaine est plus spéculatif que le précédent du fait qu’il entraîne plus d’extrapolation, et pose souvent des problèmes de calculs insolubles. Cependant la plupart des scientifiques considèrent que des extrapolations raisonnées peuvent être effectuées lors d’importantes phases de transition.
* ***La cosmologie quantique*** : qui elle va traiter ou tenter de traiter les questions au sujet de l’origine de l’univers lui même. Ces efforts ont pour but de décrire le procédé quantique au plus tôt de ce que l’on peut concevoir dans notre espace temps : c’est ce que l’on va appeler le temps de Planck à t + 1/1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 soit à t + 10-43 secondes après le **Big Bang.**

Sachant tout de même que personne n’a encore trouvé une théorie complète de la gravité quantique, ce domaine de la cosmologie est par conséquent encore plus spéculatif que les deux précédents (nous verrons plus loin que la théorie des supercordes, et la théorie M semblent s’approcher de cette symbiose entre les théories relativistes et quantiques).

### I – LE BIG BANG ( 0 seconde )

 Le Big Bang a eu lieu il y a environ 15 milliards d’année. On appelle Big Bang le phénomène a l’origine de l’univers. Actuellement on ne sait pas encore ce qui c’est passé au temps t = 0, les scientifiques sont remontés au temps t + 10 – 43 secondes et l’ont nommé le temps de Planck. A cet instant la température en ce point était de l’ordre de 10 33 degrés Celsius (avant on se heurte au mur de la chaleur qui nous empêche de remonter le temps jusqu'à t = 0.)

#### I A – LE MODELE STANDARD

Le terme "standard" signifie que des simplifications supplémentaires sont supposées : ne sont pas prises en compte la constante cosmologique (qui décrit une sorte de répulsion s'exerçant à l'échelle de l'univers lui-même), les complications topologiques de l'espace-temps, ni ses propriétés quantiques. Malgré leur grande simplicité, les modèles standard de big bang fournissent une excellente description de l'univers durant une grande partie de son évolution, expliquant le noir du ciel, le décalage vers le rouge des galaxies, la proportion des éléments chimiques légers, le nombre d'espèces différentes de neutrinos, l'existence d'un rayonnement diffus de corps noir à la température de 2,73 Kelvins uniformément réparti sur le fond de ciel, et les petites irrégularités observées dans ce rayonnement.

A ce stade d'évolution, la matière n'était pas encore née, seul le "vide" régnait, mais attention! Le vide de l'Univers n'était pas vide : il comprenait de nombreuses particules virtuelles de matière et d'antimatière qui apparaissaient et disparaissaient comme des bulles de savon. Notre Univers actuel est peut-être issu de l'une de ces fluctuations quantiques du vide !

L'univers est sous l'influence de la supergravité. La structure même de l'espace et du temps se dilate. Le temps lui-même, serait né et se serait dilaté en même temps que l'espace. La vitesse d'expansion se fait progressivement de plus en plus lente au fur et à mesure du déploiement spatial de l'Univers 10-43 seconde correspond à ce que l'on dénomme le **temps de Planck,** "unité" de temps incompressible. Cet intervalle de temps semble être le plus petit possible selon la physique quantique, de la même manière que la distance de Planck ( 10-35 m ) semble être la plus petite distance accessible à notre physique.

**Super Unification**

 Cette phase primordiale de l'Univers est le domaine de la **Super force** (appelée aussi gravité quantique) qui unifiait alors les .4 forces fondamentales: **nucléaire forte , nucléaire faible, électromagnétique et gravitationnelle**. Chaque force étant associée à une famille de particules.température 1032°K.

#### I B – BOSONS: particules médiatrices d'interaction Spin = 1...

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Boson** | **interaction** | **portée** | **intensité** | **acteurs** | **charge sensible** |
| **graviton** ? | gravitationnelle | infinie | 10 -38 | toutes les particules | masse, énergie |
| **photon** | électro- magnétique | infinie | 10 -2 | tous les fermions sauf neutrinos | charge Q électrique |
| 8 **gluons** | forte | 10 -15 m. | 1 | tous les quarks | charge de couleur |
| 3 bosons: **W+ W- Z0** | faible | 10 -18 m. | 10 -7 | tous les fermions | charge faible |

L'unification peut être aussi réalisée en unifiant toutes les particules élémentaires en une seule: c'est la théorie des super cordes et dela super symétrie

Il existait peut-être de nombreuses autres dimensions, comme semble l'indiquer cette  théorie. Ces dimensions se seraient ensuite "enroulées" sur elles-mêmes pour laisser l'Univers évoluer selon les 4 dimensions de l'espace-temps que nous connaissons actuellement.

Cette très hypothétique Super force unifierait toutes les particules connues (plus d'autres inconnues) en faisant appel à deux autres théories:

##### I B 1 – La supersymétrie

Cette théorie est basée sur l’existence d’une seule Super force, laquelle aurait comme propriété une super symétrie qui unirait les fermions (particules de matière) aux bosons (particules de force).

La supersymétrie transforme la **fonction d'onde** (représentation mathématique de l'état quantique) d'une particule ordinaire en celle d'une hypothétique super particule (appelée **sparticule**) en modifiant d'une demi-unité la valeur de son **spin** (rotation de la particule sur elle-même). Avec SuSY (Super Symétrie), le nombre total de particules va donc doubler!

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   | **PARTICULES** | spin | **SPARTICULES** | spin |
| BOSON | photon | 1 | photino | 1/2 |
| BOSON | gluons | 1 | gluinos | 1/2 |
| BOSON | W+, W-, Z0 | 1 | winos, zino | 1/2 |
| BOSON | graviton | 2 | gravitino | 3/2 |
| BOSON | Higgs | 1 | Higgsino | 1/2 |
| FERMION  | quarks | 1/2 | squarks | 0 |
| FERMION | lepton : électron | 1/2 | slepton : sélectron | 0 |
| FERMION | lepton : muon | 1/2 | slepton : smuon | 0 |
| FERMION | lepton : tau | 1/2 | slepton : stau | 0 |
| FERMION | lepton : neutrinos | 1/2 | slepton : sneutrinos | 0 |

#####

##### I B 2 – Les supercordes

Selon cette théorie révolutionnaire, les particules élémentaires ne sont plus considérées comme des points, mais comme de petites cordes.
On parle de **supercordes** car cette théorie obéit aux lois de la **supersymétrie**. Certaines cordes se refermeraient en boucles, d'autres seraient ouvertes et comporteraient donc deux extrémités. Mais leur longueur à toutes seraient des milliards de milliards de fois inférieure à celle d'un noyau d'atome. A plus grande échelle, elles apparaîtraient comme de simples points et l'on retrouverait alors l'aspect de nos particules "habituelles".
L'échelle de dimension des supercordes approche donc 10-33 cm, c'est-à-dire la longueur limite de Planck.

Le matière n'est finalement constituée que de cordes à **10 dimensions**!

Mais alors, où sont ces 6 dimensions cachées qui s'additionnent à nos 4 dimensions spatio-temporelles habituelles?

Il faut donc s'imaginer ces 6 mystérieuses dimensions enroulées sur elles-mêmes sur un diamètre de **10-33 cm**, la fameuse et mystérieuse **longueur de** Planck au-delà de laquelle notre physique humaine semble incapable de décrire le monde.

Lorsque deux super cordes interagissent, elles se fondent l'une dans l'autre, et elles peuvent par la suite se scinder à nouveau en plusieurs super cordes d'harmonie différente.

Il faut avouer qu'il n'existe, non pas une, mais cinq familles de théories des super cordes qui s'opposent radicalement. Néanmoins, des progrès récents conduisent à penser que ces différentes théories ne sont que des cas limites d'une théorie unique appelée théorie M, laquelle décrirait les interactions de petites cordes et membranes...
Hélas, les dimensions des super cordes sont hors de portée des collisionneurs actuels et aucun résultat expérimental n'a été obtenu pour confirmer l'existence des super cordes.

#### I C – MODELES QUANTIQUES (des modèles d'univers chiffonné).

Quel est donc l'état actuel de la cosmologie ? L'univers est décrit par une structure spatio-temporelle munie d'un contenu matériel (matière et rayonnement), dont le couplage et la dynamique sont régis par la théorie de la relativité générale. Ce cadre formel permet de concevoir une grande variété de modèles d'univers, dont les prédictions doivent être confrontées aux observations. Les astrophysiciens retiennent les solutions qui décrivent un univers homogène (c'est-à-dire avec de la matière uniformément répartie dans tout l'espace), en expansion depuis une singularité initiale remontant à une quinzaine de milliards d'années. Ce sont les modèles standard de big bang.

Les questions de fond posées par les modèles standard de big bang concernent la singularité initiale (en mathématique, une singularité est un point où certaines quantités deviennent infinies ; ici la courbure, la température, la densité d'énergie, etc.) et la [topologie](http://perso.libertysurf.fr/pythacli/univers/histoirecosmologie.html#B A  BA de cosmologie) de l'espace-temps. Elles mettent sans doute en jeu la validité même de la [relativité générale](http://perso.libertysurf.fr/pythacli/univers/histoirecosmologie.html#XXe siècle). En effet, en tant que singularité d'une théorie non quantique, le Big Bang serait une limite absolue à la compréhension du début de l'Univers, puisque les lois de la physique s'y sont plus valables, ni même les concepts les plus élémentaires d'espace et de temps. Quant à la topologie de l'univers (l'espace est-il fini ou infini, orienté ou non ?), la relativité générale n'en rend même pas compte, puisqu'elle ne permet de traiter que des propriétés géométriques locales de l'univers, et non des caractéristiques globales.

A bien y regarder, ces deux questions sont liées à celles de l'infini. La cosmologie est le royaume privilégié des infinis : infinis de l'espace, du temps passé et du temps futur ; infinis, grands ou petits, de température, de pression, d'énergie, de dimensions, liés à la singularité initiale. Les premiers sont discutés depuis trois millénaires, les seconds sont apparus avec la [théorie de la relativité générale](http://perso.libertysurf.fr/pythacli/univers/histoirecosmologie.html#XXe siècle) (aussi bien dans les modèles de big bang que dans ceux d'effondrement gravitationnel conduisant aux fameux "trous noirs").

#### II A – LA GRAVITATION

Rapidement après le Big Bang, la gravitation se démarque du monde quantique. Désormais, son action à l'échelle des particules sera négligeable sauf dans des cas extrêmes (explosion d'étoiles par exemple). Si c'est à la gravitation que l'on doit le phénomène d'accrétion de la matière élémentaire pour former les étoiles, c’est à la théorie quantique que l’on doit leur rayonnement qui a conduit à l’apparition de la vie C'est aussi à la gravitation que l'on doit l'organisation de l’univers en régions denses et donc la [formation des galaxies](http://perso.libertysurf.fr/pythacli/univers/premiersatomes.htm#premières galaxies)

#### II B – LA FORCE ELECTRONUCLEAIRE

##

La **force électronucléaire** regroupe les interactions forte et électrofaible (nucléaire faible, électromagnétique). Elle est décrite par la théorie actuelle de   Grande Unification ou GUT.

### III – L’INFLATION

 Ensuite les choses se sont « accélérés » à savoir que lorsque la température passe de 10 33 à 10 30 °C il y a eu une expansion de + 10 50  fois la taille initiale et cela en l’espace infime de une seconde.

1 seconde => - 1000°C (espace initial multiplié par 10 50)

 Puis 3 000 ans plus tard la température était encore de 6 000°C.

**10-35 s**     inflation et séparation des forces (1028 degrés Kelvin).

 Entre 10-35 et 10-32 seconde, son volume augmente d'un facteur 1027 (ou 1050 selon d'autres sources ?) alors que dans les 15 milliards d'années suivantes, son volume n'augmentera que d'un facteur 109.

Théorie de la grande unification des forces ( GUT) : A ce moment précis de l'évolution universelle se séparent l' **interaction forte** et l' **interaction électrofaible** ( faible+ électromagnétique ). Avec la **gravitation**, Il existe donc désormais trois forces distinctes dans l'Univers. Cette théorie a été proposé pour la première fois par Sheldon Glashow (encore lui) et Howard Georgi en 1973.

**10-32 s**     de l'inflation à l'expansion

L'Univers a la taille d'une orange et sa température est de 1025 °K. perpétuelle annihilation - matérialisation ! des quarks et antiquarks

la création initiale des couples particules-antiparticules ne va pas se faire de façon parfaitement symétrique: Un petit excédent de matière va apparaître :
Pour 1 000 000 000 d'antiquarks créés, il y a 1 000 000 001 de quarks créés, et donc 1 seul quark survivant à la future grande annihilation : Un rapport de 1 pour 1 milliard !
Et voici comment une **brisure de symétrie** est responsable de l'existence de la matière dont nous sommes actuellement constitués !

### III – L’ANTI-MATIERE PRIMORDIALE

La matière est présente dans tous les éléments qui nous entourent. Qu’ils soient vivants ou non, ceux-ci sont constitués de protons, de neutrons et d’électrons qui forment des atomes.

L’antimatière peut être considérée comme étant une substance « complémentaire ». Elle est formée de particules élémentaires, comme la matière, ou plus exactement d’antiparticules, qui ont les propriétés symétriques des particules habituelles : Par exemple l’antiproton possède la même masse que le proton, mais une charge électrique opposée (négative) et d’autre propriétés sont également inversées. A toute particule élémentaire correspond une antiparticule. Parfois l’antiparticule peut être identique à la particule, c’est par exemple le cas du photon, le quantum de lumière.

La particularité de cette substance est que la combinaison du couple matière-antimatière provoque une annihilation de ces deux substances. Selon la loi de la relativité restreinte, décrite par l’équation E = mc², la conversion totale de la masse en énergie provoque alors une explosion extrêmement violente.

L’existence de l’antimatière fut proposé en 1929 par le physicien anglais Paul Dirac. Suivant l’équation qui porte son nom, la création de matière à partir d’énergie s’accompagne de la création d’une quantité égale d’antimatière. Ses travaux lui valurent de recevoir le prix Nobel en 1933.

Ainsi, si l’énergie se transforme en parts égales en matière et antimatière la même chose a dû se passer pendant le Big Bang. En ce cas, la moitié de la substance de l’Univers devrait être de l’antimatière.

Si le principe théorique est unanimement reconnu le mystère reste entier de savoir où se trouve cette antimatière, car il n’y en a évidemment pas sur Terre, ni dans le système solaire. Peut-être se trouve t’elle ailleurs dans la voie Lactée ? Ou ailleurs dans d’autres galaxies ? Ou dans d’autres Univers ? Il y eut même une hypothèse qui décrivait le Big Bang comme la création à la fois d’un Univers et d’un anti-Univers qui se déplaceraient sur l’axe des temps chacun dans un sens opposé, ces deux Univers ne se rencontrant que lors du Big Bang.

En 1967, le physicien russe Andreï Sakharov propose une solution à ce problème. Selon lui, les processus qui se sont déroulés pendant la première microseconde ont produit un très léger excèdent (environ 1 milliardième) de matière par rapport à la quantité d’antimatière. Lors de la combinaison de la matière et de l’antimatière celles-ci s’annulent tout en libérant une énorme quantité d’énergie. L’excédent de matière qui n’a pas pu disparaître faute d’annihilateur formerait alors l’Univers.

### V – L’EVOLUTION

Le Big Bang est l’expression communément utilisée pour désigner le début de l’Univers, l’instant 0 à partir duquel il s’est produit, et il se produit encore actuellement une expansion de l’Univers…

Chronologiquement, l’histoire de l’Univers peut se résumer de la façon suivante :

🡪 Entre les instants t = 10-33s et t = 10-30s après le Big Bang la température est alors approximativement de 1027 degrés Kelvin. L’Univers se présente alors sous la forme d’un plasma de quarks, d’électrons et d’autres particules. La période d’inflation se termine et l’Univers poursuit son expansion. Sous l’effet de la gravité, celle-ci commence à diminuer graduellement.

 🡪 A l’instant t = 1s, l’Univers possède alors une température de 1010 degrés Kelvin et commence à se refroidir. Les électrons et les positrons s’annihilent, laissant des électrons résiduels.

 🡪 A 3 minutes, température 109 degrés K. Les protons et les neutrons sont alors capables de s’attacher ensemble pour former des noyaux, puisque leur énergie nucléaire est maintenant plus grande que celle du rayonnement cosmique de fond. C’est alors qu’apparaissent des noyaux « légers » (le deutérium), puis des noyaux plus lourds, comme l’hélium et le lithium.

 🡪 A 300 000 ans la température n’est plus que de 3000 degrés Kelvin. Il se produit alors la formation des premiers atomes par combinaison des électrons avec les noyaux. L’effet de la gravitation sur la matière nouvellement créée commence alors à se faire sentir (les petites particules sont attirées par les plus grosses). La masse de matière qui en résulte se présente sous la forme d’une boule de gaz appelée « presque étoile ». Cette boule de gaz se développe progressivement sous l’effet de la gravitation.

 🡪 A 1 milliard d’années, température 18 degrés Kelvin. Des amas de matière évoluent pour créer quasars, étoiles et protogalaxies. A l’intérieur des étoiles, la combustion de l’hydrogène primordial et des noyaux d’hélium synthétise des noyaux plus lourds comme le carbone, l’azote, l’oxygène et le fer.

 🡪 A 10 milliards d’années des processus chimiques lient ensemble des atomes pour former des molécules, puis des solides et des liquides complexes.

 🡪 A 15 milliards d’années la température atteint 3 degrés Kelvin, c’est à dire le niveau actuel

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Temps | ° K |  |
| **Pas d'espace pas de temps** |
| **BIG BANG** |
| **10-43s** |  | Temps de PLANCK O univers 10-32 mm |
| **10-42s** | 1032K | Soupe primordiale: quarks, leptons (e-), particulesUnification des forces |
| **10-35s** | 1027K |  |
| **10-6s** | 1013K | Plus de matière que d'antimatière |
|  |  |  |
| **1s** | 1010K |  Particules stables n,p |
| **3 min** | 106K |
| **15 min** |  |  Formation des noyaux H 🡪 He Synthèse primordiale |
|  |  |
| **300 000 ans** | 6000K |
| **109 ans** |  | Production éléments lourds |
|  |  | Galaxies |
| **15 milliards d'années** | 2,7 K | ADN, structures complexes |
|  |  |  |

Depuis un siècle les cosmologistes ont forgé une théorie sur la connaissance et l’expansion du monde.

Ce « modèle standard » décrit un univers homogène et uniforme.

Comment en est-on arrivé là ?

Ptolémée : Univers géocentrique

XVIe siècle : Univers héliocentrique (bien que proposé très tôt par Aristarque de Samos)

 Galilée

Giordano Bruno : Univers infini au sein duquel le soleil ne serait qu’une étoile comme une autre.

 **LE MODELE STANDARD**

Le modèle standard retrace la genèse de l’Univers, de l’explosion originale (le Big Bang) jusqu'à la formation du système solaire.

* Edwin Hubble : astronome américain ; démontre dès 1929 que les galaxies s’éloignent les unes des autres,  L’univers semble donc en expansion comme prévoit la théorie. La question que l’on peut se poser est : dans quoi s’étend-il ? En fait il faut refuser à tout prix de s’imaginer que l’on observe l’Univers depuis un point extérieur à lui-même : un tel point n’existe pas puisque tout fait partie de l’Univers.
* Arnold Penzias et Robert Wilson : ces 2 américains détectent en 1969 « le fond de rayonnement cosmologique »  un rayonnement diffus venant de toutes les directions du ciel et à 3°K, interprété comme la trace fossile du Big Bang. Cette lumière « fossile » nous arrive de régions si lointaines que, compte tenu du délai de transmission, nous les voyons telles qu’elles étaient environ 300 000 ans après le Big Bang. A ce moment-là, cette lumière a réussi à se libérer de la matière, pour suivre son propre destin. Le rayonnement de fond cosmologique est le vestige de cette première lumière, aujourd’hui diluée et refroidie. Il représente un véritable « mur de brume » impénétrable. Il marque l’horizon de ce que l’on appelle l’Univers observable, soit l’ensemble des régions dont la lumière a eu le temps de nous parvenir depuis le début de l’Univers. Son observation est pratiquement impossible à expliquer autrement que par la théorie du Big Bang.
* L’abondance d’hélium (He) et d’hydrogène (H) : vérifié à maintes reprises dans les étoiles. Ceci corrobore les prédictions du modèle standard.
* Nouveaux télescopes (**CFH, Hubble, VLT**) : on voit des objets très lointains (donc très anciens) à 300 000 ans du début de l’univers (Big Bang). Ces étoiles ont 8 à 12.109 ans.

  L’univers n’aurait plus 16.109 ans mais 8 à 12.109 ans.

Matière visible : cette matière ne représente que 10% de la masse prévue par le modèle standard. Pour l’instant, plusieurs hypothèses sont avancées (comme les naines brunes ou les WHIPS) mais les efforts pour détecter « la matière sombre » qui devrait combler les 90% manquants sont RESTES VAINS !! La détermination de la quantité de matière exacte est très importante car elle résout la question : quel avenir pour notre univers ?

C’est la gravité mutuelle de la matière que contient l’Univers qui est responsable de la courbure de l’espace (la relativité générale relie le destin de l’Univers). Si l’Univers est fermé, c’est que la matière de l’Univers est assez concentrée pour que sa gravité puisse un jour arrêter et inverser le mouvement d’expansion de l’Univers. Un Univers fermé dans l’espace l’est aussi dans le temps, et il est condamné à finir ses jours par un « Big Crunch », l’inverse du Big Bang. En revanche, si l’Univers est ouvert, c’est que la matière n’est pas assez concentrée pour pouvoir un jour arrêter l’expansion.

* REPARTITION des galaxies : elle est très irrégulière, en amas, réunis par des feuillets ou des filaments qui semblent dessiner les pores d’une gigantesque éponge. Cette répartition n’a pas encore été expliquée à partir des théories actuelles.
* FOND DIFFUS homogène et Isotrope ? (COBE, BOOMERANG, PLANK)
* EXPANSION de l’UNIVERS :
* **ELLE S’ACCELERE !!!**
*
* Sous l’influence de quelle force ? **hypothétique 5ième force ?** (preuve : SNRS, constante cosmologique des équations d’Einstein (sinon l’univers serait statique).

**OU EST PASSEE L’ANTIMATIERE : DEMANDEZ LE A BABAR**

2 particules de matière et d’anti-matière s’annihilent dans un grand débordement d’énergie.

 Aux tout premiers instants de l’univers, matière et anti-matière se sont formés en quantité équivalente (équation de Dirac).

Si seule la matière a survécu, c’est sans doute qu’elle possède malgré les apparences, quelque AVANTAGE, bien caché, sur l’ANTI-MATIERE.

Cette dissymétrie, nommée BRISURE DE SYMETRIE CP (Charge-Parité), les physiciens l’ont déjà aperçue en 1964, au cours de la désintégration d’un certain type de particules : Les **MESONS K NEUTRES**, mais l’imprécision de leur mesure laisse planer le doute. Si le phénomène existe vraiment, il devrait se manifester plus franchement dans un autre système de particules, les MESONS B et leur ANTI-MESONS , plus lourd que les K.

Il fallait donc construire une « usine » à mésons (et anti-mésons) B pour étudier leur annihilation. C’est-à-dire un collisionneur e- e+ complété par un détecteur ultra sophistiqué : BABAR (Projet mondial).

* Fonds spéciaux débloqués sur le budget du président américain
* La France est associée au projet (CEA/CNRS/IN2P3) ainsi que les USA, le Canada, l’Italie, l’Allemagne, la Russie, la Chine et la Norvège.

Les machines nécessaires sont assemblées au SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) près de San-Francisco. La phase de conception s‘est déroulée de 1993 à 1998. Le coût total du projet est de 300 millions de dollars (1/2 des fonds proviennent des USA). La France participe à hauteur de 10% du budget (30 millions de dollars) et de 10% du nombre de physiciens impliqués.

BABAR est basé sur une nouvelle technologie de détection des particules : des barres de quartz de 5m de long lues par 11 000 photomultiplicateurs plongés dans un réservoir de 6000 litres d’eau !

 **POUR QUAND ?**

BABAR fonctionne depuis mai 1999.

20 millions de paires mésons/anti-mésons B ont déjà été produites.

Les résultats sont compatibles avec l’existence de l’asymétrie CP. Toutefois l’incertitude expérimentale est encore trop élevée.

Il faut attendre encore quelques années et donc de nouvelles mesures pour (peut-être !) pouvoir trancher.

CHAPITRE 2 : NAISSANCE, VIE ET MORT DES ETOILES

**2-1 CREATION DES ETOILES ET DES GALAXIES**

La naissance des étoiles est intimement liée à la présence de grandes concentrations de matière interstellaire, nommées nuages moléculaires. La nébuleuse d’Orion dans notre Galaxie est un exemple connu d’un tel nuage moléculaire donnant naissance à plusieurs milliers d’étoiles.

#### La Nébuleuse du Crabe

Une fois que la pression interne, qui se développe dans le condensation stellaire, devient comparable aux forces de gravité, la proto-étoile est en quasi-équilibre hydrostatique. Elle cesse sa phase d’effondrement pour débuter une phase de contraction qui durera quelques millions d’années. À cette étape, les proto-étoiles se sont dégagées du nuage parent, elles sont optiquement visibles. En libérant de l’énergie gravitationnelle, la contraction de la jeune étoile suscite une augmentation de la température au sein de l’étoile. Lorsqu’elle atteint un million de kelvins, la fusion thermonucléaire du deutérium commence. Lorsque la température atteint 10 millions de kelvins, elle est suffisante pour déclencher la fusion de l’hydrogène en hélium. Cette phase nucléaire enraye la contraction et correspond à l’entrée de l’ancienne proto-étoile sur la séquence principale, où elle acquiert son statut d’étoile à part entière.

Les galaxies sont de vastes ensembles d'étoiles, de gaz et de poussières interstellaires, en interaction gravitationnelle et en orbite autour d'un centre commun, le noyau. Toutes les étoiles visibles à l'œil nu depuis la Terre appartiennent à notre galaxie, la Voie lactée. Le Soleil est une étoile de cette galaxie. Outre les étoiles et les planètes, les galaxies contiennent des amas d'étoiles, de l'hydrogène gazeux, des molécules complexes contenant entre autres de l'hydrogène, de l'azote, du carbone et du silicium.

###

# La Galaxie d’Andromède

**2-2 VIE ET MORT DES ETOILES**

# Le Cycle de vie des étoiles

# Etoiles naines

L’étoile arrive dans une étape de sa vie appelée « étoile de la séquence principale ou étoile naine » à laquelle appartient le Soleil.

Elles ont la propriété commune d’être siège en leur cœur de réactions de fusion des noyaux d’hydrogène en noyaux d’hélium, selon la série de réactions nucléaires de la chaîne proton-proton pour les étoiles de faible masse (1 à 3 masses solaires) ou bien selon le cycle du carbone pour les étoiles plus massives. La majeure partie de la vie des étoiles correspond à la phase de la séquence principale. Le Soleil, âgé de 4,5 milliards d’années, y restera encore le même laps de temps.

# Sous-géantes, géantes

Lorsque tout l’hydrogène du cœur de l’étoile a été consommé, la pression radiative y devient trop faible pour contrebalancer les forces de gravitation. Le cœur se contracte alors sur lui-même en libérant une quantité d’énergie suffisante pour chauffer les couches situées à proximité et y déclencher la fusion de l’hydrogène. Ne pouvant évacuer l’énergie aussi vite qu’elle est produite, les couches externes se dilatent (expansion) : l’étoile enfle et se retrouve sur la branche des sous-géantes puis passe progressivement sur la branche des géantes au cours d’un processus qui dure en totalité 500 millions d’années. Cette phase est caractérisée par une intense perte de masse (vent stellaire), car le rayon étant devenu énorme, la gravité superficielle ne compense plus la pression de radiation à l’origine du vent stellaire.

Pendant ce temps, la contraction du cœur d’hélium continue. La pression augmente et les électrons deviennent dégénérés pour des étoiles de masse inférieure à 2-3 masses solaires. La masse du cœur augmente également car l’hélium synthétisé dans les couches immédiatement supérieures s’ajoute progressivement jusqu’à ce que la masse totale du cœur atteigne une masse de l’ordre de 0,5 masse solaire et que sa température augmente jusqu’à 100 millions de kelvins. La fusion de l’hélium, pour former des atomes de carbone, commence alors mais de façon catastrophique car l’énergie nucléaire produite reste «! bloquée !» au sein du cœur stellaire dégénéré dont la température ne cesse d’augmenter alors que la pression reste constante (propriété des gaz dégénérés). Ce processus d’emballement des réactions nucléaires est nommé flash de l’hélium. Ce phénomène ne dure que quelques secondes jusqu’à ce que le cœur stellaire entre brutalement en expansion (la conversion de l’énergie nucléaire en énergie interne lève la dégénérescence des électrons).

Lorsque la masse du cœur reste inférieure à 0,5 masse solaire, la fusion de l’hélium ne s’enclenche pas, l’étoile devient alors une naine blanche.

Pour les étoiles plus massives, la fusion de l’hélium dans le cœur, entouré par des couches de gaz où se réalise la fusion de l’hydrogène, peut alors se poursuivre de façon stable durant 10 millions d’années pour une étoile de masse voisine de celle du Soleil.

Pour des étoiles de masse supérieure à 2 ou 3 fois celle du Soleil, le cœur stellaire ne devient pas dégénéré et le processus triple-alpha s’enclenche et se poursuit continûment, durant une période relativement courte de l’ordre de quelques millions d’années. Il y a donc statistiquement peu de chances, pour observer les étoiles dans cette étape de leur évolution.

Quoiqu’il en soit, les étoiles pour lesquelles s’est produite la fusion de l’hélium dans un cœur non dégénéré ont atteint la branche horizontale des géantes rouges. Elles définissent la première phase des étoiles évoluées.

# Géantes, naines blanches et nébuleuses planétaires

Lorsque l’hélium du cœur stellaire a été entièrement converti en carbone et oxygène (produit par la fusion d’un noyau de carbone et un noyau d’hélium), un scénario identique au précédent se répète : le cœur stellaire inerte se contracte à nouveau et les couches à proximité du cœur sont chauffées jusqu’à ce que la fusion en couches de l’hélium se réalise alors que la fusion en couches de l’hydrogène se poursuit dans les couches supérieures. Les étoiles atteignent alors la branche asymptotique des géantes et des supergéantes rouges.

Cette phase est caractérisée par des instabilités thermiques qui se développent dans les couches superficielle de l’étoile. Elles annoncent l’expulsion plus ou moins prochaine des couches externes qui formeront une nébuleuse planétaire et laisseront derrière elles une naine blanche. Cette configuration se réalise lorsque le cœur stellaire n’a cessé de se contracter, sans atteindre pour autant la température nécessaire à la fusion nucléaire du carbone et de l’oxygène.

Pour les étoiles massives, la température du cœur atteint rapidement 500 millions de kelvins et le carbone peut à son tour servir de combustible nucléaire. À ce stade, les modèles prévoient une structure en couches d’oignons, correspondant à une stratification de la composition chimique de l’étoile. L’étoile serait ainsi structurée de l’extérieur vers l’intérieur, en couches successives d’hydrogène, d’hélium, de carbone, d’oxygène, de néon, puis de silicium avant d’arriver au cœur stellaire composé de fer. Les étoiles sont alors des supergéantes rouges massives.

**2-3 RESIDUS D’ ETOILES**

# *2-3-1 ETOILES A NEUTRONS*

Les Etoiles à Neutrons sont des objets stellaires extrêmement compacts et denses, constitués principalement de neutrons libres (d’où son nom), et dans une moindre mesure d’électrons, de protons et de noyaux atomiques exotiques.

Alors que le rayon des étoiles à neutrons est compris entre 10 et 20 km, leur masse est 1,5 à 3 fois celle du Soleil. Leur masse volumique moyenne est donc de l’ordre de 1021 g/cm3.

Au tout début de sa formation, le champ magnétique contenu dans une étoile à neutrons est très intense, et serait à l’origine d’un puissant rayonnement électromagnétique observé sous la forme d’un pulsar.

Le concept d’étoile à neutrons est, en premier lieu, théorique. L’évolution stellaire permet, en effet, de prévoir un état de la matière extrêmement condensé lorsque le cœur massif d’une étoile, ne recevant plus d’énergie via les réactions thermonucléaires, s’effondre sous l’effet de sa propre gravité. Si la masse du cœur stellaire est inférieure à 1,44 fois la masse solaire (limite de Chandrasekhar), l’effondrement gravitationnel prend fin lorsque les forces de pression développées par les électrons dégénérés du cœur stellaire contrebalancent les forces de gravité. Le cœur stellaire devient alors une naine blanche. Si la masse du cœur stellaire est supérieure à la limite de Chandrasekhar, la pression des électrons dégénérés est insuffisante pour arrêter l’effondrement gravitationnel. La densité du cœur stellaire augmente alors à tel point que les protons et les électrons du cœur stellaire se combinent pour constituer des neutrons. Lorsque la masse du cœur stellaire est inférieure à environ 3 fois la masse solaire, la pression du gaz des neutrons ainsi formés s’oppose avec succès aux forces de gravité. En dessous de cette limite, aucune force ne peut plus s’opposer à l’effondrement gravitationnel : le cœur stellaire devient un trou noir.

**2-3-2 TROUS NOIRS**

Les trous noirs sont en quelque sorte les cadavres des immenses étoiles. Ils sont si **massifs** qu'ils absorbent tout, même la lumière. Un trou noir n'est pas nécessairement grand, mais il attire tout. Personne ne peut voir un trou noir car comme le nom le dit, ils sont noirs, car **aucune lumière ne peut s'en échapper**. Tout ce qui entre dans un trou noir est énormément compacté. Par exemple, si la terre entrait dans un trou noir, elle deviendrait grosse comme une bille de 2 cm de diamètre.

La plupart des trous noirs sont formés à la suite de la **mort d'étoiles**. Lorsqu'une étoile a terminé de vivre normalement, elle cherche à s'attirer elle-même vers son centre. C'est comme si la terre se compacterait vers le noyau. Mais une étoile résiste pour un certain temps à cette attraction en brûlant certains gaz (principalement de l'hydrogène). Cette combustion est faite au milieu de l'étoile (cœur), et la température peut atteindre plus de 50 millions de degrés Celsius. À cette température, des réactions nucléaires surviennent. À un certain moment, il n'y a plus le carburant nécessaire pour faire les réactions nucléaires et l'étoile grossit énormément pour devenir ce que l'on appelle une **géante rouge**.

Après cette étape, l'étoile a trois possibilités qui s'offrent à elle, dépendant de la masse qu'elle a. Elle peut devenir une **naine blanche** si sa masse est de moins de 1.4 fois la masse de notre soleil, et se refroidit lentement. Si l'étoile était un peu plus massive, soit moins de 3.2 fois la masse de notre soleil, elle devient une **supernovae**. Parmi celles-ci, certaines forment des **étoiles à neutrons**. Si la masse de l'étoile était de plus de 3.2 fois la masse du soleil, cette étoile implose pour former un **trou noir**.

Si l'étoile était assez massive pour former un trou noir, celle-ci n'a plus le carburant permettant qu'elle ne s'attire pas vers son centre. L'étoile, **s'attire** donc **vers son noyau à l'infini**, c'est à dire, qu'elle n'arrêtera plus de s'attirer et forme ainsi un trou noir. Puisque ce trou noir s'attire, il attire aussi tout ce qui passe près de lui, incluant la lumière et d'autres trous noirs pour en former un toujours plus attirant.

Selon une théorie, il y aurait des trous noirs dans chaque centre de galaxie.

Ces trous noirs peuvent avoir été formés de diverses façons. La première façon, serait que certains trous noirs seraient apparus quelques instants après la formation de notre univers (par le Big Bang).

Une autre façon est possible. Celle où un amas d'étoiles se serait attiré et concentré en un petit volume créant ainsi une masse très élevée capable d'attirer d'autres astres. Après que l'amas soit assez massif par rapport à un petit volume, l'amas deviendrait un trou noir.

**RAYON DE SCHWARZSCHILD**

Le concept de trou noir (ou *singularité*) découle de la Théorie de la Gravitation Généralisée d’Albert Einstein. On peut en donner une définition du point de vue de la communication :

Un trou noir est une région compacte de l’espace partageant ce dernier en 2 domaines distincts

* un domaine externe qui peut transmettre l’information (matière, lumière, énergie…)
* un domaine interne qui peut recevoir cette information, la transmettre dans une région limitée, mais en aucun cas la renvoyer à l’extérieur.

Ces 2 domaines sont délimités par l’**horizon** du trou noir, dont la dimension est donnée par **le rayon de Schwarzschild** :

**RS = (2GM/c²)**

**G** : constante gravitationnelle (6,67.10-11 N.m²/Kg²)

**M** : masse du corps céleste

**c** : vitesse de la lumière (3.108 m/s)

Pour un objet d’une masse équivalente au soleil, on obtient RS = 3 Km.

Pour une étoile à neutrons, RS = 10 Km.

**Pour un trou noir, RS = 300 m !**

Compte tenu de la masse du trou noir, ce rayon implique une **masse volumique** quasiment infinie, de l’ordre de **1019 g/cm3**, soit l’équivalent de **la masse de 10 milliards de Boeing 747 dans un dé à coudre !!!**

Puisque les trous noirs sont obscurs, il est **impossible de les voir**. Cependant, on peut regarder les phénomènes que provoque un trou noir dans son entourage. Il existe quatre méthodes pour **détecter** les trous noirs.

Quand une étoile se change en trou noir, les planètes qui l'entourent, tournent autour de rien à nos yeux. On peut dire ici, qu'il s'agit d'un trou noir ou d'une étoile peu lumineuse.

Les particules de poussière, qui sont attirées par un trou noir, tournent très rapidement autour de celui-ci et **surchauffent**. De cette manière, les particules émettent des **rayons X** détectables par des télescopes qui sont hors de l'atmosphère terrestre. On peut alors savoir qu'elles tournent autour d'un trou noir ou d'une étoile à neutrons qui émet aussi des rayons X. Mais il y a de fortes chances qu'il s'agisse d'un trou noir.

On peut les détecter, quand un trou noir passe entre la terre et une étoile. Le trou noir agit comme une lentille. La lumière de l'étoile sera déviée vers la terre et celle-ci paraîtra plus brillante. On peut en conclure qu'un trou noir est entre la terre et l'étoile concernée.

Enfin, on peut les détecter en calculant la masse de certaines régions de l'espace. Si l'on aperçoit une petite région noire très massive, il se pourrait qu'un trou noir s'y trouve.

**I VITESSE DE LIBERATION VL**

On veut envoyer un corps (un satellite par exemple) de masse m dans l’espace à partir de la surface d’une planète.

Les énergies en concurrence sont l’énergie cinétique fournie au corps et la gravitation de la planète :

m

Gravitation

Énergie cinétique

Pour envoyer le corps dans l’espace, il faut lui fournir une énergie cinétique, donc une vitesse, supérieure à la gravitation.

Exprimons le travail de la force gravitationnelle :

Force gravitationnelle : 

🡪 travail de cette force : 

 

Donc 

et 

Il faut EC > EG

Soit 

On en déduit 

Dans le cas de la Terre, on a : **VL = 11,2 Km/s**

# Vitesse de libération d’un corps pour différents astres

 **Lune Terre Soleil Etoile à neutrons Trou noir**

 ML = 7,2.1022Kg MT = 6.1024 Kg MS = 2.1030 Kg 1 MS 1 MS

 RL = 1738 Km RT = 6400 Km RS = 700 000 Km RN = 10 Km RBH = 300 m

 ***VL = 1.9 Km/s VL = 11.2 Km/s VL = 600 Km/s VL = 60 000 Km/s VL > 300 000 Km/s***

OU NOIR DE KERR

« 18 décembre 1963, Dallas. Premier Symposium du Texas sur l’astrophysique relativiste, réunissant plus de 300 scientifiques du monde entier. Au milieu des exposés parlant presque exclusivement des problèmes théoriques liés aux quasars, un jeune mathématicien néo-zélandais, Roy Kerr, présente sa solution des équations de champ d’Einstein. Les astronomes et les astrophysiciens n’étaient pas du tout intéressés par le sujet ésotérique de Kerr, beaucoup d’entre eux sortirent de la salle, d’autres restèrent pour discuter à voix basse ou s’assoupirent. Seuls quelques relativistes écoutaient, captivés. Quand Kerr eut terminé, l’un des meilleurs relativistes mondiaux, Achille Papapetrou, se leva pour expliquer avec passion l’importance de l’avancée de Kerr. Lui-même, comme beaucoup d’autres relativistes, avait cherché pendant 30 ans une solution de ce type, en vain. Les astronomes et astrophysiciens acquiescèrent poliment et concentrèrent de nouveau leur attention sur l’exposé suivant, la réunion reprit son cours normal… »

Kip S. Thorne, Trous noirs et distorsions du temps.

Les effets de la rotation d’un trou noir ne furent pas compris avant la fin des années 60. Cette avancée est due à Brandon Carter, étudiants de Sciama à Cambridge, grâce à la solution de Kerr. A l’origine, cette solution semblait décrire la courbure de l’espace-temps à l’extérieur d’une étoile en rotation. En un an, Carter prouva qu’elle décrivait un type de trou noir en rotation. Plus tard, il arriva à la conclusion que **la solution de Kerr décrit tous les trous noirs en rotation existant.**

Parmi les propriétés découlant de cette solution, la plus importante est l’existence d’**un tourbillon** créé par le trou noir. La rotation entraîne l’espace et le contraint à tourner à la manière d’un cyclone. Plus on se rapproche de l’horizon, plus l’espace tourne rapidement. On a ainsi pu comprendre pourquoi un trou noir est entouré d’un **disque d’accrétion** dans le plan équatorial et est orné de **deux jets de particules** suivant son axe de rotation.

De plus, cette rotation déforme l’horizon, comme la rotation de la Terre déforme sa surface (cf figure ci-dessous).

Cette rotation du trou noir engrange une **énergie de rotation** dans le tourbillon, qui peut servir de **source d’énergie**. Cette découverte a expliqué l’origine de l’énergie des quasars et leur incroyable luminosité, produite par l’effet gyroscopique des trous noirs en rotation. En extrayant toute l’énergie de rotation d’un trou noir d’une masse égale à celle du Soleil, on pourrait en tirer une énergie **48 fois supérieure à celle de tout le carburant nucléaire du Soleil**.

Si un trou noir tournait très rapidement, la force centrifuge déchirerait l’horizon. Mais la fréquence de rotation maximale Fmax d’un trou noir est physiquement impossible à dépasser. Pour un trou noir d’une masse solaire, Fmax = 16130 tours/s, ce qui correspond, pour une circonférence au niveau de la limite statique de 18,5 Km, à une vitesse linéaire de 298387 Km/s, soit **99,53% de la vitesse de la lumière !**

La solution de Kerr a été la clé qui a déverrouillé toutes les interrogations des scientifiques nées depuis le début des observations de phénomènes inexpliqués dans les années 60. Elle a également permis de développer des modèles théoriques et pratiques de trous noirs dérivant du modèle de base et notamment :

* le trou noir binaire, système formé de deux trous noirs.
* le trou noir primordial, généralement beaucoup plus léger que le Soleil et créé lors du Big bang.
* le trou noir géant, ayant une masse de plusieurs millions de masses solaires, se trouvant au centre des galaxies et des quasars.

Il est très probable qu’**un trou noir de 3 millions de masses solaires se trouve au cœur de la Voie lactée**. Ce trou géant pourrait-il avaler le système solaire ? Théoriquement, sa circonférence doit être dix fois moindre que celle de l’orbite terrestre, ce qui est minuscule à l’échelle de la Galaxie. Le système solaire est sur une orbite de 200000 années-lumière de circonférence. Si le trou avalait toute la masse de la Galaxie, sa circonférence atteindrait seulement 1 année-lumière… Mais on peut être confiant que, si la Terre dérive de son orbite et doit finalement être avalée, ce ne sera pas avant environ 1018 ans – une époque si lointaine que beaucoup d’autres catastrophes auront presque sûrement frappé la Terre entre-temps.

CHAPITRE 3: LA VIE SUR LA TERRE

3-1 Le systéme solaire

Une nébuleuse gazeuse se forma à partir des éléments lourds issus de la mort d'une super nova. Sous l'effet de la gravitation et de l'augmentation de la température, ce nuage se mit, à tourner sur lui-même et à se contracter. La matière s'aplatit et format un disque autour d'un noyau central. La température du noyau s'élevant, des réactions chimiques eurent lieu et donnèrent naissance au soleil.

Certains amas de matière s'échappèrent par force centrifuge sous forme de bombardements de météorites et de débris du système solaire furent le point de départ de la création des planètes.

Ces grains par agglomération devinrent des amas de plus en plus volumineux. Ce phénomène qui dura une centaine de millions d'années, s'appelle accrétion

 3-1-1 Naissance de la terre

Notre terre serait née il y a 4,5 milliards d'années, en même temps que le soleil et les autres planètes de notre système solaire.

Après un état partiellement fondu, la Terre se structura en couches concentriques de natures et de densités différentes.

La Terre, comme Mercure, Vénus et Mars, se trouvait dans une zone très chaude. Or, ayant des masses insuffisantes, elles ne pouvaient retenir à cette température leur atmosphère primaire constituée d'hydrogène(H) et d'hélium (He).

Le volcanisme intense, qui était lié en partie au bombardement météoritique, a permis la création de la seconde atmosphère. Celle-ci était constituée de dioxyde de carbone(CO2), d'azote (N2), de vapeur d'eau, d'hydrogène sulfuré (H2S), et de méthane (CH4)

Le refroidissement de la planète a permis la condensation de l'eau, entraînant des pluies torrentielles qui ont formé les océans primitifs. Par une réaction chimique, le dioxyde de carbone s'est retrouvé piégé dans l'eau. Une diminution de l'effet de serre a permis une diminution de la température atmosphérique.

**3-2 APPARITION DE LA VIE**

Les différentes théories de l'origine de la vie

1. L'origine terrestre des molécules organiques

Au début des années 50, le scientifique américain Miller essaya de prouver expérimentalement le bien fondé d’une hypothèse datant des années 20. L’idée était que les violentes décharges électrique générées par les éclairs auraient permis l’apparition de la vie dans l'atmosphère primitive.

En reconstituant l'atmosphère de l'époque, Miller réussi à montrer que des synthèses organiques furent possibles avec les constituants de l'époque où n’était pas présent l’oxygène.

Cependant, une question subsiste toujours, la matière organique créée fut-elle suffisante pour lancer la machine de la vie. Cette question ouvre la porte à une seconde hypothèse : les molécules de la vie ne viennent-elles pas du ciel ?

1. L'origine extra-terrestre des molécules organiques

Depuis de nombreuses années, des molécules organiques ont été découvertes dans les nuages interstellaires et dans les noyaux des comètes.

Des acides aminés d'origine extra-terrestre ont été détectés dans les météorites riches non seulement en carbone mais aussi en eau (piégée dans des minéraux).

Ce dessin tente de montrer ce que devait être l’environnement terrestre à ses débuts.

**3-3 L'EVOLUTION DE LA VIE**

3.5 milliards d'années : Procaryotes

Un procaryote est constitué d'une cellule unique et se caractérise par l'absence de noyau. Font partie des procaryotes : les bactéries et les cyanobactéries (algues bleues) qui sont de petites dimensions (2 ou 3 microns). Elles se reproduisent par scissiparité, (dédoublement à l'identique).

Ces premiers organismes monocellulaires sillonnaient l'océan. L’eau les protégeait des UV. Pendant très longtemps, ces micro-organismes vécurent en récupérant leur énergie de la fermentation des matières organiques.

Après une longue période d'essais, certains d'entre eux apprirent à utiliser un autre processus beaucoup plus efficace : LA PHOTOSYNTHESE des UV. Ainsi, les algues bleues se mirent à assimiler le dioxyde de carbone (CO2) pour fabriquer leur propre substance puis rejetèrent de l'oxygène (O2) qui les empoisonnaient. Elles contribuèrent à l'évolution de l'atmosphère qui devint identique à celui que l'on connaît aujourd'hui. De l'activité des algues bleues résultèrent des stromatolites, constructions calcaires que l'on arrive encore à voir de nos jours.

**1.5 milliards d'années : eucaryotes**

L'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère métamorphosera l'environnement. Ainsi, de nombreuses bactéries anaérobies disparurent, au profit de nouvelles structures cellulaires qui se servirent de l'oxygène pour respirer, méthode plus efficace que la fermentation. Ces nouvelles formes de vie sont appelées : eucaryotes. Elles sont constituées d'une cellule unique possédant un noyau et se reproduisant par reproduction sexuée.

Au même moment l'oxygène présent dans l'atmosphère subit l'agression des rayonnements UV et se transforme en ozone(O3). Cet ozone se rassembla dans la haute atmosphère et ainsi se forma une couche qui a la particularité de bloquer une grande partie des rayonnements nocifs du soleil.

800 millions d'années : Organismes pluricellulaires

Jusqu'à présent, seule des organismes unicellulaires étaient présents sur le sol terrestre. La présence des cellules procaryotes et eucaryotes donna naissance aux organismes nommés protistes. Ceux-ci se réunirent et peu à peu formèrent les premiers métazoïres ou organismes pluricellulaires.

Ci contre, un trilobite, crustacé fossile de l'époque primaire. Un des premiers êtres vivant multicellulaire. Il ne mesurait que quelques millimètres et vivait en eau profonde

530 millions d'années: Premiers poissons et vertébrés

On assiste à une accélération dramatique de l'évolution. Cette période est nommée explosion du Cambrien.

Dans les océans de nombreuses espèces se développèrent : vers, éponges, anémones, étoiles de mers …

Les premiers poissons et vertébrés apparurent dans les eaux marines.

Certaines espèces de l'ère primaire comme le ginkgo chez les végétaux ou le coelacanthe chez les poissons n'ont pas connu de véritable évolution jusqu'à aujourd'hui.

**350 millions d'années: Colonisation des terres**

L'évolution de la vie maritime à la vie terrestre se fit grâce à des poissons qui purent survivre dans un cocon de boue et qui se hissèrent progressivement sur la terre grâce à des nageoires charnues.

Différentes étapes ont été nécessaires à la conquête du sol terrestre :

* apparition de mâchoire
* développement des poumons qui remplacèrent les branchies
* métamorphose de la peau en une membrane qui retint l'eau à l'intérieur du corps
* création de membres et d'une colonne vertébrale rigide pour s'adapter à la gravité

La régulation thermique chez les mammifères et les volatiles leur permit une plus grande indépendance vis à vis du climat extérieur.

Les végétaux eux aussi connurent des modifications. Des canaux servirent au transport de la sève.

Une amélioration de la reproduction fut nécessaire pour remplacer le rôle de l’eau.

251 millions d'années: Première extinction

A cette époque les terres formaient un continent unique : la pangée.

Un bolide d'un diamètre supérieur à 9 km s'écrasa sur la terre et entraîna en quelques milliers d'années la disparition de 90% des espèces marines, de 70% des vertébrés terrestres et de la majorité des plantes terrestres. Il fallut plus d'un million d'années pour qu'une faune et une flore prolifèrent à nouveau.

Cette période vu la plus grande extinction d’espèces qu'ait connu notre planète. Les géologues en font la limite entre l'ère primaire et l'ère secondaire.

Cette crise permit l'apparition d'autres espèces, le plus bel exemple en fut les dinosaures. Au début ils n'étaient que des végétariens de la taille d'un poulet. Ils vivaient à l'ombre des grands lézards mais, au cours des millions d'années ils ont évolué jusqu'au Tyrannosaures Rex, carnivore féroce de grande taille (15 mètres de long).

65 millions d'années: Seconde extinction

A cet époque, les dinosaures régnèrent sur toute la planète quand un second astéroïde percuta la terre. Aujourd’hui encore l’écorce terrestre garde la trace de cette collision sous la forme d’une fine couche d’iridium que l’on peut voir dans les couches géologiques. Cet impact produisit un refroidissement climatique et une variation du niveau marin. La disparition des espèces comme celle des dinosaures et les ammonites fut due à cette catastrophe. Les mammifères, et par conséquent nous les humains, pouvons remercier cet astéroïde qui nous permis de nous développer beaucoup plus que si les dinosaures étaient toujours présents.

**3-3 EVOLUTION DES SINGES A L’HOMO SAPIENS**

Pourquoi l’homme est à part

Au niveau génétique, l’homme ne se différencie pas vraiment des autres primates. Mais, il a certaines capacités qui lui ont permis de coloniser tout le globe et d’occuper une place privilégiée dans la biosphère.

Les singes peuvent de déplacer momentanément debout. Chez l’homme, l’absence de pouce opposable prédispose le pied humain pour la station debout. Puis la structure du bassin renforce l’état permanent de cet position. Parallèlement, les membres supérieurs se spécialisent dans la manipulation d’objets. Cet exemple montre que l’homme et la plupart des primates ont les mêmes caractéristiques. Mais, chez l’homme certaines sont particulièrement développées alors qu’elles ne restent que rudimentaires chez ses cousins.

Les premiers hommes

Il y a six millions d’années, des singes descendirent des arbres et devinrent bipèdes comme en attestent la forme de leur bassin et les empreintes de pas fossilisées. C’est l’apparition de l’*Australopithèque*. Il coexista avec d’autres Hominidés qui restèrent seuls il y a 2,5 millions d’années. Ces *Homo habilis* perfectionnèrent les outils en pierre, qu’ils utilisaient pour dépecer des proies. Ils furent à leur tour supplanter par l’*Homo erectus* qui travailla des objets comme des burins, et des lances. Il maîtrisait le feu et adopta définitivement la position debout. Il commenca à coloniser le globe.

Homo Sapiens

A partir de 120 000 ans, l’*Homo sapiens* apparu. Il en existait deux types. L’*Homo sapiens neandertalensis* etL’*Homo sapiens sapiens* (l’homme moderne) cohabitèrent pendant 80 000 ans, puis le premier s’éteignit tandis que le second colonisa toutes les terres émergées.

Les premières civilisation apparurent il y a 10 000 ans. A partir de ce moment les découvertes s’accélèrent pour arriver aujourd’hui au clonage et au séquençage du génome.

**SI L’UNIVERS AVAIT 1 AN:**

# 1er Janvier 0 heure: Big Bang

**1er Avril: Formation de la Voie Lactée**

## 9 Septembre: Naissance du Système Solaire

**19 Décembre: Premiers poissons**

**20 Décembre: Premières plantes**

**21 Décembre: Premiers insectes**

**23 Décembre: Premiers reptiles**

**24 Décembre: Premiers dinosaures**

**26 Décembre: Premiers mammifères**

**27 Décembre: Premiers oiseaux**

**28 Décembre: Mort des dinosaures**

**ESPECE HUMAINE:**

**Toute son histoire se déroulerait au soir du 31 Décembre**

**22h30: Premiers hommes**

**23h59: Stonehenge**

**23h59m50s Civilisation Egyptienne**

**24 HEURES DE LA VIE DE LA TERRE**

Ramenons les milliards d’années des ères géologiques à une période de 24 heures :

**00h (minuit) Formation de la Terre**

**04h-05h Premières bactéries**

**11h Algues bleues (+photosynthèse)**

**midi Atmosphère d’oxygène (protège des UV)**

**16h Premiers eucaryotes**

**20h25 Explosion du Cambrien**

**(les premiers organismes quittent l’océan pour la terre ferme)**

**21h-21h50 Premiers Dinosaures**

**23h10 Premiers Mammifères**

**23h38 Fin des Dinosaures**

**23h45 Premiers Mammifères**

**23h59 Premiers Australopithèques**

**23h59m58s Homme de Néanderthal**

**23h59m59s Homo Sapiens**

**23h59m59s9/10 Naissance des Premières Civilisations (-50 000 ans)**

**23h59m59s99/100 Découverte de l’Amérique (1492)**

**23h59m59s999/1000 Découverte des secrets de l’Atome**

**CHAPITRE 4-1:LES PLANETES DU SYSTEME SOLAIRE**

# 4-1 LES PLANETES DU SYSTEME SOLAIRE

Au temps d’Homère (IXième siècle B.C.), Mars est d’abord sur la voûte céleste un point rougeâtre dans lequel on voit le dieu de la guerre. Il fascine par les changements périodiques de son éclat et par son vagabondage alors que les étoiles gardaient les mêmes positions relatives.

En fait, il apparaît que plusieurs autres objets Mercure, Vénus, Jupiter, Saturne cheminent aussi dans le ciel. Tout naturellement les grecs les dénommèrent πλανετεσ (errantes). On en connaît alors sept : le soleil, la lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne.

Aristarque de Samos (IIIième siècle avant notre ère) présume :

« qu’il s’agirait de mondes semblables au nôtre, les planètes étant des répliques de la Terre, TOURNANT COMME CELLE-CI AUTOUR DU SOLEIL »

- Des Grandeurs et des tailles du soleil et de la lune – Aristarque de Samos

Jusqu’au XVIième siècle, on enseigna le modèle de Ptolémée (astronome mathématicien grec – observations à Alexandre 127 – 141), système géocentrique du monde (Almageste)

Kepler et Tycho Brahe (~1600) s’aperçoivent que Mars est rapide à certains moments, lente à d’autres. Elle décrit autour du soleil une ellipse et il doit en être de même pour les autres planètes.

A partir de 1610, les lunettes commencent à être largement utilisées, mais ne voient pas grand chose sur Mars (très loin : dans les meilleurs conditions, elle est 145 fois plus distante que la Lune). En 1650, avec une lunette, Mars apparaît 6 fois plus petite que la Lune à l’œil nu. Ces lunettes sont équipées de verres de mauvaise qualité.

Francesco Fontana (créateur en 1636 de la première carte de Mars) croit voir une grosse tache sur la planète : c’est en réalité un défaut de verre. Cependant, certaines parties sont sombres. Une mer de sable (Syrtis Major) est repérée en 1659 par Huyghens. Cela donne un moyen de mettre en évidence sa rotation. On pense d’abord à une période de rotation de 12 heures, mais à Bologne, Jean Dominique Cassini, astronome du pape n’est pas de cet avis : d’après lui, la rotation de Mars (dans le sens contraire des aiguilles d’une horloge) dépasse légèrement 24 heures. Il observe Mars à minuit, et c’est 37 jours plus tard qu’à minuit Mars se retrouve sous le même aspect. La période de rotation est alors de 24h40min.

La précision de cette valeur fait sensation. Louis XIV, en quête d’un éminent astronome pour diriger l’observatoire de Paris, négocie son transfert auprès du Pape avec un prix digne du transfert des grands footballeurs (pension de 9000 livres, soit le triple de ce qui est attribué aux plus grands savants). Cassini arrive à Paris le 4 Avril 1669. Il est reçu dès le lendemain par le roi, et s’étonne de l’étendue des connaissances astronomiques de Louis XIV.

Par la suite, on s’intéresse à Mars aux époques astronomiques favorables. C’est le cas lors de la mémorable opposition du 27 août 1877 (La distance Terre-Mars passe par un minimum de 56 millions de kilomètres) au moment où l’on vient d’améliorer objectifs et oculaires. Les lentilles simples donnaient des images entachées d’*aberrations sphériques* : là où il y avait un trait, elles montraient une tâche courbée. Le défaut se doublait d’*aberrations chromatiques* car l’indice de réfraction d’un verre varie avec la longueur d’onde. Ainsi, elles étalaient la couleur comme un prisme (Ces défauts sont corrigés en accolant plusieurs lentilles faites de matériaux différents tels que le flint et le crown).

**Mars**:

Distance : 1.52 u.a (min : 56 MKm et max : 400 MKm)

Rotation : 24h37min23s Année : 687 jours

Atmosphère : 5mBars Pas d’ozone, T° : 20°C-120°C

Altitude max : 30 km

Satellites : Phobos, Deimos

**4-2 Découverte des planètes**

Depuis l’antiquité les quatre planètes telluriques et deux planètes gazeuses sont connues (Jupiter, Saturne). Saturne est très éloignées (presque 10 fois la distance Terre-Soleil, sa lumière met 86 min à arriver sur la terre).

Le 19 mars 1781 William Herschel (organiste à la cathédrale de BATH au sud de la Grande Bretagne) a fini sa journée d’organiste. La nuit s’annonce belle, il va se consacrer à sa passion : l’ASTRONOMIE (recherche d’étoiles double). Il découvre une tâche. Il augmente son agrandissement et la tâche grossit avec. Ce donc n’est pas une étoile. Une comète peut-être ?

Nevil Maskeline (astronome royal à l’observatoire de Greenwich) observe « l’astre » bizarre : pas de queue, dans le plan de l’écliptique. La découverte se répand dans les observatoires.

Bode (astronome allemand), après plusieurs mois de travail, trouve la trajectoire autour du soleil. Avec les lois de Kepler il trouve qu’elle est 2 fois plus loin du soleil que Saturne, C’EST UNE NOUVELLE PLANETE.

A la rente annuelle de George III à Herschel, Bode suggère le nom Uranus (père mythologique de Saturne) et Herschel propose Georgivm Sidus.

Avec Uranus, le 23 septembre 1781 le système solaire a vu son diamètre doubler.

**Uranus**:

Distance : 19.2 u.a

Rotation : 10h49 (rétrograde) Année : 84 ans

Température : -170°C

Satellites : Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, Miranda

MAIS … Uranus se conduit mal : elle s’écarte du chemin qu’elle devrait suivre logiquement !

En 1821, Alexis Bouvard (astronome parisien) définit des tables prévoyant la position d’Uranus. Mais en 4 ans les tables sont fausses. On l’explique par la GRAVITATION D’UN OBJET NON IDENTIFIE.

John Couch Adams (1819-1892)

A 8 ans, il a des cours privés et commence l’étude du calcul : en quelques mois, il en sait plus que son instituteur. Il poursuit son cursus dans une autre école où l’on n’enseigne pas les sciences. A 12 ans, il dévore les livres de mathématique et d’astronomie de la bibliothèque voisine.

En 1841 (22 ans) Etudiant à Cambridge, il note dans son journal, qu’après ses diplômes décrochés, il s’intéressa à Uranus.

En octobre 1843, Airy (directeur de l’observatoire de Greenwich) lui donne des informations. Mais il y a beaucoup d’inconnues : masse, distance…

Adams utilise la loi de Bode pour estimer la distance. Il donne à Airy en 1845 les positions calculées du nouvel astre. Mais il n’obtient pas de réponse d’Airy. Il envoie alors une nouvelle lettre et l’astronome royal lui répond de mieux estimer la distance (Loi de Bode imprecise)

A 26 ans, déçu de ne pas être pris au sérieux, il abandonne.

En 1844 , Urbain Le Verrier, matheux, travaille au labo Gay-Lussac (il a 33 ans) et sera nommé répétiteur d’astronomie à l’X. Il calcule la masse et la position où doit se trouver l’astre qui trouble ainsi la trajectoire d’Uranus. Il publie ses résultats : Airy a un choc, il a les mêmes résultats que Adams.

Il demande à Chalis (nonchalant astronome à Cambridge, qui ne fait pas grand chose). Le Verrier envoie ses résultats à l’académie des sciences le 31 août 1846. Il n’a aucune réaction en réponse, même pas d’Arago (directeur de l’observatoire de Paris). Il écrit à un de ses confrères astronome à Berlin le 18 septembre 1844 Johann Gottfried Galle. Le 23 septembre 1846, Galle regarde dans son télescope à la position indiquée par Le Verrier. En une heure NEPTUNE est découverte. Le lendemain l’astre a changé de position. C’est bien une nouvelle planète et elle se trouve à moins de 1° de la position de Le Verrier.

Airy est mis au courant, Challis apprend la nouvelle le lendemain dans le Times. Il reprend ses notes : il l’avait vu plusieurs fois depuis le 30 juillet 1844 (L’objet bougeait !). Airy essaye de faire admettre la priorité au travail d’Adams sur Le Verrier, mais les français sont furieux. L’affaire éclate au moment ou l’entente cordiale se porte male :

LA PRESSE FRANCAISE

« *Monsieur Adams n’a pas le droit de figurer dans l’histoire de la découverte de la planète de Le Verrier, ni par CITATION DETAILLEE, ni par la plus LEGERE ALLUSION.* »

« *GRAVE QUESTION DE GLOIRE NATIONALE* »

On lui donne le nom de Neptune. L’horizon planétaire est repoussé deux fois plus loin qu’Uranus (4,5 milliards de km).

**Neptune**:

Distance : 30.1 u.a

Rotation : 15h48 Année : 164 ans

Température : -150°C

Satellites : Triton (4000 km : le plus grand satellite du système solaire), Nereide

**Planète X**

L’orbite de Neptune donne quelques soucis.

Percival Lowel, riche homme d’affaire américain et diplomate de Boston, fait construire un observatoire dans le désert d’Arizona (observatoire de Flagstaff). A sa mort, en 1916, il laisse poursuivre les recherches.

La chasse à la planète X reprend. A l’observatoire de Flagstaff, on engage, pour chercher, un garçon de ferme du Kansas, Clyde Tombaugh(né en 1906), qui n’a suivi que des études primaires, mais qui était passionné par l’astronomie, pour passer le ciel au peigne fin : il fait des photos de petites régions du ciel, 2 fois, à une semaine d’intervalle, et il les dépouille … Le 18 février 1930, un objet d’éclat faible était découvert : PLUTON dieu des enfers

MAIS, Pluton s’écarte du plan de l’écliptique de 17° et se trouve à une distance de 30.1 Au (Bode 38.4 Au).

Pluton est-elle bien une planète ?

**Distance des planètes / Soleil**

## Loi de Bode

Suite de nombres

* Commencer par 0 puis 3 ensuite doubler à chaque fois

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 …

* Ajouter 4

4, 7, 10, 16 …

* Diviser par 10

0.4, 0.7, 1, 1.6 …

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Bode (u.a) | Distance réelle |
| Mercure | 0.4 | 0.39 |
| Venus | 0.7 | 0.72 |
| Terre | 1 | 1.0 |
| Mars | 1.6 | 1.52 |
| Ceinture d’astéroïdes | 2.8 | 2.2🡪3.3 |
| Jupiter | 5.2 | 5.2 |
| Saturne | 10 | 9.55 |
| Uranus | 19.6 | 19.2 |
| Neptune | 38.4 | 30.1 |

**CHAPITRE 4-2: EXOPLANETES**

# 4-2-1 Exobiologie

# Exobiologie : recherche de planètes non solaires

L’objectif de la recherche d’autres planètes étant pour beaucoup associé à la recherche de vie extraterrestre. Il est donc nécessaire de trouver des planètes regroupant un maximum de condition nécessaire à la vie tel que nous la connaissons sur la terre. En effet, même si l’ont considère que la vie peut se développer dans des conditions très différentes des nôtres, son apparition semble plus probable dans un milieu côtoyant de l’eau à l’état liquide, de la lumière, et une température relativement stable. Il convient de rechercher parmi les planètes ayant une masse supérieure a celle de mercure et avec une température comprise entre 260K et 400K.

* La découverte de la première exoplanète

Depuis toujours, l'homme a voulu savoir en regardant les étoiles si d'autres planètes existaient au-delà de notre système solaire. Epicure au IIIe siècle avant Jésus-Christ évoqua l'existence d'autres planètes et fut soutenu avec ferveur par Giordano Bruno au XVIe siècle. Huygens, Fontenelle, Kant, et, au XIXe siècle, Flammarion, grand vulgarisateur de l'astronomie, défendirent l'idée de pluralité des mondes. Mais Il a fallu attendre octobre 95, lors d'un colloque à Florence, la ville de Galilée, pour que Michel Mayor astronome suisse annonce la découverte de la première planète extra solaire. Et ce qui n'était qu'une supposition devient une certitude. Elle prit le nom de Peg 51B, et fut la première planète connue tournant autour d'une étoile qui n'est pas notre soleil.

Peg 51B cachée dans la constellation de Pégase, gravite autour de 51 Peg, sosie de notre soleil bien que légèrement plus vieux. En effet notre système solaire compte environ 4.6 milliards d'année alors que Peg 51 devrait en compter quelques 9 milliards. Elle gravite autour de son étoile à 7,5 millions de km en 4,23 jours, l'étoile tournant sur elle-même en 30 jours comme le Soleil. Sa température de surface est estimée à 1200 °C et sa masse est la moitié de celle de Jupiter.

Cette découverte fut lente et laborieuse. Si Galilée put voir les satellites de Jupiter grâce à sa lunette astronomique, c'est parce qu'ils ne sont pas très éloignés. Pour Michel Mayor le défi était tout autre, en effet, Peg 51B est situé à 42 années lumières (420 000 milliards de kilomètres) de notre terre. A cette distance, Il est impossible de "voir" une planète avec les télescopes actuels. Néanmoins, on peut détecter la présence des astres en mesurant leur influence gravitationnelle sur la trajectoire de l'étoile autour de laquelle elles tournent. Le problème principal de cette technique est quelle ne permet de repérer que les planètes suffisamment massives pour avoir un impact gravitationnel mesurable. La plus petite planète détectée aujourd'hui est 60 fois plus grosse que la terre.

La découverte de cette première exoplanète n'était qu'un début, en effet, entre octobre 1995 et septembre 2001, c'est 73 planètes qui ont été trouvées. Toutefois, le coup de filet le plus spectaculaire fut celui d'avril 1999 : ce n'est pas une planète, mais un vrai système planétaire qui fut trouvé autour de Upsilon Andromède, à 44 années-lumière de la Terre, par deux équipes américaines.

* Différentes méthodes de recherche

Tout d’abord, il faut savoir qu’à la différence des étoiles, on n’a pas encore pu « voir » directement des exoplanètes. En effet, le rayonnement émis par une planètes n’est constitué que de son rayonnement infrarouge (provenant de sa propre température) et du réfléchissement de la lumière de son étoile. Etant donné que la lumière réfléchie est masquée par celle émise directement par l’étoile et que la faible température des planètes par rapport aux étoiles rendent leurs rayonnements infrarouges quasi-indétectables, on est alors plus à la recherche de trace des planètes que des planètes elles-mêmes.

Il existe plusieurs techniques pour détecter la présence des exoplanètes. Chacune de ces méthodes sert à repérer des types de planètes. On les regroupe en deux catégories :

## Les méthodes directes

La détection des infrarouges « lointain » : En effet, la loi de Planck veut que plus la température d’un astre est faible, plus son rayonnement infrarouge est décalé dans le spectre. Le projet Darwin, par exemple, envisage de chercher des signes d’exoplanètes dans ces longueurs d’ondes. Cependant, la détection de tels signaux à partir de la terre est très délicate car celle-ci est elle-même un émetteur de rayon infrarouge, ce qui engendre une perturbation des signaux reçus. Afin de limiter ce bruit, on envisage d’utiliser des techniques tels que l’interférométrie optique qui consiste à synchroniser plusieurs télescopes entre eux afin d’améliorer la résolution.

### Les méthodes indirectes

Le principe des méthodes indirectes est la détection des effets que peuvent avoir des exoplanètes sur leurs étoiles.

La méthode du transit, utilise la détection de diminution périodique de la luminosité des étoiles correspondant au passage d’une planète devant l’étoile engendrant une éclipse partielle. Cette méthode comporte deux défauts. Le premier vient du fait que seul une planète massive peut générer une éclipse mesurable. En effet une planète comme la terre n’engendre sur le soleil qu’une variation de 0,01% de son rayonnement et donc serait masquer par les fluctuations solaires. Le deuxième vient du fait qu’il faut que la planète passe entre nous et l’étoile, c’est à dire qu’il faut être dans le même plan que le système.

A l’inverse, La méthode de la lentille gravitationnelle recherche des pic de luminosité d’étoile a intervalle régulier, correspondant au passage d’une planète éloignée (au moins 570 Unité Astronomique) qui provoque un effet de distorsion de la lumière de l’étoile. L’avantage de cette technique c’est qu’elle permet de repérer de petites planètes, cependant une fois de plus il faut être dans le même plan que l’orbite de la planète. Cette méthode est relativement peu utilisée car elle ne donne que très peu d’information sur la planète détectée

L’analyse spectrale, quant à elle, consiste à mesure le décalage spectral produit par la vitesse de l’étoile. En effet, s’il y a une planète qui tourne autour de l’étoile, alors elle fait bouger l’étoile par effet gravitationnel lors de sa rotation. Cela provoque donc une variation de la position de l’étoile, mais également une variation de sa vitesse. On peut alors observer une courbe sinusoïdale liée à la fois à la masse, à la position, et à la vitesse de rotation de la planète. Toutefois l’angle formé entre le plan du système étoile-planète et la terre, fait varier l’amplitude de la variation reçue (maximale si la terre est proche du plan étoile-planète) ce qui fait entrer dans les équations un paramètre inconnu. L’intérêt de cette analyse vient entre autre du fait qu’elle ne dépend pas trop de l’éloignement de l’étoile et donc permet d’augmenter considérablement le nombre de systèmes concernés par la recherche d’exoplanètes.

## CHAPITRE 4-3 : LA PLANETE MARS

La conquête de Mars

Mars est sans doute la planète la plus intéressante du système solaire. Depuis des temps immémoriaux, elle fascine les hommes. Sa surface est couverte de volcans, de cratères d'impact, mais aussi de bassins et de plaines. Elle est entaillée par des vallées, des gorges, des canyons, des fractures, des canaux sinueux. Elle possède comme la Terre des calottes polaires, dont l'étendue varie beaucoup au cours des saisons et sur lesquelles une partie de l'atmosphère se solidifie en hiver.

De formidables tempêtes se lèvent parfois, emportant la poussière martienne à des dizaines de kilomètres de hauteur, dans une atmosphère ténue et composée en majorité de gaz carbonique. La seule érosion encore en action sur Mars est celle du vent. Et puis il y a ces dizaines de preuves, qui montrent que l'eau liquide a certainement existée sur Mars.

Il y a plusieurs milliards d'années, cette planète a pu, comme la terre, accueillir la vie. Si c'est le cas, dans les sédiments d'un fleuve, dans les profondeurs du sol, dans la glace des calottes polaires, des fossiles d'une forme de vie martienne attendent d'être découvert.

Mars détient peut-être la clé qui permettra à l'homme de résoudre enfin le mystère de l'origine de la vie.

**PEUT-ETRE Y A-T-IL EU DE LA VIE SUR MARS ?**

*Observations :*

* Canaux de Mars (Erosion due à l’eau donc présence possible d’éléments vivants)
* Tectonique des plaques

Quand lancer une sonde vers Mars ?

La Terre passe entre le Soleil et Mars tous les 750 jours (2ans) mais les conditions sont chaque fois différentes à cause de la grande excentricité de l’orbite martienne. La distance Terre-Mars varie en effet de 56 millions à 403 millions de Km (distance moyenne 228 MKm)

Les oppositions fastes (proches) sont régies par un petit cycle de 15 ans, un grand cycle de 47 ans et un très grand cycle de 126 ans. La dernière de ces expositions exceptionnellement favorable a eu lieu en Août 1877.

*Note :* Mars fut ainsi observée à Juvisy par Camille Flammarion, à Milan par Giovanni Schiaparelli (qui découvrit les canaux), à Washington par Asaph Hal qui découvrit Deimos le 11 août et Phobos le 17 août.

En période d'opposition, Mars, la Terre et le Soleil sont parfaitement alignés

En 1971 (1877 + 2\*47 ans), Mariner 9 fut envoyé et prit 7329 photos de Mars.

La prochaine opposition faste importance (opposition périhélique) aura lieu :

1877 + 126 = **2003**

La mission devra partir 3 mois avant l’opposition pour arriver 4 à 5 mois après.

Mars est la première planète extérieure et elle a donc une orbite plus grande que celle de la Terre. Dans le ciel elle apparaît comme une étoile tirant sur le rouge, et elle est un peu plus lumineuse que l'étoile polaire. Tous les deux ans cependant, elle devient très brillante et il est alors très facile de la distinguer sur la voûte céleste. Cela se produit lorsque Mars est en opposition (par rapport au soleil), c'est à dire lorsque la Terre se trouve entre le Soleil et Mars (il faut noter que les planètes intérieures ne peuvent pas se trouver en opposition, car elles sont toujours entre le Soleil et la Terre).

La période d'opposition est la période pendant laquelle Mars est la plus proche de la Terre, ce qui explique la forte luminosité de la planète et son diamètre apparent élevé. Notons que la distance minimale entre la Terre et Mars ne correspond pas toujours à l'opposition. A cause de l'excentricité de Mars sur son orbite, le passage à la distance la plus faible peut avoir lieu jusqu'à 8 jours après l'opposition. Ainsi, pour l'année 2001, l'opposition a eu lieu le 13 juin, mais c'est seulement le 21 juin que la planète rouge a atteint sa plus grande proximité avec la Terre.

Pendant la période d'opposition, Mars se lève quand le Soleil se couche, et vice versa. La planète est donc visible pendant toute la durée de la nuit. Les oppositions se reproduisent en moyenne tous les 780 jours. L'orbite de Mars étant très excentrique, les oppositions n'ont cependant pas toujours lieu à la même distance du Soleil.

A l'aphélie (quand la planète est la plus loin du soleil), la distance de Mars au Soleil est de 249 millions de kilomètres, alors qu'elle n'est que de 207 millions de kilomètres au périhélie (quand la planète est la plus proche du soleil). Ainsi, l'intervalle entre deux oppositions n'est pas exactement de 780 jours, il est de 810 jours entre deux oppositions voisines du périhélie et de 764 jours pour deux oppositions voisines de l'aphélie. Au voisinage d'une opposition, Mars entame son fameux mouvement de rétrogradation, qui a donné bien du soucis aux premiers observateurs.

Les oppositions favorables à l'observation (c'est à dire périhéliques) sont rares et il faut attendre 15 à 16 ans avant qu'elles ne se reproduisent. La prochaine aura lieu en 2003, et la suivante seulement en 2018. On comprend qu'elles soient très recherchées par les observateurs. Malheureusement pour nous européens, elles ont lieu alors que l'hémisphère sud terrestre est tourné vers Mars. Vu de l'hémisphère Nord, la planète est basse sur l'horizon et les turbulences gênent l'observation.

L'opposition périhélique de 2003. C'est pendant ce type d'opposition, qui est très recherchée par les observateurs, que Mars est au plus proche de la Terre.

L'opposition aphélique de 2010. Bien qu'en période opposition, Mars est à 100 millions de kilomètres de la Terre et son diamètre apparent est divisé par 2 par rapport à une opposition périhélique

|  |
| --- |
| Une autre vie ?   |

La vie est caractérisée par la chimie du carbone avec un solvant, l'eau. Mais rien ne permet de dire si le couple carbone/eau est universel. On pourrait spéculer sur l'existence de formes de vie qui utiliserait le silicium à la place du carbone et l'ammoniac à la place de l'eau. Le silicium est situé juste en dessous du carbone dans le tableau périodique de Mendeleïev, et il possède donc des propriétés analogues à celles du carbone. Cependant, les liaisons covalentes qu'il forme sont trop solides pour pouvoir intervenir dans une chimie du vivant. L'ammoniac possède des propriétés électromagnétiques proche de l'eau, mais il est liquide à plus basse température (-78°C à -33°C), ce qui implique que les réactions qui se déroulent dans ce solvant sont très lentes, à cause des basses températures. De plus l'ammoniac est détruit rapidement en azote moléculaire par le rayonnement UV. L'eau est aussi détruite par le rayonnement ultraviolet, mais donne alors de l'oxygène puis de l'ozone qui absorbe le rayonnement UV moyen, contrairement à l'azote moléculaire (produit de la destruction de l'ammoniac) qui ne l'absorbe pas. Dans tout les cas, nous ne pouvons que spéculer sur la biochimie de ses êtres ainsi que sur les formes qu'ils prendraient sur d’hypothétiques planètes (où la gravité, la température, la densité de l'atmosphère seraient différentes de la Terre).

Quelques comparaisons….

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Caractéristiques** | **Mars** | **Terre** |
| Diamètre équatorial | 6794 km (0,53 fois celui de la Terre) | 12 756 km |
| Diamètre polaire | 6760 km | 12 713 km |
| Aplatissement | 0,0052 | 0,0034 |
| Distance à l'aphélie | 249,23 millions de km | 152,10 millions de km |
| Distance au périhélie | 206,65 millions de km | 147,10 millions de km |
| Distance moyenne au Soleil | 227,94 millions de km | 149,60 millions de km |
| Distance minimale à la Terre | 56 millions de km | sans valeur |
| Distance maximale à la Terre | 400 millions de km | sans valeur |
| Masse | 6,419.1023 kg (0,107 fois celle de la Terre) | 59,74.1023 kg |
| Vitesse orbitale moyenne | 24,14 km/s | 27,8 km/s |
| Période de rotation | 24h 37 min 22,6 s | 23h 56 min 4 s |
| Période de révolution | 686,98 jours | 365 jours |
| Vitesse orbitale moyenne | 24,13 km/s | 29,79 km/s |
| Inclinaison de l'équateur sur l'orbite | 25° 12' (soit 25,19°) | 23° 27 ' (soit 23,45°) |
| Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique | 1° 51'' (soit 1,8504°) | 0° |
| Excentricité | 0,0934 | 0,0167 |
| Densité | 3,94 gr/cm3 | 5,515 gr/cm3 |
| Albédo | 0,154 | 0,39 |
| Accélération de la pesanteur à l'équateur | 3,719 m/s2 (0,38 fois celle de la Terre) | 9,798 m/s2 |
| Vitesse de libération à l'équateur | 5,02 km/s | 11,18 km/s |
| Composition de l'atmosphère | CO2 (95,3 %), azote (2,7%), Argon (1,6%), oxygène (0,13 %), vapeur d'eau (0,03 %). | Azote (78%), oxygène (21 %), argon (0,9 %), autres (0,1 %) |
| Température moyenne | - 53 °C (min –140 max +27°C)e | + 22 ° C |
| Satellites | Phobos (27 km x 21,6 x 18,8)Deimos (15 km x 12,2 x 11) | Lune (3476 km de diamètre) |

La superficie de la planète Mars (144 millions de km2 environ) est similaire à celle des terres émergées de notre planète

La structure interne de Mars.

La planète rouge devrait posséder, comme la Terre, un noyau (1300 à 2000 km de rayon), un manteau (1100 à 1800 km) et une croûte (40 à 50 km). La croûte martienne est trois fois plus épaisse que la croûte terrestre et empêcherait toute activité tectonique.

Le manteau martien est principalement constitué d'olivine (silicates de fer et de magnésium) et d'oxyde de fer. En fonction de la profondeur, la température et la pression modifient les minéraux, qui changent alors de phase. Le manteau de la planète Mars présente donc une structure en couches.

Voici les deux satellites de Mars :

Phobos (27 km x 22,2 x 18,8 km). Stickney, le plus gros cratère d'impact de Phobos est particulièrement bien visible.

Deimos (15 x 12,2 x 11 km).

Le planisphère martien :

Mosaïque de la surface martienne, de 55° N à 55° S de latitude et de 180° W à 0° W de longitude (de la droite vers la gauche). Chaque carré représente 10° en latitude et en longitude. V1 : Site d'atterrissage de Viking 1 (22,27° N et 47,97° W). P : Site d'atterrissage de Pathfinder (19,01° N et 33,52° W). M3 : Site d'atterrissage du module de descente soviétique Mars 3 (45° S et 158° W). M6 : Site d'atterrissage du module de descente soviétique Mars 6 (23,9° S et 19,5° W).

Mosaïque de la surface martienne, de 55° N à 55° S de latitude et de 360° W à 180° W de longitude (de la droite vers la gauche). Chaque carré représente 10° en latitude et en longitude. V2 : Site d'atterrissage de Viking 2 (47,67° N et 225,5° W). M2 : Site d'atterrissage du module de descente soviétique Mars 2 (44,2° S et 313,2° W).

**La vie a t’elle été apportée par une (des) météorites martiennes ?**

ALH84001

* «  Il est possible que notre cellule primitive vienne de MARS »

Curt Mileikowsky

Senior scientist Royal Institute of Technology Stockholm(suede)

* il est facile pour une météorite martienne d’atteindre la Terre
* 500 millions de roches martiennes, de taille suffisante pour contenir des bactéries, ont atterries sur la Terre. (Jay Melosh-Lunar & planetary observatory-Tucson Texas)
* Plusieurs milliers d’entre elles ont été collectées en antarctique, ces 10 dernières années.

**Un homme sur Mars ?**

Les dernières images de la Sonde Global Surveyor relancent une fois de plus l’intérêt pour l’exploration martienne.

Aucun vol habité n’est encore programmé par la NASA pour Mars. Cependant des équipes du Centre Ames de la NASA préparent sérieusement le voyage, en s’entraînant sur l’île de Devoh (Antarctique Canadien). La date d’un hypothétique départ semble s’éloigner à mesure que le programme d’expéditions par des ROBOTS prend du retard.

2001 MARS ODYSSEY

1. Robot Européen : BEAGLE 2

↓ 7 vols

2009

1. Mission franco-américaine : SAMPLE RETURN (rapporter sur terre les roches martiennes collectées par des robots) initialement prévue pour 2005 !

2020+… ? UN HOMME SUR MARS !

 What about the journey ?

 See “new rockets”

**COMMENT ALLER VOIR SI IL Y A DE LA VIE DANS L’ESPACE?**

\*PRESENT -moteur chimique

 -moteur ionique

\*FUTUR PROCHE -moteur a plasma

 -moteur électrique

 -voile solaire

\*FUTUR LOINTAIN -vaisseau a propulsion magnétique

# VOYAGE TERRE-MARS/COLLECTE D’ECHANTILLIONS/MARS-TERRE

* + 9 mois aller
	+ attendre 9 mois vol économique
	+ 9 mois retour

Pour viser Mars v=11.5 Km/s + atterrissage sans dépense d ‘énergie

Pour viser la lune v=10.9 Km/s + rétrofusée 10.9 km/s=> 2,6km (pas d’atmosphère)

Au retour de Mars : Vitesse double pour s’arracher à Mars.

Mais : nombre de tonnes de carburant rendues nécessaires pour la durée du vol + consommable (2kg/jour/personne Eau/O2/vivres) sonde : 6 à 8 personnes ?

27 mois => 1000\* 5\* 2= 10 000 kgs => 10 tonnes + équipement +

 jour personnes kgs

Carburant/Comburant = 43 tonnes

 Propergols

 + 7 tonnes pour mini-navettes automatiques

 + 70 tonnes pour module d’habitation

 = 120 tonnes pour la partie fonctionnelle du véhicule + compartiment moteur

* Mettre des milliers de tonnes en orbite autour de la terre
* Moteur chimique, mais après abandon de Saturne V (du programme APPOLO) et ENERGYA maximum 30 tonnes
* Où ? Usine robotisée sur Mars avec une unité de traitement de ses roches, CH4 et O2
* 500 tonnes en orbite terrestre suffiraient

# ENERGIE ATOMIQUE

Ejecter de l’hydrogène à 2000°C (cette température proviendrait d’un réacteur nucléaire compact) qui sortirait d’une tuyère à 8km/s (moteur chimique : 4,8 km/s)

Cela autoriserait 5 fois + de charge utile que le moteur chimique (moteur NERVA de la NASA, poussée de 33,7 tonnes pendant 30 minutes le 24 février 1967) le projet est abandonné par Nixon en 1972

=> Autres types de moteur

**CHAPITRE 4-4 : MISSIONS SPATIALES**

**4-4-1 – Hubble Space Telescope**

NASA's Hubble Space Telescope is the first major infrared-optical-ultraviolet telescope to be placed into orbit around the Earth. Located high above Earth's obscuring atmosphere, the telescope has provided the clearest views of the universe yet obtained in optical astronomy.

The telescope is named after the American astronomer Edwin P. Hubble, who in the 1920's found galaxies beyond our Milky Way and discovered that the universe is uniformly expanding. The heart of the telescope is the 94.5 inch-diameter (2.4-meter) primary mirror. It is the smoothest optical mirror ever polished, with a surface tolerance of one-millionth of an inch. It is made of fused silica glass and weighs about 1,800 pounds.

Outside the blurring effects of Earth's turbulent atmosphere, the telescope can resolve astronomical objects with an angular size of 0.05 arc seconds, which is like seeing a pair of fireflies in Tokyo from your home in Maryland. This razor-sharp vision is 10 to 20 times better than typical resolution with large ground-based telescopes (depending on atmospheric observing conditions).

The space telescope can detect objects as faint as 31st magnitude, which is slightly better than the sensitivity of much larger earth-based telescopes. (The human eye can see celestial objects as dim as sixth magnitude.) Because generally the fainter an object is the farther away it is, Hubble has been used to probe the limits of the visible universe and uncover never-before-seen objects near the horizon of the cosmos. Because it is outside our atmosphere, the telescope can view astronomical objects across a broad swath of the electromagnetic spectrum, from ultraviolet light, to visible, to near-infrared wavelengths. The telescope can also see faint objects near bright objects. This is an important requirement for studying the environments around stars and the glowing nuclei of active galaxies.

Hubble's crystal-clear vision has triggered a revolution in optical astronomy. It has revealed a whole new level of detail and complexity in a variety of celestial phenomena, from nearby stars to galaxies near the limits of the observable universe. This has provided key new insights into the structure and evolution of our universe across a broad scale.

**HISTORY**

The Hubble Space Telescope was launched April 24, 1990 by the space shuttle Discovery. Hubble was originally equipped with five science instruments: the Wide-Field Planetary Camera, the Faint Object Camera, the Faint Object Spectrograph, the Goddard High-Resolution Spectrograph, and the High Speed Photometer. In addition, three fine guidance sensors were used for pointing and for precision astrometry, the measure of angles on the sky.

After Hubble was launched, scientists discovered that its primary mirror was misshapen due to a fabrication error. This resulted in spherical aberration: the blurring of starlight because the telescope could not bring all the light to a single focal point. Using image-processing techniques scientists were able to do significant research with Hubble until an optical repair could be developed.

In December 1993 the first Hubble servicing mission carried replacement instruments and supplemental optics aboard the space shuttle Endeavor to restore the telescope to full optical performance. A corrective optical device, called the Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement, was installed (requiring removal of the High Speed Photometer) so that it could improve the sharpness of the first generation instruments. The Wide-Field and Planetary Camera was replaced with a second camera, which has a built-in correction for the aberration in the primary mirror.

In February 1997 the space shuttle Discovery returned to Hubble for a second servicing mission. Two advanced instruments: the Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer and the Space Telescope Imaging Spectrograph were swapped out with the two first-generation spectrographs. The astronauts also replaced or enhanced several electronic subsystems and patched unexpected tears in the telescope's shiny, aluminized thermal insulation blankets, which give the telescope its distinctive foil-wrapped appearance.

In December 1999 the space shuttle Discovery rendezvoused with Hubble for a third servicing mission. Astronauts replaced faulty gyroscopes, which had suspended science observations for nearly a month. The telescope also got a new high-tech computer and a data recorder. The astronauts left the telescope in "better than new" condition.

Two more Hubble servicing missions are planned for 2001 and 2003. The Advanced Camera for Surveys will be installed in 2001. It will yield even sharper pictures and a wider field of view. The Wide Field Camera 3 and the Cosmic Origins Spectrograph will be installed in 2003. The telescope's science operations are expected to end in 2010.

**HUBBLE OPERATIONS**

Hubble is controlled at the Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Md. The science mission is directed by the Space Telescope Science Institute at the Johns Hopkins University in Baltimore, Md. Hubble research and funding engages a significant fraction of the worldwide professional astronomical community.

Astronomers compete annually for observing time on Hubble. The over-subscription is typically four to one. Observing proposals are submitted to peer review committees of astronomer experts. The institute director makes the final acceptance and can use his own discretionary time for special programs.

Accepted proposals must be meticulously planned and scheduled by institute experts to maximize the telescope's efficiency. The telescope is not pointed by direct remote control, but instead automatically carries out a series of preprogrammed commands over the course of a day. A data "pipeline" assembled and maintained by the institute ensures that all observations are stored on optical disk for archival research. The data are sent to research astronomers for analysis and then made available to astronomers worldwide one year after the observation.

(Source : http//hubble.stsci.edu)

**4-4-2 – Le Projet COROT**

Le projet **COROT** est une expérience spatiale de photométrie stellaire de très haute précision, centrée autour de deux objectifs scientifiques:

* la sismologie stellaire c’est à dire la détection et la mesure des oscillations des étoiles
* la recherche de planètes autour d’autres étoiles que le Soleil.

Dans les deux cas, il s’agira de détecter des phénomènes ou des objets jamais observés à ce jour et le lancement de COROT constituera donc un grande première mondiale

L'instrument COROT, un télescope afocal équipé de quatre détecteurs CCD, sera placé sur la plate-forme PROTEUS et lancé en 2004 pour une mission de 2 ans 1/2.

**QUELQUES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE COROT**

Satellite pointé 3 axes inertiels

Masse au lancement: 400 kg

Propulsion: 120 m/s pour mise et maintien à poste

Orbite: circulaire, polaire, 900 Km d’altitude

Lancement dédié

L'instrument est un photomètre à comptage de photons travaillant dans le domaine visible, visant à une très grande précision.

Télescope à 2 miroirs hors d’axe, et un objectif dioptrique ouvert à f:4

Focale de 1,20 mètres

champ de vue carré de 3x3 Deg

Plan focal: 4 CCD 2000\*2000 refroidis passivement à -40 degrés

Durée de mission: 2,5 ans

5 champs observés pendant 150 jours

une dizaine de champs annexes pour le programme exploratoire

Débit de télémesures: 550 Mbits/jour minimum

1 antenne (bande S) dédiée

**LA SISMOLOGIE STELLAIRE OU L'ETUDE DES OSCILLATIONS DES ETOILES**

La découverte de pulsations périodiques dans le Soleil, il y a une vingtaine d'années, a confirmé les prédictions faites par les théoriciens de la structure interne des étoiles.

En effet, les étoiles et le Soleil en particulier, sont des sphères de gaz ionisé, en équilibre sous l'action de leur propre poids. Elles sont capables d'osciller dans différents modes, dits modes "propres" spécifiques de leur structure sphérique, tel un instrument de musique ou l'ensemble du globe terrestre.

Ces oscillations, nous renseignent sur l'état physique interne de l'objet oscillant, dès lors qu'on connaît leur fréquence, leur amplitude et éventuellement leur durée de vie.

Nous savons bien qu'une assiette fêlée ne sonne pas comme une assiette intacte, et que la note produite par une corde de violon dépend de sa longueur, de sa tension et de son diamètre.

Les pulsations observées dans le Soleil sont de très petite amplitude: ainsi la quantité d'énergie émise par seconde sous forme de rayonnement, varie avec des périodes de quelques minutes et des amplitudes de quelques millionièmes.

Si le Soleil , qui est une étoile bien ordinaire, est le siège d'oscillations, il doit en être de même des autres étoiles. Leur observation sera beaucoup plus difficile car les étoiles sont loin, peu lumineuses et nous ne pouvons en déceler les détails de leur surface.

En réalisant un instrument capable de les observer dans différentes étoiles d'âge, de masse, de composition chimique différentes, nous pourrons étudier des phénomènes nouveaux qui ne se produisent pas dans le Soleil, étoiles vieilles qui ne tournent presque pas, et approfondir ainsi nos connaissances sur l'évolution des étoiles et par conséquence sur l'ensemble de l'Univers.

C'est l'objectif ambitieux que se propose COROT, dont le programme central est basé sur l'étude des phénomènes de transport et de mélange, tels que la COnvection et la ROTation, d'où il tire son nom....peintre des intérieurs stellaires.

**LA RECHERCHE DE PLANETES EXTRASOLAIRES**

 La longue durée d'observation et la grande précision de la mesure photométrique imposées par le programme principal de sismologie, ont permis d'ajouter un deuxième objectif à COROT: la recherche de planètes gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil.

Il s'agira dans ce programme de détecter l'affaiblissement de la lumière en provenance de l'étoile parente lorsqu'une planète passe devant le disque stellaire.

Ainsi, l'assombrissement de la luminosité solaire produit par le passage de la Terre devant le disque solaire est d'un dix millième.

De plus, pour observer un tel phénomène, il faut que l'observateur se trouve dans une direction privilégiée, située dans l'alignement de l'étoile et de la planète. La probabilité de se trouver dans la bonne direction est faible, et pour avoir des chances d'observer de tels phénomènes, il faut observer un grand nombre d'objets. C'est pourquoi le champ (surface angulaire du ciel imagé par le télescope sur le détecteur) doit être suffisamment grand.

Le dispositif expérimental proposé devrait ainsi permettre de détecter entre 50 et 100 systèmes planétaires, si leur fréquence est de quelques %.

**SCENARIO DE MISSION**

1. **Orbite** : Inertielle (polaire) à 850 km d'altitude.
2. **COROT observe perpendiculairement à l'orbite** : pas d'occultation par la Terre.
3. **Au début d'une observation** de longue durée (150 jours), **le soleil est voisin du plan de l'orbite**.
4. **Rotation du satellite de 180°** à chaque **changement de cible**, donc le soleil reste à plus de 90° du champ observé.
5. Les **panneaux solaires sont orientés tous les 10 jours**.

**4-4-3 Mission Rosetta**

The International Rosetta Mission was approved in November 1993 by ESA's Science Programme Committee as the Planetary Cornerstone Mission in ESA's long-term space science programme. The mission goal is a rendezvous with comet 46 P/Wirtanen. On its eight-year journey to the comet, the spacecraft will pass close to two asteroids, (Otawara and Siwa are now the planned targets)

Rosetta will study the nucleus of comet Wirtanen and its environment in great detail for a period of nearly two years, the near-nucleus phase starting at a heliocentric distance of about 3.25 AU, with far-observation activities leading ultimately to close observation (from about one km distance).

[Rosetta operations](http://spdxdev.estec.esa.nl:/content/doc/e4/2276_.htm) will be carried out from ESA's Operations Centre (ESOC) in Darmstadt. Orbit determination for all mission phases will also be performed by ESOC.

Rosetta will be launched in January 2003 by an Ariane-5 from Kourou, French Guiana. To gain enough orbital energy to reach its target, one Mars and two Earth gravity assists will be required. The long mission duration required the introduction of extended hibernation periods. The mission falls into several distinct phases :

|  |  |
| --- | --- |
| Major event | Nominal date  |
| Launch | 12 January 2003 |
| Mars gravity assist | 26 August 2005 |
| First Earth gravity assist | 21 November 2005 |
| Otawara flyby | 11 July 2006 |
| Second Earth gravity assist | 28 November 2007 |
| Siwa flyby | 24 July 2008 |
| Rendezvous manoeuvre | 29 November 2011 |

(Source . http//sci.esa.int/home/rosetta/index.cfm)

Le moteur ionique, parce qu’il permet d’atteindre de grandes vitesses au bout de quelques mois, est tout indiqué pour les missions très lointaines. La sonde européenne Rosetta, à propulsion chimique, mettra neuf ans à atteindre la comète Wirtanen, en 2011. La NASA, pour sa part, songe à une sonde ionique pour l’atteindre en deux ans et demi à peine. Mieux encore, la sonde aurait encore assez d’énergie à son arrivée pour prendre des échantillons et revenir vers la Terre. Le voyage aller-retour pourrait donc être fini avant même que Rosetta n’atteigne sa cible.

**CHAPITRE 4-5: VISITES ?**

**4-5-1 RECHERCHES DE MANIFESTATIONS DE CIVILISATIONS EXTERIEURES**

**1 RECHERCHES AU SOL**

Aujourd'hui, bon nombre de personnes, dans le monde de l'ufologie, pensent que des extraterrestres ont dû visiter notre planète, il y a des millénaires de cela. D'autres, non convaincus de l'existence de ces "aliens", se basent sur des découvertes archéologiques ou des éléments historiques pour évoquer une civilisation terrestre hautement avancée.

Toutes ces hypothèses ont surgi à la suite d'éléments supposés "anachroniques" mis à jour par des archéologues ou des chercheurs privés, partis en quête de notre propre histoire.

Parmi ces mystères, voici ceux qui ont suscité le plus de polémiques :

* **Géoglyphe : le géant d’Atacama**

Ce géoglyphe est actuellement la plus grande représentation humaine de l’histoire Andine puisqu’il mesure plus de 100 mètres de long.

Il s’agit de pierres qui ont été déplacées, ce qui à priori interdit une estimation de la période à laquelle ces déplacements ont été opérés. Ni la raison de ces représentations, ni le fait qu’elles ne sont visibles que depuis depuis le ciel ( à quelques centaines de mètres de hauteur) ne sont sont expliquées !

* **Les hiéroglyphes du temple d’Abydos**

Détails de la fresque agrandis et retravaillés

On y voit des formes qui font songer à des engins que les Egyptiens ne pouvaient manifestement pas connaître, en fonction de ce que l'on sait d'eux, de ce que nous pouvons trouver dans leur sol et de ce que l'on peut imaginer.
Pourtant, ces formes sont trop caractéristiques pour ne pas interpeller. A l'examen, il s'agit chaque fois de plusieurs hiéroglyphes assemblés, sans qu'en soient respectés ni l'interprétation, ni la taille. Il y a disproportion. Et surtout ... Un résultat final de forme fort étonnante. Qui ne songerait à des chars, capsules spatiales, sous-marins et hélicoptère ?

* **Les hiéroglyphes de la Hunter Valley en Australie**

Ces hiéroglyphes ont été découverts dans la Hunter Valley, au nord de Sydney et présente des détails dérangeants : tout d’abord la présence d’une représentation d’Anubis, dieu égyptien et d’autres signes ‘égyptiens’ ainsi qu’un dessin dans lequel certains croient y voir un OVNI. !

* **Civilisation Olmèque : Mont Alban**

De nombreux signes sont attribués à la fabuleuse civilisation Olmèque : certains pensent distinguer sur les parois du Mont Alban, un avion ou un hélicoptère, témoignage supposé de cette civilisation !.

* **L’astronaute de Kiev**

La figurine représente un personnage qui semble en combinaison spatiale.

* **Tombe Pré-colombiennes**

Cet objet provient d’une tombe précolombienne vieille de 1800 ans. On ne peux que remarquer a quel point cet objet ressemble à un avion : les ailes, le gouvernail et même un train d’atterrissage….

* **Statues japonaises**

Ces deux petites statues japonaises datées de la pré-histoire semblent porter des combinaisons de cosmonautes ainsi que des casques. On peux aussi noter la présence de ce qui semble être des lunettes de protection.

* **Les lignes de Nazca**

D'étranges lignes s'étirent sur des kilomètres de désert. D'incompréhensibles figures géométriques, que l'on dirait tracées par des mains de géant, d'immenses oiseaux stylisés et des animaux démesurés qui s'ébattent à perte de vue dessinent, sur pampas de Nazca, au sud du Pérou, l'une des énigmes archéologiques les plus difficiles à résoudre. Enigme d'autant plus intrigante que, pour voir ces dessins en entier, il faut être à environ 500 mètres au-dessus du sol.

* **‘La Madonne de San Giovannino’**

Toile de Filippo de Lippi (1406-1469) intitulée: "La vierge et Saint-Jean enfant" conservé au Palazzo Vecchio.
Au-dessus de l'épaule gauche de la vierge, on voit un homme accompagné d'un chien qui observe attentivement un étrange objet noir duquel semble partir, dans toutes les directions, des rayons lumineux. Cet objet n’est d’ailleurs associé à aucune iconographie sacrée !

A la vue de tous ces éléments, on ne peut que se demander si ce sont de vraies manifestations extra-terrestres ou des civilisations disparues. De nombreuses théories existent pour chacune de ces manifestations, mais une seule chose est sûre, chacun de ces éléments suscite dans son domaine de grands débats. Néanmoins, il faut les considérer, à mon sens , comme des énigmes que nos connaissances scientifiques actuelles ne savent pas résoudre, mais qui ont une explication rationnelle (que nous apparaîtra probablement un jour) sans faire intervenir des civilisations pensantes extérieures.

ANNEXES

Voici une petite explication du mystère des hiéroglyphes du temple d’Abydos, en particulier le dessin d’hélicoptère.

**CHAPITRE 4-6 : UFOs ?**

**UFOs :**

 Voici quelques images surprenantes prises de par le monde et qui ne sont pas des montages :

(ces photos ont subi, avec succès les analyses minutieuses de la NASA tendant à démontrer qu’elles n’on pas été retouchées)

**40 ANS DE TRAQUE AUX E.T**

**1959** : Giuseppi Cocconi et Philipp Morisson, deux physiciens de Cornell publient dans la revue NATURE l’article qui lance la recherche des *Signaux Extraterrestre*. Ils suggèrent la possibilité d’utiliser des micro-ondes radio pour communiquer avec d’autres étoiles. Les auteurs proposent « d’écouter pour voir » (to hear to see !).

**1960** : Frank Drake, un jeune radioastronome américain pointe pendant 2mois le radiotélescope de Green Bank (Virginie) dans la direction de deux étoiles proches (TAU CETI et EPSILON ERIDANI)

 Il s’agissait d’un récepteur géant de 25m de diamètre, calé sur une longueur d’onde λ=21cm (raie spectrale de l’hydrogène neutre, élément le plus abondant dans l’univers : il ne capte aucun signal Extraterrestre, mais éveille l’intérêt de la communauté astronomique.

**1961** : Drake organise la première réunion SETI (Search For Extraterestrial Life) à Greenbank : il présente sa célèbre équation Nc=N\*.fp.ne.fl.fi.fc.fl qui permet d’estimer le nombre de civilisation observables dans notre galaxie (voir plus loin).

Années 1960 et plus : Après l’impulsion de Drake, les chercheurs soviétiques se lancent à leur tour dans cette recherche en écoutant simultanément de grandes régions du ciel.

**1967** : découverte des pulsars

**1971** :première conférence internationale SETI en Arménie

**1979** : Grand projet américain d’écoute radio :

 SERENDIP (UCB), programme qui se poursuit toujours.

**1992** : La NASA finance un énorme projet d’écoute qui doit scruter la totalité du ciel à la recherche de signaux faibles.

**1993** : Le congrès américain coupe les financements SETI de la NASA ce qui implique des financements privés.

**1999** : Début du programme SETI@home pour le traitement des données d’ARECIBO, grâce à la collaboration bénévole de 3 millions d’internautes.

**1999** : Les universités de Berkeley et Harvard lancent des programmes de recherche de signaux lumineux d’origine extraterrestre.

Aujourd’hui : aucun signal extraterrestre n’a été reçu, mais **l’absence d’évidence n’est pas une évidence d’absence**

**EQUATION DE DRAKE** (ou la paramétrisation de l’ignorance) :

L’équation de Drake permet de calculer *le nombre possible de civilisations communicantes* dans la galaxie (Nc). Pour obtenir Nc, il faut un certain nombre de paramètres :

## Nc=N\*. fp. ne. fl. fi. fc. fL

N\*, le nombre d’étoile dans notre galaxie (donc dans la voie lactée soit environ 200.109 ),

 Fp, la fraction d’étoile ayant des planètes autour d’elles,

 ne, le nombre de ces planètes à bonne distance des l’étoile,

 Fl, la fraction de ces planètes ou évolue la vie,

 Fi, la fraction de Fl ou cette vie est intelligente,

 Fc, la fraction de ces vie intelligentes qui est capable de communiquer,

 FL, la durée de vie d’une telle civilisation.

Malheureusement mis à part N\* nous ignorons l’ensemble des paramètres de cette équation. Cependant en choisissant des valeurs plausibles, il est très intéressant de voir la façon dont N\* varie :

Avec Fp = 50%, ne = 1, Fl =50%, Fi =20%, Fc =20%, FL =10000ans on obtient **Nc = 2000**, en effet avec ces valeurs optimistes, nous avons de grandes chances d’entrer en contact avec une vie extraterrestre !

 Cependant, rien qu’en abaissant Fl de 50% à 1/100 000, **Nc chute à 0.34**, ce qui est tout de suite moins grisant.

**CHAPITRE 4-7 : SETI**

**SETI (SEARCH FOR EXTRATERRESTRIAL INTELLIGENCE)**

Le dessein des plus grands astronomes est la recherche fondamentale sur la nature de l’univers dans lequel nous vivons. Cette recherche tend à donner des réponses aux plus grandes questions que nous nous posons telles que : comment l’univers est-il né, quelle taille a-t-il, quel âge a-t-il, comment mourra-t-il ?

En tant que révélateur de notre environnement, notre univers, et la planète sur laquelle nous vivons, l’astronomie a une part vitale dans la culture de l’humanité.

#### 4-7-1- Le SETI et ses Radiotélescopes

**A- Pourquoi des radiotélescopes**

La lumière est constituée d’ondes électromagnétiques. Les différentes couleurs de la lumière correspondent à des ondes électromagnétiques de différentes longueurs d’onde.

La lumière visible couvre seulement une petite partie du spectre de longueur d’onde dans lequel les ondes électromagnétiques peuvent être produites. Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques de longueur d’onde bien plus grande que celle de la lumière.

Pendant des siècles, les astronomes observaient le ciel en étudiant la lumière venant des astres, dans un premier temps en regardant simplement ces objets, et plus tard en prenant des photos de ces derniers. Beaucoup d’objets astraux émettent des ondes radio, mais ce fait ne fut pas découvert avant 1932. Depuis, les astronomes ont développé des systèmes sophistiqués leur permettant de prendre des photos de ces ondes radio émises, par les objets astraux.

Un certain nombre d’objets célestes émettent plus fortement des ondes radio que des ondes lumineuses, d’où les nombreuses surprises occasionnées par la radio-astronomie sur la dernière moitié de siècle. En étudiant le ciel avec des télescopes à la fois optique et radio, les astronomes obtiennent une compréhension bien plus complète des processus en cours dans l’univers.

**B- Qu’entendent les radiotélescopes ?**

Rien ! Les astronomes n’écoutent pas les « bruits » de l’univers !

Premièrement les sons et les ondes radio sont deux phénomènes différents. Les sons sont créés par des variations de pression dans des éléments comme l’air ou l’eau. Les sons ne traversent pas le vide. Les ondes radio, comme la lumière visible, les infra-rouge, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma, sont des ondes électromagnétiques qui elles traversent le vide.

En allumant la radio, nous entendons des sons grâce à l’émetteur du poste radio, qui change les caractéristiques des ondes radio, pour leur faire transporter des informations sur les voix et la musique. Le poste de radio reçoit des ondes radio, décode les informations contenue dedans et transforme celles-ci en sons audibles.

La conversion des ondes radio reçues par un radiotélescope en sons audibles n’apporterait rien. Cela équivaudrait à entendre un « son blanc », équivalent aux sons produits par le poste radio entre deux stations émettrices.

#####  4-7-2 VLA & VLBA

**A- « Very large Array »**

Le VLA est un des plus importants instruments disponibles pour les astronomes internationaux. Le VLA, fut conçu dans les années soixante, et construit dans les années soixante-dix, dans le but de produire un radiotélescope polyvalent et sensible, avec une résolution angulaire comparable au télescopes optique les meilleurs.

Le VLA est donc un instrument interférométrique conçu pour obtenir le pouvoir de résolution d’une très grande antenne, par l’utilisation de nombreuses antennes plus petites. Dans le cas du VLA, les informations provenant de toutes les antennes sont combinées mathématiquement pour produire un pouvoir de résolution égal à une antenne unique de 36 km de diamètre.

Le VLA est positionné dans un schéma en Y, avec 9 antennes sur chaque bras, pour un total de 27 antennes. La séparation entre deux antennes va de 1 km à 36 km. Les antennes sont des paraboles entièrement pilotables de 25 mètres de diamètre, pesant approximativement 230 tonnes. Un système de communication utilisant un guide-onde à micro-ondes enterré, transfert les informations des moniteurs en provenance et vers les antennes, et les données astronomiques des antennes au bâtiment central de contrôle.

Le long des trois bras du VLA, sont disposées 72 stations sur lesquelles les antennes mobiles peuvent être montées. Un systèmes de rails permet à des véhicules de transporter une antennes vers n’importe quelle station. La matrice d ‘ensemble de ces 27 antennes est approximativement reconfiguré tous les 4 mois. Il existe 4 configurations standard pour le VLA, chacune d’elle offrant un certain rayon d’action. Réaliser un cycle complet de configuration prend 16 mois. Le changement d’une configuration à une autre prend en moyenne deux semaines.

Actuellement, le VLA est capable d’observer à des longueurs d’onde allant de 90cm à 7mm, en sept segments séparés. La résolution obtenue dépend de la longueur d’onde observée et de la configuration de la matrice d’antennes. La meilleure résolution varie de 200 à 1,5 arcseconde, dans la plus petite configuration, et de 6 à 0,005 arcseconde dans la configuration la plus large.

Le VLA a été conçu pour produire des images de corps célestes. Pour une observation, il faut compter entre une demi-journée et plusieurs jours. De la même façon que les films photographiques qui enregistrent les différentes intensités de la lumière provenant des différents points d’une scène, le système des radiotélescopes enregistre les émissions radio provenant de la zone du ciel observée. Après quoi, le traitement informatique de ces données, permet aux astronomes de reconstruire une image.

**B- Images fournies par le VLA**

## Images de Radio Galaxies et Quasars

## VLA Image of the Galaxy M81

**C- Un mot du VLBA**

L’ensemble des 27 antennes travaille donc ensemble comme un instrument unique, et les signaux de toutes ces antennes sont rassemblés en temps réel. Pour obtenir une résolution supérieure, et pouvoir « voir » les détails plus précisément, les astronomes pensèrent à éloigner les antennes de plus en plus les unes des autres, ce qui ne permit plus de rassembler les signaux en temps réel. Pour compenser des enregistreurs ainsi que des horloges atomiques ont été installé sur toutes les antennes, et les signaux sont combinés une fois que l’observation est complète. Cette technique est appelée « Very Long Baseline Interferometry » (VLBI). Lorsque les astronomes voulurent construire un système de radiotélescope de la taille d’un continent pour implémenter cette technique, le nom « Very Long Baseline Array » (VLBA) est apparu.

Le VLBA emploie 10 antennes paraboliques de 25 mètres de diamètre, au travers des Etats Unis, ainsi qu’à Haiwai, St Croix, Virgin Islands. L’ensemble offre une résolution de moins d’un millième d’arcseconde, une sensibilité accrue, une couverture de longueur d’onde allant de 90 cm à 7 mm, en 9 segments, et la possibilité d’opérer en liaison avec une antenne ne faisant pas partie du VLBA.

#####  4-7-3 ARECIBO

**A- L’OBSERVATOIRE D’ARECIBO**

L’observatoire d’ARECIBO fait partie du NAIC (National Astronomy and Ionosphère Center). Ce site était au départ voué à l’étude de la ionosphère, toute l’installation a donc été faite dans ce sens. Depuis la surface du réflecteur a été changée plusieurs fois, et un émetteur radar des plus puissants a été mis en place.

L’observatoire est en activité 24 heures/24, tous les jours. Tous les résultats sont publiés dans des revues scientifiques, publiquement disponibles.

En tant que site disposant du plus grand radiotélescope au monde, l’observatoire d’ARECIBO est reconnu comme le plus important centre international pour la recherche en radio astronomie, radar planétaire et aéronomie terrestre. L’utilisation de l’observatoire est possible de façon égale pour tous les scientifiques du monde. Chaque année, environ 200 scientifiques visite l’observatoire pour poursuivre leur projet de recherche, et de nombreux étudiants utilisent les informations recueillies à l’aide de l’observatoire pour mener à bien leur thèses ...

###### B- LE REFLECTEUR

Ceux qui voient le radiotélescope d’ARECIBO pour la première fois sont étonnés par l’énormité de la surface réfléchissante, ou radio-miroir. Cette immense coupole concave a un diamètre de 305 mètres, 167 pieds de profondeur, et couvre une surface d’environ 8 hectares. Sa surface est faite d’environ 40 000 panneaux perforés en aluminium, chacun mesurant 3 pieds par 6 pieds, le tout supporté par un réseau de câbles d’acier. Il s’agit d’un réflecteur sphérique (pas parabolique). Les dimensions gigantesques de ce réflecteur rendent l’observatoire d’ARECIBO très spécial aux scientifiques. C’est la plus grande antenne convergente incurvées de la planète, ce qui signifie qu’il s’agit du radiotélescope le plus sensible au monde.

###### C- LA PLATE-FORME SUSPENDUE

450 pieds au-dessus du réflecteur se trouve suspendue la plate-forme de 900 tonnes. D’un design similaire à celui d’un pont, elle est suspendue en l’air par 18 câbles tenus par 3 tours renforcées. Un autre système de câbles part de chaque coin de la plate-forme vers des blocks situés sous le réflecteur. Ils sont attachés de telle façon que le choix de l’altitude de chaque coin de la plate-forme peut se faire au millimètre près. Sous le cadre triangulaire, se trouve un rail circulaire sur lequel le bras tourne. Ce bras est une structure en arc de 328 pieds de long. Un chariot peut alors être positionné jusqu’à 20 degrés de la vertical. Sous ce chariot pendent différentes antennes linéaires chacune réglées sur une bande de fréquences réduite. Ces antennes pointant vers le bas sont spécialement conçues pour le réflecteur sphérique de l’ARECIBO. Au total 26 moteurs électriques contrôlent la plate-forme. Ceux-ci dirigent et positionnent le chariot au millimètre près.

**D- Images fournies par l’observatoire ARECIBO**

**4-7-4- UNE RAPIDE PRESENTATION HISTORIQUE DU SETI INSTITUTE**

Le but de SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) est la recherche de signaux radio émis par une éventuelle civilisation extraterrestre. S’il fallait nous fallait dater le début de cette recherche, nous pourrions donner l’année 1959, où Guiseppi COCCONI et Philipp MORRISON ont publié un article dans *Nature* dans lequel est relatée la possibilité de communiquer sur de très longues distances, par exemple d’une étoile à l’autre, grâce aux micro-ondes.

En parallèle, Frank DRAKE aboutit au printemps 1960 aux mêmes conclusions, et passe à la pratique. Il conduit alors la première expérience de recherche de micro-ondes radio provenant d’un autre système solaire. Deux mois durant, il pointe son antenne de 85 pieds, située en West Virignia, vers deux étoiles proches l’une de l’autre présentant toutes deux des caractéristiques proches de celle de notre soleil. Il étudia alors la fréquence « magique » de 1,420 MHz. Magique à différents titres. Tout d’abord, il s’agit d’une fréquence relativement peu polluée par nos émissions terrestres produites par nos radars, télévisions, téléphone cellulaires… Ensuite, il s’agit d’une longueur d’onde ayant une signification importante en astronomie, puisqu’elle correspond à celle de l’hydrogène neutre.

Les travaux de DRAKE intéressèrent tout d’abord les russes, qui mirent en place une stratégie lourde de recherche exhaustive dans de larges portions de ciel d’un signal d’une force considérable.

**.A- PROJET CYCLOPS**

Au début des années 70, c’est au tour de la NASA de se pencher sur cette recherche. Une équipe dirigée par Bernard OLIVIER y réalise une étude globale concernant la possibilité de détecter de tels signaux. C’est la naissance du projet CYCLOPS, et ce sont toutes les bases des futurs protocoles qui sont posés.

Le programme SETI naît à la fin des années 70, au sein de la NASA, et dépend donc de l’état américain. Après une décennie d’études sur le type de recherche à mener, une approche radicalement différente de celle mise œuvre par les russes est choisie. Ce sont de faibles signaux qui seront recherchés parmi des portions de ciel bien définies. Une liste de 1000 étoiles est établie.

Quatre ans après, en 1992, et symboliquement 500 ans après la découverte des Amérique par Christophe COLOMB, l’observation en elle même débute. Un an plus tard, le congrès américain coupe les vivres au projet CYCLOPS et signe ainsi son arrêt de mort au sein de la NASA.

###### PROJET PHOENIX

Le projet est néanmoins repris pas le SETI INSTITUTE, au travers du projet PHOENIX, dont tous les fonds provient d’investisseurs privés. Depuis 1993, plus de 55 millions de dollars on été donnés à l’institut. On y retrouve de grands noms de l’industrie, principalement lié au monde de l’informatique, mais aussi des investisseurs privés.

 Ainsi l’institut aura en 2005 son propre télescope, composé de 350 antennes de 6 mètres : le ALLEN TELESCOPE ARRAY. Ce dernier porte le nom de Paul ALLEN (co-fondateur de Microsoft) qui le finance à hauteur de 11,5 millions de dollars, sur un total de 26 millions. Ce nouvel instrument devait avoir la précision d’une antenne de 100 mètres, pour un coût largement inférieur, et devrait permettre d’ajouter quelques centaines de milliers d’étoiles proches sur la liste d’observation.

Le protocole mis en place reprend celui de CYCLOPS, et utilise les plus grands radio-télescopes du monde : le VLA, et AREICIBO. Les étoiles observées se trouvent à environ 200 années lumières.

Des millions de canaux radio sont observés simultanément, un nombre a mettre en regard de l’unique canal d’étude de DRAKE. La majeure partie des traitements est donc menée à bien par des ordinateurs. Néanmoins le jugement humain est encore indispensable lorsqu’un signal étrange est mesuré. PHOENIX recherche des signaux sur la bande 1.000MHz et 3.000MHz, et cette bande est subdivisée en sous-bande de 1Hz, ce qui nous fait observer 2 milliards de canaux pour chaque étoile !

Mi 1999, PHOENIX avait examiné la moitié des étoiles sur sa liste, sans succès en termes de recherche de signaux extraterrestres.

Enfin, PHOENIX bénéficie d’une période de temps idéal pour est mené à bien, nous disposons à ce jour des moyens conséquents de calcul, et les interférences terrestres radio nous permettent encore de capter des signaux extérieurs faibles. Ceci ne sera plus le cas dans une dizaine d’année.

#####  4-7-5 SERENDIP & SETI@HOME

###### A- SERENDIP

Ces deux programmes sont menés à l’université de Berkeley en Californie. Tous deux sont parrainés, entre autres, par le SETI INSTITUTE.

SERENDIP est un programme assez ancien, puisque nous en sommes à la version IV, et que la première date de 1979.

Le but de SERENDIP (Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed Intelligent Populations) est de déceler des émissions radios de civilisations « relativement » proche de nous.

SERENDIP I se devait d’analyser un spectre de 100 canaux, à l’observatoire de Berkeley’s Hat Creek. SERENDIP II, utilisé de 1986 à 1988, permettait l’étude de 65.000 canaux par seconde, issus du radio-télescope NRAO à Green Bank.

SERENDIP III a débuté ses opérations à AREICIBO, en avril 1992, et s’est arrêté quatre ans après pour cause de mise à jour importante du radiotélescope. SERENDIP IV voit donc le jour, toujours à AREICIBO, en Juin 1997.

SERENDIP III permettait l’examen de 4,2 millions de canaux en 1,7 secondes sur une bande de 12MHz centrée sur 429 MHz. SERENDIP IV quant à lui examine 168 millions de canaux, en 1,7 seconde, sur une bande de 100MHz, centrée à 1,42 GHz.

Les données alors reçues sont transférées par Internet jusqu’au laboratoire SERENDIP à Berkeley, et y sont traitées afin de rejeter les interférences et détecter les signaux artificiels, et pourquoi pas extraterrestres.

Les recherches sont basées sur la localisation d’un signal modulé, permettant de véhiculer un message. Pour ce faire, on décompose le signal en série de Fourrier, et l’on recherche un pic de fréquence.

Lorsque le télescope est en mouvement, le pic décrit une gaussienne au fur et à mesure que l’antenne pointe vers la source, puis s’en éloigne, ce qui complique les calculs.

Un autre facteur les complique également, le mouvement des planètes. Il ne faut pas oublier que la terre suit son orbite, et qu’une éventuelle source suivrait a priori la sienne, qui nous est par définition inconnue. Il faut donc prendre en compte ces mouvements pour modéliser l’effet doppler.

**B-** **SETI@HOME**

Les outils comme SERENDIP n’ont pas la possibilité, pour des raisons de ressources matérielles, d’analyser en profondeur les données capturées par les radiotélescopes. Aucun de ces ordinateurs ne recherche les signaux les plus faibles, et encore moins ne recherchent sur une large classe de type de signaux. Il faudrait pour y parvenir, consacrer un temps important sur de nombreux super-calculateurs, à cette tâche, ce qui n’est pas économiquement réalisable.

En contre-partie des millions d’ordinateurs passe une partie importante de leur vie à attendre qu’on les utilise. La question est donc de savoir si l’on préfère utiliser la puissance de calcul de nos ordinateurs personnels pour faire voler des toasters à l’écran, ou pour participer à l’analyse des signaux enregistrés. C’est là tout le pari du programme SETI@HOME.

Par chance, les données à traiter sont très facilement partitionables en unités réduites, et ces unités sont tout à fait indépendantes les unes des autres lorsqu’il s’agit de leur appliquer les algorithmes de recherche idoines. Ainsi, des ordinateurs travaillant à des vitesses différentes, et téléchargeant des données à des moments différents peuvent être mis à contribution dans ce projet.

SETI@HOME recherche des signaux 10 fois plus faibles que ceux traités par SERENDIP. Chaque jour, ce sont 35 Go octets de données qui sont acheminés de AREICIBO (non plus par Internet, mais par support magnétique) au laboratoire de Berkeley. Ces données sont divisées en « work-units », unités de travail, pesant chacune 0,25 Mbyte. Ces unités de travail sont alors mis à la disposition du serveur SETI@HOME, qui les redistribue via Internet aux ordinateurs participant au projet, lorsque ces derniers le demandent.

La première faiblesse de SETI@HOME, inhérente à elle-même, est que les données ne sont pas traitées en temps réel, mais bien souvent plusieurs mois après l’enregistrement. Il faut donc gérer ce décalage. La seconde faiblesse, bien plus importante, est la largeur de la bande d’étude. En effet, elle ne s’étale de que sur 2.5 MHz. Par ailleurs, cette bande est subdivisée en sections de 10Khz.

*(image : http://setiathome.ssl.berkeley.edu/about\_seti/about\_seti\_at\_home\_2.html)*

Ces faiblesses mettent en avant l’aspect « meilleur compromis » du projet. En effet, pour traiter les 107 secondes que dure une unité, entre 2.400 milliards et 3.800 milliards d’opérations sont nécessaires, selon que le télescope était en mouvement on non lors de l’acquisition. Par écrit, chaque unité occuperait, à raison d’une ligne par calcul, un livre de 4.000 km d’épaisseur !

A ce jour, le temps moyen de traitement d’une unité est de 17H33.

Logiciel client du SETI@home

Le calcul a commencé en 1999, en septembre 2001, le Zeta FLOP (1021opérations) a été atteint. SETI@HOME est à ce jour, le plus gros calcul entrepris par l’Homme (devant celui du séquençage du génome humain – voir plus loin).

**4-7-6 A FORCE DE CHERCHER : ON TROUVE !**

Pour conclure sur le chapitre SETI, on se demande quelle est la chance de succès ? Personne ne peut le dire, même si les moyens mis en œuvre dont de plus en plus importants, et que des opérations de grande envergure sont massivement suivies.

Bien évidemment, la réponse pose de nombreux problèmes culturels. Si nous ne sommes pas seuls, la vie n’est pas un miracle, mais le fruit d’un processus qui se produit en certains points de l’univers. De plus, si nous captons un signal ET,il sera vieux de milliers d’années, et nous ne serons pas capable de lui répondre, si ce n’est que par un signal qui arrivera alors que notre civilisation sera à coup sûr radicalement différente.

Sans parler du problème de la compréhension. En effet, toutes nos tentatives sont fondées sur deux approches, l’une visuelle avec les plaques déposées sur nos sondes, et l’autre mathématique avec nos signaux radio, car nous les considérons comme universelles. Le sont-elles ? Pourquoi la vie ailleurs développerait le sens de la vison, et la communication par onde radio ? Pourquoi, pas ?

###### A- WOW !

Devant tant d’interrogations, la plus grande critique est de rigueur. A force de chercher, ne finit-on pas par trouver ce que l’on veut trouver ? Ainsi « wow ! », le meilleur candidat potentiel pour un signal extraterrestre n’est il pas une extrapolation romancée d’un enregistrement.

Il est clair que le signal reçu en 1977 est des plus intéressants, puisqu’il exprime une forte puissance sur une gamme fine de fréquence. Ceci est codé sous les lettres 6EQUJ5 sur la deuxième colonne, marquant l’intensité forte de ce signal sur cette bande.

Il est également clair que ce signal ne provient pas d’un objet mobile, compte tenu de sa signature doppler.

Jerry Ehman, alors jeune volontaire au Big Ear Telescope dans l’Ohio, a découvert cette suite de lettres, et l’a tout de suite interprété comme artificiel. Dans son enthousiasme, il a entouré ces lettres et écrit le fameux « wow ! ». A priori, il ne provient pas de la Terre, ou bien personne n’a su déterminer la source.

Jamais depuis le signal ne fut capté de nouveau, pas même pas le VLA. EHMAN pense aujourd’hui qu’il ne s’agit pas d’une source extra-terrestre, mais évoque plutôt un objet spatial ayant reflété un signal terrestre…

**CHAPITRE 5-1 : L’HOMME ET LA CONNAISSANCE**

5-1 LES FORCES DANS LA NATURE

***Les interactions***

Les interactions, c’est ce qui permet l’existence d’un ensemble. Elles permettent en fait la liaison entre différents composants de la matière. Mais ce sont aussi ces interactions qui sont responsables de leur destruction. Par exemple, les interactions entre quarks permettent la stabilité du noyau, et donc, la présence d’un atome ... La radioactivité est l’exemple inverse de la cohésion des interactions : la désintégration des atomes est un phénomène régi par des interactions.

Il existe donc plusieurs sortes d’interactions. Leur complexité dans l’infiniment petit est reprise à titre d’exemple dans l’infiniment complexe : «  Par exemple, un individu peut participer à l’interaction de conversation, il peut participer à l’interaction qui constitue une certaine conférence, il peut participer aussi à l’interaction économique ou à d’autres interactions, en fait il peut participer à un continuum d’interactions à un degré qui est à peu près immense, qui est pratiquement infini et j’aurais même tendance à dire que c’est ceci qui caractérise la complexité « .

Il existe donc des interactions « de base », celles qui «  qui interviennent entre particules «  sont au nombre de quatre, et sont appelées interactions fondamentales.

**L’Interaction Gravitationnelle** implique tous les constituants qui y répondent selon leur énergie, ou selon leur masse pour les faibles vitesses: sa forme quantique est encore incertaine. La gravitation est omniprésente aux niveaux macroscopique et microscopique. Lorsque d’autres interactions peuvent se manifester, la gravitation devient tout à fait négligeable: ainsi, la force d’attraction gravitationnelle de deux protons dans un noyau n’est que 10-36 fois celle de leur répulsion électrostatique. Pour deux quarks *u*, à 10-18 m l’un de l’autre, le facteur correspondant est 10-41. Au niveau des particules, la gravitation ne devient relativement importante qu’à des énergies énormes. Elle ne se compare à l’interaction électromagnétique qu’à une énergie de l’ordre de 1019 GeV, alors que les plus hautes énergies possibles mises en jeu dans les expériences ne sont que de l’ordre de quelques centaines de GeV.

**L’Interaction Electromagnétique** agit sur la charge des particules. Elle affecte toutes les particules chargées indépendamment de leur saveur ou de leur couleur. Elle ignore les neutrinos. Elle est responsable de la structure atomique.

**L’Interaction Faible** agit sur la saveur des particules. Elle a deux aspects: elle peut changer la saveur – c’est en fait la seule interaction qui le permet; elle change alors aussi la charge. Un quark *u* devient un quark *d* et un électron devient un neutrino. Si elle ne change ni la saveur ni la charge, c’est l’interaction électromagnétique, qui est une forme particulière des interactions faibles. Les deux types d’interactions, faible et électronique, ignorent la couleur.

**L’Interaction Forte** (aussi appelée chromodynamique) distingue la couleur des particules et peut la changer, alors qu’elle ignore la charge et la saveur. Elle n’affecte pas les leptons. Elle lie les quarks porteurs de couleurs en *hadrons*, globalement neutres vis-à-vis de la couleur. Par exemple: trois quarks donnent un baryon, comme le proton; un quark et un antiquark donnent un méson, tel le méson p.

Chaque interaction est caractérisée par son boson. On appelle bosons, les messagers, particules nécessaires aux interactions. Ainsi, par exemple, l’interaction nucléaire forte, ou chromodynamique, ne peut exister sans la présence de photons. Le graviton est, lui, une particule « imaginaire » : on suppose que son existence permet la gravitation. Il ne peut y avoir d’interaction sans qu’un certain boson d’interaction soit émis, absorbé ou échangé.

Les particules se séparent suivant deux grands groupes : **les quarks** et **les leptons**.

Imaginés en 1963 pour expliquer la multiplicité croissante des particules élémentaires et la régularité apparente du nouveau tableau des éléments découverts grâce aux expériences utilisant les grands accélérateurs de particules, les quarks, avec les leptons (par exemple, l’électron ou les neutrinos) et les bosons vecteurs, qui véhiculent les interactions entre les leptons, sont maintenant considérés comme les constituants ultimes de la matière.

Les quarks interagissent avec trois des quatre interactions fondamentales : en fait, on ne considère pas l’interaction de gravitation, car elle est très faible : nous sommes dans l’infiniment petit, et on peut donc négliger ici, l’interaction de gravitation.

Les leptons ne réagissent qu’avec l’interaction faible. Ils se divisent en deux sous-groupes : les leptons chargés, et les leptons neutres. Les leptons chargés, ont, en plus des leptons neutres, une charge électrique, et ont donc la possibilité de participer à l’interaction électromagnétique. Cette dernière catégorie comprend les électrons. Dans les leptons neutres, on trouve des neutrinos. Ces derniers, ne réagissant qu’avec l’interaction nucléaire faible, n’ont pas une grande importance dans la structure des atomes.

La chromodynamique est donc l’interaction qui réagit avec les quarks. Les protons sont formés de quarks, donc un noyau ne devrait pas pouvoir tenir seul : les protons devraient se repousser et le noyau devrait « éclater »: c’est grâce à la chromodynamique que les protons restent proches, et que le noyau peut exister.

# *5-2 ANTIMATIERE ET ANTIPARTICULES*

L’existence d’antiparticules a d’abord été prédite par des travaux théoriques. Puis des antiparticules ont été produites dans les grands accélérateurs et, de nos jours, des faisceaux de positrons ou d’antiprotons sont couramment utilisés pour des expériences de physique fondamentale. Si 1 gramme d’antimatière était mis en contact avec 1 gramme de matière ordinaire, il se produirait une annihilation brutale libérant autant d’énergie que la fission de quelques kilogrammes de plutonium ou la combustion de quelques milliers de tonnes de charbon. Néanmoins, seul le contact entre matière et antimatière est explosif. L’antimatière, par elle-même, est stable. Elle a d’ailleurs des propriétés tout à fait semblables à celles de la matière. L’antihydrogène, par exemple, est formé d’un antiélectron chargé positivement, appelé « positon», tournant autour d’un antiproton. Il en va de même pour les autres antiatomes et même pour les antimolécules les plus complexes, qui obéissent certainement aux mêmes lois chimiques que celles qui régissent la matière.

La théorie de la relativité, qui établit l’équivalence entre masse énergie, corrige la mécanique classique lorsque de grandes vitesses sont en jeu. L’électron, comme toute particule ponctuelle, est soumis aux lois de la mécanique quantique, mais étant très léger, il peut acquérir une vitesse très élevée et devenir une particule relativiste.

Les premières descriptions du mouvement des particules élémentaires furent fondées sur l’équation de Klein-Gordon. En résolvant cette dernière, on obtient les états d’énergie, or en plus des états d’énergie positive (acceptables) on a aussi des états ayant une énergie négative. L’état fondamental d’une particule étant celui où son énergie est minimale, les électrons devraient alors passer à des états d’énergie de plus en plus négative d’où ils ne pourraient plus revenir.

Les travaux de Pauli et Weisskopf (1934), Stückelberg (1941) et Richard Feynman (1948) aboutissent à l’interprétation de Feynman-Stückelberg des solutions d’énergie négative. L’explication de Feynman est qu’une solution d’énergie négative décrit une particule qui remonte le cours du temps, ou, d’une manière équivalente, une antiparticule qui se propage dans le même sens que le temps.

Lors d’un choc, l’électron et le positron peuvent s’annihiler, créant de l’énergie en quantité égale à la masse qui disparaît. Inversement, de l’énergie lumineuse peut parfois se matérialiser sous la forme d’une paire électron-positon. Cette possibilité de transformer de la masse en énergie, ou vice versa, est une conséquence de la relativité restreinte. Un électron et un positron peuvent aussi s’associer pour former un atome appelé «positonium». Cet état est semblable à celui de l’atome d’hydrogène: le positon joue le rôle du noyau autour duquel vient graviter l’électron. Cependant, le positonium est instable: il finit par s’annihiler en deux ou trois photons. La durée de vie ainsi que les niveaux d’énergie sont calculables en électrodynamique quantique.

Chaque particule possède une antiparticule qui lui est associée. Elles ont les mêmes caractéristiques mécaniques, c’est-à-dire même masse et même moment cinétique intrinsèque, ou spin. Mais une particule et son antiparticule ont des valeurs opposées de leurs autres nombres quantiques que sont la charge électrique, le moment magnétique, l’étrangeté, le charme, la beauté, le nombre baryonique, le nombre leptonique, etc. Il existe ainsi un antiproton chargé négativement, un antineutron différent du neutron, etc. Certaines particules neutres, comme le méson p0, sont par contre leur propre antiparticule. C’est également le cas du photon, ce qui explique pourquoi les ondes électromagnétiques sont les mêmes pour la matière et pour l’antimatière.

Puisqu’on a découvert l’antiparticule associée à chaque particule et vérifié que les antiparticules interagissaient entre elles comme le font les particules, il est certain que tous les antinoyaux et tous les antiatomes ou antimolécules peuvent exister. Le problème est de savoir s’il y a réellement de l’antimatière en abondance dans l’Univers. Des antiparticules sont parfois détectées dans les rayons cosmiques, mais on n’a pas la preuve que des quantités importantes d’antimatière.

5-3 ONDES GRAVITATIONNELLES

* Selon la théorie de Maxwell : Une particule accélère émet une OEM
* Selon la théorie de la Relativité Générale : Une masse accélérée émet une onde gravitationnelle.

**\* Etoile à neutrons**

# EXPLOSION SUPERNOVA MASSE ACCELEREE

**\* Trou Noir**

## Ondes Gravitationnelles

* En 1958, le Physicien anglais Felix Pirani, a montré que : Ces ondes devraient faire varier, en les allongeant, puis en les RETRECISSANT, alternativement, les distances entre 2 objets.

C’est cette déformation que les physiciens se proposent de CONSTATER.

UN PARI FOU !

On estime que les plus puissantes **ondes gravitationnelles allongent** puis **raccourcissent** la distance Terre soleil de 150.106 km à celle du **diamètre** d’un **atome** 2\*0.53Å soit 1Å.

Ce sont ces déformations que les physiciens entendent mesurer avec le télescope à **ondes gravitationnelles** : VIRGO

Autres projets :

* VIRGO au sol ( Franco-Italien)
* LIGO au sol ( USA )
* TAMA 300 au sol
* GEO 600
* LIGO satellite

**VIRGO,**  un détecteur, au sol, d’ondes Gravitationnelles

En construction à Cascina ( près de Pise en Italie ), collaboration Franco-Italienne.

Rayons lasers séparés en 2 demi sfaisceaux

* Miroirs réfléchissant
* Rayons lasers
* Région des Interférences
* Détecteur Unique

Deux tubes à angles droit de 3 Km

Système basé sur les **interférences**. Si la distance **des chemins optiques** varie au cours du temps, les franges d’interférences varient en position, en interfrange : i=D/a

Si une onde gravitationnelle, allonge puis raccourcit un des bras, comme le veut la théorie, les 2 demi-faisceaux laser vont atteindre le détecteur avec **un infime décalage en temps**.

En se recombinant, ils formeront des franges d’interférences qui signaleront le passage d’une **ONDE GRAVITATIONNELLE**.

CHAPITRE 5-2 : L’ATOME QUI TUE

**5-2-1 Les hommes du projet Manhattan.**

Le 2 août 1939, Franklin D. Roosevelt reçoit une lettre d’Albert Einstein lui apprenant que les découvertes récentes de la Physique pourraient permettre la construction de bombes d’une puissance extraordinaire. Einstein indique également que "l’Allemagne a stoppé la vente d’Uranium extrait des mines tchécoslovaques" et qu’à Berlin, "plusieurs travaux américains sur l’uranium ont été reproduits."

# Septembre 1939

* L’Allemagne envahit la Pologne (1er septembre)
* La France et l’Angleterre rentrent en guerre (13 septembre)
* Le Japon avait envahi la Mandchourie en septembre 1931 et pratique depuis 1936, sous la directive des militaires, une politique d’expansion et conclut en novembre 1936 un pacte avec l’Allemagne.
* 1937 : le Japon a commencé la guerre de Chine (invasion de la Corée, des Formose, Pékin, îles Kouriles)
* Les américains tiennent les Philippines, île de Guam, Hawaï, îles Aléoutiennes.
* Les américains ravitaillent la Chine (armes, munitions) par la route de la Birmanie (appelé maintenant Myanmar), car ils sont opposés à l’expansion japonaise.
* En juillet 1940, c’est le cabinet Yonaï (modéré) qui est au pouvoir au Japon.
* Juillet 1940-octobre 1941 : prince Konoyé (l’expansion se durcit)
* 18 octobre 1941 : le farouche tenant de la guerre, le général Hideki Tojo prend les rennes du pays et va lancer son pays dans la guerre.
* 7 décembre 1941 : le Japon lance une attaque surprise sur la base militaire de Pearl Harbor.

Lettre d’Einstein au President Roosevelt – 1939

**5-2-2 - Fission**

Certains noyaux lourds comme l’Uranium 235 (235U) ou le Plutonium 239 (239Pu) peuvent sous l’impact de neutrons, se scinder en deux (ou plusieurs) morceaux avec

  **PERTE DE MASSE**

Et

 **DEGAGEMENT CORRESPONDANT D’ENERGIE**

Ces noyaux sont dits fissiles : l’énergie produite est énorme !

Une sphère de la taille d’une orange, constituée d’235U, produit une explosion équivalente à la détonation d’environ 20 000T de TNT. La fission de 1g d’235U pourrait soulever de 8,20m une masse de 1 000 000T. (chaque tour de WTC avait une masse de 300 000T)

18 octobre 1941

Le farouche tenant de la guerre, le général Hideki TOJO prend la direction du Japon qu’il va lancer dans la guerre.

La base aérienne de Pearl Harbor

### 5-2-3 - Les forces en présence

|  |  |
| --- | --- |
| **Forces américaines.** | **Forces japonaises** |
| * 3 porte-avions (Enterprise, Lexington et Saratoga) : aucun n’était à Pearl Harbor lors de l’attaque japonaise.
* 8 cuirassés
* 12 croiseurs lourds
* 9 croiseurs légers
* 27 sous-marins
* 67 destroyers
* 227 avions
* 1017 pièces de DCA
* 43 000 hommes.
 | * 6 porte-avions (Akagi, Kaga, Hiryu, Soryu, Shokaku, Zuikatu)
* 2 cuirassés
* 27 sous-marins
* 11 destroyers
* 423 avions
 |

Le 7 décembre est un Dimanche. La nuit du 6 au 7 est la traditionnelle Saturday Night ! de l’armée américaine. Les boîtes et les bars d’Honolulu sont remplis de soldats et de Marius.

* 3h42 : l’enseigne McCloy (du Condor) détecte un sous-marin que le destroyer patrouilleur Ward ne repère pas.
* 6h30 : le sous-marin japonais est aperçu et coulé par le Ward.
* 7h02 : les veilleurs Lockard et Elliot aperçoivent des tâches noires sur l’écran radar.
* Ils transmettent à l’officier de base Tyler la présence de nombreux avions à 132 miles. Tyler leur répond un "Forget it"
* 7h55 : Au signal "Tora, Tora" (tigre, tigre), les avions japonais attaquent en 2 vagues successives à partir des porte-avions. Les dégâts sont importants : 5 cuirassés, 2 destroyers, 9 bâtiments auxiliaires et 140 avions détruits ; 2300 militaires tués, 1445 blessés, 100 civils tués ou blessés.

Les USA rentrent en guerre sans être trop affaiblis (ils n’ont perdu aucun porte-avions).

Les porte-avions Saratoga et Lexington absents d’Hawaïi le 7 décembre 1941.

#### L’attaque de Pearl Harbor

L’ARIZONA en train de brûler

Le SHAW explose

Les restes de la base aérienne après l’attaque.

**5-2-4 – Le projet Manhattan**

* Juin 1941 : Roosevelt lance un programme confié au Bureau of Standards Uranium Committee : le responsable est Biggs.
* Juin 1942 : création du projet Manhattan (projet ultra-secret basé à N.Y) dirigé par le général Leslie Groves.

A Berkeley, on a réussi à extraire l’235U fissile à partir du minerai naturel : 0,7% 235U + 99,3%238U

Groves engage Robert Oppenheimer pour l’aider. Il a pour tâche de calculer la quantité d’Uranium 235 nécessaire à la bombe. Il arrive à la conclusion que 100 Kg était suffisant. Groves regroupe en octobre 1942 tous les labos à Los Alamos (Nouveau Mexique) et confie le centre à Oppenheimer. Il fait construire 2 unités de production d’Uranium à Oak Ridge (Tennesse) et une unité de Pu à Hanford (état de Washington).

* 1944 : Une base de l’USAAF à Alamogordo (NM) est choisie comme zone de tests. Le nom de code est Trinity.
* Début 1945 : on commence la préparation du site, et des centres d’observation, sous abris bétonnés placés en auréole autour du "Ground Zero" où est édifiée une tour d’acier. Au sommet de celle-ci, on place la bombe en vue de l’opération Trinity.
* 12 avril 1945 : Roosevelt meurt et est remplacé par son vice-président Harry Truman qui n’est en rien au courant de Trinity.
* 15 juillet 1945 : la seule bombe à Uranium fabriquée (Little Boy) est embarquée à bord du croiseur Indianapolis à destination de la base américaine de Tinian (précédemment appelé Ladrones Islands : l’île des voleurs, connu aujourd’hui sous le nom des Iles Marianne). Sur les deux bombes à Pu fabriquées, l’une est placée en haut de la tour sous le regard de 150 savants (l’autre est Fat Man).
* Dans la nuit du 15 au 16 juillet 1945, les plus grands savants atomistes se rassembleront dans un abri bétonné à 8km du point zéro.

OakRidge

##### **A - Trinity : la toute première bombe au plutonium**

La mise à feu devait avoir lieu à 4:00AM mais du fait de mauvaises conditions météo elle a dû être repoussée.

* 5h29AM : mise à feu

Eclair aveuglant, insoutenable à 35km, suivi d’une énorme détonation. Lumière éblouissante, bien des fois supérieure à l’intensité du soleil à midi. 30 secondes plus tard, l’explosion a lieu et un arrive un coup de tonnerre, terrifiant "qui nous révèle que nous étions de petits êtres blasphémateurs qui avaient osé toucher aux forces jusqu’alors réservées au Tout-Puissant" Général Farrel.

Oppenheimer cramponné à un pilier de la station de contrôle se rappelait soudain ce passage de la Bhagavadgîtâ, poème sacré des Hindous :

« Si la lumière de mille soleils

Eclatait dans le ciel

Au même instant, ce serait

Comme cette glorieuse splendeur … »

Puis, lorsque le nuage géant, sinistre, s’éleva, là-bas, au-dessus du point zéro, un autre passage du poème Hindou lui revint en mémoire :

« Je suis la Mort, qui ravit tout, qui ébranle les mondes »

Ainsi avait parlé Sri Krishna, le sublime, qui règne sur le destin des mortels. Mais Robert Oppenheimer n’était qu’un homme à qui était échu un pouvoir trop grand. Un physicien se tourna vers lui et dit :

« Now we’re all sons of bitches »

et le général Groves de dire :

« Finie la guerre ; avec un ou deux de ces engins, le Japon est liquidé »

**B - Little Boy**

Le 6 août 1945, la super-forteresse volante B29 Enola Gay, pilotée par Paul Tibbets, avec à son bord une bombe atomique à Uranium enrichi (la 1ère jamais fabriquée) de 20KT.

Little boy, de dimension impressionnante (4082Kg, 3m de hauteur, 71cm de diamètre) est largué à 8500m à 8h15AM. C’est une bombe à insertion (différent de implosion) : le noyau fissile est constitué d’un cylindre de 235U de 10cm de diamètre et 16cm de longueur, représentant 40% de la masse totale (25,6Kg).

La cible est constituée d’un cylindre creux en 235U de 38,4Kg assemblé à l’intérieur d’un confinant / réflecteur en carbure de tungstène, lui-même assemblé à l’intérieur d’un confinant secondaire, en acier de 60 cm d’épaisseur.
Un initiateur à neutrons Beryllium/Polonium était placé au centre de la cible.

Explosif : 34Kg de cordite projectile cible 300 m/s

 + 4 radars (montés sur le corps de la bombe) pour déclenchement à altitude optimale.

* 2h45AM : décollage de la base de Tinian (Iles Mariannes)
* 7h30AM : Little Boy est armé
* 8h15AM : Little Boy est largué (8500m d’altitude) au dessus d’Hiroshima
* 8h16AM : la bombe est à 560m.
	+ Mise à feu
	+ Réaction en chaîne (nbre de n créés > nbre de n absorbés)
	+ Explosion de 19680T de TNT (équivalent) en 1/10ème de seconde
	+ Boule de feu de 15m de diamètre, qui en 1s s’étend sur 250m (300000°C à l’explosion🡺4000°C au sol).

Super-forteresse B29

 **C - Les hommes de la bombe**

R. Oppenheimer et le général Groves sur le site où vient d’exploser Trinity.

Le président H. Truman (successeur de Th. Roosevelt le 12 avril 1945). C’est à lui qu’incomba la décision de faire exploser la bombe.

Une photo célèbre : le colonel Tibbets salue de la main avant le décollage de l’Enola Gay avec Little Boy dans sa soute.

Le nuage de Little Boy (Hiroshima)

Ruines d’Hiroshima

Ce qui fut une artère animée de Hiroshima

La température à l’intérieur et en périphérie étant différente de plusieurs 106°C 🡺

* + Dilatation extrêmement brutale de l’air,
	+ Souffle très puissant,
	+ Onde de choc.

🡺 le refroidissement (dilatation) forme un champignon atomique en Glace !

Hiroshima : 350 000 habitants :

* + 80 000 morts immédiats (onde thermique)
	+ 180 000 irradiés

En décembre 1945 (6 mois plus tard), 140 000 morts :

* + 6,5Km2 totalement détruits
	+ 10 000 buildings soufflés par le choc
	+ 50 000 buildings détruits par le feu
	+ à 600m : les tuiles en céramique fondent
	+ à 1Km :le granit des constructions fond
	+ à 1,6km : les maisons en briques sont démolies
	+ à 1,8km : les immeubles en béton sévèrement tachés
	+ à 2km : les vêtements prennent feu spontanément, les rails se tordent sous l’effet de la chaleur
	+ à 2,3km : les maisons en bois sont soufflées
	+ à 2,5km : les toits de chaume sont en feu
	+ à 16km : vitres brisées

**Nagasaki** :

Le 9 août 1945, un deuxième B29 « Flying Fortress » du nom de Bock’s Car, lâche sur Nagasaki une bombe au Pu (Fat Man) – bombe à implosion.

######  D - Fat Man

Le champignon atomique de Fat Man

La mission comporte plein de problèmes :

* La super-forteresse décolle avec un petit réservoir de fuel.
* Il y avait beaucoup de nuages sur Nagasaki, rendant difficile l’accès à la cible

Enfin, avec peu de fuel restant et une trouée dans les nuages, la décision est prise de larguer Fat Man. La bombe à Plutonium se montrera plus puissante que LittleBoy.
Instantanément :

* + 39 000 personnes furent tuées et 25 000 blessées.
	+ En décembre 1945, 70 000 morts à Nagasaki

🡺 Reddition du Japon

**5-2-5 - Kennedy et la NASA**

Discours 1961 : l’objectif pour les USA est simple, ce sera la Lune. La NASA (administrateur James Webb) ne le suivait pas à 100% sur ce terrain.
Le secret défense vient d’être levé sur l’enregistrement sur bande magnétique entre JFK et Webb en 1962 :

« Envoyer un homme sur la lune est la priorité. Vous êtes d’accord »

« Non, c’est une des priorités »

« Les satellites, pour les communications ou la météo peuvent attendre.
La lune est prioritaire pour des raisons politiques »

Le président des USA aura bien sur le dernier mot !

**5-2-6 - L’homme un animal doué de raison**

Souvent les faits historiques montrent que le comportement humain sait être raisonnable vis-à-vis de son patrimoine artistique.

* Von Choltiz

reçoit en 1944 l’ordre de Hitler de brûler Paris : il REFUSE.

* Pendant la Révolution Culturelle, en Chine, les temples n’ont pas été détruits (ordre de Chou En Lai)

Comme on y entassait des munitions, certains ont été endommagés.

* Le Khmer Rouge Pol Pot a fait miner les sentiers autour des temples khmer d’Angkor Vat sans les détruire.
* L’ancien ambassadeur des USA au Japon, Joseph Grew, amoureux de Kyoto (1300 temples) convainc Harry Truman (entré mi-avril 1945 à la Maison Blanche) de ne pas choisir cette ville comme cible atomique.

Mais !

* En Afghanistan, les factions rivales se disputent le pouvoir depuis la chute du communisme et le retrait des alliés soviétiques en 1992.

Arrivée des Talibans (étudiants de la religion en Patchoune) en 1996.

🡺 pillages systématiques de Aï Khanoum, Begram et récemment Bamiyan (monastère bouddhiste du IIIè au VIIè siècle, un bouddha de 35m et un autre de 53m, des peintures). Cette dernière ville avait été rasée au XVIIIè siècle par l’invasion mais les deux bouddhas avaient survécus : ils ont été dynamités en février 2001 sur ordre du mollah Omar (chef suprême des Talibans).

**CHAPITRE 5-3 : L’ATOME QUI POURRAIT TUER**

### 5-3 1-Bombes à Neutron

La bombe à Neutrons a pour effet de détruire toute forme de vie organique dans un lieu donné, et ce, sans y détruire les infrastructures.

Cela permet aux soldats attaquants, d’occuper ensuite un pays après l’avoir attaqué sans le détruire.

### 5-3 2-Armes électromagnétiques

Les armes électromagnétiques diffèrent des armes conventionnelles par trois aspects :

* **Force propulsive** : il n’y a pas ici de combustion de poudre mais un générateur d’ondes.
* **Le Projectile** : il est ici immatériel et autopropulsé à la vitesse de 300000 Km/s comparé aux 30000 Km/h pour les projectiles.
* **Le canon**: le canon d’une arme à feu est de plus ici remplacé par une antenne.

#### a-Canon électromagnétique

Les armes à feu sont répertoriées selon leur calibre, les armes électromagnétiques suivant la longueur d’onde qu’ils émettent et le type de modulation de rayonnement :

* Armes à basses fréquences
* Armes à Radiofréquences
* Armes à Hyper Fréquences
* Armes à fréquences optiques
* Armes à particules

De 0 à 300 Hz le rayonnement est non ionisant, il n’y a donc pas de destructions cellulaires.

Plus les fréquences sont élevées, plus les dégâts sont grands. Pendant la dernière décennie, les américains et les russes ont étudié les effets des basses fréquences, par exemple les ELF (extremely low frequency qui vont de 0 à 30 Hz) peuvent provoquer des arrêts cardiaques à distance.

Les émetteurs ELF posent cependant un problème car ils consomment beaucoup d’énergie, ils sont donc utilisés par des nations disposant de vastes territoires (USA, Russie, Chine) pour un usage interne. Par exemple, les ELF peuvent être utilisés pour calmer des manifestants (Apathie).

#### b-Radar tueurs

Radiofréquences, hyperfréquences, micro-ondes, leur puissance d’émission équivaut à celle des gros émetteurs hertziens, de quelques 100 MWatts à 1000 GWatts.

« Signal de Moscou » en 1962 ambassade des Etats-Unis à Moscou.

Russe pendant la guerre afghane à bord d’un hélicoptère.

Un type d'action militaire qui ne relève en rien de la science-fiction puisqu'elle a déjà été utilisée sur le terrain en 1991 au cours de la guerre du Golfe et de l'opération "Desert Storm". Selon le périodique militaire officiel Defence News (n°19 du 13 avril 1992), les Etats-Unis avaient déployé sur le champ de bataille une arme à impulsion électromagnétique (EMP Weapon).

Le but de cette arme est double: il permet, comme le fait une explosion nucléaire, d'empêcher toute forme de communication radio chez l'ennemi et a un effet redoutable en matière de guerre psychologique. On comprend mieux dans ce cas pourquoi des dizaines de milliers de soldats irakiens se sont rendus sans combattre.

#### c-Bombe électromagnétique

Les bombes électromagnétiques fonctionnent grâce à l’agitation des molécules d’eau qui ont un noyau électrique qui résonne à la fréquence de l’onde.

 (Cette arme a été utilisée pendant la guerre du Golfe : bombe sur l’Irak).

Des générateurs MFP (Micro fréquences de Forte Puissance) ont été installés sur certains missiles de croisières, lancé par la marine américaine aux premiers jours de l’opération Tempête du Désert (syndrome de la Guerre du Golfe !!!!)

#### d-Le canon laser du futur

(Jefferson Lab Newport News – Virginia)

Un flash blanc sature les écrans vidéo de contrôle, un point jaune apparaît au centre de l’image. En quelques centièmes de secondes, le laser à électrons libre du Jefferson Laboratory vient de perforer une tôle d’acier de 2 cm d’épaisseur. C’est le laser continu le plus puissant du monde : 1720 watts en puissance moyenne (100 fois plus énergétique que son concurrent le plus proche.) La puissance du laser d’un lecteur code barre ne fait que 1 milli Watt.

Application militaire contre les cibles balistiques :

Il est difficile de détruire complètement un gros missile en vol.

Un laser pourrait mettre hors d’état, à distance, les têtes de guidage des missiles anti-navire.

US Navy : budget 15 Millions de dollars pour faire progresser la puissance des lasers de 2 KWatts à 20 KWatts d’ici 2002-2003, pour les rendre capables de détruire des cibles volantes et non plus uniquement aveugler les senseurs de ces appareils.

En plus, il est particulièrement adapté à des tirs militaires dans l’atmosphère car il est possible de faire varier sa longueur d’onde (changer sa couleur d’émission).

Choix pour les « artilleurs laser » de choisir la longueur d’onde qui sera la moins absorbée dans l’atmosphère (car les concentrations de vapeur d’eau et de particules de poussière dispersent l’énergie d’un faisceau laser, et varient selon le lieu et la saison.

Le laser à électrons libres

Source d’émission : faisceau d’électrons produit par un accélérateur de particules

En passant dans une cavité magnétique spéciale appelée onduleur, les électrons émettent des rayonnements cohérents (un rayon laser). En échangeant l’énergie des électrons et le champ magnétique dans l’onduleur, on contrôle à volonté la longueur d’onde émise (Effet synchrotron cohérent).

Premier laser à électron : en 1978 à partir de l’accélérateur linéaire de Stanford California).

Cependant ce système est encombrant car il nécessite un accélérateur d’électrons. Pour le moment le laser à électrons libre du JLAB tient tout juste dans un bâtiment de 60 m haut de 2 étages !

Le laser chimique

Depuis 5 ans, l’US Air Force met au point l’AIRBORNE LASER, une arme aéroportée dotée d’un laser chimique de très forte énergie (1 MWatt) capable de détruire des missiles balistiques en phase de propulsion distant de 300 à 800 km.

D’ici à 2008, l’armée américaine compte en équiper 7 Boeing 747-400.

*Airborne Laser*

### 5-3 3-Autres Armes

#### a-Armes Chimiques

Les agents chimiques de guerre sont considérés comme des substances chimiques, qu'elles soient gazeuses, liquides ou solides, et pourraient être employés en raison de leurs effets toxiques sur l'homme.

Les agents chimiques sont répartis en trois catégories selon l'emploi auquel on les destine : **les agents létaux**, **les agents incapacitants** et les **agents neutralisants**. Un agent létal est conçu pour provoquer la mort lorsque l'homme y est exposé à des concentrations aisément réalisables dans les opérations militaires. Les agents incapacitants sont destinés à provoquer temporairement, soit la maladie, soit une incapacité mentale ou physique dont la durée dépasse de beaucoup la période d'exposition. Les agents neutralisants provoquent rapidement une incapacité qui ne se prolonge pas au-delà de l'exposition.

Nous pouvons diviser les agents chimiques de guerre létaux en trois groupes. Le premier comprend les **asphyxiants et les vésicants** ; le deuxième, **les gaz hémotoxiques et neurotoxiques** ; le troisième, les **toxines**.

Ces gaz asphyxiants ou suffocants, qui ont été fréquemment utilisés dans le passé, notamment lors de la Première Guerre mondiale, sont les gaz à avoir été utilisés durant les premières guerres chimiques. Ce sont des liquides très volatiles qui, inhalés sous forme de gaz, s'attaquent à la muqueuse alvéolaire. C'est à cette catégorie qu'appartiennent de chlore et la phosgène. Nous les employons de moins en moins, car ils n'offrent pratiquement plus d'intérêt à cause des progrès des techniques défensives.

Les vésicants, eux, sont plus utilisés. Ce sont des liquides huileux qui provoquent des brûlures sur la peau. Le plus célèbre est l'ypérite (gaz moutarde).

Hémotoxique signifie les toxiques du sang qui entrent à l'intérieur de l'organisme par les voies respiratoires et viennent perturber l'utilisation de l'oxygène dans les tissus. Les deux agents connus de ce type sont l'acide cyanhydrique et le chlorure de cyanogène.

Les neurotoxiques constituent ce qu'il y a de mieux en matière d'agents chimiques de guerre. C'est la dernière famille connue et en plus, la plus mortelle et la plus redoutable. Celle-ci représente un danger pour les guerres à venir, avec des quantités immenses entreposées dans quelques pays. Les agents innervants sont des produits chimiques incolores, inodores, sans saveur, plus ou moins visqueux et de volatilité variable. Ils peuvent être absorbés par inhalation et par voie cutanée. Il s'agit d'une classe de substances dérivées des insecticides organophosphorés qui agissent sur le système nerveux et perturbent les fonctions vitales de l'organisme. Ce sont donc des inhibiteurs des cholinestérases.

Il existe deux grandes catégories d'agents neurotoxiques de guerre : les agents G et les agents V. Les agents V sont le tabun (GA), le sarin (GB) et le soman (GD). Ils n'ont pas tout à fait les mêmes caractéristiques physico-chimiques, mais leurs effets sont sensiblement les mêmes. Les agents V sont les préférés des militaires. Leurs effets sont pratiquement identiques aux agents G mais avec une dose létale beaucoup moins élevée. Les neurotoxiques n'en demeurent pas moins les plus létaux des agents chimiques. Il est très tentant d'y avoir recours, car il est très difficile de s'en protéger. Une fine gouttelette sur la peau d'un homme suffit à le tuer.

#### 5-3 b-Armes Bactériologiques

Il est difficile d’imaginer une arme plus odieuse que l’arme bactériologique (AB). Elle est aussi létale pour ce qui est du nombre de victimes qu’elle peut causer que les dispositifs nucléaires, sinon plus, et a un caractère particulièrement insidieux. Heureusement, les armes bactériologiques ont été peu utilisées à notre époque parce qu’on ignore toujours leur efficacité dans un contexte militaire tactique. Néanmoins, bien qu’elles aient été interdites en vertu de la Convention sur les armes biologiques et à toxines (CABT) de 1975, certains États poursuivent leurs travaux de recherche et de mise au point, ces armes ayant souvent été appelées « armes nucléaires du pauvre ».

Parmi les armes bactériologiques destinées à causer la mort ou des dommages très graves, mentionnons les suivantes : les virus, comme le virus de l’encéphalomyélite équine du Venezuela; les bactéries, comme le charbon bactéridien, la brucellose et la peste; les rickettsies, comme celles qui causent la fièvre Q et le typhus; les toxines (produits chimiques poisons fabriqués par des moyens biologiques), comme la toxine botulinique, le ricin et les venins d’animaux. Environ 30 des plusieurs centaines de microbes pathogènes différents qui affligent directement ou indirectement l’être humain ont été considérés comme des agents biologiques susceptibles d’être utilisés dans la fabrication d’armes biologiques (AB). La période d’incubation des agents pathogènes microbiens varie de 24 heures à 6 semaines, tandis que les toxines agissent assez rapidement et peuvent causer l’incapacité ou la mort dans l’espace de plusieurs minutes ou de quelques heures. Les agents bactériologiques sont plus faciles et moins onéreux à produire que les matières nucléaires ou les agents destinés aux armes chimiques (AC), et la technologie et le savoir-faire nécessaires sont facilement accessibles. Tout pays qui a une industrie pharmaceutique le moindrement avancée peut produire des agents bactériologiques. Toutefois, ce qui est plus difficile, c’est de mettre au point des AB dont les effets sont prévisibles ou contrôlables. Par ailleurs, étant donné que les agents pathogènes microbiens et les toxines sont sensibles aux contraintes environnementales, comme la chaleur, l’oxydation et la dessiccation, pour être efficaces, ils doivent conserver leur puissance pendant l’entreposage des armes, le lancement et la dispersion.

Contrairement aux armes chimiques, les armes bactériologiques ont été peu utilisées dans les conflits récents, sauf lors des attaques des Japonais en Chine (et peut-être dans d’autres pays asiatiques) avant et pendant la Seconde Guerre mondiale. N’empêche que des armes bactériologiques ont été stockées pendant les deux guerres mondiales et qu’elles tenaient la vedette dans les arsenaux des antagonistes de la guerre froide (les USA n’ont pas mis fin à leur programme offensif avant 1969, alors qu’on soupçonne vivement la Russie d’avoir maintenu jusqu’à ce jour le programme offensif de l’ère soviétique). Les armes bactériologiques ont pris la forme de réservoirs de solutions à pulvériser, de bombes, de bombes à dispersion et de lance-bombes. Tout comme les armes chimiques, les agents bactériologiques sont mieux dispersés par pulvérisation en aérosol à basse altitude (les méthodes explosives peuvent détruire les organismes). L’entreposage à long terme d’ogives de missiles ou d’artillerie remplies d’agents bactériologiques vivants ou de toxines séchées à froid est difficile, sauf dans le cas des spores du charbon bactéridien; même s’ils sont réfrigérés, la plupart des organismes ont une durée de vie limitée. Il est possible toutefois que l’on puisse, par des manipulations génétiques, rendre ces micro-organismes ou toxines plus stables pendant la dispersion, plus difficiles à détecter et insensibles aux vaccins ou aux antibiotiques standard.

Alors qu’il suffit, théoriquement, de quantités relativement petites d’agents bactériologiques pour causer une destruction massive, on s’interroge depuis longtemps sur leur utilité militaire à titre d’instrument de guerre. Leur action semblerait être trop lente et imprévisible pour les attaques surprises ou pour les contre-attaques immédiates. Toutefois, ils pourraient être utilisés contre des postes de défense fixes dans les guerres d’usure qui n’en finissent plus ou contre des unités de combat de forces de réserve, des formations qui se rassemblent en prévision d’une offensive, des escadrons de la force aérienne ou des unités de soutien dans la zone arrière — où des résultats immédiats ne sont pas nécessaires et où le danger pour les forces alliées est minime. Dans les meilleures conditions possibles (le scénario cauchemardesque de la dernière guerre du Golfe), un seul aéronef serait en mesure de disperser des quantités élevées d’agents bactériologiques sur des centaines, voire des milliers de kilomètres carrés par pulvérisation en ligne droite contre le vent depuis la région ciblée. Se défendre contre les agents destinés aux AB pose un problème, vu la difficulté à déceler leur présence ou à les identifier, les exigences de la vaccination (connaître à l’avance le type d’agent, assurer la disponibilité de vaccins efficaces et disposer de suffisamment de temps pour développer une immunité) et le fait que des concentrations suffisamment élevées de l’agent peuvent neutraliser l’immunité même du personnel vacciné. C’est pourquoi les armes bactériologiques ont parfois été considérées comme un moyen éventuel pour les États moins développés de mener un combat d’égal à égal contre des ennemis aux technologies plus perfectionnées.

#### c-Armes Climatiques (HAARP)

Successeur terrestre du projet Star Wars (Guerre des étoiles), le Haarp serait, par ses extraordinaires puissances et polyvalence, "l'arme ultime" des Etats-Unis.

Les Américains sont-ils en train de mettre au point un vaste système d'armement capable de scanner les entrailles de la terre à la recherche de bases secrètes, d'interrompre toute forme de communication hertzienne, d'influencer les comportements humains, de modifier la météorologie, de griller les avions dans le ciel comme le ferait un vulgaire four à micro-ondes de votre potage, de provoquer des tremblements de terre ou des explosions aussi puissantes qu'une bombe atomique.

Avec le "Haarp", l'armée américaine serait en train de rééditer, sous une forme plus économique et plus dangereuse encore, son projet "Star Wars" ou Guerre des étoiles. A une différence près : il s'agit cette fois d'une installation terrestre.

Les initiales HAARP signifient en anglais "High-frequency Active Auroral Research" (recherches dans le domaine des hautes fréquences appliquées aux aurores boréales.)

De prime abord, derrière ces initiales un peu ésotériques, se cache un projet de 30 millions de dollars de coût annuel que l'armée américaine présente comme d'innocente recherches sur l'ionosphère.

Néanmoins, il est difficile de croire qu'il ne s'agit pas d'un projet à des fins militaires lorsque l'on sait que les vrais bailleurs de fond sont la Navy, l'Air Force et le Département de la Défense.

A quoi ressemble Haarp sur le terrain ? Il s'agit d'une vaste installation qui s'étend sur plusieurs hectares, à Gakona, une petite localité au nord-est d'Anchorage en Alaska.
Il s'agit d'un vaste périmètre plat et déboisé, planté de 48 antennes de 20 mètres de haut, reliées chacune à un émetteur d'un peu moins de 1 million de watts de puissance. A terme, le nombre d'antennes et la puissance des émetteurs sont appelés à se multiplier pour atteindre la puissance phénoménale de 1 milliard de watts émis par un réseau de 360 antennes. Les émetteurs sont alimentés en énergie par 6 turbines de 3.600 CV brûlant quelque 95 tonnes de diesel par jour.

*Une des antennes du réseau HAARP*

A quoi ça sert ?

Officiellement, les scientifiques qui travaillent sur cet émetteur radio mégalomaniaque veulent étudier l'ionosphère. Officieusement, Haarp va tirer parti de l'ionosphère pour en faire une arme à énergie. L'ionosphère est cette couche située au-dessus de la stratosphère, constituée de particules ionisées hautement chargées en énergie et qui démarre à une altitude moyenne de 48 Km pour se terminer à 600 Km de notre surface terrestre. Cette couche à haute densité énergétique est vitale pour notre planète car elle joue un rôle fondamental de bouclier, au même titre que la couche d'ozone. Elle nous protège des dégagements nocifs du soleil. L'ionosphère "capture" entre autres choses les particules chargées électriquement et nées des "vents et tempêtes" solaires et galactiques. On sait par ailleurs que les recherches menées depuis un siècle par une série de scientifiques ont mis en évidence le fait que ce  "manteau énergétique" protégeant la terre pouvait, avec une technologie appropriée, devenir une arme stratégique de toute première importance.

*Vue aérienne du réseau HAARP*

Comment cela fonctionne-il ?

Toute la technologie contenue dans le projet "Haarp" revient, grosso modo, à pointer vers l'ionosphère un faisceau d'ondes (comme le ferait un émetteur radio) à hautes fréquences (HF) afin de voir ce qui s'y passe. Le bombardement d'une zone donnée de l'ionosphère avec ces HF a pour effet de créer un énorme miroir virtuel qui agit comme une antenne. Cette "antenne" virtuelle réémettra des fréquences extrêmement basses (ELF : extremely low frequency) vers la terre. Pour employer une image, outre l'effet d'antenne virtuelle ainsi déployée dans le ciel, on crée une sorte de four micro-ondes géant dans un territoire donné de l'ionosphère. Malheur aux avions et aux missiles qui passeraient dans le ciel à ce moment-là. Selon la puissance des émetteurs, on pourrait tout aussi bien affoler les systèmes de guidages électroniques, radars et autres appareils radio de ces missiles et aéronefs que de les griller.

Par ailleurs, grâce à l'antenne virtuelle constituée d'ondes ELF, on peut véritablement scanner la croûte terrestre à des profondeurs extrêmes pour en faire une sorte de radiographie. De la sorte, les militaires américains sont fiers d'affirmer que grâce à "Haarp", plus aucun pays ne pourra leur cacher l'implantation de bases secrètes souterraines abritant des armes nucléaires...
Selon des études de spécialistes américains en armement, on pourra également communiquer avec les sous-marins en plongée profonde situés dans des coins reculés des océans, détecter puis détruire tout missile ou avion, même furtif, s'engageant dans l'espace aérien américain. Le but ultime étant de générer un bouclier protecteur global capable de faire le tri entre les cibles ennemies, nucléaires ou conventionnelles, et de les "traiter" de la façon adéquate. Enfin "Haarp" a surtout pour but d'empêcher toutes les communications radio et satellites ennemis dans une zone précise

**Les buts occultes**:

Selon ces scientifiques, les militaires n'en sont qu'à la phase expérimentale de leurs travaux mais les résultats déjà enregistrés sont très prometteurs. Ainsi, grâce à l'injection de fortes quantités d'énergie dans l'ionosphère, on pourra influencer la météorologie pour provoquer des effets bénéfiques dans une région donnée... ou cauchemardesque dans une autre. Comment? Tout simplement en modifiant la circulation des vents en haute atmosphère là où ils entrent en interaction avec l'ionosphère. On pourra également provoquer la libération soudaine d'une énorme quantité d'énergie en imitant par exemple le flash provoqué par une explosion nucléaire à haute altitude.

Autre application de la technologie "Haarp" : transmettre sans l'apport d'un câble électrique de fortes quantités d'énergie d'un point à l'autre. Utile, par exemple, pour ravitailler à distance les batteries électriques d'un sous-marin.

Mais il reste un domaine d'application, encore plus effrayant dont les militaires américains pourraient tirer parti grâce au projet "Haarp". Vu le passif de l'Air Force et surtout de la CIA en matière d'expérimentations chimiques et bactériologiques, il est concevable que les militaires n'aient pu résister à la tentation de faire de Haarp une arme polyvalente. On se souviendra en effet des terribles expériences secrètes réalisées sur de pauvres soldats conscrits qui consistaient à leur injecter d'énormes quantités de drogues pour modifier leur comportement. Ou encore les expériences pour influencer les activités cérébrales avec des ondes : dès 1952, le Dr Jose Delgado, professeur à Yale, avait découvert que l'on pouvait affecter le comportement émotionnel et la façon de penser d'un individu par l'utilisation de certaines fréquences et certaines ondes.

Le Dr Nick Begich, n'hésite pas à affirmer qu'un des buts du projet Haarp est de mettre sur pied une telle arme *"il est douteux que les organisateurs du projet Haarp n'aient jamais discuté de ce type de recherches. Selon mes sources, tous ceux qui sont impliqués dans le projet sont en fait aux première étapes de développement de ce genre d'application".* Des scientifiques comme Delgado ou encore le Dr Robert Becker ont réussi à démontrer que des ondes de types ELF identiques à celles utilisées par Haarp, couplées avec l'emploi de courant alternatif, génèrent des fréquences *"où la plupart des fonctions cérébrales profondes de l'être humain peuvent être manipulées de l'extérieur avec des résultats très tangibles".*

Certaines ondes peuvent en effet provoquer l'apparition dans le cerveau de substances neurochimiques qui génèrent, nous explique le Dr Begich, "un vaste arsenal de réponses et de comportements émotionnels ou intellectuels tels que des sentiments de peur, de dépression, de désir, d'amour, etc."

**CHAPITRE 5-4: L’ATOME QUI GUERIT**

En 1929, Louis De Broglie reçoit le Prix Nobel de Physique, pour avoir démontré le caractère ondulatoire d’un électron en mouvement auquel il associait la longueur d’onde :

En 1933, l’ingénieur allemand Ernst Ruska mit au point le 1er microscope électronique en s’inspirant des travaux de Louis De Broglie sur les électrons.

Il décida de remplacer le faisceau de lumière et les lentilles optiques des 1er microscopes par un faisceau d’électrons et des lentilles électromagnétiques.

En effet, les microscopes optiques, déjà utilisés par les savants au XVIIe siècle étaient limités par la longueur d’onde de la lumière

Celle des électrons, 100 000 fois inférieure, ouvrait la porte de l’infini petit.

Les scientifiques profitent de cet outil révolutionnaire dès 1935, date de sa 1ère mise sur le marché, en Grande Bretagne.

Grâce à lui, les virus sont mis à nu. Le microscope électronique a bouleversé la virologie, comme l’étude des molécules ou encore la science des matériaux.

5-4-1 Principe du Microscope électronique :

Un faisceau d'électrons, qui est extrait d'un filament par chauffage (ou effet de champ), est accéléré par une forte tension (entre 50.000 à 3.000.000 V ) au niveau du canon, puis focalisé par des champs magnétiques. Les électrons du faisceau peuvent être traités soit comme des particules, soit comme des ondes. Il se forme alors une image sur l'écran fluorescent.

Voici l'image d'un pou accroché à un cheveu qu'un microscope électronique a permis de voir.

5-4-2 Imagerie médicale (laboratoire d’imagerie paramétrique (LIP) du CNRS, univ. Pierre et Marie Curie-Paris VI):

Cela permet en 2 min d’avoir un verdict en image après avoir subi un confortable examen. Ca marche pour les dépistages rapides et à grande échelle de l’Ostéoporose (raréfaction pathologique des tissus osseux), qui se soigne par la DHR. A partir d’ultra sons (alternative aux rayon X, plus chers, ionisants (opération tuant les cellules) et encombrants).

730 exemplaires réalisés en octobre 2001 et la 2ème génération est déjà prête.

Autres applications :

* Sur l’ISS pour mesurer des effets d’absence de gravité sur l’organisme humain
* Imagerie tridimensionnelle de l’œil (images d’une précision de 10μ, en temps réel, de la cornée et de la rétine). C’est un immense progrès par rapport aux flashs aveuglants lors des fonds de l’œil !

5-4-3 Biophotonique :

C’est l’imagerie des tissus, non invasive (opération non destructrice) et non ionisante. C’est rendu possible par l’ajout d’un véritable microscope sur les traditionnels endoscopes (éclairage avec prise de vue) qui permet de nettes améliorations (possibilité de voir des détails de quelque μ)

Quelques chiffres :

* Bactérie : 1μ
* Cellules (moyennes) : 20μ
* Cellules (les plus grandes) : 75μ (cellule du jaune d’œuf)

Grâce à une technique de focalisation particulière, cet endoscope ne se contente pas d’agrandir les détails, mais il prend des images sur **100 à 200** **μ d’épaisseur**. (in vivo et sans scalpel !)

Applications : Détection plus précise et plus précoce des **CANCERS du poumon ou de l’œsophage** (appareil interdisciplinaire : médecine, traitement d’images, instrumentation optoélectronique, informatique).

Dans le futur, on utilisera les techniques des télescopes (qui permettent de rendre des images parfaites, en « gommant » les fluctuations atmosphériques) pour réaliser des images de la rétine avec une précision inégalée et ainsi accélérer les diagnostics.

5-4-4 Diagnostic au laser :

Mesurer par laser l’oxygénation des tissus, de façon non invasive et en temps réel. On analyse de la lumière rétrodiffusée par les tissus pour ainsi mesurer les taux d’hémoglobine oxygénée ou non.

Dans le futur, il y aura des capteurs de fluorescence pour le diagnostic précoce de tumeurs cancéreuses de la vessie.

Avantages :

* Pas de marqueurs (radioactifs (ex : Iode))
* Pas de prélèvement de tissus (biopsie)

L’instrument s’insère dans le canal d’un endoscope.

5-4-5 MESURE DE L’ELASTICITE D’UN MUSCLE PAR ULTRA SONS :

Ultra sons à 5Mhz, résonance avec muscle à 50Hz.

Cela permet de faire une estimation en quelques instants et sans biopsie de l’élasticité d’un muscle. Cela joue un grand rôle dans le diagnostic des myopathies

Dans le futur, cela va permettre la lutte contre le cancer. Les ultra sons ne serviraient plus seulement à détecter une tumeur intracrânienne mais à « brûler » cette tumeur grâce à un miroir à retournement temporel sans léser les tissus voisins. L’onde rebondit sur la tumeur (comme un radar) puis est amplifiée et réexpédier par le même chemin, pour détruire (pour des applications militaires par exemple…).

Il est possible de visualiser certains organes ou tissus du corps humain au moyen des ultrasons, comme l’illustre l’échographie, technique maintenant bien répandue dans le milieu médical. On sait également que les ultrasons ont des applications thérapeutiques, comme la destruction de calculs rénaux. Mais de grands progrès ont eu lieu ces dernières années en imagerie et en thérapie médicales par ultrasons.

On est ainsi parvenu à réaliser des images ultrasonores en temps réel, avec une résolution inférieure au millimètre. Les mêmes techniques de focalisation permettent également de visualiser des écoulements sanguins dans le corps humain (méthodes de corrélations temporelles des échos du sang, liées à l’effet Doppler) ; c’est l’“imagerie Doppler couleur”.

De l’imagerie ultrasonore à la thérapie, il n’y a qu’un pas. Il peut être franchi si l’on remplace les signaux ultrasonores de durée très brève et d’intensité faible par des signaux de très longue durée et de forte amplitude. On parvient à focaliser dans le corps humain des ultrasons et à y engendrer de très fortes pressions acoustiques (entre 10 et 1 000 bars).

Dans les années à venir, on devrait assister à une association étroite entre techniques de thérapie et d’imagerie ultrasonores, afin de réaliser un appareillage unique. Celui-ci permettra aux médecins de sélectionner sur l’image la zone à nécroser et de suivre en temps réel l’effet de l’hyperthermie des tissus. En parallèle à cette recherche, on envisage d’injecter dans le corps humain des gènes thérapeutiques très violents, qui ne seront activés qu’au-delà d’une certaine température, pour détruire uniquement la zone préalablement chauffée. On le voit, la gamme d’applications médicales des ultrasons est, potentiellement au moins, très vaste.

5-4-6 LES PROGRES DE LA CHIRURGIE :

* ENDOSCOPIE (pas de diagnostic mais THERAPIE)
* CH A O chirurgie assistée par ordinateur
* TELECHIRURGIE (sept 2001)

Le 9 septembre 2001, une patiente hospitalisée à Strasbourg subit l’ablation de LA VESICULE BILIAIRE (suite à une tumeur), opération réalisée par une équipe de chirurgiens depuis N-Y avec les médecins et robots à Strasbourg.

Applications :

* Opérations dans des régions reculées, avec médecins mais sans chirurgien
* Sur les bateaux
* Opérations militaires
* Les stations spatiales

**CHAPITRE 5-5: GENETIQUE**

**5-5-1 LE GENOME**

Pourquoi avoir introduit la génétique dans le chapitre : l’Homme et la Connaissance ?

Parce que la publication simultanée dans les revues anglo-saxonnes Sciences et Nature, de la carte du Génome, est un moment important dans l’histoire de la connaissance de l’être humain.

Depuis le mois de Juin 2000, date à laquelle il était annoncé que le génome était décrypté, et aujourd’hui (2001), la comparaison des travaux des deux équipes rivales aboutit à une surprise. En effet, le génome humain comporte beaucoup moins de gènes que prévu : 30 000 au lieu des 150 000 attendus! On est loin du compte…

Les deux équipes rivales en question sont le Consortium International pour le Séquençage du Génome humain, organisme public dirigé par Francis Collins et Celera Genomics, entreprise privée dont J. Craig Venter est à la tête. Le génome pourrait donc tomber entre les mains d’une entreprise privée, qui, déjà, pratique une politique de brevetage des séquences qu’elle déchiffre et profite des données publiques pour rassembler les fragments de son propre séquençage. Le génome humain serait-il le nouvel Eldorado ?

Cette course à la publication de la cartographie va être suivie d’une phase dite d’annotation. En effet, il est utile de rappeler que le décryptage du génome n’est pas une fin en soi. La cartographie n’aura d’intérêt que lorsque l’on saura analyser les données recueillies et déterminer le(s) rôle(s) et la(les) fonction(s) de chaque gène. Un travail essentiel et coûteux attend les chercheurs et les investisseurs. C’est seulement lorsque cette génomique fonctionnelle aura progressé, que la médecine prédictive actuellement débutante, pourra décoller. Une révolution qui s’amorce à l’aube du millénaire.

Les balbutiements de la génétique posent d’ailleurs déjà des problèmes éthiques avec l’exigence de certaines compagnies d’assurance aux USA et les tentatives, ailleurs, de fournir des renseignements génétiques sur les individus (police, justice,…)

Plus fondamentalement, cette carte du génome sape définitivement les bases scientifiques du racisme. En soulignant la proximité, plus grande que prévu, avec le chimpanzé, la mouche du vinaigre ou le ver de terre, ce travail collectif, fruit de 10 ans d’efforts, replace l’homme au cœur du vivant, et souligne qu’un être aussi complexe que l’Homo Sapiens est bien davantage que la somme de ses gènes.

Alors :

Qu’est ce que le « génome » ?

Que veut dire : « séquencer le génome » ?

Qu’est ce que l’ « ADN » ?

Qu’est ce qu’un « patrimoine génétique » ?

Où se voient dans nos gènes nos spécificités, nos caractères ?

Qu’est ce que la « thérapie génique » ?

Où intervient l’informatique dans tout cela ? Quelle informatique ?

Quel est le rapport avec les « OGM », le « clonage » ?

Et l’éthique dans tout cela?

Un peu d’histoire :

Johann Gregor Mendel (1811 – 1884) : Ce botaniste étudie les petits poids. Il met en évidence les lois de l’hérédité connues sous le nom de « lois de Mendel »

Hugo de Vries (1848 – 1935) : Egalement botaniste, il redécouvre les lois de Mendel, et comprend que les caractères héréditaires sont portés par un support matériel, auquel on donnera plus tard le nom de gènes. Il est à l’origine de la théorie des mutations des espèces.

Johan Friedrich Miescher (1844 – 1895) : Ce biochimiste isole en 1889 le composant du noyau des cellules : l’ADN (acide désoxyribonucléique)

Thomas Hunt Morgan (1866 – 1945) : Il confirme le déterminisme chromosomique du sexe par ses travaux sur la mouche drosophile. Il est un des premiers à porter le titre de généticien.

James Watson et Francis Crick mettent en évidence la structure en double hélice de l’ADN en 1953. Ils recevront un prix Nobel pour cette découverte en 1962.

Tjio et Levan découvrent le nombre exact de chromosomes (46) chez l’homme.

# Les cellules

Il en existe plus de 200 milliards et elles sont composées de plus de 200 types différents :

Cellules ( sans noyau ) de globules rouges : cellules procaryotes

Neurone

Cellules musculaires de la langue

Coupe microscopique de trachée artère

( assemblage précis de plusieurs types cellulaires )

Chromosome et cellule d'ADN

Réaction de Feulgen qui colore l’ADN en rouge et permet de le localiser

Chromosome ( formé de 2 chromatides )

Molécule d’ADN ( filiforme ) :

quelques centimètres quand il est déroulé, et d’un diamètre de 2 millimètres

Caryotypes ( ensemble des chromosomes )

 Caryotype d’un ours Caryotype d’une panthère

 Nombres de chromosomes

Toutes les cellules d’une **même espèce animale** ou **végétale** possèdent exactement le même nombre de chromosomes.

Gènes: le génome

Le génome est séquencé mais on connaît peu le rôle des protéines et la liaison des gènes aux protéines dont ils sont à l’origine.

 Une molécule entortillée en double hélice

(déroulée, la molécule mesurerait 90 cm par chromosome)

Le gène est composé de 1000 lettres environ et fabrique une ou plusieurs protéines (à partir de la molécule d’ARN). Ces protéines sont nécessaires au bon fonctionnement de l’organisme.

Plusieurs centaines (milliers) de gènes composent chaque chromosome

 un gène est un tronçon d’ADN

Ces gènes sont composés de 4 lettres de base ( 4 substances de bases ) :

 - adénine A

 - cytosine C

 - guanine G

 - thymine T

L’homme possède environ 30 000 gènes et ont tous été identifiés.

Les anomalies de codage constituant des gènes à maladie génétique sont connus : mucoviscidose, mélanome, cancer, myopathie, Alzeimer, etc…, mais aussi des gènes caractéristiques du caractère.

 L’homme ? Un ver de terre !

Conscient de sa supériorité sur tous les autres êtres vivants, l’homme imaginait que son patrimoine et sa complexité génétique surpasserait largement toutes les autres espèces vivantes. Qu’en est-il ?

En quelques siècles, la science nous a appris qu’en hasardeux descendant d’une lignée de vertébrés, l’Homme gravitait autour d’une étoile médiocre (le soleil), dans la banlieue d’une galaxie quelconque.

Son génome est désormais décrypté : qu’y trouve-t-on ?

L’espèce humaine compte bien moins de gènes qu’on ne l’imaginait (30 000).

Moins qu’un grain de riz !

A peine plus qu’un ver de terre : le Nematode possède 19068 gènes !

Un patrimoine génétique plus ou moins semblable en volume et en nature à celui d’une mouche !

Avoir décrypté le brin d’ADN s’avère décevant !

C’est ailleurs qu’il faut rechercher l’extraordinaire complexité à nulle autre pareille de l’espèce humaine : 100 milliards de cellules nerveuses (contre 302 pour le Nematode)

D’où vient cette singularité de l’espèce humaine ? Une question à laquelle les biologistes, les informaticiens et les mathématiciens (en introduisant le hasard et ses lois probabilistes) du XXIème siècle répondront peut être…

**CHAPITRE 5-6: ADN**

**5-6-1 ADN/SEQUENCAGE**

Proposé en 1953, le modèle moléculaire de l’ADN de Francis Crick et James Watson a été maintes fois vérifié. Il permet d’expliquer toutes les propriétés de l’ADN. Cette molécule y apparaît formée de 2 longues chaînes de nucléotides torsadées en double hélice, dont le pas est de 34 Å et le diamètre de 20 Å (1 Å = 10-10 mm)

#  5-6-2 BASES ACGT

Les bases azotées, liées entre elles par des liaisons hydrogène, sont de deux types. Les purines que sont l’adénine et la guanine et les pyrimidines que sont la thymine et la cytosine. Les liaisons entre ces bases ne se font pas au hasard. L’adénine (A) ne peut se lier qu’avec de la thymine (T) et la guanine (G) ne peut se lier qu’avec de la cytosine (C). La symétrie de chaque paire de bases lui permet de s’insérer dans la double hélice de deux façon différentes : A-T et T-A, C-G et G-C (la liaison entre A et T est une liaison double tandis que la liaison entre G et C est une liaison triple). On trouvera donc dans la molécule d’ADN les quatre bases dans toutes les permutations possibles.

 Ainsi si la séquence d’un des brins est ACGCTA la séquence que l’on retrouvera sur l’autre brin sera TGCGAT. Chaque lettre est appelé un nucléotide et le regroupement de ces lettres par 3 donne ce qu’on appelle un triplet de nucléotides.

La reproduction (réplication) de l’ADN se fait selon un mécanisme semi-conservatif. Chaque molécule-fille d’ADN est une réplique parfaite de la molécule mère : elle est constituée pour moitié d’un brin ancien conservé. Les chromatides possèdent donc le même message génétique.

Pour qu’il y ait réplication de l’ADN, le stock d’ADN de la cellule mère doit dans un premier temps doubler. La réplication se fera à la fois dans les deux brins. Il faudra environ 10 heures pour qu’elle se fasse, mais cela peut varier suivant l’espèce et les tissus. La double hélice d’ADN va s’ouvrir afin que chaque brin puisse servir de modèle pour l’édification d’un brin complémentaire. On obtient alors deux molécules d’ADN, chacune ayant alors un brin ancien et un brin jeune.

# 5-6-3 ANOMALIES DE CODAGE

 Afin de mieux la comprendre, abordons la question des anomalies de codage avec l’analogie littéraire suivante :

* Le NOYAU est la BIBLIOTHEQUE

C’est une section. La bibliothèque centrale contient toutes les sections. Autrement dit, tous les noyaux de toutes les cellules.

* Chaque section de bibliothèque contient 46 livres

(1 par CHROMOSOME)

* Le GENE est une page de ce livre (qui en contient 30000 )

( L’ADN est découpé en 30000 morceaux, chacun de ces morceaux est un GENE)

* Les BASES sont les 4 lettres d’un alphabet (notre alphabet a 25 lettres)

Un gène c’est quelques milliers de ces lettres DANS UN ORDRE DONNE (Caractère génétique)

* Les ANOMALIES DE CODAGE sont les fautes d’orthographe (ou erreurs d’impression) rencontrées dans ces livres.

Lorsqu’une ANOMALIE DE CODAGE affecte un gène, sa mission s’en trouve altérée. En effet, la substance codée par ce gène (PROTEINE) est en quantité insuffisante voire absente. C’est ce qui provoque les MALADIES GENETIQUES MONOGENIQUES (affectant un seul gène) pouvant ou non se transmettre d’une génération à une autre. On dénombre aujourd’hui environ 4000 maladies de ce type (mucoviscidose,…)

Les anomalies de codages sont provoquées par des mutations génétiques. Ces mutations sont des modifications héritables, spontanées ou provoquées, d’une séquence des bases de l’ADN, correspondant à une ou des fonctions déterminées de la vie cellulaire, entraînant l’altération de cette ou de ces fonctions.

Il existe plusieurs types de mutations.

* Mutation par remplacement ou par substitution : dans ce cas une base est remplacée par une autre base.
* Mutation par inversion : la séquence d’un triplet est retournée, elle est lue en sens inverse. On lit par exemple ACC sous la forme CCA.
* Mutation par délétion : il y a une perte d’une paire de nucléotide, c'est à dire qu’un nucléotide (ou une lettre) d’un des deux brins de l’ADN et son nucléotide correspondant sur l’autre brin vont être perdus.
* Mutation par insertion : Il y a insertion d’une nouvelle paire de base (une base pour chaque brin).

AT

TA

CG

CG

AT

AT

Situation normale

AT

TA

CG

CG

CG

AT

Substitution

AT

TA

CG

CG

AT

AT

AT

Addition

AT

TA

CG

AT

AT

CG

Délétion

# 5-6-4 GENOMIE FONCTIONNELLE

C'est l'étude exhaustive des génomes et en particulier de l'ensemble des gènes, de leur disposition sur les chromosomes, de leur séquence, de leur fonction et de leur rôle. L'étude d'un génome passe donc par des opérations de cartographie puis de séquençage ainsi que par l'interprétation des séquences :

- La cartographie physique : c'est le positionnement de repères sur le génome.

- Le séquençage : pour connaître les " instructions " que renferme un fragment d'ADN, on lit la succession des bases A, T, G et C de l'enchaînement.

- L'interprétation des séquences : la séquence d'un fragment d'ADN contient une série d'informations qu'il faut identifier et interpréter. Les éléments de séquences les mieux connus correspondent aux gènes, délimités par des signaux de début et de fin.

**Où en est-on ?**

Le génome humain est une suite de 3.109 lettres (bases). Un programme Européen de séquençage du génome a été entrepris en 1990. La société privée américaine CELERA de Craig Veuter se penche également sur la question.

 En Décembre 1999, un premier chromosome (le chromosome 22) est entièrement séquencé. Une fois que les 3.109 de lettres sont déchiffrées, il faut repérer les mots, c’est à dire les gènes, puis leur sens, c’est à dire les protéines que les gènes produisent.

 CELERA a déposé 40000 demandes de brevets (20000 portent sur de simples séquences d’ADN), ce qui équivaudrait à prendre un brevet sur l’arc-en-ciel par celui qui l’a vu en premier, l’ADN n’étant pas une invention !!! D’autre part, cela signifierait qu’en cas de brevet sur un gène malade, un seul laboratoire pourrait soigner cette maladie.

# 5-6-5 THERAPIE GENIQUE

Le défi de la thérapie génique est de parvenir à corriger, à l'intérieur des cellules d'un organisme humain, les anomalies qui, en affectant son génome, sont responsables de pathologies graves et, le plus souvent, actuellement incurables. L'objectif est d'atteindre et de supprimer la cause de la maladie et de ne plus se contenter d'atténuer ou d'effacer les symptômes.

Cette définition inclut à la fois la thérapie du gène (réparation de gènes dont l'altération est responsable de maladies), objectif qui prévalait pour les maladies génétiques en 1983, et l'utilisation de gènes comme nouveaux types de médicament.

Il existe trois méthodes de thérapie génique :

* La thérapie génique *ex vivo* consiste à prélever sur le patient les cellules cibles, à les modifier génétiquement puis à les réintroduire chez le patient.
* La thérapie génique *in situ* consiste à placer directement au sein du tissu
* La thérapie génique *in vivo* consiste à injecter le vecteur portant le gène thérapeutique directement dans la circulation sanguine ; le vecteur est alors censé atteindre spécifiquement les cellules cibles.

La thérapie génique suppose nécessairement :

- un gène-médicament ;

- un vecteur pour le transporter ;

- une cellule cible où le gène puisse s'exprimer.

Quels sont alors les principaux types de vecteurs ? Les virus. En effet, ils ont la capacité de franchir, dans certaines conditions, les barrières de protection que dresse le corps humain en cas d'introduction d'ADN étranger dans son génome. Ils sont capables d'introduire leur matériel génétique dans les cellules qu'ils infectent. Bien entendu, les virus utilisés ne doivent présenter aucun danger : on transforme donc génétiquement les virus en ôtant, dans leur propre génome, les séquences nécessaires à leur réplication et leur virulence.

En pratique, la thérapie génique est encore loin d’être un domaine totalement maîtrisé. En effet, actuellement, les chercheurs rencontrent certains obstacles techniques :

Le gène de remplacement ne s’exprime pas toujours. Ce problème est loin d’être résolu.

Les séquences régulatrices contrôlant l'expression du gène thérapeutique sont souvent reconnues comme étrangères et inactivées par la cellule qui les reçoit.

**Les récents progrès de la thérapie génique**

- L'électroporation *in vivo* pour l'injection d'ADN nu : amélioration du transfert du gène grâce à des impulsions électriques : la génétique et l'électricité n'ont au départ aucun point commun et n'avaient jusqu'à présent pas mêlé leurs applications. Aujourd'hui, deux équipes de chercheurs français du CNRS rapportent que l'électricité pourrait jouer un rôle de stimulant dans le cadre de thérapies géniques en améliorant le fonctionnement des gènes injectés. Au cours de leurs expériences, les scientifiques sont parvenus à introduire durablement un gène dans les muscles de souris en obtenant, sous l'action d'impulsions électriques, une efficacité au moins cent fois supérieure à la simple injection d'ADN. En effet, les impulsions électriques rendent perméables les cellules, elles ouvrent la porte pour y faire entrer le produit choisi.

- Suivre le chemin des gènes : Il est désormais possible de visualiser in vivo le cheminement de brins d'ADN grâce à une toute nouvelle technologie appelée la tomographie à émission de positons, basée sur une technique d’imagerie médicale. Il sera alors possible de mettre en évidence des fonctions, observer les dégâts causés par un accident vasculaire grâce à la mesure du débit sanguin cérébral ou encore localiser des tumeurs en visualisant la forte consommation de glucose par des cellules cancéreuses...

# 5-6-6 MEDECINE PREDICTIVE

Depuis une dizaine d'années, l'accélération de la connaissance des gènes impliqués dans les maladies héréditaires a permis la mise au point de nombreux tests génétiques. Ils ont pour caractéristique de réaliser, notamment chez des sujets à risque, un diagnostic avant toute apparition de symptôme.

Il existe deux types de stratégies diagnostiques :

* La méthode dite « directe » est utilisée lorsque le gène responsable de l'apparition de la maladie est localisé, cloné, et que l'anomalie sur le gène est bien identifiée. Les tests de cette méthode se font directement chez le sujet atteint.
* La méthode dite « indirecte » est utilisée pour les maladies dont le gène responsable n'est pas encore cloné mais est localisé sur le génome, ou pour les maladies dont le gène est cloné mais dans lesquelles la lésion génétique est difficile à analyser par la méthode directe. Ce type de test nécessite une analyse familiale.

**L'éthique en médecine prédictive.**

Si la médecine prédictive permet à un individu donné de gérer au mieux son capital santé, son application à grande échelle soulève cependant des questions éthiques. La médecine prédictive se doit de répondre à une démarche volontaire d'*un* individu, puisque «la primauté de la personne est le fondement de la société», comme le souligne le projet de loi relatif au corps humain.

# 5-6-7 BIO INFORMATIQUE

La bio-informatique, combinaison de l'informatique et de la biologie, est la science sans laquelle aucun des domaines évoqués précédemment, ni aucun de ceux qui en découleront, n'aurait été possible. Elle est constituée de l'ensemble des concepts et des techniques nécessaires à l'acquisition (identification des gènes) et à l'interprétation de l'information génétique (prédiction de leur fonction), deux problèmes au centre de la "génomique fonctionnelle".

Elle seule, permet de gérer cette information, qui est quantitativement considérable.

La bio-informatique, véritable clé de la génomique, en est un outil indispensable : à partir d'une séquence d'ADN nouvellement identifiée, elle permet, entre autres, de :

* retrouver les séquences similaires déjà décrites dans des banques de données
* construire des séquences " virtuelles " issues de leur assemblage
* déduire quels sont les gènes associés et leur distribution au niveau d'un organe ou d'un tissu
* établir un lien entre des gènes présents dans une pathologie et la présence en surabondance d'une certaine protéine in situ
* prédire la structure, et même la fonction de cette protéine, cible potentielle pour un futur médicament.

# L'acquisition et l'analyse de l'information génétique

L'activité de séquençage consiste à transformer de la matière en information. Dans un premier temps, il s'agit d'utiliser des programmes informatiques qui, intégrés aux séquenceurs permettent de décrypter les fragments d'ADN, de les "lire".

Interviennent ensuite des moyens d'analyse intensive de la séquence : à l’aide de supercalculateurs, on organise la grande quantité de données brutes et l’on reconstitue la séquence de longues régions du génome à partir d'éléments beaucoup plus petits. On est ainsi amené à reconstituer des puzzles dont chacune des pièces est une séquence que l'on comparera à toutes les autres.

Pour un génome bactérien entier, par exemple, la reconstitution du puzzle peut demander plus de deux cent mille milliards de comparaisons de caractères.

# L'organisation et la conservation de l'information

C'est ce que certains appellent l'informatique d'intégration. L'informaticien essaie d'assister le biologiste dans l'organisation des résultats et la mise en concordance d'observations scientifiques distinctes, qui lui permettent d'émettre une hypothèse et de la valider sur de grands ensembles de données. Elle consiste notamment à constituer de gigantesques bases de données, elle permet la recherche d'informations ("*data mining*") et la mise en évidence de " voisinage " à partir des connaissances scientifiques publiées et de banques de données spécialisées

Le nombre de données est tellement important qu'il est impensable qu'on soit aujourd'hui en mesure de les interpréter dans toute leur complexité et ainsi parvenir à les intégrer dans un schéma global de fonctionnement de la cellule. C'est dire, dans le long terme, l'importance du pari de la bio-informatique pour tirer le meilleur parti de l'utilisation de cette technologie révolutionnaire.

#### 5-6-8 CONCLUSION

 Les applications de la génétique sont nombreuses et variées.

**Religieuses/Historiques :** Récemment, la génétique a permis de montrer que l’évangéliste Saint Luc était bien d’origine syrienne, comme les historiens le pensent. Une équipe de chercheurs a obtenu l’autorisation de prélever deux dents sur la dépouille attribuée à l’évangéliste, en vue d’étudier son ADN. Ils ont comparé une séquence d’ADN avec la même séquence observée chez des individus modernes habitant en Syrie.

**Médicales :** Production de médicaments transgéniques

La transgénèse est le transfert d’un gène d’une espèce à une autre. L’objectif de cette technique est de produire des protéines humaines thérapeutiques à moindre coût.

La technique est la suivante : on procède à la fécondation in vitro d’un embryon dit « transgénique » entre un spermatozoïde humain et un œuf de chèvre, dans lequel on injecte un gène hybride composé de deux gènes particuliers :

* + un gène dit « promoteur », connu pour diriger la synthèse des protéines chez la chèvre.
	+ un gène humain codant la synthèse d’une protéine thérapeutique.

L’embryon est alors transféré dans l’utérus de chèvres-mères porteuses, puis à l’âge adulte, elles sont accouplées à des partenaires. Après plusieurs générations, un troupeau d’animaux transgéniques femelles est obtenu. Ces chèvres sont traitées et la protéine humaine thérapeutique est ensuite purifiée à partir du lait recueilli.

Cette technique est très économique : en effet, un gramme de protéine obtenu par ce moyen coûtera quelques dollars, contre près de 200$ pour les techniques actuelles.

La thérapie génique se situe à un carrefour où d'un coté elle permet potentiellement de modifier le génome humain (c'est à dire agir sur l'espèce humaine), et de l'autre laisse espérer la guérison de maladies graves. Dans le premier cas, elle peut être inquiétante pour le devenir collectif de l'humain, dans l'autre elle offre un espoir de guérison à des individus.

La crainte majeure repose sur le fait qu'il n'y a aucune raison de penser que l'imagination de l'homme va s'arrêter. Même si les pratiques sont contrôlées, les connaissances en génétique ne seront-elles pas détournées et seront-elles toujours maîtrisées ? Peut-on accepter une pratique sans en envisager les dérives ? Par exemple, la technique du clonage pourrait permettre de créer des individus dont on connaît le patrimoine génétique, il sera aisé alors de modifier ce génome avant de le réimplanter dans l'utérus de la mère biologique. Ceci ne nécessitera pas de tri d'embryon, ni de croisement aléatoire de gamète, et il sera également possible d'améliorer des fonctions autre que celles impliquées dans des maladies génétiques graves. Cette pratique déjà bien avancée dans le milieu animal ne risque-t-elle pas de s'appliquer à l'homme ?

Notre attitude vis à vis de ces techniques mérite la plus grande circonspection, non par opposition, mais par humilité et par responsabilité à l'égard des générations futures. L'évolution de notre espèce vient d'entrer, par l'acquisition de nouvelles connaissances, sous la domination et le contrôle d'elle-même. Qui va donc décider de la modifier ? Qui va être transformé ? Au nom de quelles normes et selon quelles règles ? Comment le contrôle des dérives va se réaliser ?

Il faut définir des chemins entre diverses positions, celles de ceux qui sont partisans des transformations de l'homme au nom de l'humanisme thérapeutique (lutter contre la souffrance et la maladie) et celles également humanistes qui veulent réglementer les pratiques par craintes des dérives que laissent craindre les performances médicales.

**CHAPITRE 5-7: OGM**

 **5-7-1- NAISSANCE DES O.G.M.**

C'est en observant la nature que les chercheurs ont découvert le moyen de la « surpasser ». En 1982, des scientifiques de l'université de Gand, en Belgique, identifient le gène d'une bactérie du sol. La particularité de celle-ci, savamment nommée *Agrobacterium tumefaciens,* est de transférer naturellement une partie de son information génétique aux végétaux qu'elle infecte. En reproduisant ce transfert de gènes, ou transgénèse, en laboratoire, les chercheurs créent les *plantes transgéniques,* c'est-à-dire génétiquement modifiées, les PGM, sous-catégorie des organismes génétiquement modifiés, les fameux OGM.

Concrètement, on découpe dans le génome d'une plante le brin d'ADN correspondant au gène recherché (dit « gène d'intérêt »), grâce à une enzyme particulière, véritable ciseau biologique. On se sert ensuite d'un plasmide, petite molécule d'ADN autonome de forme circulaire, pour convoyer ce gène vers la cellule de la plante à améliorer.

Ensuite, deux techniques sont possibles. Soit on utilise *Agrobacterium tumefaciens* pour infecter les cultures. Soit on bombarde celles-ci, via un « canon à particules », de billes d'or ou de tungstène autour desquelles est déposé le gène. Ces deux techniques aléatoires ne permettent pas l'obtention de 100 % de cellules modifiées. Pour savoir lesquelles ont muté, un gène « marqueur » est ajouté au gène d'intérêt. En général, il s'agit d'un gène de résistance à un antibiotique. À l'issue de la transgenèse, on saupoudre les cultures avec cet antibiotique. Seules les cellules ne comprenant pas le gène de résistance meurent. Les autres transmettront à leur descendance la modification apportée par l'homme et leur culture donnera naissance à des OGM.

Aujourd'hui, plus de cinquante végétaux ont déjà leur équivalent transgénique. La grande majorité d'entre eux (maïs, soja, colza, etc.) sont produits en quantités industrielles, notamment pour l'alimentation des animaux d'élevage.

 **5-7-2- AVANTAGES DES O.G.M.**

 1- Une solution contre la faim ?

«Derrière le débat dans les nations industrialisées sur l'alimentation biotechnologique se trouve une triste ironie: ceux qui ont le plus pourraient refuser cette technologie prometteuse à ceux qui en ont le plus besoin», s'indigne Hans Kornberg, professeur de biologie. Et d'expliquer que les quelques 800 millions de personnes sous-alimentées dans le monde auraient tout à gagner à ces progrès scientifiques.

En effet, on estime le rendement d'une exploitation génétiquement modifiée supérieur en moyenne de 10 à 12 % à celui d'une culture classique. Même si on ne peut pas réduire le débat sur la pénurie alimentaire aux seules questions de rendement des surfaces, comme voudraient souvent le faire croire les agrochimistes, il est clair que l'augmentation du rendement des terres africaines, par exemple, résoudrait au moins partiellement les problèmes de malnutrition.

Le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (financé par la Banque mondiale) s'est d'ailleurs récemment positionné en faveur d'un développement accru des cultures d'OGM pour lutter contre la famine. Les experts du Groupe rappellent que la production alimentaire devrait augmenter de plus de 50 % pour nourrir deux milliards d'individus supplémentaires prévus d'ici à 2025. Dans ce contexte, les plantes mutantes sont un espoir inouï.

 2- Des produits d’une meilleure qualité ?

Les entreprises utilisant les biotechnologies à des fins agricoles ne prétendent pas seulement donner la possibilité de produire plus. Elles proposent de produire mieux. Un argument qui ne manque pas d'attrait, quand on sait que mal se nourrir, c'est s'exposer à des déficiences néfastes pour l'organisme.

* Des fruits, légumes et féculents améliorés au plan gustatif

Les biotechnologies contribuent à l'amélioration des qualités gustatives des aliments. L'objectif est de fournir à des consommateurs éloignés des lieux de production des produits aux arômes développés.

* Des tomates à maturation retardée plus savoureuse

Ces tomates ont la propriété de résister au ramollissement accompagnant le mûrissement. Ainsi, elles se conservent mieux, sont plus savoureuses et contiennent plus de vitamines car elles peuvent être récoltées à un stade de maturation avancée. Ces tomates sont commercialisées aux Etats-Unis depuis 1994.

* Des melons plus sucrés qui se conservent plus longtemps

Par transgénèse, on introduit, dans le melon, un gène contrôlant la maturation du fruit, en différant le ramollissement qui accompagne le mûrissement. Conséquence : ces melons, dont le mûrissement peut se faire sur pied plus longtemps, ont une teneur en sucre et en arôme plus importante. Le produit n'est pas encore sur le marché.

* Des aliments plus diététiques et respectueux de notre santé

Les biotechnologies sont également fortement porteuses d'espoirs dans le domaine de l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments. Les applications sont nombreuses et, bientôt, le consommateur pourra s'alimenter en conciliant nutrition, santé et plaisir.

* Des plantes produisant des sucres et aliments «zéro calorie»

De nombreux consommateurs recherchent ces sucres afin de réduire, pour des raisons de santé, leur ration journalière de calories apportées par l'alimentation. Ainsi, par transfert de gène, on fait produire à des betteraves un type de sucre comestible mais zéro calorie. On peut aussi améliorer la qualité gustative de fruits ou de légumes par l'introduction d'un gène produisant une protéine naturelle sucrée (la brazzéine) sans apporter la moindre calorie.

* Des plantes enrichies au bêta carotène

La vitamine A, fournie par le bêta carotène, est un élément nutritif essentiel pour la vue et la croissance. Aujourd'hui, 1 milliard de personnes souffrent de carence en vitamine A (notamment en Afrique, en Asie...). Par ailleurs, cet anti-oxydant naturel constituerait, également, un élément de prévention du cancer et des maladies cardiaques. Les gènes de bêta carotène peuvent être introduits dans les tomates, le riz et le colza, augmentant ainsi leur qualité nutritionnelle.

La solution des plantes transgéniques pour produire des médicaments est considérée comme une voie d'avenir sûre, en termes de risque de contamination. En effet, il n'y a pas de maladie transmissible entre l'homme et la plante, ce qui n'est pas le cas entre l'homme et l'animal. De l'albumine et de l'hémoglobine ainsi que du collagène (protéine de la peau) ont été expérimentalement produits par des tabacs transgéniques. De même, l'équivalent de la lipase gastrique du chien -qui est utilisée dans la lutte contre la mucoviscidose- a été produit expérimentalement par des colzas et des maïs transgéniques. Enfin, le concept de plantes-vaccins est déjà une réalité expérimentale.

* Des plantes plus respectueuses de l'environnement

Une tolérance spécifique à un désherbant «non sélectif»

Certains désherbants représentent un progrès pour la protection de l'environnement, du fait de leur faible toxicité et de leur biodégradabilité plus rapide. Parmi ces désherbants, certains «non sélectifs» (c'est-à-dire efficaces sur l'ensemble des plantes) peuvent être utilisés avec des plantes génétiquement modifiées rendues tolérantes à l'un d'entre eux. C'est le cas, en particulier, de certains maïs, de certains soja, colza et tabac transgéniques tolérants à l'un de ces herbicides.

* Une résistance à certains virus

Des plantes sont modifiées pour résister à certains virus végétaux. Ce procédé peut s'appliquer non seulement aux courges, aux melons, aux bananes, aux concombres, à la laitue et aux patates douces mais aussi à la betterave et au coton. Cette auto-protection permet à la plante de bloquer à temps la progression du virus.

* Une résistance aux insectes

Des maïs peuvent être rendus résistants à la pyrale et à la sésamie (deux insectes nuisibles), ce qui leur procure une auto-protection contre ces ravageurs et permet notamment de limiter le recours aux traitements insecticides. Par exemple, en Amérique du Nord, sur les 800 000 hectares cultivés de coton transgénique résistant à différents insectes, l'utilisation d'insecticide a été divisée par 5.

Le paradoxe des OGM se situe dans ce constat. Outre l'avancée technologique extraordinaire que représente le procédé, les « pro-OGM » affirment que, grâce aux applications agronomiques de la transgenèse, les agriculteurs se trouveront moins exposés aux produits toxiques des pesticides et la protection de l'environnement sera favorisée. Or, qui sont les principaux opposants aux OGM ? Les écologistes ! Ces derniers soutiennent au contraire que les risques que représentent les OGM pour l'environnement sont imprévisibles et probablement pires que ceux qu'entraîne l'usage des pesticides.

 **5-7-3 DANGERS DES O.GM.**

Aucun outil ne permet actuellement de juger de la dangerosité des OGM. Parmi les risques énoncés par les chercheurs, il y a notamment celui de la transmission de gènes des OGM à l'homme et celui de dissémination de ces gènes à des plantes sauvages. Des comités de « biovigilance » ont été constitués. En attendant, c'est aux consommateurs de choisir. L'étiquetage est obligatoire depuis 1998 en Europe au-delà d'un pour cent d'OGM exprimé dans le produit.

 1- Risques écologiques : la polémique

Les OGM seraient-ils l'objet d'une phobie rétrograde alimentée par les médias ? Le fait est que s'il y a bien un domaine où l'on ne peut pas, en l'état actuel des connaissances, prévoir les risques, c'est bien celui des manipulations génétiques.

Outre les dangers de déséquilibres dans les écosystèmes, la crainte principale porte sur la dissémination dans l'environnement de gènes de résistance aux herbicides ou aux antibiotiques. En clair, que se passerait-il si les plantes mutantes infectaient leurs voisines sauvages avec un gène les rendant impossibles à éliminer ?

L'expérience a été faite par des scientifiques danois. En deux générations seulement, le transfert de tolérance à un herbicide (le glufosinate d'ammonium) se révèle possible entre le maïs transgénique et la navette, une espèce proche vivant à l'état sauvage. En France, des chercheurs du CNRS ont retrouvé des gènes transférés à des OGM (ou *transgènes*) dans de l'ADN extrait du sol plus d'un an après l'arrachage de plantes génétiquement modifiées.

 2- Risques pour la santé : désaccords parfaits

Il est un risque plus directement lié à notre santé : celui de la transmission du gène de résistance à l'ampicilline, antibiotique de la famille de la pénicilline, marqueur utilisé pour la production du maïs de Novartis. Des bactéries dotées de ce gène pourraient se révéler redoutables.

En septembre 1998, le conseil d'État français avait d'ailleurs accédé à la requête d'associations écologistes demandant que soit faite la preuve de l'innocuité de ce maïs. Selon une étude non publiée, les gènes ajoutés aux plantes ne sont pas immédiatement détruits par les enzymes digestives. En fait, ils séjournent quelque six minutes dans le tube digestif avant d'être dégradés. Même si le risque de passage d'un organisme à l'autre n'est que d'un cas pour un million, n'oublions pas que notre flore intestinale est constituée de milliards de bactéries.

En l'absence de preuve décisive, le maïs Bt. est revenu parmi les OGM autorisés. Dans le même temps, Novartis s'est engagé à se passer de l'ampicilline pour la fabrication de ses plantes.

Cependant, pourquoi exiger des OGM de présenter un « risque zéro » impossible à atteindre dans n'importe quel autre domaine lié à la santé ? Beaucoup de chercheurs comprennent mal que l'on s'attache autant à mettre en avant les risques de la génétique plutôt que les bénéfices que cette science apporte. D'ailleurs, les bactéries pathogènes sont déjà résistantes à beaucoup de médicaments (notamment à cause des antibiotiques ajoutés à la nourriture des animaux d'élevage).

Selon ces chercheurs, le risque de contracter des infections croisées ou d'être infecté par une souche résistante aux antibiotiques serait, en définitive, beaucoup plus élevé lorsqu'on séjourne à l'hôpital que lorsqu'on consomme des crêpes contenant des OGM !

**5-7-4 LES MESURES CONCERNANT L’O.G.M.**

Le développement du génie génétique implique d’en maîtriser les risques et d’éviter toute dérive.

Aussi plusieurs points doivent impérativement être respectés par tous :

* non intervention sur le génome humain,
* analyse au cas par cas des modifications sur les plantes ou les animaux,
* nécessité d’un intérêt pour la collectivité humaine,
* suivi rigoureux des effets éventuels de l’organisme génétiquement modifié sur son environnement.

En ce qui concerne les plantes génétiquement modifiées, le gouvernement a décidé en novembre : de renforcer le dispositif de contrôle des plantes transgéniques et d'information des citoyens.

* Une conférence de consensus sera organisée avec l'Office parlementaire d'évaluation scientifique et technologique.
* Un dispositif de biovigilance pour les variétés autorisées sera mis en place, afin de suivre les risques éventuels de développement des résistances dans les espèces végétales ou les organismes prédateurs (le renforcement des pouvoirs d'investigation, de contrôle et de police, des service de la protection des végétaux est prévu).
* La Commission du Génie Biomoléculaire renforcera la participation des associations environnementales et des représentants des consommateurs, et améliorera les conditions du débat dans cette enceinte.
* L'évaluation des risques sanitaires liés au développement des plantes modifiées génétiquement sera confiée à la future Agence de Sécurité Sanitaire des Aliments ; l'avis du ministre chargé de la santé sera systématiquement requis au stade de l'autorisation ;
* Une plus grande transparence de l'ensemble des procédures d'agrément sera garantie.
* L'information des consommateurs sera assurée par un étiquetage précis.

Le respect du principe de précaution doit s'imposer dans tous les cas.

Ce principe se décline, dans le domaine des plantes génétiquement modifiées, de la façon suivante :

* L'autorisation de mise en culture n'est accordée que pour les variétés ne présentant pas de risques de dissémination de transagènes dans l'environnement ni de risques sanitaires pour la consommation ;
* L'autorisation de mise en culture et de consommation n'est pas accordée aux variétés présentant des risques environnementaux et/ou sanitaires ; les recherches sont alors poursuivies afin de maîtriser l'ensemble de ces risques ;
* L'agrément d'une plante génétiquement modifiée doit s'accompagner d'une période complémentaire de surveillance, avec possibilité de retrait du marché (comme c'est le cas aux Etats-Unis) ;
* Un suivi environnemental de longue durée sera assuré pour les cultures ;
* Les consommateurs doivent être informés par un étiquetage précis lorsque le produit issu d'une plante génétiquement modifiée n'est pas équivalent à l'aliment traditionnel.

Aussi, pour les plantes génétiquement modifiées, un moratoire est décidé.
Aucune autorisation de mise sur le marché d'espèces végétales autres que le maïs et de constructions génétiques contenant un gène de résistance aux antibiotiques (à l'exception du maïs "Novartis" autorisé depuis février 1997) ne sera donnée. Et ce, jusqu'à ce que les études scientifiques aient démontré l'absence de risque pour l'environnement et que le débat public ait été achevé.

**5-7-5 Techniques de transfert de gènes chez les plantes**

I. Clonage : gènes d'intérêt isolés puis intégrés dans des plasmides au moyen d'enzymes (de restriction, ligases).

II. Transfert :

1. Intégration des plasmides clonées dans les bactéries *Agrobacterium tumefaciens* avec lesquelles on infecte des fragments de tissu de la plante à modifier.

2. Intégration des plasmides dans des cellules (protoplastes) de la plante, par « électroporation » ou micro-injection.

3. Bombardement des fragments de tissu.

4. Dépôt sur le récepteur femelle (stigmate) des fleurs.

III. Obtention de plantes génétiquement modifiées :

5. Après culture de cellules ou de tissus (1, 2, 3).

6. Après germination des graines (4).

**CHAPITRE 5-8: CLONAGES**

Clonage : reproduction à l’identique du donneur du noyau (photocopie).

# 5-8-1 – CLONAGE VEGETAL

1 - Principe du clonage végétal

Chez les végétaux, le clonage se fait naturellement de manière courante. En effet, le bouturage et le marcottage sont des manière simples d’obtenir des clones.

Le bouturage consiste à prendre un morceau de plante et de le replanter. Une propriété d’autodéfense permet à toutes parties détachée de cicatriser et donc de relancer la croissance d’une nouvelle plante au patrimoine génétique identique à la première.

Le marcottage est un procédé ressemblant au bouturage ayant beaucoup moins de risques pour le végétal car le développement de la plante « fille » se fait alors que celle-ci est encore rattachée à la plante « mère ». Ce procédé est facile à réaliser car chez de nombreuses espèces, le seul fait qu’une branche soit enterrée suffit à lui faire émettre des racines.

Depuis les années 50, on sait cloner des végétaux in vitro. Il est possible de produire des individus entiers à partir de fragments de tissus prélevés sur la plantes mère.

Principe du clonage dans le cas d’une carotte.

#### 2 – Clonage d’une pomme de terre

Udo Conrad de l’institut Pflanzgenetik und Kulturplanfzenforschung à Gatersleben (Allemagne), injecta dans une cellule d’une pomme de terre, un gène prélevé sur une arachnide (Nephila clavipes).

« La pomme de terre a pu lire les instructions génétiques de l’araignée comme si c’étaient les siennes et a exprimé 2% de protéine de soie authentique. »

« C’est une protéine soluble, de bonne qualité. Reste ensuite à développer des techniques de filage. »

Le fil de soie arachnéen est :

* Six fois plus résistant que le Kevlar (gilets par balles)
* Deux fois plus élastique que le nylon
* Non toxique
* Biodégradable
* Idéal pour fabriquer les vêtements de protection des fils de suture des ligaments artificiels et des câbles.

Pourquoi ne pas synthétiser artificiellement la protéine de soie ?

Car cela est trop compliqué donc trop cher. La seule méthode rentable consiste à la faire fabriquer par un être vivant.

Le principe : identifier puis isoler chez un organisme « donneur » le gène codant pour une protéine intéressante, biomatériau ou molécule pharmaceutique. Puis insérer ce gène chez un « hôte » qui va l’exprimer : c’est la TRANSGENESE, qui n’est possible que parce que les organismes vivant ont tous un code génétique commun.

# 3 – Une tomate transgénique plus sûre

Chloroplastes : composants de la cellule (sauf celle du Pollen) contenant l’ADN, et siège de la photosynthèse.

On greffe le gène étranger dans l’ADN des chloroplastes et non dans l’ADN du noyau (chromosomes).

Ralph Bock-Institut de Biochimie végétale et Biotechnologie-Munster-Allemagne.

AVANTAGES :

* Le Pollen de la fleur de tomate n’a pas de chloroplaste donc pas d’ADN transgénique. Or c’est par le pollen que se transmet la fécondation végétale donc pas de dissémination. (La plupart des végétaux supérieurs ont du pollen sans chloroplastes).
* Excellent rendement des greffes des plantes transplatomiques (chaque cellule comporte environ 100 chloroplastes) on peut donc faire du multigreffage (10 000 copies d’un même gène) au lieu d’une seule dans le cas de la transgénèse classique.
* possibilité d’obtenir de véritables plantes usines, capables de sécréter d’importantes quantités de médicaments.
* Transplastomiques : elles sont fertiles, le gène greffé s’exprime dans leurs fruits (taux 50%)
* Immuniser contre certaines maladies les populations du Tiers monde.

## 5-8-5 – CLONAGE ANIMAL

#### 1 – Dolly, premier mammifère cloné

En Ecosse, à l’institut Roslin, un centre de recherche agronomique financé par des fonds publics, l’embryologiste Ian Wilmut et son équipe ont réussit à cloner le premier mammifère, la brebis Dolly.

Pour cloner Dolly, les chercheurs ont commencé par prélever une cellule somatique (non reproductrice) sur le pis d’une brebis désignée dès lors comme la mère génétique.

L’échantillon fut alors plongé dans un milieu nutritif afin de proliférer en laboratoire.

Au terme de la culture, les scientifiques moissonnèrent quelques cellules et les injectèrent dans des embryons préalablement énucléés pour qu’ils puissent accueillir le matériel génétique des clones à venir.

Il ne reste plus qu’à implanter ces œufs dans l’utérus d’une brebis porteuse.

#### 2 – Age d’un clone

DOLLY : 5 ans comme l’indique son certificat de naissance ou 11 ans si on tient compte de l’age de la cellule de mamelle prélevée sur une brebis de 6 ans.

**5-8-6 CLONAGE HUMAIN**

##### 1 - Recette et risques

1. Prendre une cellule de peau (par exemple prélevée sur la jambe d’un homme).
2. La mettre en culture.

Attention possibilité de dérèglement génétique dans les cellules.

1. Dénoyauter (énucléer) la cellule. On ne garde que le noyau (qui contient les chromosomes patrimoine génétique du donneur).
2. Prélever un ovule de femme et l’énucléer.

Attention les ovules sont prélevés sans anesthésie sur des femmes qui ont reçu une stimulation ovarienne (traitement hormonal). L’ovule reste une denrée fragile et rare.

1. Introduire le noyau de la cellule de l’homme dans l’ovule par micro pipette.

Attention bien que la manipulation soit simple, elle n’est pas toujours couronnée de succès.

1. Produire une décharge électrique qui déclenchera le développement de l’embryon dans une éprouvette.

Attention c’est la partie la plus délicate : le déclenchement embryonnaire est très incertain ; il s’interrompt souvent au bout de quelques jours.

1. L’embryon est implanté dans l’utérus de la mère : le bébé à naître donnera une copié génétique parfaite (clone) de son père. (Si le noyau de cellule provient de la mère on aura une copie de la mère).

Attention il y a des risques de malformations et de dérèglements.

Procréation :

spermatozoïde + ovule ⇒ le patrimoine génétique des parents + mutations.

2 – Où en est-on du clonage humain ?

Le 7 Août 2001, le médecin Italien Severino Antinori confirme, à l’académie des sciences américaine de Washington devant un parterre d’experts internationaux du clonage (dont Ian Wilmut, père de Dolly), son intention de vouloir CLONER DES ÊTRES HUMAINS.

Il affirme que 1300 couples stériles (dont 200 Italiens) sont prêts à tenter l’aventure de la reproduction sans fécondation. Il assure être entouré d’une équipe de 20 spécialistes, incluant Brigitte Boisselier (Française au service du projet de clonage de la secte RAËL – clonage de bébé décédés !) et de Ian Wilmut créateur du 1er mammifère cloné : la brebis DOLLY).

Le professeur Antinori, qui lui même n’a encore jamais cloné aucun animal, a déjà inséminé une femme de 62 ans avec l’ovule fécondée IN VITRO d’une femme (Rosanna Dellacorte) et il affirme aussi avoir fait « mûrir » des spermatozoïdes humains dans des testicules de rats !

Les expériences de clonage sur brebis, vaches, cochons, souris, réussissent RAREMENT (au bout de beaucoup de tentatives), et comportent des risques élevés de malformations.

Pour cloner DOLLY, née dans une ferme écossaise, les scientifiques ont fabriqué 277 œufs avant de parvenir à leur fin.

Les inséminations artificielles doivent avoir lieu à partir de novembre 2001. Les expériences ne pourront avoir lieu NI EN ITALIE, NI EN EUROPE ni dans aucun pays ayant signé la CONVENTION OVIEDO interdisant le clonage humain.

Remarque : aux USA, le sénat américain n’a pas encore adopté la loi interdisant le clonage humain.

##### 3 - Ethique

Le clonage entraîne dans le monde entier des polémiques car cela pose de nombreux problème d’un point de vue éthique. Pour traiter ce type de problèmes, les nations ont mis en place des comités nationaux de bioéthique. L’église, quant à elle, interdit le clonage humain.

##### 4 - L’homme plus facile à cloner qu’une vache

C’est ce qu’on affirmé les chercheurs américains (équipe du Duke University Medical Center – North Carolina) le 15 août 2001 dans Human Molecular Genetics.

Pourquoi l’homme serait plus facile à copier qu’un mouton, qu’une vache ou même qu’une souris ?

L’homme (et certains primates) possède deux copies, ou ALLENES, du gène récepteur du FACTEUR DE CROISSANCE 2 ressemblant à l’insuline IGF2R impliquée dans le contrôle de la croissance cellulaire.

En revanche, chez les autres mammifères, seul l’exemplaire transmis par la MERE est ACTIF.

Cette différence est apparue au cours de l’évolution, il y a environ 70 millions d’années. Elle pourrait rendre l’homme moins SENSIBLE à certaines ANOMALIES telles que l’hyper croissance fœtale des vaches, moutons, souris et cochons clonés.

A l’heure actuelle 1 à 5% des embryons animaux clonés se développent jusqu’à leur terme et les survivants naissent avec de gros handicaps :

* Hyper croissance fœtale, certains veaux pèsent deux fois plus lourds que la normale.
* Immunodéficience.
* Vieillissement accéléré.
* Immaturité pulmonaire.

Comment s’explique le phénomène d’hyper croissance fœtale ?

Il arrive fréquemment que la copie du gène IGFR2 d’origine paternelle, d’ordinaire inactive chez les animaux, se révèle provoquant ainsi une hypersécrétion du facteur de croissance 2 et donc une croissance anormale du fœtus.

Un risque auquel l’homme serait à l’abri, dans la mesure où, clonage ou pas, les 2 allènes s’expriment.

# 5 – La Libye : Asile pour clones

Le colonel Kadhafi aurait proposé, début août 2001, à Severino Antinori de l’accueillir gratuitement pour ces expériences ainsi que pour ses équipes et les couples candidats au clonage.

Le chef de l’état Libyen souhaiterait lui même se CLONER. L’information aurait été divulguée par les services secrets Israéliens qui auraient enregistré des conversations téléphoniques entre Kadhafi et un collaborateur d’Antinori.

## CHAPITRE 5-9: DATATION PAR LE 14C

## La découverte de la radioactivité a permis à l’Homme d’effectuer un grand pas dans l’étude des différentes périodes de notre Histoire. En effet, on sait depuis 50 ans que des isotopes radioactifs se trouvent dans la nature. Ils nous permettent ainsi de pouvoir dater un élément d’après la période de demi-vie de ces isotopes, c’est-à-dire le temps qu’ils mettent pour diviser leur concentration par deux.

Parmi ces isotopes radioactifs, nous pouvons trouver le Carbone 14 (**14C**). Celui-ci fut découvert involontairement en 1934 par un Américain, F.N.F. Kurie, qui exposa de l’azote à un flux de neutrons. On peut plutôt dire que sa découverte date de 1946 lorsque Willard Franck Libby supposa la production continue du 14C dans la nature. Il eut aussitôt l’idée de l’utiliser pour la datation. Ces propos furent confirmés par les résultats qu’il obtint en 1949 et 1950 : il étudia un acacia provenant de Zoser à Sakkara et un cyprès de Snifrou à Meydum d’âges connus par la dendrochronologie qui permet de remonter jusqu’à 9000 ans en comptant les cernes de croissance des arbres. Les valeurs obtenues furent très proches de la réalité. H.L. De Vries mit alors en place un procédé très sensible de mesure.

Le Carbone 14 peut être utilisé dans le cadre de la datation car un organisme vivant en consomme (entre 1 et 6 grammes purs). Lorsque cet organisme meurt, cette consommation s’arrête donc et la quantité de 14C diminue puisqu’elle n’est plus renouvelée.

Le Carbone 14 est le résultat du bombardement de particules de haute énergie (rayons cosmiques) provenant du Soleil sur les atomes d’azote se trouvant dans la haute atmosphère. Ce bombardement consiste en l’expulsion d’un proton par un neutron qui prend alors sa place. On passe donc d’un noyau d’azote à 7 protons et 7 neutrons à un noyau de carbone à 6 protons et 8 neutrons : le Carbone 14. Les atomes perdent de l’énergie (ils sont thermalisés) et atteignent l’énergie thermique des gaz de l’atmosphère ; la section efficace d’interaction devient max :14N(n,p) 14C.

Il peut se combiner avec des atomes d’oxygène dans l’atmosphère, ce qui permet l’apparition de gaz carbonique (comme le Carbone 12). Ainsi, le 14C est facilement amené au voisinage du sol. Les plantes absorbent ce CO2 par photosynthèse par laquelle elles forment leur structure, les animaux mangent soit ces plantes, soit d’autres animaux mangeurs de ces plantes. Lorsque l’animal meurt, sa quantité de carbone 12 reste constante lorsque le carbone 14 diminue.

Afin de pouvoir avoir ses résultats, Willard Franck Libby a estimé que la production de carbone est constante au fil du temps ; celle de 14C l’est donc également. Les atomes de carbone ne varient guère en quantité puisque le nombre d’atomes qui se créent est à peu près égal à celui d’atomes qui disparaissent. A titre indicatif, 7,5 g de 14C se créent chaque année et pour 1000 milliards de noyaux de carbone 12 dans les basses couches de l’atmosphère, on trouve 1 noyau de carbone 14. (combinaison isotopique du C : 98.7% 12C, 1.1% 13C, 10-10 14 C)

Partant de ces résultats, on peut donc connaître l’âge d’un organisme si l’on connaît la quantité de 14C dans son corps lors de sa mort. Connaissant la proportion de 14C par rapport au carbone 12, on peut, en déterminant la quantité de carbone 12 dans le corps, estimer celle de 14C.

Le carbone 14 est un isotope radioactif du 12C et sa désintègration est mesurée avec un compteur Geiger ou Müller (voir photos ci-dessous). On retrouve donc la période de désintégration (5568 ans pour le 14C d’après Willard Libby) qui est la période de demi-vie évoquée ci-dessus. Voici à quoi ressemblent quelques compteurs :

Cependant, la méthode de datation à l’aide du Carbone 14 présente des limites. En effet, le nombre d’années qu’elle permet de déterminer est limité. On peut dire qu’elle permet de le faire jusqu’à 30 000 ans avec une marge d’erreur de 200 ans. Il faut savoir par exemple que 46 000 ans correspondent à 8 périodes du Carbone 14.

Malgré cette limite, on peut couvrir toute la période historique et la préhistoire récente. C’est ainsi que l’on a pu estimer la période des fresques de Lascaux (17 000 ans).

La 2ème limite concerne la concentration de 14C au moment où l’organisme à dater est mort. Nous n’avons aucune donnée permettant de dire quelle était cette concentration dans l’atmosphère. On a donc tout d’abord supposé que cette concentration avait peu évolué au cours du temps. On a donc pris comme référence sa valeur en 1950. Mais cette supposition s’est avérée fausse lorsque l’on a testé cette méthode de datation sur des échantillons de bois d’âge connu par d’autres méthodes. On a ainsi pu mettre en évidence que la concentration de 14C avait notamment fortement diminué au cours du XIXème siècle à cause du gaz carbonique résultant de la combustion du charbon. Or, le charbon est un carbone fossile n’ayant plus de 14C depuis longtemps. Au contraire, les essais nucléaires ont fait remonter cette concentration depuis 1950. On a donc décidé par la suite de prendre la valeur du XVIIIème siècle. En effet, grâce à de très vieux arbres, on a pu se rendre compte qu’elle n’avait pratiquement pas évolué depuis 3000 ans. De plus, l’activité solaire a une influence sur la concentration : cette dernière augmente lorsque l’activité diminue et inversement. Mais le Soleil n’est pas le seul facteur ne dépendant pas de l’Homme : le champ magnétique de la Terre joue aussi un rôle important sur la datation au Carbone 14.

Willard Franck Libby a utilisé deux références pour pouvoir exprimer une datation : BP (« Before Present ») qui correspond à l’année 1950 et BC (« Before Christ »). Les datations sont donc données en BP ou BC.

Nous allons maintenant voir quelques exemples d’application de cette méthode de datation. Il faut l’utiliser lorsque l’on veut dater de la matière organique. Elle a ainsi pu permettre de dater la dernière glaciation (-18 000 ans) et les étapes de son recul (-10 000 ans).

En revanche, si l’origine n’est pas organique, nous pouvons utiliser les couches. En effet, il suffit de trouver de la matière organique dans cette même et on peut alors dater. C’est ainsi que l’on a pu déterminer qu’une statuette de pierre du Musée de Saint-Germain-en-Laye, la *Vénus de Tursac* remontait à 23 000 ans avec une marge d’erreur de 1500 ans.

On peut également démasquer les faux « impressionnistes » fabriqués au XXème siècle en évaluant à 5 ans près l’âge de l’huile utilisée par un peintre vers 1880.

Pour l’instant, nous avons déterminé l’âge d’un corps en connaissant 2 concentrations de 14C : l’initiale et l’actuelle. On peut donc procéder dans l’autre sens. Connaissant son âge et sa concentration actuelle, on peut déterminer la concentration atmosphérique de son vivant. C’est ce principe qui a permis de démontrer que cette concentration n’avait pratiquement pas évolué depuis 3000 ans.

Afin d’avoir un résultat fiable, il faut supprimer les impuretés qui pourraient tout fausser : les corps étrangers et la radioactivité ambiante. Aujourd’hui, le spectromètre de masse à accélérateur est l’outil de référence car le plus performant pour dater.

Il permet de réduire les quantités de matière nécessaire pour pouvoir effectuer une analyse et a entre autres permis de dater le Suaire de Turin. Pour un échantillon nécessitant quelques grammes pour une étude normale, il n’a besoin que de quelques milligrammes.

 **1 - Le Saint Suaire de Turin**

Le saint suaire de Turin est une toile de lin, de 4,36 mètres de longueur sur 1,12 mètres de largueur. Elle est réputée pour avoir enveloppé le corps du Christ après sa descente de la croix. Cette hypothèse a agrémenté de nombreuses polémiques pendant plusieurs siècles sans pouvoir être tout à fait vérifiée ou réfutée.

Le linceul a tout d’abord une histoire mouvementée qui semble pourtant avoir préservé le linceul de nombreuses agressions.

A ce jour, la première vraie représentation du saint suaire est datée de 1192. Elle a été découverte par un jésuite hongrois au XVIIIème siècle lorsqu’il parcourait les Codex de Pray (Bulgarie). Cette illustration semble en effet représenter le saint suaire. En effet, les scientifiques ont découvert de nombreux points communs entre cette peinture et le linceul : tout d’abord, la position des clous est située au niveau des poignets qui est contraire à toutes les autres représentations historiques qui plaçaient les clous plantés dans les paumes des mains de Jésus. De plus, ils ont trouvés sur le bas de l’illustrations des traces représentées sur le drap et correspondant à celles que l’on peut distinguer sur le saint suaire actuellement (des sortes de L).

Cependant, avant 1192, on peut trouver des allusions à un drap étrange qui peuvent se rapprocher du saint suaire cependant l’historique suivant n’est établi que par les suppositions des historiens de notre époque s’appuyant sur le récit de textes anciens.

Tout d’abord, ils supposent que le saint suaire aurait été ramassé et ensuite conservé en secret par les premiers chrétiens pour le préserver de la destruction, en effet les juifs considérant les reliques comme des objets impurs ils l’auraient immédiatement fait disparaître. Ensuite on retrouve sa trace dans la ville de Edesse, dans laquelle il aurait été apporté pour le préserver de la guerre qui sévissait contre les juifs au 1er siècle. On le suppose car des textes anciens font mention d’un linge étrange sur lequel l’image d’un homme crucifié serait apparue spontanément. Cette apparition s’expliquerait par le dessèchement du sang, de la lymphe… qui n’aurait fait apparaître l’image seulement 30 ans après.

Ensuite en 560, l’empereur Justinien qui faisait la guerre contre les perses découvrit en inspectant les remparts de la ville une cavité renfermant un linge minutieusement protégé. En le déroulant, il le rapprocha de la légende qui faisait état d’un linge ayant enveloppé le supplicié du mont Golgotha (Jésus). La légende dit qu’il le montra alors à tout le peuple sur les remparts de la ville. Le suaire fut ensuite exposé à Edesse jusqu’en 638. Date à laquelle les arabes s’emparèrent de Edesse et ensuite, l’histoire suppose qu’ils conservèrent le linceul jusqu’en 942. Cette année là la ville fut envahie par l’empereur Constantin VII qui s’empara du linceul et l’amena à Constantinople. Il y restera ensuite jusqu’aux croisades où il fut à priori reconquit par les templiers durant de XIIème siècle.

Ensuite les traces sont faibles, seules quelques témoignages de templiers décrivent le visage du Christ sur un linge que seuls quelques privilégiés avaient eu l’opportunité de voir. Ce visage pourrait être le saint suaire que les templiers auraient plié pour ne faire apparaître que le visage. Cependant par peur d’être excommuniés, les templiers gardèrent leurs secret jusqu’à la mort.

Il réapparut alors en 1353 dans l’église de Lirey sur le domaine du duc de Charny où il fut exposé au publique jusqu’en 1370. Il fut ensuite transféré au Château de Montford en Auxois où il restera jusqu’en 1418.

A cette date, il fut transféré en Savoie à Saint-Hypolyte sur le Doubs pour assurer sa protection et ainsi le préserver de la guerre de cent ans (1337-1453).

En 1553, il est abîmé par un incendie duquel il gardera quelques traces du feu qui avait commencé à le détériorer ainsi que des traces d’eau que l’on peut distinguer des triangles sous la forme des triangles sur le linceul. Cependant à l’issue de l’incendie, le principal a été sauvé car l’empreinte de l’individu n’a pas été modifiée. Pour tenter de minimiser au maximum ces dégâts, il fut alors pris en charge et réparé par les Clarisses de Chambéry.

Enfin en 1578, il est transféré, à Turin où il est installé définitivement.

Durant ces différents siècles d’histoire, l’énigme autour de ce tissus resta sans véritable réponse avec d’un coté les catholiques qui croyait grâce à leur foi que c’était le saint suaire et les autres qui ne s’en préoccupaient pas.

Mais l’intérêt pour le saint suaire fut relancé en 1898, grâce une photo de Secondo Pia, un avocat italien passionné de photographie, qui après avoir pour la première fois pris le linceul en photo obtint sur négatif un contraste étonnant. Cela offrait une perspective beaucoup plus précise que celle du linceul lui même.

Cette photographie marquera le début d’une épopée scientifique qui continue actuellement et qui a mis à jour pendant plus d’un siècle de nombreux éléments qui se confondent de façon troublante avec les textes de l’évangile et les coutumes de l’époque de Jésus.

Tout d’abord, l’image **négative** apparaissant sur le tissus représente un homme de 1m81, de type yéménite archaïque à la fois de face et de dos et ayant un âge se situant entre 30 et 35 ans. Ces caractéristiques correspondent bien au portrait que les évangélistes ont fait de Jésus.

Mais l’empreinte permet surtout de voir que l’individu représenté a subit de nombreuses tortures accompagnées d’une crucifixion. En effet, on peut constater que l’homme représenté sur le linceul possède des plaies faites par des clous au niveau des avant bras et des pieds. En étudiant ces plaies, les scientifiques ont confirmé qu’elles correspondaient bien à une crucifixion. De plus on constate que les marques des clous sont présentes au niveau des poignets et non des mains comme on le représentait habituellement. Les scientifiques ont prouvé que c’était la seule méthode qui permettrait aux bras de soutenir le corps lors d’une crucifixion. Seul le Codex de Pray représente ces traces de la même manière.

Il possède aussi une plaie au cœur faite par une lance dont la forme correspond exactement aux lances romaines de l’époque. On peut même aller plus loin en constatant que le coup a été donné de gauche à droite comme l’apprenait les soldats romains. Enfin l’évangile dit : *" Il sortit du sang et de l'eau " (Jn 19, 33-34)* or l’endroit où la lance a transpercé le cœur entraînait une rencontre avec le péricarde qui est plein de sérosités.

On peut aussi citer la flagellation de l’individu par un flagellum utilisé pendant l’ère romaine et ses épaules meurtries par un objet lourd qu’il a du transporter sur une distance importante que l’on peut rapprocher du transport de la croix dans l’évangile.

Il est enfin possible de détecter des écorchures au niveau des genoux qui pourrait se rapprocher de la chute de Jésus lorsqu’il portait la croix. Il y a aussi des plaies au niveau du cuir chevelu et du front qui de part leurs positions se rapproche de la couronne d’épine.

On peut citer d’autres éléments qui sont encore en faveur du saint suaire, en effet l’individu représenté n’a pas les jambes cassées, possède sur ses yeux deux pièces datant de l’époque de Ponce Pilate selon la coutume Juive et a été enveloppé dans un linceul comme on le faisait à cette époque. De plus en analysant les substances présentes sur les tissus, on a pu détecter de nombreux pollens, datant de l’époque de Jésus.

Cependant, le fait qui intrigue le plus les chercheurs est l’empreinte en elle-même, en effet, ils ont constaté que si le corps était resté plusieurs semaines au sein du linceul, il se serait putréfié et aurait effacé l’empreinte que l’on peut voir actuellement, et au contraire si on l’avait enlevé du linceul au bout de quelques jours, on aurait détecté les traces de cette extraction. Ce mystère n’est toujours pas résolu, aucun scientifique n’a trouvé comment le corps avait pu se désintégrer, le terme officiel est *impression de retrait sans contact* (IRSC). La seule explication est là encore présente dans les évangiles lorsqu’il est écrit que Jésus serait monté au ciel le troisième jour.

Au total, on dénombre 16 points communs entre le saint suaire et les évangiles, ces similitudes ont été apportées au fil du XXéme siècle par de nombreux scientifiques qui voulaient percer le mystère. Durant toute cette période le Vatican semblait éloigné de cette énigme et resta bien silencieux à son propos en considérant plutôt le saint suaire comme une icône fabriquée par un peintre de génie que comme une véritable relique du Christ.

Pourtant de nombreuses études ont prouvé qu’il aurait été impossible à un peintre de l’époque du moyen âge de produire une œuvre aussi parfaite. Cela fut confirmé par un chirurgien qui s’est penché sur les traces de sang du linceul et en a conclu qu’elles étaient trop parfaites pour avoir été reproduites et qu’elles ne pouvaient correspondre qu’à une véritable crucifixion romaine.

Pour aller plus loin et tenter de percer le mystère, les premières véritables études furent effectuées entre 1969 et 1973 par une commission italienne, ces recherches ont permis d’arriver à déterminer qu’il n’y avait ni la présence de pigments ni la présence de peinture sur le suaire et que l’image n’était que très superficielle. En plus de ces deux résultats, le professeur Max Frei, découvrit la présence de pollens sur le tissu et obtint l’autorisation de prélever les premiers échantillons sur le suaire (photo de gauche), il découvrit alors la présence de 33 pollens datant du 1er siècle.

Ensuite une étude beaucoup plus poussée fut organisée par la NASA en 1978, là encore un des buts était d’écarter l’hypothèse de la peinture. Pour cela les chercheurs effectuèrent de nombreux tests très serrés (5000 photos): microscope, rayons X, infrarouges, ultraviolets, radiographie, fluorescence, réflectrométrie, chimie et VP8 (qui permet une représentation en relief de l'image) sans toutefois effectuer aucun prélèvement sur la relique. En analysant ces résultats, les chercheurs américains confirmèrent les tests effectués en 1973 en affirmant qu’aucun pigment ni aucune trace de peinture n’était présente, cependant ils détectèrent la présence de sang au niveau des plaies. Enfin cette étude montra que l’image était très superficielle et ne touchait que les fibres supérieures sur une profondeur d’environ 40 microns, ce qui exclut toute imprégnation de liquide et autre peinture. Enfin la VP8 a montré que l’image représentée était tridimensionnelle (cf image ci-dessus). Pour pouvoir reproduire un tel effet, il aurait fallu à son peintre des connaissances bien plus poussées que celle que possédaient les artistes du moyen âge. Et il paraît encore maintenant difficile, voire impossible, de reproduire une représentation aussi parfaite que celle du linceul.

Tout semblait donc aller du côté du saint suaire, restait seulement à le dater pour pouvoir définitivement l’authentifier. Cette étude fut effectuée à l’aide de la datation au 14C. Elle ne fut démarrée qu’en 1988 car il fallait l’accord de l’église pour prélever les quelques cm² nécessaires. Pour permettre de limiter au maximum la superficie des prélèvements, les scientifiques utilisèrent la méthode des accélérateurs et de la spectrométrie de masse. En effet, ce procédé avait fait ses preuves en datant les manuscrits de la Mer Morte avec de bons résultats, ce qui était une preuve de son efficacité car ces manuscrits étaient comme le saint suaire composés de lin et dataient de la même époque. Pour cette étude coordonnée par M. Tite du British Museum, trois laboratoires ont été mis à contribution : Tucson (USA), Zurich (Suisse) et Oxford (Angleterre).

Le 13 octobre 1988, les résultats sont annoncés au public par le cardinal Anastasio Ballestrero, archevêque de Turin et custode du linceul. Il annonce à la stupeur générale que le linceul daterait de 1260 à 1390 après Jésus Christ. Et qu’il serait donc d’origine médiévale, l’homme représenté sur le linceul ne pourrait donc pas être Jésus.

A cette annonce une vague de polémiques commencèrent, en effet les catholiques et les scientifiques qui avaient effectué les nombreuses études durant un siècle sur le saint suaire ne pouvaient accepter cette conclusion reposant sur cette seule étude qui s’opposaient à toutes les autres. Outre les polémiques sur la validité des protocoles utilisés par les trois laboratoires, il était impossible de contredire les résultats apportés par le 14C, il fallait tenter de comprendre comment le linceul aurait pu rajeunir.

C’est ce qu’a essayé de prouver en 1994 le prêtre Jean-Baptiste Rimando, biophysicien de la faculté de médecine de Montpellier. En partant de l’hypothèse selon laquelle  la désintégration du Déterium que nous possédons dans notre corps émettrait un nombre égal de proton et de neutrons. Les protons provoqueraient une brûlure superficielle qui entraînerait un bruissement par oxydation de la cellulose. Et les neutrons eux enrichiraient l’étoffe en 14C et rajeuniraient ainsi le tissu.

Avant de pouvoir tester cette hypothèse et dater un échantillon, M. Rimaye a commencé par irradié un tissu contenant une quantité de neutrons égale à celle susceptible d’avoir rajeunit le linceul de 13 siècles. Et ceci grâce à un accélérateur de particule du centre d’études nucléaire de Grenoble. Il obtint alors une couleur semblable à celle du linceul avec une même oxydation superficielle. C’était la première fois que l’on arrivait à un obtenir un brunissement identique à celle du suaire.

Pour confirmer son hypothèse, M. Rimando, a pu effectuer la deuxième phase de son expérience en irradiant un tissu de lin datant de 3400 ans avant Jésus Christ ayant été prélevé sur une momie Egyptienne et ceci pendant 20 minutes dans un réacteur du CEA de Saclay. Ce tissu fut ensuite analysé par le laboratoire isotrace de l’université de Toronto pour aboutir à des résultats spectaculaires. En effet le tissu avait rajeunit de 500 siècles et serait alors projeté de 46000 ans dans le futur.

Cette hypothèse qui au départ avait paru farfelue a été désormais vérifiée et relance ainsi l’énigme autour du saint suaire. Et alimente les interrogations des scientifiques sur le phénomène qui a pu entraîner la désintégration du corps.

Mais en 1997, toute cette belle aventure aurait pu soudainement s’arrêter à cause de l’incendie qui ravagea la chapelle Saint Jean Baptiste qui abritait le saint suaire. Il fut sauvé des flammes grâce à la bravoure du pompier Mario Trematore qui au péril de sa vie à briser la vitre qui encerclait la chasse qui protégeait le saint suaire.

Quelques jours après ce qui aurait pu être une catastrophe, le linceul fut sorti et inspecté pour déterminer s’il n’avait pas souffert, aucune détérioration ne fut trouvée.

Malgré cet événement, le saint suaire fut exposé au public en 1998 pour fêter les cent ans de la photographie de Secondo Pia et en l’an 2000 pour l’année Jubilaire.

Le saint suaire garde donc encore son mystère et continue d’intriguer le monde entier. Et continuera sans doute à être une grande énigme scientifique tant qu’aucune preuve irréfutable ne sera trouvée. Pour cela il sera sûrement nécessaire de trouver un procédé de datation plus performant que le 14C qui a montré ses limites ou pourquoi pas réussir à analyser l’ADN du sang présent sur le linceul et déterminer si c’est celui de Jésus. Ce genre d’expérience paraît pour l’instant futuriste mais qui sait ce que la science pourra découvrir, peut être saurons-nous un jour si ce morceau de tissus est bel et bien le saint suaire ou s’il est l’œuvre d’un faussaire de génie. En attendant, à vous de voir, personne ne pourra de toute façon totalement vous contredire quelle que soit votre opinion.

**CHAPITRE 5-10: PILES A COMBUSTIBLE**

## 5-10-1 L'hydrogène, un vecteur énergétique pour le XXI siècle

### Le contexte énergétique

La demande mondiale en énergie, principalement d'origine fossile, va augmenter de 57 % dans les vingt prochaines années. Cette perspective de forte croissance de la demande en énergie intervient alors que le phénomène du réchauffement climatique, dont il est désormais scientifiquement prouvé qu'il est la conséquence des activités humaines et notamment le résultat de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon), impose une réduction de la production énergétique, tout au moins de sa composante la plus génératrice de gaz à effet de serre.

Comment alors résoudre ce paradoxe : augmenter la production d'énergie pour satisfaire la hausse de la demande, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre?

Il semble que la solution passe par la recherche d'un vecteur énergétique pouvant être produit à partir de différentes sources d'énergie primaire "propre", transportable, stockable et distribuable et qui serait facilement convertible dans les modes d'utilisation finale d'énergie.

### Les atouts de l'hydrogène

L'hydrogène répond à toutes les conditions évoquées plus haut. De plus, Il est l'élément le plus abondant de notre planète. Il permet de stocker et de distribuer de façon souple l'énergie, tout en étant peu polluant, puisque sa combustion produit de l'eau. Il est important de noter que l'hydrogène est un produit industriel couramment et massivement utilisé en France dans la pétrochimie et l'industrie chimique.

Pour la production, plusieurs filières sont à l'étude. Il semble que la plus intéressante en termes d'émission de gaz à effet de serre apparaît être l'électrolyse de l'eau.

Une autre possibilité serait l'utilisation du nucléaire pour la production de l'hydrogène en faisant appel à la chaleur produite par des réacteurs à haute température pour alimenter des réactions thermochimiques de craquage de l'eau.

## 5-10-2 La filière Hydrogène : production, stockage et utilisation

Si l'hydrogène devait s'imposer à terme, comme vecteur énergétique, 4 défis restent à relever pour les chercheurs et les ingénieurs : comment le produire, l'utiliser comme combustible, le stocker et le distribuer. Il faut quand même rappeler que des solutions ont déjà été trouvées dans la filière de l'hydrogène puisque, par exemple, des centaines de kilomètres de gazoduc à hydrogène fonctionnent en Europe sans la moindre défaillance depuis plus de 70 ans et plus de 5 millions de tonnes d'hydrogène sont utilisés par an dans le monde, essentiellement dans l'industrie chimique.

### Comment produire de l'hydrogène ?

Si le gaz hydrogène (sous sa forme moléculaire) n'existe quasiment pas dans la nature, l’atome d'hydrogène est extrêmement abondant sur notre terre. Aujourd’hui, 96 % de l’hydrogène produit et consommé dans le monde (essentiellement par les industries chimiques) proviennent de reformage du gaz naturel, c’est-à-dire d’une énergie fossile, qui émet du gaz carbonique. Il sera donc nécessaire, à terme, de mettre en place des méthodes de production massive d'hydrogène "propres" et indépendantes d'énergies fossiles à fin de réduire l'émission de gaz à effet de serre.

Trois grandes filières de production de l'hydrogène sont envisageables (et combinables entre elles) : l'oxydation de gaz ou de produits organiques d'origine fossile ou végétale, l’électrolyse de l'eau et la production directe à partir de la biomasse. Par ailleurs, l’étude des mécanismes de fabrication de l'hydrogène par des bactéries (enzymes hydrogénases) pourrait conduire à long terme à l'amélioration, voire à la conception de procédés industriels.

La voie la plus intéressante apparaît être celle de l'électrolyse de l'eau.

### Utilisation de l'hydrogène comme combustible

L'hydrogène peut être utilisé comme combustible dans des systèmes déjà connus et maîtrisés, comme les moteurs thermiques, les turbines à gaz, les chaudières. Mais l'hydrogène peut aussi servir de carburant à de nouveaux convertisseurs d'énergie, comme la pile à combustible, technique la plus prometteuse pour la production d'électricité et de chaleur. Par ailleurs, des études sur la biomasse sont menées qui intéressent aussi bien la production de carburants de synthèse que d'hydrogène.

### Le stockage de l'hydrogène

L'hydrogène est un gaz qui peut s'enflammer ou exploser en présence d'air dans certaines conditions de pression, températures, pureté et de disponibilité. De plus, l'arrivée, dès 2005, des premières séries industrielles de piles à combustible dans le domaine du transport nécessite d'évaluer rapidement ces conditions de stockage, et de mettre en place une réglementation adaptée**.**

Les différentes possibilités de stockage de l’ hydrogène consistent à le transformer en un produit hydrogéné (comme un alcool). Il peut aussi être comprimé dans un réservoir naturel (souterrain) ou artificiel, fixe ou transportable. En outre, les chercheurs étudient des techniques d'absorption de l'hydrogène, à faible pression, dans des matériaux adhoc : les hydrures et les nanostructures de carbone (nanotubes) apparaissent des techniques d'avenir.

## 5-10-3 L'hydrogène et la pile à combustible (PAC)

La pile à combustible est un excellent convertisseur d'énergie (électricité et chaleur), le plus efficace en terme de rendement comparativement aux turbines ou générateurs électro-diesels. Même dans le cas du transport, le rendement d’un générateur à PAC et celui d’un moteur diesel sont comparables (autour de 35 %). Promise à des applications qui ne se bornent pas au véhicule électrique, ses limitations sont actuellement d'ordre économique.

### Principe de fonctionnement d'une pile à combustible

Le principe de la pile à combustible a été démontré par l'Anglais William Grove, en 1839 : il est généralement décrit comme l’inverse de celui de l’électrolyse. Plus précisément, il s’agit d'une combustion électrochimique et contrôlée d'hydrogène et d'oxygène, avec production simultanée d'électricité, d’eau et de chaleur, selon une réaction chimique globale universellement connue :

**H2 + 1/2O2 ⇒ H2O**

Cette réaction s’opère au sein d’une structure essentiellement composée de deux électrodes(l’anode et la cathode) séparées par un électrolyte; elle peut intervenir dans une large gamme de températures, de 70 à 1 000 °C.

Pour des raisons essentiellement liées à la fiabilité et à des contraintes d'industrialisation en grande série, le concept d'électrolyte solide est plus attractif que l'électrolyte liquide. C'est la raison pour laquelle se dessine aujourd’hui un consensus international pour privilégier deux filières, celle des piles à combustible électrolyte solide polymère (à membrane échangeuse de protons, en anglais PEMFC pour *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) et celle des piles à électrolyte en céramique (SOFC, pour *Solide Oxide Fuel Cell*).

Le type d'électrolyte détermine la température de fonctionnement de la pile : les PEMFC fonctionnent à « basse » température (80°C) et les SOFC à haute température (environ 1000°C).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Type de pile** | **Electrolyte** | **Température****(°C)** | **Domaine d'utilisation et gamme de puissance** |
| Alcaline (AFC) | Potasse (liquide) | 80 | Espace - transport1 - 100 kW |
| Acide polymère(PEMFC) | Polymère (solide) | 80 | Portable, transports, stationnaire1W - 10 MW |
| Acidephosphorique(PAFC) | Acidephosphorique(liquide) | 200 | Stationnaire, transports200 kW - 10 MW |
| Carbonatefondu(MCFC) | Sels fondus(liquide) | 650 | Stationnaire500 kW - 10 MV |
| Oxyde solide(SOFC) | Céramique(solide) | 700 à 1 000 | Stationnaire, transports100 kW - 10 MV |

### Les piles à basse température : PEMFC

La pile à combustible dite “Acide à Electrolyte Polymère Solide” a été retenue par presque tous les acteurs de programmes automobiles dans le monde. Généralement appelée PEMFC, elle intéresse également les industriels pour des applications stationnaires (jusqu’au mégawatt), portables (moins de 100 W) et transportables (moins de 5 kW).

Cette technologie retient l'attention pour trois raisons essentielles :

Sa température de fonctionnement, relativement basse ( de l'ambiant à 100 °C),

Elle est, ensuite, insensible à la présence de CO2 dans l'air, contrairement à la filière alcaline.

Enfin elle est de technologie tout solideet peut donc prétendre à la fois à des durées de vie sensiblement supérieures aux filières à électrolyte liquide.

La technologie PEMFC concentre actuellement le plus gros effort de recherche et développement dans le monde.Les recherches visent essentiellement à augmenter les performances (en terme de rendement, compacité et masse) et à diminuer le coût (d’un facteur 5 à 100 selon le type d’application). Cela implique bien évidemment le développement de nouveaux matériaux(nature, mise en oeuvre et intégration) pour les composants critiques d'une PEMFC.

Il convient de souligner qu’un module de pile à combustible doit, pour fonctionner, être associé à des équipements auxiliaires qui assurent l’approvisionnement des réactifs (hydrogène et air), leur conditionnement (pression, débit), la gestion des produits de la réaction (eau, chaleur, électricité).

Il est raisonnable d’envisager les premières applications industrielles avant trois ans essentiellement sur certains marchés dit de niches (transport en commun, exploration sous-marine).

### Les piles "haute" température SOFC

Reconnue comme potentiellement très intéressante, la technologie des SOFC est pourtant l’une des moins avancées techniquement et économiquement.

Les SOFC intéressent les industriels pour une raison principale : ils fonctionnent à haute température (dans une gamme de 700 à 1 000 °C) et sont très efficaces en terme de rendement. Cette haute température présente un double avantage :

Elle permet d'abord l'utilisation directe d'hydrocarbures, notamment le gaz naturel, qui pourront être facilement reformés en se passant de catalyseurs à base de métaux nobles.

Elle assure d'autre part la fourniture d'une chaleur élevée facilement exploitable en cogénération avec ou sans turbine à gaz : le rendement global peut ainsi augmenter jusqu’à atteindre 80 %, par exemple. Cependant, la mise en température est longue pour une utilisation nécessitant des cycles marche-arrêt répétitifs.

Pour ces raisons, la technologie SOFC se prête particulièrement bien à la production d’ électricité décentralisée et à la cogénération (domaines couvrant des puissances allant de 1 kW électrique à quelques dizaines de MW électrique). Grâce à son fort rendement et à sa capacité potentielle à fonctionner directement avec des hydrocarbures liquides, elle trouvera également un débouché dans la propulsion navale, voire terrestre (trains, camions... ).

La mise au point de ce type de pile implique la résolution des problèmes de tenue de matériaux assez complexes, ainsi que d'assemblage et d'étanchéité. Comme dans d'autres filières, la durée de vie sur plusieurs dizaines de milliers d'heures sans perte significative de performances est un paramètre important. D’où l'accent mis sur les études des phénomènes de vieillissement des matériaux des SOFC dans des environnements oxydants ou réducteurs, afin de s’assurer de la stabilité chimique et physique des matériaux choisis.

## 5-10-4 Les applications de la pile à combustible : 3 grands domaines

Les marchés potentiels des piles à combustible apparaissent aujourd’hui multiples : ils sont généralement classés en trois grandes familles d'applications : “portable”, “stationnaire” et “transport”.

### Les applications "portable"

Cette famille inclut essentiellement le téléphone mobile et l’ordinateur. Ces deux applications connaissent une très forte croissance, mais sont de plus en plus handicapées par l’autonomie de leur batterie. La plus performante, la batterie
lithium-ion, atteint aujourd’hui une énergie spécifique de l’ordre de 160 Wh/kg qui laisse classiquement quelques jours d’autonomie à un téléphone et environ 3 heures à un ordinateur portable. Or les clients demandent aujourd’hui 3 à 5 fois mieux. Pour donner une idée de l’enjeu, il suffit de considérer le marché des “portables” : 300 millions d’unités vendues pour les téléphones mobiles fin 1999 dans le monde et 640 millions prévus en 2005 ; 18 millions d’ordinateurs portables vendus en 1999 et 40 millions prévus en 2005.

La solution, qui fait l’objet de recherches importantes, essentiellement aux Etats- Unis, est une pile à combustible chargeant une petite batterie qui assure mieux la fourniture d’énergie lors des pics d’émission. L’autonomie ne sera alors limitée que par la taille du réservoir d’hydrogène ou de méthanol. L’utilisateur rechargera son portable comme il recharge un briquet ou un stylo à encre, en quelques secondes, et chaque recharge donnera 3 à 5 fois plus d’autonomie qu’une batterie actuelle… pour le même encombrement! Des prototypes existent et les premiers produits commerciaux sont annoncés à l’horizon de trois à quatre ans. La technologie qui sera utilisée est la PEMFC du fait de sa température de fonctionnement basse et de sa technologie “tout solide” alimentée soit directement en hydrogène, soit en méthanol. En terme de coût, la référence est celle de la meilleure batterie actuelle (lithium-ion), soit 1 euro/Wh.

### Les applications "stationnaire"

Compte tenu des nouvelles lois sur la déréglementation du secteur électrique et des tendances vers la décentralisation de la production d’énergie électrique, ce secteur commence à intéresser de nombreux industriels. L’activité est centrée sur deux grands domaines d’applications : la production collective (200 kW à quelques MW) et la production individuelle ou domestique (2 à 7 kW).

**Les partenariats dans le domaine de la production collective**

Deux pôles industriels se sont créés autour d’une filiale du canadien Ballard :

un pôle européen avec Alstom

un pôle asiatique avec le Japonais Ebara.

Cet ensemble s’est donné pour objectif la diffusion de cogénérateurs (électrique-thermique) de type PEMFC (d’une puissance de 250 kW électrique et 230 kW thermique). Un exemplaire est en cours d’expérimentation à Treptow, dans la banlieue de Berlin, dans le cadre d’un projet européen avec EDF et quatre partenaires allemands : Bewag, HEW, Preussen Elektra et VEA.

L’année 2000 a aussi vu la réalisation d’un prototype de 250 kW électrique à Waziers (Nord) dans le cadre d’un projet européen Thermie avec côté français Air Liquide, Schneider Electric et le CEA, et côté italien, Nora, autour d’une technologie PEMFC.

De son coté, l’Américain ONSI Corp. commercialise depuis plusieurs années (près de 200 unités vendues) la pile de technologie PAFC (PC 25) de 200 kW électrique (qui fournit en cogénération 200 kW thermique), Un premier modèle a été démarré en France début 2000 par EDF pour l’alimentation d’un groupe HLM à Chelles (Seine-et-Marne).

D’autres technologies font l’objet de tests mais ne sont pas encore au stade d’une commercialisation proche. La MCFC fait ainsi l’objet de plusieurs démonstrations :
1 MW électrique avec l’Allemand MTU, 250 kW électrique avec l’Américain M-C Power Generation, 1 MW électrique avec le Japonais Hitachi. La SOFC est testée par Siemens-Westinghouse au niveau de 100 kW électrique.

**Les partenariats dans le domaine de la production individuelle**

Plusieurs projets sont en cours de réalisation.

Associée à General Electric (GE MicroGen), la société américaine Plug Power LLC lance un générateur de 7 kW (HomeGen 7000). Des tests sont en cours avec une dizaine de prototypes en situation réelle et la commercialisation est prévue vers 2002 avec un coût annoncé de 50-60 centimes/kWh électrique. La société Vaillant est associé à Plug Power pour commercialiser ce système en Europe.

Des programmes de même nature mais de moindre ampleur ont été engagés avec les Américains Northwest Power Systems (devenu Idatech) et Avista Labs, ainsi qu'avec DAIS Analytic. Ces appareils basés sur une technologie de type PEMFC fournissent électricité et chaleur à 60°C (chauffage et eau chaude). Ils sont alimentés par des combustibles classiques : un reformeur transforme le combustible hydrocarbure (généralement du gaz naturel) en hydrogène.

Une voie SOFC, développée par Sulzer Hexis (suisse) visant à proposer en Europe aux particuliers une "chaudière" fournissant électricité (1kW) et chaleur, le tout connecté au réseau électrique.

Le marché mondial des piles à combustible (pour le seul stationnaire) potentiel est estimé à 45 milliards d’euros à l’horizon 2030. Quant au coût objectif, il se situe autour de 1 000 euros par kW installé pour le système complet. Il correspond au niveau actuel de développement de cette technologie, ce qui explique les délais proches (à partir de 2002) généralement annoncés par les divers constructeurs (essentiellement américains jusqu’à maintenant) déjà engagés sur ce marché. Ce sera probablement le premier marché de masse à être occupé par la technologie “pile à combustible”.

### Les applications "transport"

Le transport est le domaine d’application à l’origine du développement de la pile à combustible à partir du début des années 90. Compte tenu de la contrainte de coût, particulièrement forte dans ce secteur, et de la concurrence de la technologie traditionnelle (moteurs thermiques), mature et performante, il faut distinguer deux sous-familles assez différentes dans leurs cahiers des charges, suivant qu’il s’agit d’équiper un véhicule léger ou un véhicule lourd. Il est demandé au véhicule léger quelque 3 000 h de fonctionnement pour une dizaine d’années de durée de vie alors qu’un véhicule lourd (transport de passagers ou de marchandises) exige une durée de fonctionnement 100 fois plus longue. Il est évident que la technologie et la durée d’amortissement, donc les coûts admissibles, ne seront pas du tout les mêmes.

**Les véhicules légers : une myriade de projets**

Dans ce domaine, de nombreux prototypes ont vu le jour depuis 1993 :

L’Allemand Daimler-Chrysler, qui s’équipe en piles à combustile chez Ballard, a montré quatre prototypes Necar, dont le plus récent (Necar 4 alimentée en hydrogène liquide),présenté en 99, est construit sur une base Class A. La Necar 5, modèle de pré-série équipé d’un reformeur alimenté en méthanol, a vu le jour en novembre 2000.

Les Américains ont également présenté des prototypes : General Motors un véhicule sur une base Opel Zafira équipée d’une pile Ballard de 75 kW ainsi qu’un Precept équipé d’une pile “maison” de 75 kW et Ford plusieurs Think FC5.

Les Japonais ne sont pas en reste : Toyota avec ses deux prototypes RAV-4, Nissan avec son R’nessa, Mitsubishi, Honda, Daihatsu et Mazda avec son Demio FCEV.

Le Français Renault a quant à lui présenté, à la mi-98, son prototype Laguna équipé d’une pile de Nora de 30 kW, associé à Air Liquide dans le cadre d’un programme européen Joule.

D’autres prototypes devraient être prochainement annoncés, en particulier un prototype français sur une base Partner de PSA. Ce projet s'inscrit dans le cadre d’un programme "Hydro-Gen".

Tous ces constructeurs prévoient des préséries à partir de 2004-2005. Malgré l’existence de plusieurs prototypes présentés avec de l’hydrogène stocké à bord (sous forme liquide, gazeuse ou absorbé dans un hydrure), le combustible utilisé dans une première phase sera très probablement - pour des raisons de sûreté, de réglementation et de logistique de distribution – un combustible hydrogéné (méthanol ou gaz naturel) alimentant un reformeur embarqué.

Au cours de la période 2005-2010, les constructeurs vendront probablement à perte pour ouvrir le marché et emmagasiner de l’expérience, comme aujourd’hui Toyota avec le véhicule hybride thermique Prius. La technologie ne deviendrait financièrement rentable qu’à partir de 2010. Dans cette période 2005-2010, DaimlerChrysler prévoit de construire entre 50 000 et 100 000 véhicules à pile à combustible. À l’horizon 2030, ce sera le marché mondial qui sera visé, avec une production annuelle supérieure à 50 millions de véhicules, soit 10 % du marché global.

La technologie utilisée dans ces applications sera essentiellement de type PEMFC, même si quelques expériences utilisent l’AFC (par la société anglaise ZeTek) ou la PAFC (Université de Georgetown, USA). Le coût objectif de cette filière est de 100 euros par kW pour l’ensemble de la chaîne de traction, dont environ un tiers pour la pile seule.

**Une solution déjà viable pour les véhicules lourds**

Plusieurs prototypes de bus ont été construits à partir de 1993.

Le Canadien Ballard a fait office de pionnier avec six bus (pile de 200 kW), qui ont aujourd’hui achevé leurs tests en service régulier à Vancouver et à Chicago, et annonce une commercialisation dès l’an 2002.

L’Allemand Daimler-Chrysler, sur la base de la même technologie Ballard, a présenté en 1997 le prototype Nebus et annoncé le lancement d’une présérie de 30 bus (projet Citaro) pour 2003, en vue d’une mise en service dans plusieurs villes d’Europe.

Compte tenu de la durée de vie attendue, la situation économique de cette application est la même que pour le “stationnaire”, donc commercialement viable dès maintenant, ce qui explique l’optimisme des deux derniers constructeurs cités.

À côté de ces applications routières, certains constructeurs (les Français RVI et Irisbus en particulier) pensent à un tramway propre et sans caténaire, utilisant une pile à combustible.

Il faut enfin noter un intérêt croissant de constructeurs de navires pour la pile SOFC, au niveau du MW ou plus, pour une propulsion plus propre, plus efficace et plus discrète, en particulier pour des applications militaires.

# CHAPITRE 5-11: LES NANOMONDES

Les microscopes conventionnels munis d’un système de lentilles ont un pouvoir de résolution de l’ordre de 0.2mm. Ils sont limités par l’effet de diffraction de la lumière. De Broglie en 1924 a réalisé une découverte de la mécanique quantique (la dualité onde corpuscule) qui permit de remplacer le photon par l’électron, de longueur d’onde plus petite. On peut alors repousser les limites de la diffraction. La création du microscope électronique à transmission a vu son apparition par Knoll et Ruska en 1932.

Des nouveaux systèmes d’observations ont alors été développés. Il s’agit de la microscopie à champ proche. Elle a été développée en 1982 par Binning, Quate et Gerber chez IBM. Le fonctionnement des microscopes à champ proche est basé sur l’interaction à courte distance exercé entre une pointe de faible dimension et une surface. Toute une série de microscopes sont alors apparus (STM, AFM, SAAFM…). Les microscopes à effet tunnel (STM) mesurent le courant induit entre la pointe qui joue alors le rôle de sonde, et l’échantillon. La sonde métallique effilée de quelques atomes à son extrémité vient recueillir les électrons traversants une barrière de potentiel par effet tunnel. Ainsi les matériaux isolants ne peuvent être étudiés par ce genre de microscope. Les microscopes à force atomique (AFM) mesurent les forces locales appliquées sur la pointe. Ils permettent d’étudier des matériaux isolants.

Domaines d’utilisation des différents types de microscopes

**5-11-1 La Microscopie Electronique.**

Comme un projecteur envoie un rayon lumineux à travers la diapositive pour en projeter l’image sur un écran, le microscope électronique projette un faisceau d’électrons à haute énergie ( tensions variant de 100 à 400 keV ), focalisé par des lentilles électromagnétiques, à travers un échantillon ultra-fin ( 50 à 200 atomes d’épaisseur), sur une surface électrosensible.

Le pouvoir séparateur d'un microscope optique (i.e. son grossissement) est limité par la longueur d'onde de la lumière visible ; aucun détail de dimension supérieure à 0,2µm ne peut être observé. Aussi l'utilisation de particules accélérées de plus courte longueur d'onde associée permet-elle d'augmenter le grossissement. Le choix d'électrons accélérés, pour produire un rayonnement de courte longueur d'onde, est déterminé par plusieurs critères :

- la masse faible de ces particules qui peuvent être accélérées et focalisées au moyen de champ électrique ou magnétique

- une source d'électrons est aisée à mettre en œuvre

- les électrons sont plus facilement focalisés que les particules plus lourdes

- l'interaction des électrons avec la matière est plus faible que pour des particules plus lourdes

Il existe deux types de microscopes électroniques :

* à transmission : ils ne permettent d'observer que des échantillons d'épaisseur suffisamment faible pour être transparents aux électrons (quelques dizaines de nanomètres)
* à réflexion : opère à la surface d'objets massifs.

Ces microscopes sont dits à balayage lorsque l'image est obtenue point par point (6 à 10 nm).

**5-11-2 La Microscopie Electronique à Balayage (MEB)**

Principe :

En MEB, l'échantillon est balayé par un faisceau d'électrons aussi fin que possible. L'image résulte de l'amplitude d'un des phénomènes d'intéraction : électrons secondaires (en général), ou rétrodiffusés.

Interactions du faisceau électronique avec l'échantillon

Sous l'impact du faisceau d'électrons accélérés, des électrons rétrodiffusés et des électrons secondaires émis par l'échantillon sont recueillis sélectivement par des détecteurs qui transmettent un signal à un écran cathodique dont le balayage est synchronisé avec le balayage de l'objet.

*Représentation schématique de l'interaction entre un faisceau d'électrons et la surface d'un échantillon*.

En pénétrant dans l'échantillon, le fin pinceau d'électrons diffuse peu et constitue un volume d'interaction (poire de diffusion) dont la forme dépend principalement de la tension d'accélération et du numéro atomique de l'échantillon. Dans ce volume, les électrons et les rayonnements électromagnétiques produits sont utilisés pour former des images ou pour effectuer des analyses physico-chimiques. Pour être détectés, les particules et les rayonnements doivent pouvoir atteindre la surface de l'échantillon. La profondeur maximale de détection, donc la résolution spatiale, dépend de l'énergie des rayonnements.

## Poire de diffusion

Emission d'électrons secondaires :

Les électrons secondaires proviennent, après impact des électrons du faisceau, de la bande de conduction des atomes constituant l'échantillon sur une profondeur

d'environ 50 A. De faible énergie (50 à 200 eV), ils sont facilement captés par un collecteur légèrement polarisé (+ 200 V) et conduisent à des images à haut rapport signal / bruit très sensibles au relief de l'échantillon.

Emission d'électrons rétrodiffusés :

Ils proviennent de diffusions élastique ou quasi-élastiques. Leur énergie est pratiquement égale à celle des électrons incidents (10-40 eV) et ne sont donc que très difficilement attirés vers le collecteur. Il en résulte des images trés bruitées, sensibles à l'orientation locale de l'échantillon.

Suivant le type de détecteur utilisé, les électrons rétrodiffusés fournissent une image topographique (contraste fonction du relief) ou une image de composition

(contraste fonction du numéro atomique).

Emission de rayons X :

le faisceau d'électrons est suffisamment énergétique pour ioniser les couches profondes des atomes et produire ainsi l'émission de rayons X. La résolution spatiale d'analyse dépend de l'énergie de la raie X détectée, de la nature du matériau, de la fluorescence secondaire. Elle est en général supérieure au micromètre.

**5-11-3 Microscopie par projection**.

### Principe de la microscopie par projection

L’idée fondamentale de la microscopie par projection est d’obtenir une ombre agrandie de l’échantillon en l’illuminant avec une source d’électrons très brillante. Cette source s’obtient en concentrant un fort champ électrique au bout d’une pointe métallique ultra-fine, pouvant même être terminée par un atome unique. Se produit alors une fuite d’électrons de la pointe polarisée négativement vers l’échantillon polarisé positivement. Après interaction avec l’échantillon, les électrons sont collectés sur un écran.

La résolution est de 1 A, ce qui permet de voir des atomes d’Oxygène.

**5-11-4 Microscope à effet Tunnel.**

Ce microscope, inventé par les physiciens H. Rohrer et G. Binnig, au début des années 80,et qui leur valu le prix Nobel en 1986, appartient à une famille plus vaste de microscopes dits "de proximité" ou "à sonde locale" ou bien encore "microscopes en champ proche". Le principe de fonctionnement de ces microscopes est totalement différent du principe de fonctionnement des microscopes optiques conventionnels ou même des microscopes électroniques. Il est basé sur le déplacement d'une sonde de très petite taille (de l'ordre du nanomètre)très près de la surface à étudier.

 Le vif intérêt suscité par ce nouveau type de microscopes provient de leur capacité à

réaliser une topographie de la surface d'un solide a différentes échelles, y compris celle de l'atome ! (c'est à dire à une échelle de l'ordre de 10 millionième de mm ). C'est donc le plus fort grossissement jamais atteint par un microscope.

Principe du microscope à effet tunnel.

Compte tenu de son principe de fonctionnement, on peut dire que le microscope à effet tunnel, appelé couramment STM ("Scanning Tunneling Microscope" en anglais) "palpe" les surfaces, plus qu'il ne les "voie".

L'idée de base est d'approcher une pointe métallique très près d'une surface (à moins d'un nanomètre) afin de collecter un courant, appelé courant tunnel. Ce courant extrêmement faible ( 1 milliardième d'ampère) dépend très fortement de la distance entre la pointe et l'échantillon. Ainsi, si la pointe rencontre une aspérité ou un trou, la valeur du courant tunnel peut varier d'un facteur 100 ou 1000. Pour obtenir une image, il suffit alors de déplacer la pointe dans les directions X et Y (voir figure) et d'enregistrer à l'aide d'un ordinateur la valeur du courant tunnel en tout point de la surface.

Ce mode de fonctionnement est toutefois mal adapté à l'étude de surface très accidentées. En effet, si la surface présente un relief plus important que la distance pointe-surface, au cours du balayage, la pointe viendra heurter ce relief et se brisera inévitablement. Ce mode est donc réservé à l'étude de surfaces très plates, c'est à dire présentant des reliefs

**5-11-5 Microscope à Force Atomique.**

Il permet d'étudier à l'air libre les matériaux isolants tels que les molécules biologiques. Il possède une sonde très fine (2 à 3 nm à son extrémité ) placée au contact direct de l'échantillon. Cette pointe suit les dénivellations de la surface où elle est promenée. Son fonctionnement est basée sur la détection des forces inter-atomiques entre la pointe et l'échantillon.

En mode topographique, trois forces s'équilibrent : force de Van der Waals attractive, force coulombienne répulsive, force exercée par la pointe.

Les vibrations de la tête (dues aux forces de répulsion ) sont transformées en vibrations lumineuses, par réflexion d’un rayon laser sur le bras de levier. L'analyse de ses mouvements verticaux, amplifiés par un ressort très sensible et détectés par un dispositif optique ,dessine une carte du relief à l'echelle nanométrique.

En appuyant plus fort sur la pointe de l'AFM, il est possible de tracer des sillons de quelques nanomètres de largeur.

Intérêt :

L'intérêt de la microscopie à force atomique réside dans son aptitude à mettre en évidence des cinétiques de croissance cristalline ou de dissolution, à mesurer les forces adhésives résultant des interactions entre deux surfaces en milieu aqueux.

Elle rend les forces magnétiques, électrostatiques, adhésives et de friction, accessibles à une échelle non atteinte auparavant.

**5-11-6 Microscope à champ proche optique.**

La microscopie en champ proche optique est une technique de microscopie à sonde locale qui permet de réaliser de l'imagerie optique avec une résolution latérale largement inférieure à la demi-longueur d'onde du rayonnement utilisé.

Le dernier microscope à champ proche en date est appelé NSOM (Near-field Scanning Optical Microscope). Le mode de fonctionnement du SNOM est basé sur les forces de cisaillement qui apparaissent lorsque que l’on approche très près de l’échantillon de la pointe. On réalise un asservissement de la pointe basé sur l’amortissement de l’oscillation de la pointe dû aux forces de cisaillements. Un système optique permet également de récupérer les ondes évanescentes dans le champ lointain. Le mode de fonctionnement du SNOM est alors double (topographie et optique). Sa résolution en mode topographique est de 5 nm et de 30 nm en mode optique.

L’intérêt essentiel du SNOM est de pouvoir localement illuminer ou détecter de la lumière. La mise au point du SNOM a débuté au Laboratoire de Spectroscopie Physique de Grenoble au début 1998. Les deux axes d’activité du Laboratoire sont la caractérisation de nanostrucures de semi-conducteurs à température ambiante ainsi que l’étude électrochimique et photoélectrochimique locale du silicium poreux en milieu électrolytique. Le microscope aura pour application première l’étude de phénomènes photochimiques et photoéléctrochimique à une échelle nanonétrique. Ainsi le groupe souhaite pouvoir utiliser le SNOM en milieu liquide ce qui implique des modifications pour pouvoir satisfaire aux exigences d’une telle utilisation.

Le microscope à champ proche optique permet, sous certaines conditions, d'effectuer des mesures en réflexion et/ou transmission et d'obtenir ainsi des images optiques de l'échantillon. De plus, lorsque l'échantillon inclus des marqueurs fluorescents, il est possible de faire des mesures en émission de fluorescence.

**5-11-7 Nanoécriture magnétique.**

L'utilisation de couches minces magnétiques continues comme support à l'enregistrement magnétique ne permettra plus, d’ici quelques années, de répondre à l'accroissement constant de la densité d'information à stocker. L'idée est de remplacer ces supports continus par des réseaux discrets de plots magnétiques supportant chacun un bit.

En collaboration avec le CNRS/L2M de Bagneux, le CEA a réalisé sur la plateforme technologique PLATO, des réseaux de plots de silicium recouverts de multicouches magnétiques de cobalt/platine. Ces plots de taille nanométrique (périodicité du réseau de 60 nm, soit 28 Gigabit/cm²) ont une aimantation perpendiculaire à la surface de l’échantillon. Une des difficultés, pour ces supports discrets, réside dans la maîtrise de l’écriture de l’information sur chaque plot individuellement sans perturber les plots voisins. Pour la résoudre, ils ont développé une technique fondée sur la microscopie à force atomique (AFM) : l’écriture thermomagnétique par injection de courant. La température de Curie des couches magnétiques utilisées étant voisine de 200°C, le courant permet, par effet Joule, de chauffer le plot en regard de la pointe AFM au dessus de la température d’ordre. On applique alors pendant le refroidissement un petit champ magnétique (inférieur au champ de renversement à température ambiante) pour orienter l’aimantation du plot dans la direction voulue. Ces expériences qui ont pour l’instant été réalisées sur des plots de 400 nm montrent la faisabilité de la méthode.

**5-11-8 Microscope à anti-matière (ou microscope positronique).**

Des physiciens de l’université militaire de Munich ont développé, en octobre 2001, ce nouvel outil pour voir des détails invisibles en microscopie électronique.

Cette découverte est étonnante, car :

* la précision dépend de la longueur d’onde, or λe- et λe+ sont équivalentes.
* l’antimatière s’annihile instantanément avec la matière, ce qui amène à la question suivante : comment sonder la matière avec l’antimatière ?

Le microscope à antimatière pourra être utile pour la recherche de défauts dans les matériaux (carences en atomes).

*Problème :* La source de positrons n’est pas très puissante, et il faut plusieurs jours d’exposition !

Toutefois, les avantages sont tels que la technique ne peut que se développer.

**CHAPITRE 5-12: INFORMATIQUE**

Lorsqu'il a été inventé, l'ordinateur était et ne devait rester qu'une curiosité de laboratoire. Au début des années 50, une étude de marché évaluait le marché mondial à une cinquantaine de machines. Aujourd'hui, les 200 millions d'ordinateurs installés ont largement été dépassés.

C'est l'évolution de la technologie des composants qui depuis 40 ans a joué un rôle moteur dans le développement de l'informatique.

**Ce qu’ils pensaient de l’informatique…**

« Je pense qu’il y a un marché mondial pour environ 5 ordinateurs. »

 Thomas WATSON, président d’Ibm, 1943.

« Les ordinateurs du futur ne pèseront pas moins d’une tonne et demi. »

 Popular Mechanics, 1949.

« J’ai parcouru le pays de long en large et parlé avec les meilleurs personnes, et je peux vous assurer que l’informatique est une lubie qui ne durera pas plus d’un an. »

 Editeur chez Prentice Hall, 1957.

« A quoi cela peut-il bien servir ? »

 Ingénieur chez IBM à qui l’on présentait une puce électronique, 1968.

« Il n’y a aucune raison que des gens veuillent un ordinateur à la maison. »

Variante :

« Les gens n’ont pas besoin d’un ordinateur chez eux. »

Ken OLSON, PDG et fondateur de DEC, 1977.

« 640Ko est suffisant pour tout le monde. »

 Bill GATES, PDG et fondateur de Microsoft, 1981.

« Si vous ne pouvez le faire bien, rendez le beau. »

 Bill GATES, PDG et fondateur de Microsoft.

« Je crois qu’OS/2 est destiné à être le système d’exploitation le plus important de tous les temps. »

 Bill GATES, PDG et fondateur de Microsoft, 1988.

« L’époque des PC est terminée. »

 Lou GESTNER, Directeur d’IBM, 1998.

**5-12-1 SEMI-CONDUCTEURS**

Le fonctionnement de l'ordinateur est directement lié aux propriétés physiques des semi-conducteurs.

En 1930, L. Lilienfeld de l'université de LEIPZIG dépose un brevet dans lequel il décrit un élément ressemblant au transistor Métal Oxyde Semi-conducteur (MOS). Pourtant ce n'est qu'en 1960, la technologie ayant suffisamment évoluée, que furent surmontés les problèmes d'interface oxyde semi-conducteur. Aujourd'hui, le transistor MOS constitue, par sa simplicité, son coût de fabrication et ses petites dimensions, l'élément fondamental des circuits intégrés numériques.

Le transistor MOS est un transistor à effet de champ constitué d'un substrat (flèche bleue) semi-conducteur dopé par des ions positifs, par exemple le bore, ou négatif suivant le type de transistor recherché, recouvert d'une couche d'oxyde sur laquelle est déposée l'électrode de grille(1ère flèche rouge).

Les semi-conducteurs sont des corps à résistivité intermédiaire. Leur résistivité se situe entre celle des métaux (Cu : 2.10-6 .cm, à 300K) et celle des isolants (verres entre 1010 et 1016  .cm). Par exemple, on a pour le silicium : 5.105 .cm.

Dans les métaux, les porteurs de charges sont les électrons libres, dont le nombre est fixe pour un métal donné. Au contraire, dans un semi-conducteur, le nombre de porteur de charge n'est pas limité, la mobilité de ces porteurs ne l'est pas non plus. Il y a deux types de porteurs de charges : les électrons (n = négative) et des trous (p = positive).

Par le biais d'une différence de potentiel appliquée entre grille et substrat, on crée, dans le semi-conducteur, un champ électrique qui a pour effet de repousser les porteurs majoritaires loin de l'interface oxyde semi-conducteur. Si le drain est mis sous tension un courant électrique (inverse au flux d'électron) pourra atteindre la source via le canal. La tension appliquée à la grille va donc contrôler la largeur du canal et donc déterminer les modalités de passage.

Pour maintenir une charge constante dans la source et le drain tout en réduisant la taille du MOS il faut donc augmenter la concentration des dopants. Ils ont centuplés en 20 ans pour atteindre aujourd'hui 1% de la matrice de silicium.

Hors dans les procédés technologiques actuels, ils sont arrivés à la limite de solubilité solide. La solubilité solide est la concentration maximale thermodynamiquement stable, des atomes dans le silicium. Elle varie suivant le type de dopant mais pas suivant le moyen d'injection. On arrive donc à la limite possible pour le silicium.

D'autres dopants ont été testés mais aucun qui crée de plus fortes concentrations de charges. Ainsi pour l'instant toute miniaturisation à l'extrême entraîne une perte de charge totale, une augmentation de la résistance et une diminution du potentiel de la performance des MOS.

**5-12-2 LES RAW**

Constituée de circuits qui se réorganisent automatiquement selon les tâches à accomplir, la puce *Raw* est au cœur du projet *Oxygen.* Les circuits électriques de la puce *Raw* («brut», en anglais) seront modifiés par les programmes. Grâce à cette conception flexible, la puce *Raw* devrait être plus performante et plus rentable que les microprocesseurs d'aujourd'hui.

La conception de la puce *Raw* a bénéficié de la miniaturisation régulière des microprocesseurs. En 1987, un microprocesseur d'environ 100 000 transistors, capable d'exécuter 20 millions d'instructions par seconde, occupait environ un centimètre carré de silicium. En 1997, un microprocesseur aussi puissant n'occupait que un millimètre carré. Et en 2007, un tel microprocesseur tiendra sur une puce d'un dixième de millimètre carré, soit un dix millième de la taille du microprocesseur de 1987.

LA PUCE *RAW* est un réseau rectangulaire constitué de nombreux pavés identiques. Chaque pavé contient une unité de calcul et des mémoires (rectangles orange). Les signaux se propagent le long de connexions, reliant chaque pavé à ses voisins, et sont aiguillés par des commutateurs placés à l'intersection des connexions. Les trajets des signaux sont déterminés par un compilateur, qui programme les commutateurs selon les besoins de l'application en cours. Avec la puce *Raw,* plusieurs applications fonctionneront simultanément. Par exemple, des signaux vidéo (en bleu) et radio (en jaune) suivront chacun le chemin le mieux adapté à leur traitement.

La diminution de taille des transistors augmentera encore le nombre de sites de stockage et d'unités fonctionnelles sur chaque puce, et réduira le cycle de l'horloge interne de la puce, c'est-à-dire le temps d'exécution d'une opération de base, telle une addition. Néanmoins, la longueur totale des connexions restera proportionnelle à la surface de la puce, sans l'être au cycle d'horloge : les temps de transfert des données le long des connexions seront ainsi de plus en plus longs, jusqu'à limiter les performances de la puce. De surcroît, les microprocesseurs d'architecture classique consommeront beaucoup d'énergie, car l'énergie nécessaire à l'aiguillage des signaux dépend de la longueur des connexions.

**5-12-3 TRANSISTORS ATOMIQUES**

Les chercheurs d’IBM ont réussi l’exploit de produire un circuit électronique minuscule, composé d’une seule molécule (juillet 2001).

 Les traditionnelles technique de gravures du silicium ont été écartées au profit des nano tubes de carbone : molécules cylindriques (encore appelées Fullerènes) dont l’épaisseur est 100 000 fois plus petite qu’un cheveux. Ces tubes d’environ 10-9 (10 Angström) sont composés d’atomes de carbone liés entre eux.

La microélectronique suit une évolution déterministe régie par la loi de Moore qui prédit des générations de circuits intégrés avec des transistors de dimensions inférieures à 50nm à l'horizon 2010. Il faudra alors prendre en compte et si possible exploiter tous les phénomènes de transport en gaz de dimensionnalité réduite pour étudier leur comportement électrique et mettre au point les architectures adaptées.

**5-12-4 MEMOIRES HOLOGRAPHIQUES**

L'aventure des mémoires holographiques est antérieure à celle du disque optique numérique et, bien entendu, à celles du vidéodisque et du Compact Disc. Ces mémoires ont donné lieu à de nombreuses manipulations de laboratoire et ont suscité une kyrielle de brevets d'invention dont certains méritent encore aujourd'hui qu'on y prête attention. Les chercheurs ont testé de nombreux matériaux et techniques en vue d'obtenir sur des média de taille réduite une densité d'informations très élevée, de lire ces informations en quelques microsecondes et de les acheminer vers le demandeur. Les lasers que l'on maîtrise aujourd'hui et les progrès de l'optoélectronique rendent certains de ces rêves réalisables.

Le milieu ou média d'enregistrement demeure le talon d'Achille du stockage holographique. Il doit être à la fois d'une très bonne sensibilité en écriture afin d'autoriser des taux de transfert d'informations élevés et d'une haute qualité optique pour restituer ces données par lecture directe sans dégradation; il doit permettre de conserver le contenu sans perte sur le long terme et offrir des possibilités d'industrialisation permettant de généraliser son usage. De plus, dans certains cas, il doit être réversible pour permettre la mise à jour des informations, comme le font les supports effaçables actuels. La pondération de ces différents éléments pour parvenir à la bonne équation n'a pas encore été trouvée mais elle suscite de nombreuses recherches théoriques et parfois expérimentales.

**5-12-5– LES ORDINATEURS DU XXIème SIECLE**

#### 1 – Ordinateurs optoélectroniques

Tout comme les automobilistes dans un embouteillage, les utilisateurs de l'ordinateur s'impatientent lorsque le « trafic » des informations est au ralenti. C'est pourquoi les scientifiques cherchent à mettre en oeuvre des moyens pour augmenter le débit de transmission et de traitement de l'information (nombres de bits par seconde). Pour ce faire, on cherche à diminuer la distance entre les bits, à augmenter la vitesse de propagation de l'information et à concevoir des interconnexions de plus petites tailles. Avec des signaux électriques, les performances en haute fréquence des microprocesseurs sont limitées par le phénomène d'interférence. En effet, le contraste entre un bit 1 et un bit 0 commence à s'estomper lorsque la distance entre ces bits, ou entre les fils dans lesquels l'information est transportée, diminue. Il faut noter que la résistance des fils augmente brusquement lorsque leur taille diminue, ce qui peut également causer d'autres difficultés au niveau de la dissipation de la chaleur. Alors, comment contourner ces problèmes?

Sur le plan du transport de l'information, c'est la vitesse des électrons, dans les fils métalliques et dans les éléments semi-conducteurs, qui limite le rendement à haut débit. Alors, pourrait-on utiliser un « moyen de transport » plus rapide que les électrons? La lumière, évidemment, car sa vitesse est environ 1000 fois plus grande que la vitesse de dérive maximale des électrons dans les solides! De plus, la lumière ne requiert pas de fils : des lentilles, des prismes et des miroirs feraient parvenir la lumière d'une puce à l'autre! Voilà le grand principe de l'ordinateur optique.

Outre sa vitesse extrême, l'utilisation de la lumière comporte plusieurs avantages. Entre autres, les photons (corpuscules de lumière) n'interagissent pas les uns avec les autres. Cette particularité de la lumière signifie qu'aucune interférence ne sera créée, même si plusieurs rayons lumineux s'entrecroisent. Ainsi, on pourrait transmettre une multitude de données par une multitude de rayons lumineux, et ce, dans un tout petit espace, sans détruire l'information véhiculée. De plus, comme la lumière n'exige pas de support physique, les bits pourraient voyager, par l'intermédiaire des photons, directement dans l'air. En supposant que l'on puisse intégrer toutes les composantes optiques dans des circuits de dimensions comparables aux puces électroniques, il serait possible d'envoyer mille fois plus de bits à la seconde qu'avec un ordinateur actuel! Aussi, l'utilisation d'architecture parallèle, permettant d'effectuer plusieurs opérations simultanément, pourrait augmenter encore plus les avantages de l'ordinateur optique.

Au début des recherches en informatique optique, les scientifiques voulaient créer un ordinateur fonctionnant entièrement à l'aide de l'optique, c'est-à-dire que le transport et le traitement des données seraient assurés par des dispositifs optiques. Toutefois, les puces électroniques sont devenues tellement performantes au niveau du traitement de l'information, que les chercheurs optent maintenant pour un ordinateur hybride. Ainsi, l'ordinateur optoélectronique du futur bénéficiera autant de la qualité des puces électroniques déjà existantes que des avantages découlant du transport optique de l'information entre ces puces.

Mais pour être en mesure de recevoir et de transmettre efficacement les données, cet ordinateur hybride a besoin de trois principaux éléments, soit les émetteurs, les détecteurs et les composantes servant à l'aiguillage des signaux optiques (modulateurs). Tous ces éléments optoélectroniques existent déjà et de nombreux travaux de recherche sont axés vers leur miniaturisation et leur intégration aux divers types de circuits électroniques. Certains matériaux peuvent être utilisés à la fois comme émetteurs de lumière, comme détecteurs ou comme modulateurs. Les puits quantiques multiples (PQM) font partie de cette catégorie. Ils sont faits de plusieurs épaisseurs d'un matériau semi-conducteur qui peut être transparent ou absorbant, selon la tension électrique à laquelle il est soumis. Lorsqu'un PQM est transparent, il laisse passer la lumière, qui sera ensuite réfléchie (état « 1 »). Lorsqu'il est absorbant, il ne laisse pas passer la lumière et celle-ci n'est donc pas réfléchie (état « 0 »). Le PQM comporte aussi une petite cellule photoélectrique qui convertit les signaux lumineux en signaux électriques et vice versa. Le PQM peut donc émettre la lumière, la diriger et la convertir en signal électronique lorsqu'il la détecte.

Voyons brièvement comment tous les systèmes se mettent en marche pour faire fonctionner l'ordinateur. À l'intérieur de la puce électronique, les données contenues sous la forme d'un signal électronique sont converties en un mince rayon lumineux clignotant : l'état « allumé » peut être représenté par un « 1 » et l'état « éteint », par un « 0 ». Ce rayon de bits est alors projeté à travers un réseau de miroirs et de prismes. Ceux-ci feront parvenir la lumière d'une puce à l'autre. À la fin du trajet, une lentille concentre le rayon sur une cellule photoélectrique microscopique qui reconvertira l'information lumineuse en signal électronique. Avec l'ordinateur optoélectronique, le traitement des données reste le même qu'avec l'ordinateur actuel, ce n'est que le transport qui diffère.

Il n'y a aucun doute, l'ordinateur optique présente de grands avantages. Or sa fabrication amène certaines complications. En effet, comment un appareil aussi délicat pourra-t-il résister aux secousses de l'environnement de la vie quotidienne, comme les vibrations d'un enfant qui saute sur le plancher ou d'un autobus qui passe dans la rue? Pour surmonter cet obstacle, il est clair que l'intégration de toutes les composantes optiques sur un même substrat et l'encapsulation diélectrique (isolation) de cette puce permettra de réduire sensiblement les problèmes de stabilité. Autrement, d'autres scientifiques ont déjà puisé une solution du côté du cinéma. Oui, oui, du cinéma!

Certaines caméras très sophistiquées sont pourvues d'un petit prisme rempli de liquide qui réagit aux vibrations de la caméra en s'étirant ou en se contractant, comme un accordéon. Ainsi, les rayons lumineux sont légèrement déviés pour que l'image reste stable en tout temps, même lors de prises de vue dans une voiture! De la même façon, l'ordinateur optique devrait vérifier constamment si des rayons lumineux ont été déviés de leur trajectoire. Un système contrôlerait les rayons et, dès qu'il détecterait une anomalie, due à des vibrations extérieures, des petits moteurs inclineraient des miroirs, ce qui corrigerait la trajectoire des rayons fautifs, comme le fait le prisme dans la caméra. C'est ce que l'on appelle l'optique adaptative.

Bien sûr, la mise au point d'un tel ordinateur hybride nécessitera le développement de diverses technologies de pointe en optique, en électronique, en informatique, etc. Il est évident que cet ordinateur ne sera pas sur les rayons des commerçants la semaine prochaine, mais son élaboration montre bien la puissance de création que peut générer la recherche interdisciplinaire.

#### 2 – Ordinateurs biologiques

L'ordinateur biologique n'en est qu'à ses balbutiements, mais il pourrait faire partie de notre futur. A Georgia Tech, l'université technologique d'Atlanta, des chercheurs viennent, en effet, " d'assembler " le premier ordinateur à base de neurones.
Selon William L. Ditto, un physicien du Georgia Institute of Technology, les ordinateurs actuels sont tout simplement " stupides ". Voilà qui est dit. La raison ? Sans être scientifique, on la connaît tous: les ordinateurs sont incapables de comprendre le langage humain ou d'interpréter un texte, tandis que cela ne requiert aucun effort particulier pour un être humain.
Jusqu'alors, les concepteurs de microprocesseurs ont multiplié les performances de leurs composants pour résoudre de tels problèmes. Mais comme le constate le physicien, " cela équivaut à fabriquer des machines stupides plus rapides, non pas des machines plus intelligentes ". Pour lui, l'heure est venue de concevoir des ordinateurs qui " imitent " la nature. Son équipe de chercheurs travaille sur des ordinateurs biologiques qui combinent des cellules nerveuses (ou neurones) avec des circuits électroniques. Son premier prototype qui utilise des neurones de sangsues, est capable d'effectuer des additions simples.

*Ordinateur biologique à base de neurones de sangsues
(Applied Chaos Laboratory*)

Utilisant leurs capacités à manipuler du tissu vivant, les scientifiques du laboratoire se sont intéressés spécialement aux sangsues parce que *"leurs neurones sont relativement compris"*, notamment dans leurs interactions avec d'autres neurones.
Plongés dans un bain nutritif, ces neurones ont été intégrés dans un ordinateur traditionnel. En utilisant des électrodes et des variations de courant, les chercheurs ont réussi à leur faire effectuer des additions très simples, du type 5+3.

*Chaque neurone a sa propre activité électrique et répond isolément à un stimulus électrique. Grâce à cette propriété, chaque neurone  peut représenter un nombre. Le calcul résulte de l'interconnexion de chacun des neurones*

Dans moins de 5 ans, affirme William Ditto, *"nous seront capables de leur faire faire plus que des opérations simples, et quelques années plus tard nous aurons un ordinateur de recherche, un ordinateur qui commencera à être capable de trouver des solutions innovantes (...). Nous sommes à la fin des débuts de la science de l'ordinateur et déjà aux débuts de la bioinformatique"*.

Prochainement, l'équipe de William L. Ditto espère parvenir à lui faire faire d'autres types d'opérations, telles que des multiplications, par exemple. A long terme, l'objectif est de fabriquer des ordinateurs capables de trouver des solutions par eux-mêmes, sans qu'un développeur soit obligé de programmer chaque étape de leurs calculs. L'ère des cerveaux robotiques est bien en marche.

#### 3 – Ordinateurs quantiques

Une autre piste envisagée est l'utilisation d'une technologie quantique. En effet, dans l'avenir, avec la miniaturisation, les effets quantiques supplanteront les effets de la physique classique. Ainsi, les scientifiques envisagent de créer des ordinateurs ou les bits seront remplacés par des bits quantiques ou q-bits. Un « q-bit », contrairement à un bit classique qui est soit à 0, soit à 1, peut être un mélange des deux. Cette superposition d'états permet d'envisager un ordinateur dont la puissance serait fortement accrue. Cependant la maîtrise de cette technologie semble très délicate : une superposition d'états quantiques est une chose extrêmement difficile à conserver.

L'électron, en orbite autour du noyau de l'atome, tourne aussi sur lui-même. Cette dernière rotation, ou spin, pourrait être la base des ordinateurs quantiques

Imaginez un système classique à 3 bits, il peut se trouver dans une configuration parmi 8 possibles (000, 001, ... 111). Avec un système quantique à 3 q-bits, les 8 configurations sont mémorisées simultanément. Un système à N q-bits travaillera sur 2N nombres à la fois. Là où l'ordinateur classique va répéter 2N fois l'opération ou faire 2N calculs en parallèle, avec l'ordinateur quantique en une seule étape on pourra appliquer la même opération sur 2N nombres distincts. Nul besoin d'un dessin pour imaginer le gain de temps et de mémoire que pourrait nous amener cette nouvelle technologie. Mais elle nous promet beaucoup plus que cela encore, car les vrais progrès vont venir de nouveaux algorithmes qui vont permettre de résoudre des problèmes jusqu'alors inaccessibles pour l'informatique classique.

Les premières expérimentations ont été réalisées en septembre 98. Les physiciens de Los Alamos ont alors démontré la faisabilité d'un ordinateur quantique à 3 q-bits, en contrôlant par RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) les états de noyaux de molécules diluées dans un liquide. Bien sûr, on est encore loin de rivaliser avec les ordinateurs classiques les plus rapides et il reste de nombreux obstacles techniques à franchir. La voie est tracée mais concrétiser cette idée dans un dispositif représente un formidable défi. Une superposition quantique des états est quelque chose d’extrêmement fragile et donc difficile à concevoir et aussi à entretenir et conserver. Dès qu’une telle superposition se met à interagir  avec son environnement elle se détériore et l’information se répand aux alentours. Certains chercheurs estiment que ce problème rendra trop sensible et impossible à manier l’utilisation du calcul quantique à grande échelle. D’autres pensent que le développement des algorithmes devrait permettre à ce type d’ordinateurs de fonctionner malgré ces « fuites ».

En 1947, lors de l’invention des transistors, personne n’osait imaginer la vitesse à laquelle ils allaient mener aux ordinateurs surpuissants actuels. Peut-être sommes-nous aujourd’hui à une époque comparable pour les ordinateurs quantiques qui pourraient voir le jour bien plus tôt que nombre d’entre nous ne peuvent l’imaginer.

La limite fondamentale de l'isolant a été calculée à une épaisseur de cinq atomes, soit 0,7 m. Une autre est la distance entre l'entrée du courant et sa sortie évaluée à 13 atomes.

Des transistors de six à sept atomes d'épaisseur, et de 13 entre la source et le drain, ont été déjà construits.

La puce est constituée de deux couches extérieures de fils perpendiculaires et d'une couche centrale de molécules de Rotaxane, en damier. Cet élément forme un pont permettant aux électrons de la couche du haut d'atteindre celle du bas. Le transistor est ouvert jusqu'à ce que le pont casse et ferme le transistor.

Le problème actuel est de pouvoir réparer ce pont.

Un tel transistor quand il marchera permettra le chargement de toutes les données actuellement sur Internet en 20mn.

# CHAPITRE 6-1: DESTRUCTION DE LA TERRE

## 6-1-1 – LE FEU NUCLEAIRE

 *" Les armes atomiques sont affreusement chères, par définition dangereuses, militairement inefficaces et moralement insoutenables "*

Général Butler, ancien commandant du Strategic Command

###  1 – Qu’est-ce que le feu nucléaire ?

Toutes les armes nucléaires actuelles nécessitent la séparation d’éléments lourds comme l’uranium et le plutonium. L’énergie relâchée par le processus de fission est des millions de fois plus grand, à poids équivalent, que la réaction chimique dégageant le plus d’énergie.

La plus petite arme nucléaire, de l’ordre du kilotonne, se base uniquement sur l’énergie relâchée dans le processus de fission. Les charges nucléaires plus importantes dérivent une partie de leur force explosive de la fusion de formes lourdes de l’hydrogène (deutérium et tritium).

Ainsi, toute détonation nucléaire produit des fragments radioactifs de fission d’éléments lourds, ajoutant un élément de radiation dans le processus de fusion.

Au cours d’une explosion nucléaire, prêt de 90% de l’énergie est relâchée en moins d’un millionième de seconde. Il s’agit principalement d’une vague de chaleur et d’une onde de choc, qui produisent les dégâts les plus impressionnants.

Quand une arme est déclenchée à la surface ou à basse altitude, la vague de chaleur vaporise les matériaux de la bombe, la cible, les structures alentours, le sol et les rochers environnants, tout cela étant entraîné dans une boule de feu en expansion, à élévation rapide. Alors que la boule de feu s’élève, elle s’étend et se refroidit en produisant le champignon distinctif qui fait la signature des explosions nucléaires.

###  2 – Pourquoi le nucléaire ?

 Tout le monde sait que le nucléaire présente de gros risque, seulement les pays qui sont rentrés dans la course au nucléaire sont nombreux. Sans vouloir entrer dans les détails politiques, les grandes raisons qui ont entraîné ce développement sont les suivantes : l’énergie, la sécurité et le statut international.

 En France, l’énergie consommée est en grande partie nucléaire. De plus, comme c’est elle qui la produit, cela lui évite d’être dépendante d’une autre puissante pour son énergie. C’est un point important.

 En ce qui concerne, la sécurité la bombe nucléaire est souvent comme une arme dissuasive dans le cadre d’une guerre. C’est dans cette optique là que la France, la Grande-Bretagne et les Etats-Unis ont développé cette arme.

La dissuasion est une doctrine tardive : elle ne naît que dans les années 50 avec le président Eisenhower, à l'occasion de la guerre de Corée où le général MacArthur demande à l'utiliser dans le conflit, autorisation qui lui sera refusée.

La stratégie de dissuasion a toujours été occidentale : les Soviétiques ne l'ont jamais adoptée et elle n'entre pas dans les conceptions asiatiques. La dissuasion est essentiellement paradoxale : il s'agit de terroriser l'adversaire (dissuasion en anglais se dit 'deterrence', qui se rattache étymologiquement à 'terror'). Il s'agit de rendre l'arme tellement redoutable que l'adversaire n'osera pas l'utiliser en premier : un adversaire potentiel sera dissuadé d'attaquer s'il a la certitude qu'après l'avoir fait, il subira des représailles militaires représentant pour lui des dommages inacceptables. En gros, sa destruction en partie ou totale. D'où la constitution d'arsenaux suffisants pour détruire plusieurs fois la planète entière.

### 3 – Qui le possède ?

 On distingue quatre groupes de pays qui ont l’arme nucléaire :

* Le Club officiel : Chine, Etats-Unis, France, Grande-Bretagne, et Russie
* Les " clandestins" : Israël, l’inde, l’Afrique du sud, le Pakistan, mais aussi la Libye, Taiwan, la Corée du sud et le Mexique. Bien que ces pays soient définis comme clandestins tout le monde est au courant qu’il possède une puissance de feu nucléaire.
* Les pré nucléaires ou Rogue State : Brésil, Argentine, Corée du Nord, et l’Irak.

On remarque l’Allemagne ou encore le Japon n’apparaissent pas dans la liste de ces pays. Ceci s’explique par le fait qu’ils ne possèdent pas le feu nucléaire: leur constitution leur interdit ( cas du Japon).

###  4 – Les risques humains et biologiques

Il y a irradiation lorsque l’homme se trouve sur le trajet des rayonnements émis par une source radioactive.

On distingue irradiation externe (où la source est extérieure au corps) et irradiation interne (suite à une inhalation ou une ingestion). L’irradiation sera d’autant plus importante que l’exposition sera longue et (ou) la source proche.

 La gravité de ces effets dépend du type de radiation (α, β, γ), de la dose absorbée, mais aussi du taux d’absorption et de la radio sensitivité des tissus concernés. Les effets biologiques d’une irradiation rapide sont très différents de ceux d’une irradiation longue. Les premiers entraînent une mort cellulaire et se manifestent en quelques heures, jours ou semaines. Les autres sont mieux tolérés car une partie des lésions sont réparée. Cependant, des doses de radiation trop faibles pour détruire les cellules peuvent néanmoins provoquer des modifications cellulaires dont les conséquences apparaissent au bout de plusieurs années.

Les lésions dues aux radiations peuvent être de différentes natures : endommagement du système vasculaire, effondrement des défenses immunitaires, destruction de la moelle osseuse, mort des cellules, mutations de l’ADN, cancer et tumeurs…

 Les humains ne sont pas les seuls à être touchés par les radiations dues à une explosion. La couche d’ozone subie elle aussi de grave dommage, ce qui à terme entraîne des effets chez l’homme.

 Si une guerre nucléaire se déclenchait dans l’hémisphère Nord, et que celle était de 10 000 Mégatonnes d’explosion, il a été établi que 30 à 70% de la couche d’ozone serait détruit dans cet hémisphère, et 20à 40% dans l’hémisphère sud. Une régénération de cette couche prendrait probablement 3 à 10 ans, mais un changement global à long terme ne peut pas être écarté.

 Cette réduction de la concentration en ozone dans l’atmosphère pourrait avoir des effets désastreux pour l’homme : brûlure dus à une augmentation de l’intensité de ultraviolet, aveuglement dans les régions enneigées,…

 Ces effets ne sont pas les effets directs de l’explosion nucléaire, mais plutôt des dérivés, qui doivent être pris en compte.

 Nous avons les risques que pouvait causer le feu nucléaire lors de guerre, mais des agressions sont possibles. Nous nous intéresserons, dans les parties suivantes, aux différentes types d’agressions qui peuvent survenir et qui concerne le nucléaire.

## 6-1-2 AGRESSIONS

### 1 – Centrales nucléaires

 On peut en distinguer deux types.

Les centrales équipées de réacteurs de 900 MW voient leur surface intérieure recouverte d'une peau métallique de 6mm d'épaisseur, chargée d'assurer l'étanchéité. A l'extérieur, une enceinte de confinement en béton de 90cm d'épaisseur compose une paroi unique.

En revanche, les centrales ayant des réacteurs de plus de 1300 MW possèdent des enceintes à double paroi. Une paroi interne de 1,2m d'épaisseur (censée résister aux conditions de pression et de température internes tout en assurant une relative étanchéité), et une paroi externe, 55cm de béton, qui a pour fonction d'apporter la protection nécessaire vis à vis des agressions extérieures.

Compte tenu de l’actualité, on peut parler des risques de voir un avion s’écraser sur une centrale.

Il faut tout d’abord prendre en considération le fait qu’il existe différents types d’avions et de différentes tailles.

Les centrales sont conçues pour résister à un crash d’avion de type "civils légers" (< 5,7 tonnes).La probabilité qu'une telle chose arrive est de l'ordre de un millionième par an.

En revanche, pour les avions dont la masse est supérieure à 5,7 tonnes et dont la vitesse est d'au moins 500 km/h, les centrales ne peuvent résister à un tel impact. Pour un avion militaire, la probabilité que l'un d'entre eux s'écrase sur une centrale est de 1/10.106 par an. Pour les avions commerciaux, cela est encore plus rare: la probabilité est d'environ de 1/100.106 par an. Ces probabilités sont trop faibles pour être prises en compte lors de la conception des centrales et de leurs dispositifs de protection.

Ce type d'accident est donc très rare!

On ne s'étendra pas sur les actes terroristes…

 Un autre type d'agression peut être apparenté à ce qui s'est passé à Tchernobyl en 1984 (fuite d'un réacteur). Les conséquences immédiates furent les suivantes:

* 90 000 hectares contaminés, et donc interdits
* 1700 morts recensés, du à des cancers de la thyroïde

Le nombre total de morts du à cet accident est équivalent au nombre de victimes qu'il y eut à Pearl Harbor en 1941.

Les autres conséquences se répercutent sur plusieurs décennies, comme la prolifération de la faune et de la flore radioactive, coupes et ventes de bois radioactifs ainsi que quelques denrées alimentaires (champignons).

### 2 – Usine de retraitement de produits radioactifs

 L'une des plus réputée est celle de La Hague. Si un problème survenait (fuite, explosion, …), cette catastrophe serait comparable à Tchernobyl en raison de la présence de combustibles radioactifs usés et stockés dans des piscines de refroidissement pendant plusieurs années avant de pouvoir être retraités.

Il faut bien voir tout de même qu'un tel incident ne peut provoquer l'extinction de la race humaine!

## 6-1-3 LES ARMES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

 Le risque lié au nucléaire, n’est pas le seul. En effet, depuis quelques années, les armes chimiques et biologiques subissent une recrudescence.

Il faut noter que la Convention des Nations-Unies fait une différence entre ces deux types d’armes.

###  1 – Les armes chimiques

 Les armes chimiques sont " toutes substances chimiques qui, à cause de ses effets sur les organismes vivants, peut entraîner la mort, une perte temporaire de performance, ou des lésions permanente aux humains ou aux animaux "

 L’Organisation Mondiale de la Santé considère qu’il existe 17 armes chimiques qui sont classées de la façon de suivante :

* gaz lacrymogène et autres gaz mutilants
* gaz à effets de choc, qui sont irritants pour les poumons
* l’éthergaz neurotoxique

*Remarques : les armes qui utilisent des explosifs, des combustibles, des produits incendiaires ou masquants ne sont pas des armes chimiques d’après les critères de l’OMS.*

###  2 – Les armes biologiques

 Les armes biologiques sont des armes qui introduisent des micro-organismes dans les corps vivants, ce qui a pour conséquence de provoquer des maladies, telle que des virus, des acides nucléides infectieux, ou encore des prions.

 A propos des armes biologiques, un différent intervient entre l’ONU, l’OMS et les experts de l’OTAN : ces organisations ne sont pas d’accords sur la liste des armes biologiques. Seuls quelques agents biologiques sont considérés par tout le monde comme des armes. Il s’agit du bacille du charbon, la peste, la fièvre typhoïde, la variole, la brucellose, la burkholderia pseudomallei, la franciscella tularensis.

###  3 - Les risques

 Le risque de destruction de l’espèce humaine est faible dans le cadre d’une attaque chimique ou biologique, car cela pose des problèmes de dispersion ( et non de fabrication).

 Un des scénarios d’une attaque chimique ou biologique serait l’empoisonnement d’une source d’approvisionnement en eau d’une grande agglomération. Cependant cela ne semble pas très réaliste en vue des grandes quantités d’agents nécessaires, mais aussi à cause des filtrages et des techniques de purification qui sont mis en place.

 En plein air, la dispersion d’un agent dépend des conditions météorologiques, de la circulation de l’air mais aussi du dosage.

 L’efficacité des armes chimiques a été prouvée lors de la guerre du golfe. De nombreux GI souffre de troubles dont la provenance n’est pas encore été établie. Toutefois, il semblerait possible que cela soit du à une arme chimique utilisée.

CH 6-2:LA FIN DE L’HUMANITE, LA FIN DE L’UNIVERS

## 6-2-1 EVOLUTION DU SYSTEME SOLAIRE

Comme tout objet dans l'Univers, notre système solaire est né, a vécu, et mourra un jour et l’évolution du système solaire est en fait intimement liée au futur du Soleil.

### I IL ETAIT UNE FOIS LE SOLEIL

Pour bien comprendre l'évolution du Soleil, nous allons d'abord nous intéresser à sa naissance, puis à son fonctionnement.

Il y a plus de 4 milliards et demi d'années, au sein d'une nébuleuse ressemblant probablement à ce que nous pouvons observer à 1 500 années-lumière de nous dans la nébuleuse d'Orion, sous l'effet de la force gravitationnelle, le proto-soleil s'est effondré sur lui-même. Cet effondrement a eut pour conséquence le réchauffement du centre du proto-soleil. Lorsque la température du centre atteignit les dix millions de degrés, cela déclencha des réactions thermonucléaires de transformation de l'hydrogène en hélium. Cette source d'énergie eut pour conséquence de ralentir, puis de stopper l'effondrement. En effet, le Soleil est un magnifique compromis entre deux forces antagonistes qui s'équilibrent : la force gravitationnelle qui tend à faire s'effondrer le Soleil sur lui-même, et les forces thermonucléaires qui elles tendent à le faire exploser. Cet heureux équilibre durera tant qu'il y aura du carburant hydrogène au centre du Soleil.

### II LE SOLEIL EN QUELQUES CHIFFRES

Le Soleil est l'une des deux cents milliards d'étoiles de notre galaxie, il est situé à environ trente mille années-lumière du centre galactique, autour duquel, il tourne en deux cents millions d'années à la vitesse de 250 km.s-1.

Le Soleil est aujourd'hui une sphère de 1 392 000 km de diamètre (soit près de 110 fois celui de la Terre) et d'une masse de 1,989.1030 kg (soit près de 330 000 fois celle de la Terre). Sa masse volumique moyenne est de l'ordre de 1 410 kg.m-3. La température à la surface est de 5 770 kelvins et celle du centre est d'environ quinze millions de kelvins. En son cœur, où se produisent les réactions thermonucléaires, la masse volumique y atteint 151 000 kg.m-3 et la pression s'y élève à 2,33.1011 bars, soit 233 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre. Le Soleil tourne autour de lui-même en 25,4 jours environ. Son axe de rotation est incliné de 82°49' par rapport au plan de l'orbite de la Terre (plan de l'écliptique) et sa rotation est différentielle, c'est à dire qu'elle est beaucoup plus rapide à l'équateur qu'aux pôles.

Chaque seconde, sept milliards de tonnes d'hydrogène sont converties en hélium. Cela peut paraître énorme, mais depuis sa naissance, seulement 4% de l'hydrogène a été transformé, et le Soleil en possède encore suffisamment pour brûler pendant cinq à six milliards d'années.

###### III ET APRES…

Le Soleil va continuer à briller à peu près au même taux, avec une légère et constante augmentation de sa luminosité, pendant environ un peu plus de cinq milliards d'années supplémentaires.

 Il va également évoluer vers une couleur plus rouge, et va devenir plus chaud. Dans à peu près un

milliard d'années et demi, il sera environ trois fois plus gros et 15% plus brillant. Quant aux conséquences climatiques terrestres, elles seront considérables ; dans les zones tempérées il ne sera désormais plus possible de faire des bonhommes de neige quant au climat aux alentours du cercle arctique, il ressemblera à celui que nous connaissons actuellement sur les côtes de Floride. Le niveau des océans aura énormément augmenté.

Lorsqu'il n'y aura plus d'hydrogène à brûler au centre du Soleil, son cœur qui ne sera alors plus composé que d'hélium, il se contractera tandis que la chaleur continuera à s'évacuer vers l'extérieur. Cette contraction aura pour conséquence de chauffer le cœur du Soleil. La température sera alors suffisante pour que des réactions thermonucléaires se déclenchent dans la coquille qui entoure le cœur. Les régions extérieures seront alors de plus en plus chauffées et se dilateront. Le Soleil deviendra dix fois plus gros qu'aujourd'hui, la température sur Terre devrait alors dépasser les 100° et donc, les océans se mettront à bouillir.

Au centre du Soleil, la température continuera d'augmenter jusqu'à cent millions de degrés, ce qui est suffisant pour que s'enclenchent les réactions de fusion de l'hélium en carbone. Puis se formera une coquille d'hydrogène en combustion d'une extrême luminosité ; à peu près dix mille fois plus que ce que nous observons de nos jours. Cet intense rayonnement lumineux déstabilise l'enveloppe du Soleil, c'est à dire les régions les plus extrêmes gonflent tout en se refroidissant. A ce stade, le Soleil sera devenu une étoile géante rouge et son rayon sera supérieur à la distance actuelle de la Terre. Son enveloppe pourra aller jusqu'à atteindre l'orbite actuelle de Jupiter ( c'est à dire 7 574,31 millions de kilomètres de plus que son rayon présent)

Cependant, le Soleil aura perdu de grandes quantités de gaz dans ses couches superficielles, et donc il aura perdu une partie de sa masse. Les planètes seront donc moins affectées par la force de gravitation exercée par le Soleil et auront eut le temps de migrer vers l'extérieur.

Malgré ceci, l'atmosphère terrestre sera quand même extrêmement chaude et le paysage sera alors apocalyptique ; la température de la surface avoisinera les 2 000°, la Terre sera couverte de lave en fusion, les trois quarts du ciel seront occupés par un disque solaire devenu rouge…

Puis un certain nombre de réactions thermonucléaires s'allumeront successivement au cœur du Soleil et dans les couches qui l'entourent. L'hydrogène qui s'est transformé en hélium se transformera en carbone, puis le carbone en oxygène. Notre étoile subira alors une succession d'expansions et de contractions, et une suite d'étapes où la luminosité sera plus ou moins élevée. Au plus fort de l'expansion, le rayon du Soleil sera plus de deux cents fois plus grand que le rayon actuel !

Quant aux évènements qui suivent, ils ne sont pas tous connus, mais les astrophysiciens en on compris les grandes étapes. Le Soleil perdra une grande partie de son enveloppe extérieure et la température du corps n'atteindra jamais une valeur suffisante pour que les réactions thermonucléaires produisant les éléments au-delà de l'oxygène puissent se déclencher. Dans l'état actuel des connaissances, on ne peut dire si la perte de gaz sera progressive ou violente, mais à un moment de son histoire, le Soleil sera une nébuleuse planétaire, c'est à dire une étoile entourée de nuages de gaz illuminés par l'objet central.

Au centre de l'étoile, un cœur inerte, composé d'un mélange d'oxygène et de carbone sera surmonté d'une coquille d'hélium et d'une couche d'hydrogène. On en arrive alors au point où la gravité l'emporte et où le cœur de l'étoile s'effondre inexorablement sur lui-même. Un phénomène de nature quantique va cependant arrêter cet effondrement : c'est la dégénérescence des électrons. Ce phénomène interdit aux électrons d'être serrés les uns contre les autres de façon arbitraire. La dégénérescence des électrons ne joue un rôle que si la densité a atteint des valeurs très élevées, de l'ordre de la tonne par centimètre cube.

Une fois ce stade atteint, l'étoile se trouve dans un état d'équilibre stable dans lequel la production d'énergie thermonucléaire ne joue plus aucun rôle. L'astre dont la masse sera environ deux fois moindre que celle du Soleil actuel sera devenu une étoile naine blanche. Sa taille sera de l'ordre de celle de la Terre aujourd'hui et sa densité sera particulièrement élevée. Pour se donner une idée de la densité de cette étoile naine blanche, on peut considérer que le volume de cette matière contenue dans une cuillère à café contiendrait plusieurs centaines de tonnes de matière.

La naine blanche sera alors entourée d'une poignée de planètes rescapées. Au bout d'une dizaine de milliards d'années supplémentaires, ce petit astre se refroidira lentement pour s'éteindre un jour et devenir une naine noire minuscule et froide. La destinée ultime de notre Soleil est de devenir une masse froide de matière dégénérée plus dure que le diamant.

**6-2-2 HEURT D ASTEROÏDES : LA FIN DE LA VIE TERRESTRE ?**

**. 251 millions d’années**

Il y a 251 millions d’années, à la fin du Permien et au début du Trias (à la frontière entre le Primaire et le Secondaire) une catastrophe majeure a frappé la Terre de plein fouet, provoquant probablement en 8000 ans à peine la mort de :

 . 90% des espèces marines,

 . presque toutes les plantes terrestres,

 . 70% de vertébrés terrestres.

A cette époque les continents actuels ne s’étaient pas encore séparés : les terres émergées formaient un continent unique : la Pangée.

Les traces de cette catastrophe sont à rechercher dans les sédiments très âgés, et éparpillés à travers le monde.

**. Comment échapper à un astéroïde ?**

Hollywood a imaginé divers scénario, comportant tous des bombes atomiques : bon cinéma ?mauvaise science ?

Dans la réalité, une explosion nucléaire ne ferait qu’aggraver les dégâts : au lieu de ne frapper qu’en un seul point, les fragments de l’astéroïde retomberaient sous forme de pluie meurtrière.

La plus poétique des solutions serait de déployer une immense voile qui serait poussée par le vent solaire. Reste à l'attacher au géocroiseur à dévier !

Bien que les risques statistiques d'une collision majeure soient faibles, leurs conséquences sont trop importantes pour être ignorées. Plusieurs organismes en sont conscients et financent, depuis peu, des programmes de surveillance. Ainsi l'assemblée parlementaire du Conseil de l'Europe a-t-elle votée, en mars 1996, une résolution invitant les gouvernements des Etats membres et l'Agence spatiale européenne (ESA) à se préoccuper du problème. Mais le budget que l'Europe consacre à la détection des géocroiseurs ne dépasse pas les 100 000 dollars.

Aux Etats-Unis, trois programmes existent déjà et reçoivent environ un million de dollars par an.

- le programme PCAS (Palomar Intercrossing Asteroids Survey) est premier programme officiel de repérage des géocroiseurs à l'observatoire du mont Palomar ;

- le programme NEAT (Near Earth Asteroids tracking) repose sur une collaboration entre la NASA et l'US Air Force ;

- le programme Spacewatch observe des astéroïdes et des comètes avec l'un des télescopes de Kitt Peak ;

Le Congrès américain devrait consacrer un budget d'un milliard de dollars au cours de la prochaine décennie pour mieux étudier les quelques 25 000 objets risquant d'entrer en collision avec la Terre. Un bureau pour la détection des astéroïdes et comètes devrait bientôt être créé au sein du Jet Propulsion Laboratory (JPL).

D'autres réseaux de veille spatiale se mettent en place, en Chine (observatoire de Pékin), en Russie (observatoire de Saint-Pétersbourg), en France (observatoire de la Côte d'Azur) et en Grande-Bretagne. Au Nouveau-Mexique, le groupe Linear (Lincoln Laboratory Near-Earth Asteroid rechearch) utilise un télescope militaire spécialisé dans l'étude des débris spatiaux et des satellites. Enfin un organisme international, Spaceguard Foundation, a été fondé en 1996 et rassemble des astronomes, professionnels ou amateurs, du monde entier.

Le repérage des géocroiseurs reste difficile. Les estimations de taille et de trajectoires varient parfois. Et les médias, toujours prompts au sensationnalisme, s'emparent d'informations diffusées sans précaution. Ainsi l'astéroïde 1997-XF-11 a-t-il connu une gloire éphémère en avril 1998. Un astronome de l'observatoire McDonald (Texas, USA) annonça que cette mini planète de 2 km de diamètre allait passer à moins de 40 000 km de la Terre. Et d'ajouter que "*les risques d'une véritable collision étaient faibles mais qu'ils ne pouvaient être totalement écartés*". Du coup, de très nombreux journaux consacrèrent leurs gros titres à la fin du monde prévue, avec une impitoyable précision, le 26 octobre 2028, à 18 h 30 GMT. Priés de vérifier les calculs de Peter Shelus, les chercheurs du Jet Propulsion Laboratory (JPL) firent savoir, vingt-quatre heures plus tard, que l'astéroïde 1997-XF-11 passerait à un million de km de notre planète et que "*le risque de collision avec la Terre était équivalent à zéro*".

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
| 0 | Pas de risque |
| 1 | A surveiller attentivement |
| 2 à 4 | Evénement inquiétant |
| 5 à 7 | Evénement menaçant |
| 8 à 10 | Collision certaine |

 | Cet épisode fit réfléchir la communauté scientifique. Comment informer l'opinion publique sans l'effrayer ? Un professeur du Massachusetts Institute of Technology, Richard Binzel, proposa en juin 1999 à l'Union astronomique internationale, d'utiliser une échelle de risque, graduée de zéro à dix (baptisée échelle de Turin en l'honneur de la ville où elle fut présentée). *"Si vous dites à un Californien qu'un tremblement de terre d'un niveau 1 sur l'échelle de Ritcher va avoir lieu demain, il vous répondra : et alors ? En revanche, si vous évoquez un tremblement de terre de niveau 6, alors ce sera différent."* |

L'astéroïde 1997-XF-11 qui fit couler tant d'encre pendant quelques heures est à classer dans la zone verte de l'échelle de Turin (degré 1 de risque). Un astéroïde de niveau 8 produirait des dégâts locaux, semblables à ceux d'un grand tremblement de terre. Au niveau 9, les dégâts deviendraient régionaux. Au niveau 10, l'impact déclencherait une catastrophe climatique globale, équivalente à celle qui a peut-être provoqué la disparition des dinosaures.

 **Le danger de collision spatial est-il réel ?**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Diamètre** | **Fréquence d'impact** | Conséquences |
| 10 cm à10 m | 200 météorites par an | Elles brûlent en général dans l'atmosphère. Elles peuvent toutefois endommager des objets comme une voiture ou un toit. Les accidents mortels restent rarissimes.Dernier exemple connu : la météorite de Pitalito (Colombie, décembre 1996). Elle a embrasé un toit de chaume et provoqué un incendie dans lequel quatre personnes sont mortes. |
| 30 m | Une fois par siècle | Cataclysme local. (degré 8 sur l'échelle de Turin)Exemples connus : impact du Meteor Crater (il y a plusieurs milliers d'années) ou explosion de la Toungouska (1908) : une comète d'environ 60 mètres de diamètre a explosé au-dessus de la Sibérie, dans une région heureusement inhabitée, avec une puissance équivalente à 600 fois la bombe d'Hiroshima.Pertes humaines probables : équivalant à une inondation ou à un tremblement de terre majeurs. Des villes comme Paris, Londres ou New York seraient détruites si un tel objet leur tombait dessus. |
| 1 km | Une fois tous les 30000 ans | Cataclysme régional. (degré 9 sur l'échelle de Turin)Pertes humaines probables : 100 millions de morts |
| 10 km | Une fois tous les 100 millions d'années | Cataclysme planétaire. (degré 10 sur l'échelle de Turin)La disparition des dinosaures et des micro-organismes marins, il y a 65 millions d'années, est peut-être due à la chute d'un astéroïde, dans la péninsule du Yucatan, aux abords du golfe du Mexique. |

**. Que se passerait-il si un objet extraterrestre heurtait la Terre ?**

Si l'astéroïde mesurait entre 1 à 2 km de diamètre, l'énergie dégagée par l'impact serait équivalente à une bombe de 1 million de mégatonnes. Toute la Terre serait ravagée par des incendies et des raz de marée. La matière vaporisée serait condensée en un immense nuage de cendres. La température moyenne chuterait. Des pluies acides tomberaient. Ces variations climatiques dureraient plusieurs siècles engendrant des famines interminables. Peu de sociétés parviendraient à surmonter une telle catastrophe.

Si l'astéroïde avait un diamètre de 10 km de diamètre et une vitesse de 20 km/s, il provoquerait un cataclysme planétaire. L'impact creuserait un cratère de 100 km de diamètre et libérerait une énergie de 1 milliard de mégatonnes. Le plasma incandescent issu de l'impact, s'élèverait puis retomberait sur toute la planète, incendiant des continents entiers. La masse de poussières et de suies serait épaisse de plusieurs de milliers de mètres cubes. La température chuterait de 15°.

Une étude publiée dans la revue Ecology Letters [mars 2000] par des chercheurs décrit les conséquences de l'impact d'un astéroïde semblable à celui qui écrasé sur Terre, au large de la péninsule du Yucatan (Mexique), il y 65 millions d'années, dégageant une énergie de mille milliards de mégatonnes. La collision serait dévastatrice, l'hiver d'impact mortel et un "printemps ultraviolet" achèverait les survivants.

Un long hiver glacial provoqué par le nuage de poussière consécutif à l'impact serait le prélude à un printemps ultraviolet Le nuage de poussière protégerait la Terre des rayons ultraviolets pendant une période d'environ 390 jours, avant que la poussière ne retombe. Après cela, la diminution de la couche d'ozone provoquerait, environ 600 jours après l'impact, un doublement du degré des radiations d'ultraviolets.

L'atmosphère terrestre se remplirait alors d'oxyde d'azote, provoquant des pluies acides. Le processus de photosynthèse indispensable à la vie végétale serait stoppé. Le rayonnement ultraviolet deviendrait ensuite intolérable pour les nombreux organismes vivants dans l'eau et sur Terre. Il causerait des dégâts sur l'ADN, provoquant notamment des mutations génétiques et des cancers.

Aujourd’hui, de nombreuses signatures subsistent :

- Meteor Crater, en Arizona, prouve que la Terre a déjà subi, comme la lune et les autres planètes, d'importantes collisions. Ce trou de 1 km 200m de diamètre et de 200 mètres de profondeur à été creusé il y a 50 000 ans par une météorite de 300 000 tonnes.

* Tugunska (Sibérie 1908) : comète de 60 m, puissance équivalente à 600 bombes atomiques. Des personnes furent renversées par le souffle à 100 km de là !

 **A quand le prochain ?**

Un astéroïde (1999 AN 10) frôlera la Terre en août 2039 ! Découvert par des astronomes italiens de l’Université de Pise, il fait 1,5 km de diamètre et circule dangereusement près de la Terre.

Il fait le tour du soleil en 643 jours et croise l’orbite terrestre 2 fois par an. Il passera très près de la Terre en 2027 et plus près encore en août 2039. Si jamais un impact se produisait, il y aurait des centaines de millions de morts et la poussière soulevée provoquerait un refroidissement du climat qui durerait des années.

|  |
| --- |
| Les cinq géocroiseurs les plus dangereux |
| **(depuis 1990)** |
|   |
| **Appellation** | **Distance de passage****(en kilomètre)** | **Taille****(en mètre)** | **Date****d'observation** |
| 1994 XM1 | 105 000 | 7 à 15 | 09/12/94 |
| 1993 KA2 | 150 000 | 4 à 9 | 20/05/93 |
| 1994 ES1 | 165 000 | 5 à 12 | 15/03/94 |
| 1991 BA | 165 000 | 5 à 12 | 18/01/91 |
| 1995 FF | 434 000 | 13 à 30 | 27/03/95 |
| distance moyenne Terre/Lune = 384 403 km |
| Le géocroiseur le plus menaçant |
|   |
| **Appellation** | **Distance supposée de passage****(en kilomètre)** | **Taille****(en kilomètre)** | **Date****de passage** |
| 1999 AN 10 | 37 000 | 1,5 | 2027 |
| 2039 |
|  |  |  |  |
| Les trois plus grands géocroiseurs connus |  |
|   |  |
| **Appellation** | **Taille****(en km)** | **Distance****(en km)** |  |
|  |
| 1036 Ganymède | 41 | 18 000 000 |  |
| 433 Eros | 23 | 17 000 000 |  |
| 4954 Eric | 12 | 16 000 000 |  |
| Distance moyenne Terre/Soleil = 149 597 870 km (1 UA) |
| **Les comètes qui ont frôlé la Terre** |  |
| **(depuis 837)** |  |
|   |  |
| **Nom** | **Distance** | **Date** |  |
| Lexell | 223 500 | 07/1770 |  |
| Tempel-Tuttle | 340 000 | 10/1366 |  |
| Iras-Araki-Alcock | 460 000 | mai-83 |  |
| Halley | 495 000 | 04/837 |  |
| Biela | 542 000 | 12/1805 |  |

# CHAPITRE 6-3: DIEU ET LA SCIENCE

# Depuis que l’Homme a commencé à penser, ses yeux se sont tournés vers le ciel imaginant et recherchant nos origines et notre avenir.

La lumière que nous percevons des étoiles nous apporte des informations sur le passé de l’univers auquel nous appartenons mais que savons nous de son futur, de notre futur ? Comme on a pu se poser la question de l’avant *Big Bang*, on s’interroge sur le devenir de l’univers : y a-t-il une fin avec la théorie du *Big Crunch*, ou pas du tout, et que se passera-t-il après ? Plusieurs hypothèses cohabitent dans le monde scientifique, donnant chacune un scénario dont l’existence est fonction, entre autre, de la quantité de matière de l’univers.

En effet, il existe trois théories.

**6-3-1. Expansion**

Si l’univers comporte « peu » de matière, sa densité est faible, il est donc ouvert et infini. Son expansion actuelle se poursuivra indéfiniment jusqu’à une dilution complète.

**6-3-2*.* Oscillation et *Big Crunch***

Au contraire, si la quantité de matière est suffisante, l’univers est fermé. La phase d’expansion actuelle pourrait s’arrêter et être suivie d’une phase de contraction qui précipiterait les particules les unes contre les autres. Alors deux solutions viables apparaissent : l’oscillation de l’univers ou le phénomène inverse du *Big Bang*, le *Big Crunch* (l’effondrement de l’univers sur lui-même).

L’astronome Carl Sagan de l’université Cornell remarque en effet :

“...information from our universe would not trickle into that next one and, from our vantage point, such an oscillating cosmology is as definitive and depressing an end as the expansion that never stops “

**6-3-3. Stabilisation**

Un troisième scénario, celui-ci optimiste, indique que la quantité de matière sera de telle sorte que, les forces s’équilibrant, la taille de l’univers se stabilisera.

Le question pour déterminer l’avenir de notre univers est donc :

De quelle quantité de matière l’univers est-il fait ?

ou ce qui revient au même :

 Quelle est la masse de l’univers ?

Jusqu’ici cette mesure s’est avérée ardue. Des études approfondies de la dynamique des galaxies ont montré que pour assurer leur stabilité, celles-ci devaient sans doute être entourées d’une très grande quantité de matière sombre. Il semblerait que seulement 10% de la matière de l’univers soit visible, les 90% restant étant constitués par de la matière obscure que l’on appelle encore masse manquante.

CONCLUSION

Dieu et la science : Antinomie ?

Les croyants estimaient la Bible comme un livre d’histoire et en donnaient une interprétation littérale, depuis, la science a prouvé les limites de cette vision mais n’exclut pas pour autant une existence divine à l’origine de notre univers. En effet, au commencement, il y a bien eu création – le *Big Bang*… Et qui dit création, ne dit-il pas créateur ?

Il ne semble y avoir aucune opposition entre les explications les plus classiques du phénomène de l’évolution et une croyance en Dieu. La foi peut concorder avec le darwinisme à condition que le hasard dont parle la théorie ne soit pas l’absence d’une cause divine. Par exemple, si on joue à la roulette, le résultat est aléatoire mais rien ne prouve que la providence divine en est absente.

IL EST ETRANGE LE DESTIN

On ne voit dans le ciel ni Phèdre,

Ni Athalie, ni Andromaque,

Ni David jouant de la harpe,

Ni Ophélie, ni Ganymède.

Alors qu’on trouve un Dauphin,

Des poissons, un Lièvre, un Taureau,

Et même un Chat et un Corbeau.

Il est étrange le destin !

On peut être tout sur la terre

Ange de paix, foudre de guerre

Et, dans le ciel, plus rien !

THE OVERHELMING BEAUTY OF THE UNIVERSE

When I look at the night sky, in the Andies,

I am filled with feelings of awe and wonder at the overhelming

beauty and power of the UNIVERSE.

When I am in the midst of Nature, in a forest, by the sea, on a mountain peak,

I ever feel a sense of the sacred, like the feeling of being in a vast cathedral.

My religion stress the magnificence of the UNIVERSE.