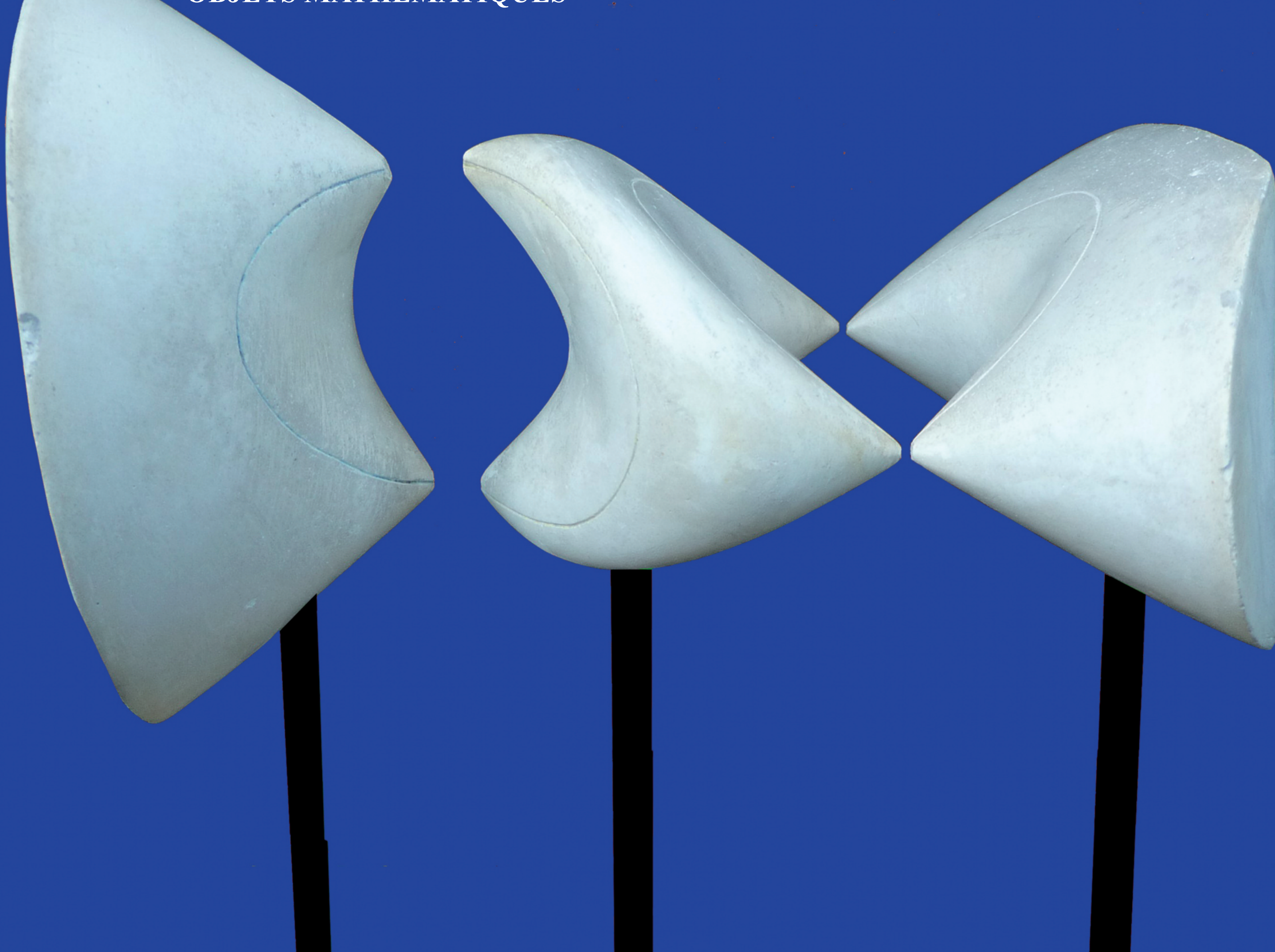
N°87 - OCTOBRE 2016

AUVERGNE Sciences

LA RÉVOLUTION DU CERVEAU
VOYAGE HISTORIQUE À TRAVERS LE SYSTÈME SOLAIRE ET LES ÉTOILES
RENÉ DE POSSEL (1905-1974) UN MATHÉMATICIEN DANS SON ÉPOQUE
OBJETS MATHÉMATIQUES



30 ans ADASTA

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

E D I T O R I A L

Chers Amis de l'ADASTA,

Arriver dans une famille et tout de suite souffler des bougies d'anniversaire, c'est inattendu, non ?

C'est pourtant le cas : élu le 24 mai Président de l'ADASTA, je vis son 30ème anniversaire cette année et il faut fêter dignement cette échéance - occasion de dresser un bilan et d'envisager des perspectives- pour plusieurs raisons.

D'abord une organisation qui dure 30 ans, c'est qu'elle a une raison d'être et que ses membres veulent qu'elle existe car, même pour les associations, "la vie n'est pas un long fleuve tranquille"… Nous devons donc nous réjouir d'avoir su faire face aux difficultés et, avec vous tous, je rends hommage à mon prédécesseur Henri BOUFFARD, homme dévoué, dynamique et déterminé.

Ensuite notre monde a changé : il recule devant l'effort que représente la pratique des sciences pourtant si passionnante, les experts y sont mis en doute, le chercheur a mauvaise presse… À nous de lutter contre tout cela !

Enfin nous vivons quotidiennement ce paradoxe que les technologies ont envahi notre environnement alors qu'elles sont devenues très complexes et partant plus difficiles à expliquer.

Qu'importe ! Nous avons, pour nous y atteler, des outils qui ont fait leurs preuves : nos conférences mensuelles, nos visites de sites, cette revue de qualité "AUVERGNE Sciences" que vous avez entre les mains et qui va vous emporter dans les profondeurs du cerveau, à travers le système solaire, au sein des beautés mathématiques, vers la merveilleuse fantaisie des rhinogrades et autres isoprénoïdes, enfin à la découverte de nos pérégrinations en Auvergne et Limousin.

D'autres moyens sont à revoir ou restent à créer : c'est ce que nous allons faire dans les mois qui viennent, car nos objectifs n'ont pas changé et nous continuerons notre mission.

En attendant, ne boudons pas notre plaisir et je vous invite à participer nombreux à nos événements marquant les 30 ans de l'ADASTA pendant la Fête de la Science, du 8 au 16 octobre prochains : plusieurs conférences seront organisées à Clermont-Ferrand et le point d'orgue en sera la réception de l'ADASTA à l'Hôtel de Ville le vendredi 14, précédée d'une conférence par un éminent spécialiste de l'innovation chez notre grand voisin industriel.

Rendez-vous sur le site pour les détails !

En attendant, bonne lecture et bon anniversaire !

Jean-Philippe MOULIN
Président de l'ADASTA

MERCI À NOS SPONSORS

S O M M A I R E

LA RÉVOLUTION DU CERVEAU : CE QUE L'ON CROYAIT SAVOIR ! 1
VOYAGE HISTORIQUE À TRAVERS LE SYSTÈME SOLAIRE ET LES ÉTOILES 6
RENÉ DE POSSEL (1905-1974), UN MATHÉMATICIEN DANS SON ÉPOQUE 15
OBJETS MATHÉMATIQUES 24
LES RHINOGRADES 30
HOMMAGES 32
VOYAGE SCIENTIFIQUE EN LIMOUSIN 33
CIRCUIT DES SOURCES MINÉRALES 35
INAUGURATION DU CADRAN SOLAIRE DE CHAMALIÈRES 36
PROGRAMME DES CONFÉRENCES 2E SEMESTRE 2016 .... P3 DE COUV
HISTOIRES DE PLANTES ET AUTRES .... P4 DE COUV

Comité de rédaction de la Revue Auvergne-Sciences

Directeur de la publication: Jean-Philippe Moulin
Rédacteur en chef : Philippe Choisel
Membres : Georges Anton, Gérard Baillet, Vincent Barra, Jean-Claude Capelani, Jean Chandezon, Roland Fustier, Michel Gendraud, Paul-Louis Hennequin, Bruno Rakinski, André Schneider

Photo de couverture (Michel Perrin): surface de Kummer à 4 points doubles réels (cf article "Objets mathématiques")

LA RÉVOLUTION DU CERVEAU : CE QUE L'ON CROYAIT SAVOIR !

Résumé de la conférence du PR. PHILIPPE LUCCARINI
Professeur à l'Université d'Auvergne
Chercheur INSERM U1107, équipe Douleur Trigéminale et Migraine
Président de l'Association AUVER-BRAIN

(Article rédigé par Elise Aspord à partir de l'enregistrement de la conférence)

1- INTRODUCTION

Cette présentation fait écho à celle qui avait eu lieu dans ces mêmes locaux de l'Adasta le 11 septembre 2013 par Jean Chazal, Neurologue, Professeur Hospitalo-Universitaire et doyen de médecine de Clermont-Ferrand. A l'issue de cette rencontre il avait été convenu que le cerveau analyse, interprète, stocke, restitue, transmet, conceptualise et pense. Il n'a pas été construit à des fins précises.

« Il ne s'use que si on ne s'en sert pas ».

Aujourd'hui, ce que l'on croyait savoir dans la discipline des neurosciences est remis en cause. Les dogmes en science doivent être abattus. Nous allons voir ensemble ces découvertes récentes ou moins récentes qui rebattent les cartes. Ce sera la thématique de mon intervention et de cet article qui lui fait suite.

Fig 1. Cerveau humain

Prenons un cerveau humain et pratiquons une coupe.

Nous voyons différentes couleurs et une masse molle. Dès le début les chercheurs se sont intéressés à cette anatomie, et notamment à la **nature** du tissu nerveux.

Une des théories décrit le cerveau comme un tissu nerveux, sorte de réticule de cellules liées physiquement les unes aux autres.

Elle est l'œuvre, à la fin XIXème, d'un chercheur italien Camillo Golgi.

On parle de **dogme réticulariste**. Selon ce scientifique, il n'y a pas d'individualité dans le cerveau. Il invente une technique de coloration des tissus d'un très bel effet visuel qui permet de voir la cellule et le filament nerveux grâce à des sels d'argent qu'il intégrait dans **les coupes**.

Au même moment, un collègue (Ramón y Cajal) fait des observations et a une intuition. Il conçoit une **théorie** neuroniste : les neurones sont individuels, séparés les uns des autres (intuition). On voit l'ébauche du concept de **synapse : les neurones sont** séparés par un petit espace par lequel ils communiquent.

La guerre est déclarée entre le pape de la physiologie, Golgi et Ramon y Cajal. Il y a eu cependant des tentatives pour les réconcilier. Si la deuxième hypothèse a, petit à petit, pris de l'ampleur, c'est ensemble qu'ils reçoivent en 1906 le prix Nobel. Il faut attendre le **microscope** électronique dans les années 1950 pour confirmer finalement l'hypothèse de Cajal. **Le dogme réticulariste s'écroulait.**

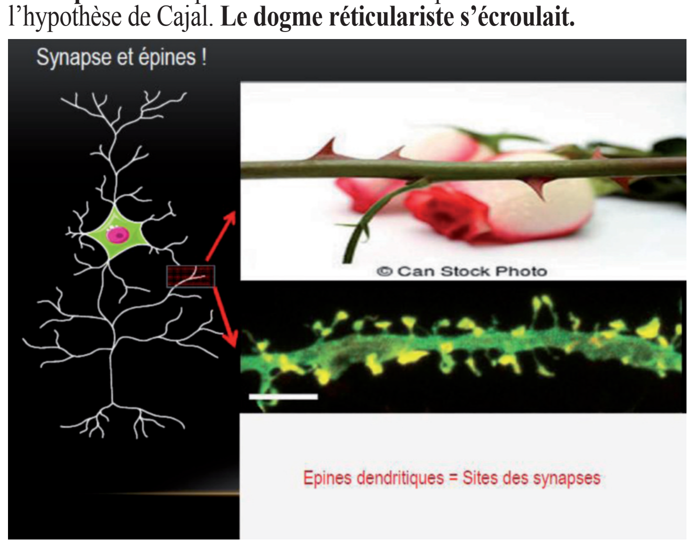


Fig.2 : nous voyons un neurone avec des bras dits l'*arborisation* (comme un arbre). On trouve sur ces «branches» des épines (contacts). Ce sont elles qui reçoivent les signaux des synapses. Le neurone a environ 10.000 contacts avec ses voisins. Ces 100 milliards de neurones multipliés par 10.000, cela donne un système très vite complexe. Les contacts se font de deux façons : électrique (sur neurone) et chimique (entre les deux).

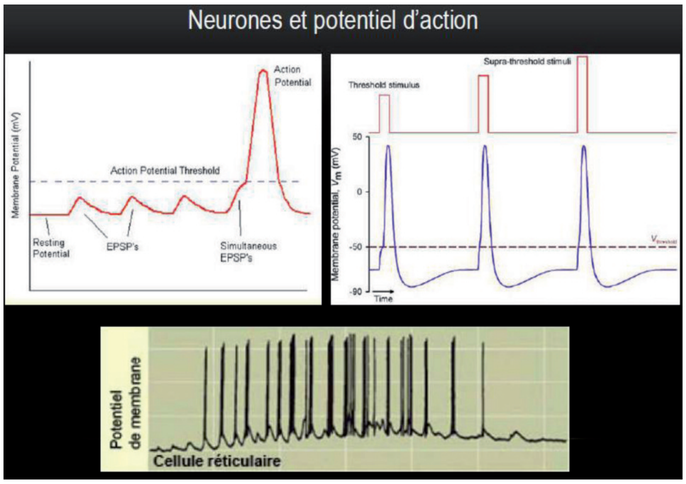


Fig.3. On peut planter une électrode dans un neurone et lors de l'activation de la cellule on voit une dépolarisation de la membrane qui correspond à une vague d'ions positifs (sodium calcium) qui entrent via des canaux. Cette vague correspond à l'influx nerveux ou potentiel d'action.

La théorie depuis Cajal c'est :

Dogme 1 : Le neurone est **l'unité fonctionnelle et structurelle**. Il n'y a que ça dans le cerveau et c'est le plus important.
Dogme 2 : Il est **seul à générer des potentiels d'action**, c'est-à-dire de générer de l'électricité qui veut dire message.
Dogme 3 : Le neurone est le **seul à délivrer des neuromédiateurs chimiques**
Dogme 4 : **Il communique via des synapses avec un espace.**
Dogme 5 : **La cellule nerveuse est amitotique**. Elle ne fait pas de mitose, elle ne peut pas se diviser à l'âge adulte. **Le cerveau est adulte à la naissance**
Dogme 6 : **Le cerveau adulte a perdu sa plasticité**.
Dogme 7 : **Il n'y a qu'un cerveau.**
Or plusieurs aspects de la théorie du neurone sont remis en cause aujourd'hui.

DOGME 1

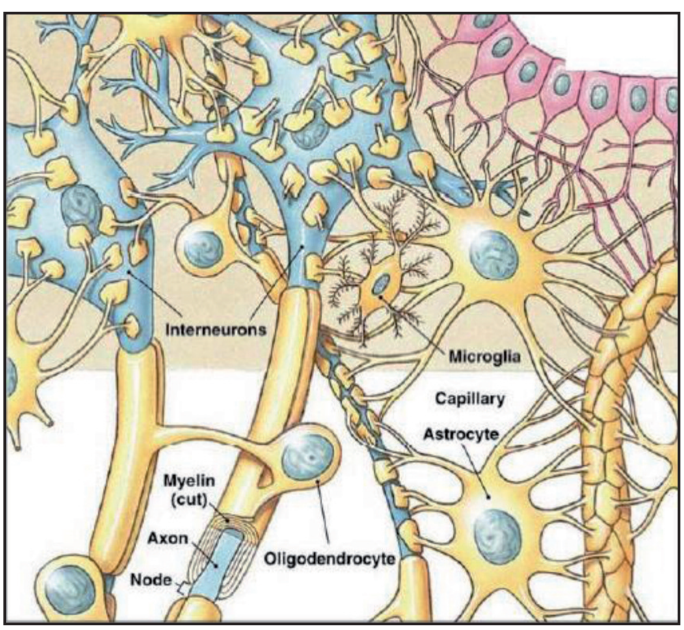


Fig.4. Différents types de cellules gliales

Le neurone : **Le neurone n'est pas seul en caus**e. Cette idée erronée est en train de changer depuis 20 ans. On voit sur l'image des **cellules gliales**.

Question : quel est le poids du cerveau ? Le cerveau pèse 1,5 kg et est constitué de beaucoup d'eau et de gras. Une grande partie du cerveau est constituée de cellules gliales dont le rôle n'est pas seulement mécanique.

Quel est le nombre de cellules gliales ? Il a été surévalué. Une étude de 2009 montre qu'il y a en gros 100 milliards de cellules gliales pour un nombre équivalent de neurones ; soit un ratio de 1 pour 1 ou de 1 pour 2 si on voit large. Leur rôle n'est pas seulement mécanique. Les cellules gliales et les neurones ont la même origine dans le fœtus sauf les cellules micro gliales. Elles dérivent des cellules qui produisent les globules blancs, ces cellules macrophages qui sont capables de manger les autres. Ces cellules micro gliales ont une forme d'araignée. Elles ont un rôle immunitaire. Elles mangent les déchets du cerveau. On les a longtemps considérées comme la poubelle du cerveau et non actives. **Mais elles sont aussi importantes que les neurones.** Elles ne génèrent pas de potentiels d'action **mais elles interviennent dans la sélection**. Nous avons au début vu les épines. Leur nombre dépend de notre expérience depuis notre naissance. Au début les neurones poussent partout. Or il va falloir sélectionner les bonnes épines (celles qui captent la même chose) des mauvaises.

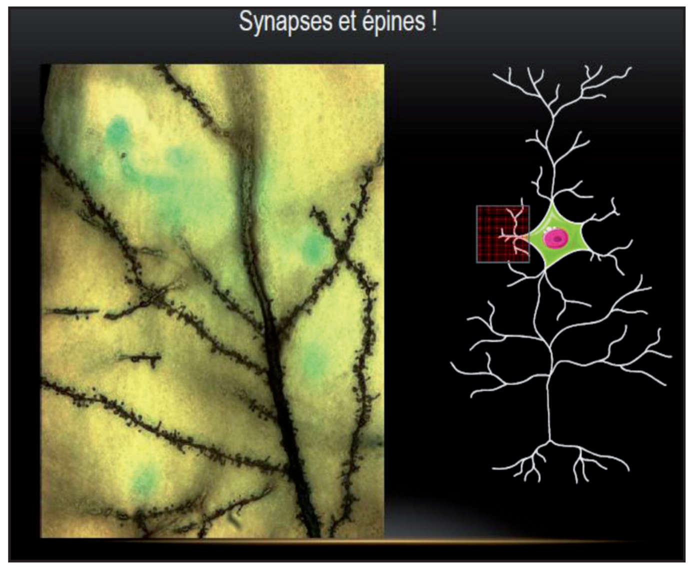


Fig.5. On voit une branche d'un neurone couverte de petites épines. Dans les premières années ces cellules micro gliales viennent se fixer sur certaines épines et les phagocyter, les manger.

Pourquoi ? Une théorie dit : **«use it or lose it».** Si une information passe souvent au niveau de cette épine elle reste (le cerveau la juge importante) sinon il l'enlève.

Pistes thérapeutiques : Les cellules micro gliales interviennent dans la sélection, en plus d'avoir un rôle aussi dans l'inflammation du cerveau et certaines maladies. Aujourd'hui, ces cellules font l'objet d'études poussées car on y voit un potentiel thérapeutique éventuel. Pendant longtemps on ne s'est concentré que sur les neurones. Aujourd'hui on se rend compte que les cellules autour ont aussi une grande importance dans le réglage de l'activité des neurones. Un médicament inefficace sur les neurones peut avoir une incidence positive sur les cellules micro gliales ! Cela complique la compréhension de la boite noire mais la complexité permet d'ouvrir d'autres pistes thérapeutiques.

DOGME 2

L'oligodendrocyte est une cellule dont la principale fonction est la formation de la gaine de myéline entourant les fibres nerveuses: les **axones**. Elle a un corps cellulaire avec des prolongements qui enveloppent (jusqu'à 40 tours) les **axones** (prolongements) des neurones. **C'est un isolant électrique**. C'est une aide à l'information. Il permet aussi à l'influx nerveux d'aller jusqu'à 140 m/s. S'il n'existait pas **l'influx nerveux ne dépasserait pas** 1 m ou 0,5 m/s. C'est grâce à la myéline que l'on peut faire des calculs puissants, raisonner…

Il n'y a pas que le neurone qui produise de l'électricité ; l'oligodendrocyte aussi !

On voit des **axones** qui envoient de l'électricité, sur lesquels l'oligodendrocyte agit également en envoyant de l'électricité. Ce phénomène **favorise la conduction des messages.** Il aide non seulement à aller plus vite mais permet aussi de **synchroniser** de 3 jusqu'à 30 neurones.

DOGME 3

Les astrocytes **:** Ces cellules en forme d'étoile ont un rôle majeur connu depuis longtemps. Elles **établissent les frontières entre le sang** (le capillaire sanguin) **et les neurones.** Entre les deux se situe la barrière hémato **encéphalique** ou barrière des astrocytes.

Fig 6 On voit un capillaire qui se prolonge par des astrocytes. Ce filtre récupère le glucose, l'oxygène…

On apprend encore à l'école le schéma suivant : neurone/synapse/neurone. En vérité, il y a toujours autour un astrocyte. Son rôle est majeur. Il libère, comme le neurone, des substances neuromédiatrices. Il régule la chimie. Il récupère, augmente ou diminue. Si on le retire, le système cérébral est perturbé. On parle de synapse tripartite (deux neurones plus un astrocyte). L'astrocyte n'a pas de potentiel d'action, ce n'est pas le principal vecteur de l'information mais il régule.

Pistes thérapeutiques : prenons le cas de la dépression. Elle est due à une baisse de la sérotonine. On sait que ce neuromédiateur est repompé par l'astrocyte. Un des antidépresseurs connus le Prozac bloque ce système de pompage par l'astrocyte, remonte les taux de sérotonine dans la synapse et permet de «remonter l'humeur».

Pistes thérapeutiques : c'est le cas de **l'épilepsie**. L'hypothèse (démontrée chez le rat) est que les astrocytes rejettent du glutamate en trop grande quantité. **L'épilepsie serait** donc **due** à la suractivité de ces synapses ou du moins, non pas de la synapse, mais du **contrôle exercé par les astrocytes**.

Sur la figure 7 nous voyons le glutamate. Il fait fonctionner le cerveau. Nous avons toujours un accélérateur (le glutamate) et un frein (acide γ amino butyrique, GABA). Quand le glutamate intervient trop, des problèmes peuvent survenir.

L'astrocyte peut empêcher la recapture du glutamate, donc au glutamate de rentrer et donc empêche la production de Gaba. D'une certaine façon **on appuie sur l'accélérateur et on enlève le frein**.

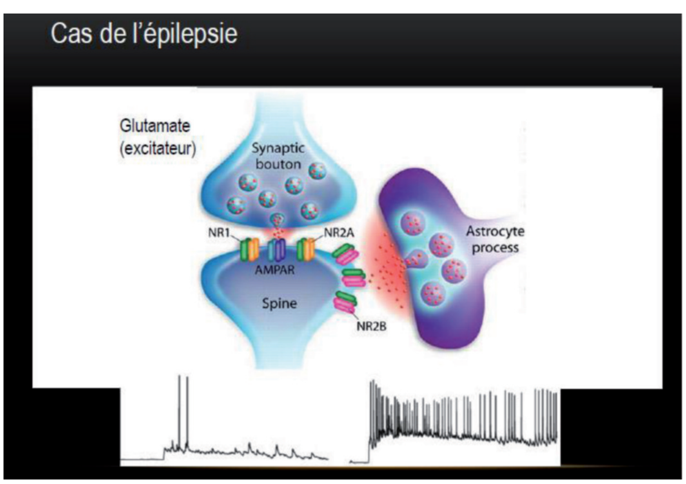


Fig 7 On voit un neurone qui libère du glutamate, ce glutamate est repompé par l'astrocyte qui le transforme en glutamine. Cette glutamine passe dans un neurone GABA qui freine l'activité nerveuse.

Dans nos recherches sur la douleur, depuis deux ans, nous prenons garde de **ne pas séparer le neurone et la cellule gliale.** Aujourd'hui on voit beaucoup d'échecs de molécules car on ne prend sans doute en compte que les neurones. Les cellules gliales peuvent contourner et empêcher l'effet antalgique. Des scientifiques de renom le confirment.

DOGME 4

La synapse *:* on parle de **synapse chimique**, donc de neuromédiateur. Ne nous méprenons pas: c'est vrai dans la majorité des cas mais ce n'est pas unique. Il y a des exceptions. Certaines peuvent avoir un contact physique (l'électricité passe de l'un à l'autre) sans chimie. Ce fut une des découvertes des années 2000. Comment a-t-on fait ? On plante une micro électrode et on injecte un traceur fluorescent. On remplit la cellule en 30 s. Au bout de 8 min on remplit les petits bras. A 11 min une autre cellule s'allume. Il y a donc bien contact physique (couplage électrique entre deux neurones) car le traceur ne peut pas sauter d'un neurone à l'autre dans le cas de synapse chimique.

A quoi peuvent servir ces synapses électriques ?

On a vu que l'influx nerveux, une fois généré, va jusqu'au bout de l'axone. C'est le sens normal de l'influx nerveux. La synapse électrique permet de faire le chemin en sens contraire. Cette activation antidromique pose bien des questions. Les 2 neurones sont couplés ; ils dialoguent ensemble.

L'influx nerveux peut se faire dans les deux sens. Cela peut intervenir dans le couplage électrique du cortex visuel.

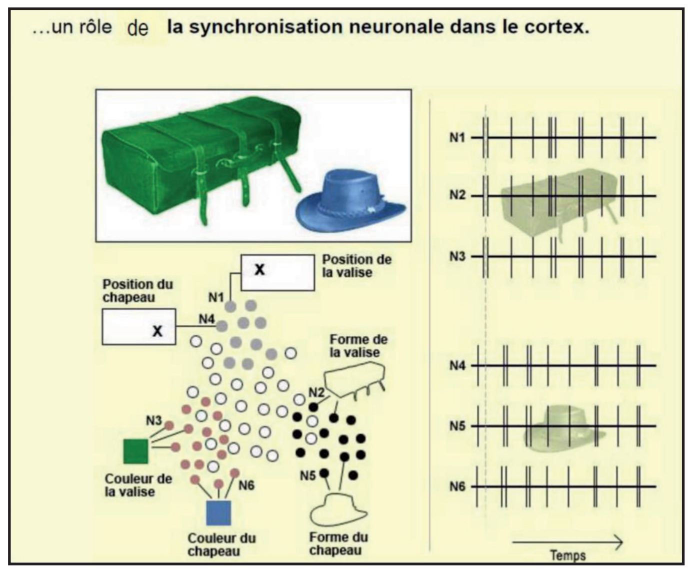


Fig 8 *Exemple :* On a une scène avec une valise, un chapeau bleu : les barres verticales représentent des potentiels d'action de l'influx nerveux. Si on enregistre dans le cortex visuel les neurones **en différents endroits** on voit que les 6 cellules (celle qui code la place du chapeau, l'autre la couleur ; celle qui code la forme de la valise…) sont parfaitement **synchrones**. Elles déchargent en même temps. Les neurones jouent la même «musique» ce qui nous permet de nous représenter parfaitement cette image.

DOGME 5

Révolution de la neuro néo genèse *:* Les cellules à l'âge adulte ne peuvent pas se diviser. C'est faux ! Certes on a un stock au début qui décroit tout au long de la vie. Mais je vais vous parler de la **révolution de la neuro néo genèse**. En 1993, Elizabeth Gould a démontré qu'il y a **des neurones qui apparaissent après la naissance**, à l'âge adulte et qui continuent de se développer (diviser) notamment dans l'hippocampe qui intervient dans la mémoire.

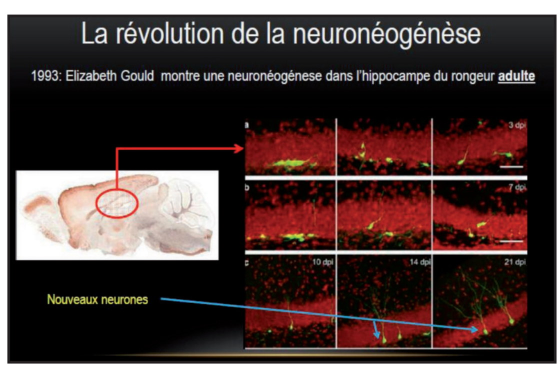


Fig 9 Chez le rat adulte, on voit des mitoses c'est-à-dire une cellule qui s'est divisée à l'âge adulte. Certes elles sont en faible proportion mais ça existe.

Pistes thérapeutiques : Pourquoi ? On ne sait pas vraiment, mais c'est un espoir pour des maladies neuro dégénérative type Alzheimer, Parkinson…

700 nouveaux neurones se créent dans l'hippocampe par jour. Certains soutiennent que le **tiers se renouvelle**, ce qui est peut-être **un peu exagéré**. Cette neuro néo genèse diminue avec le stress et augmente avec les antidépresseurs ou par la pratique du sport.

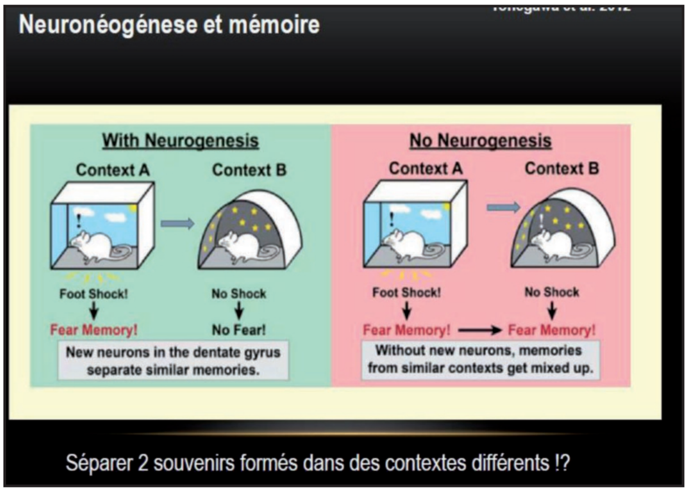


Fig.10. Ce processus de renouvellement joue un rôle sur la mémoire. **Susumu Tonegawa Prix Nobel de 1987 pour ces travaux sur las anticorps et reconverti aux neurosciences a fait une expérience**. Les animaux sont normaux. Contexte A : Il a mis une souris dans une cage. On lui envoie des chocs électriques aux pattes. Contexte B : le lendemain il la remet dans une autre cage et ne fait pas de chocs. L'animal n'a pas peur. Contexte C : Si on met l'animal dans la cage 1, il a à nouveau peur.

Maintenant on prend un animal dont on bloque la néo genèse. Quelle que soit la cage, il a peur. Il a perdu la mémoire liée au contexte. Il y a un donc lien entre la néo genèse et la relation du contexte. Elle permet de séparer deux souvenirs équivalents mais dans des contextes différents.

DOGME 6

On dit souvent que **le cerveau adulte a perdu de sa plasticité** et ne peut plus se modifier. C'est un peu vrai dans le sens où **on apprend l'essentiel avant ses 6 ans**.

Enfant : La plasticité du cerveau d'un enfant est fabuleuse (en Inde certains peuvent parler jusqu'à 7 langues et plus ; on pourrait parler aussi de l'apprentissage de la musique).

Définition. La Plasticité : capacité du cerveau à se modifier.

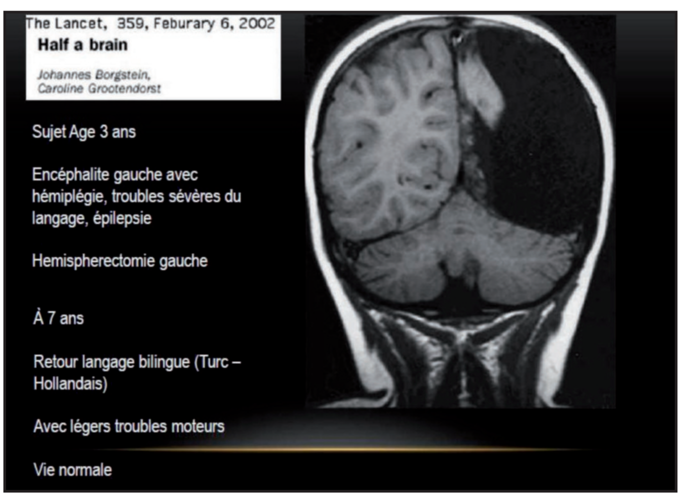


Fig.11. *Exemple :* Chez l'enfant la plasticité du cerveau est énorme. On a un sujet de 3 ans qui suite à une encéphalite gauche a développé une hémiplégie et des troubles sévères du langage, épilepsie... On lui enlève un hémisphère. A 7 ans, il a retrouvé un langage bilingue. Il ne reste que quelques problèmes moteurs. Le cerveau s'est adapté. On ne sait pas pourquoi. Ce qui compte ce n'est pas la taille de la lésion mais l'endroit touché.

Adulte : Heureusement on peut aussi apprendre, certes moins vite. Le cerveau peut créer, non pas des neurones, mais des réseaux.

Pistes thérapeutiques : Cette **plasticité** va être **utilisée comme thérapie**. Prenons le cas de l'amputation. Sur la sensation douloureuse du membre absent, nous n'avons pas aujourd'hui de traitements. Pour essayer de traiter la douleur du membre fantôme, des chercheurs ont inventé **la boîte à miroir**.

DOGME 7

Il n'y a pas qu'un seul cerveau !

«En haut» il y en a **3 en 1**. Notre cerveau en tant que primate a été construit par l'évolution. **100 milliards de neurones**.

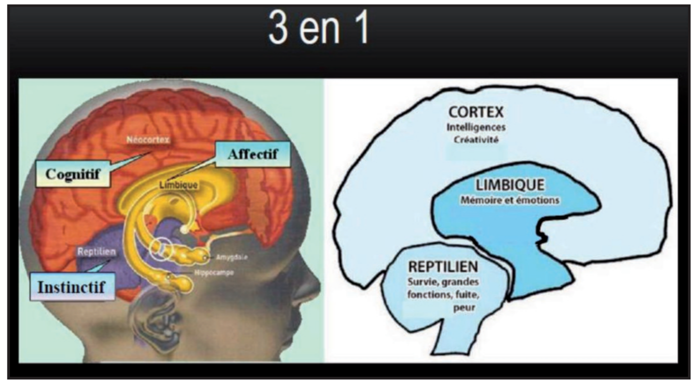


Fig.12. «en haut»

1/cerveau reptilien (fonction d'instinct, fuite, accouplement, procréation, manger, boire… tous ce qui sert à la survie)
2/plus tard le ***cerveau limbique*** (émotions, mémoire)
3/***cerveau cognitif*** (conscience, intellect, représentation, connaissance…)

Chacun peut s'exprimer indépendamment. La théorie veut que le cerveau dit intellectuel, social et humain contrôle ce qui en dessous. Il a une activité plutôt inhibitrice. Si vous avez un accès de colère, c'est le reptilien qui resurgit. Parfois c'est salvateur mais parfois aussi il n'est plus sous contrôle car influencé par des substances extérieures, exemple drogue, alcool…

- Et un **2ème** (non pas cerveau mais **système nerveux** dit **entérique**) **«en bas»** (paroi du tube digestif estomac compris).

100 millions de neurones. C'est dû à la longueur du tube digestif. Quand la nourriture arrive ce sont les neurones qui donnent le potentiel d'action et qui actionnent le tube digestif. On trouve les substances type sérotonine ou endomorphine. C'est pour cette raison que lorsque l'on donne de l'endomorphine, un des effets secondaires est la constipation. Ça bloque la motricité.

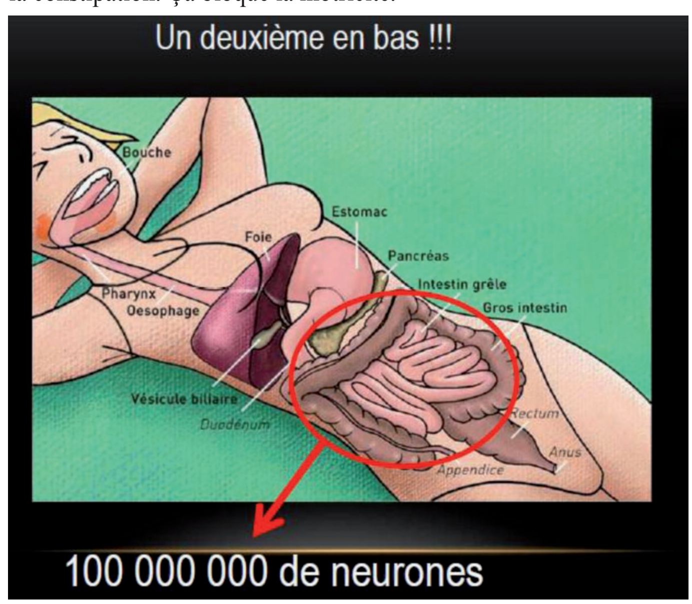


Fig.13. «en bas»

Ils ne sont pas indépendants. Les neurones du bas annoncent à ceux d'en haut qu'il y a de la nourriture et qu'il faut activer les muscles pour faire avancer le bol alimentaire. C'est le fruit d'une découverte récente mais les neurones du bas relarguent des messagers chimiques (les hormones notamment) et modifient le haut. La mémoire, les humeurs… peuvent dépendre des bactéries du tube digestif. Les intestins modifient le cerveau ; et le cerveau modifie le nombre de cellules dans l'intestin.

CONCLUSION

Il faut toujours penser, remettre en cause les dogmes, être révolutionnaire pour faire avancer la science. C'est ce qui a concouru **aux grandes révolutions scientifiques**. Elles sont schématiquement au nombre de trois.

1/ ***Copernic : Héliocentrisme*** : la terre n'est pas le centre de l'univers mais un grain de sable.

2/ ***Darwin*** : ***Théorie de l'évolution*** : l'homme est un animal parmi tant d'autres.

3/ ***Freud : L'inconscient***. La majorité de nos actes se fait sans qu'on en ait conscience.

La quatrième révolution doit être celle du cerveau. Cela nous concerne nous-mêmes et cela concerne un organe sans qui les révolutions citées précédemment n'auraient pu être faites. **Cette révolution passe par une révolution technologique**. En 2000 arrive l'optogénétique. Avant on faisait de la simulation avec toutes ces limites inhérentes. On stimule désormais les neurones avec de la lumière et non plus de l'électricité ou du chimique. Il a fallu dans un premier temps les rendre sensibles. On prend une algue qui dès que l'on met de la lumière se déplace **en fonction de cette lumière**. Elle est équipée **de canaux ioniques photosensibles**. On a pris le gène qui code pour ces canaux et cet ADN a été transféré dans un virus. Ce virus est ensuite introduit dans le cerveau du rat. Il va dans des neurones choisis (ex GABA). Dès qu'on envoie de la lumière on ne stimule que ces neurones.

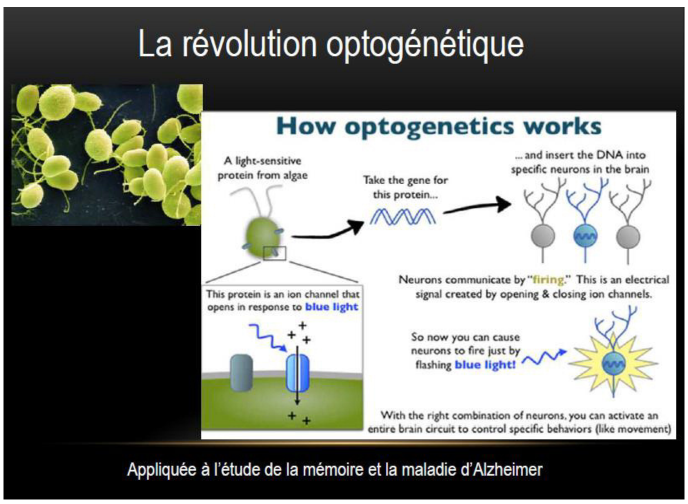


Fig.14. Principe de l'optogénétique

Cette technique a été utilisée dans des travaux sur la mémoire.

Ces travaux sont très récents, mars 2016. On a fait un modèle de souris **Alzheimer**. Elle porte donc la marque et les symptômes de cette maladie dégénérative qui se caractérise par une accumulation de protéines. Elle est à un stade précoce (on a les trous mais pas les plaques).

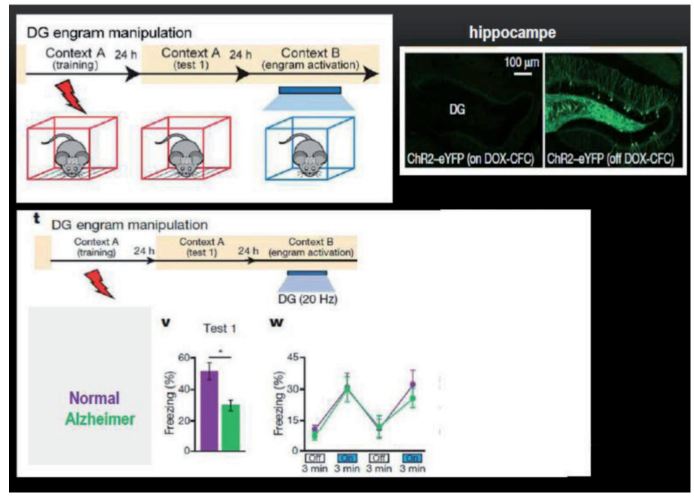


Fig.15. Une expérience utilisant l'optogénétique

1/ Cette souris est mise dans une cage. On lui envoie un choc électrique pendant 5 minutes. On s'arrange pour déclencher l'opsine dans un réseau de l'hippocampe. Le souvenir s'imprègne. On la met dans un même contexte un jour plus tard. La souris normale a peur (*freezing*) l'autre non.

2/ **Quand on active par la lumière** (on/off), la souris Alzheimer et la souris normale **ont la même réaction**. Elles se souviennent toutes les deux. **On réactive le souvenir**.

C'est une piste de traitement pour retrouver des épines (nerveuses). Une souris Alzheimer a en effet beaucoup moins d'épines. Si on la change de contexte et qu'on envoie des flashs lumineux à haute fréquence, on voit que l'on fait pousser les épines. Elle récupère des épines et de la mémoire.

On a souvent dit que la maladie d'Alzheimer, c'était l'incapacité à stocker de nouveaux souvenirs. Il y a un problème au niveau de la consolidation, de l'encodage.

C'est vrai **au stade tardif**. En revanche, au stade précoce, c'est davantage **un problème de rappel**. Le souvenir est là mais a du mal à venir. **Pendant le stade précoce on peut retrouver la mémoire**, le chemin et ce pour…

PLUS DE LUMIERE,
MOINS D'OBSCURANTISME.

Dépôt légal Octobre 2016
N° ISSN - 1166-5904

VOYAGE HISTORIQUE À TRAVERS LE SYSTÈME SOLAIRE ET LES ÉTOILES

Par Georges ANTON

Membre de l'ADASTA, ingénieur chimiste E.N.S.C.T.

Les Hommes ont depuis toujours été fascinés par l'immensité de l'Univers. Observer un beau ciel étoilé sans nuages lors d'une nuit d'été entraîne à la réflexion et au questionnement. Les découvertes les plus modernes ne peuvent en aucune manière répondre à ces interrogations fondamentales que provoquent en nous ces innombrables étoiles et galaxies dont l'existence nous surprendra toujours.

L'intérêt pour le Ciel reste toujours aussi vivace auprès du public. En témoignent les innombrables conférences assorties de photos remarquables, toutes animées par un esprit de vulgarisation scientifique cherchant à rendre compréhensibles les mystères de ces mondes inaccessibles qui nous entourent. On peut en regretter le côté facile et spectaculaire, mais le spectateur demeure subjugué et reste sous le coup d'un charme existentiel qui le laisse sans voix. Ses remarques, quand il y en a, sont généralement simples et font l'objet de réponses tout aussi simples le plongeant dans le silence.

Le voyage historique que nous proposons à nos lecteurs précise les grandes étapes de la découverte de notre système solaire, depuis l'Antiquité égyptienne jusqu'en 1930, année de la découverte de Pluton.

Il se veut synthétique et succinct afin de le rendre lisible et attrayant. Des questions complémentaires se poseront inévitablement auxquelles il sera toujours possible de répondre par consultation d'ouvrages spécialisés adéquats.

Ce sujet a fait l'objet d'une présentation devant collégiens et lycéens accompagnés de leurs professeurs de Sciences au cours d'une semaine de découverte scientifique ayant eu lieu sur le campus universitaire des Cézeaux en octobre 2015. (Fête de la Science)

Il sera reproduit à quelques variantes près tous les ans à la même époque, si les circonstances le permettent, le public intéressé se renouvelant d'une année à l'autre.

Période égyptienne

- Le calendrier égyptien

La civilisation égyptienne remonte à environ 8 millénaires avant notre ère. Les Hommes ont toujours eu besoin de situer leurs actions dans le temps. Un calendrier - que les historiens ont qualifié de *calendrier archaïque* - avait été créé il y a 7 ou 8 mille ans. Comportant 360 jours répartis en 12 mois de 30 jours - chacun d'entre eux ayant 3 décades de 10 jours - , il avait le mérite de la simplicité. On rappellera que 360 est facilement divisible, raison pour laquelle le cercle a 360°. Il était donc logique pour les anciens Égyptiens de procéder de la même façon. La Révolution Française en introduisant le grade et un angle droit à 100 gr. faisait peut-être œuvre de réalisme scientifique, mais cette idée n'a pas survécu bien longtemps, 100 n'étant pas divisible par 3.

L'année tropique égyptienne comportait 3 saisons : inondation, végétation et récoltes.

Aujourd'hui, on décompte les saisons à partir du moment où le soleil franchit le point γ, intersection du plan de l'écliptique avec l'équateur céleste (année équinoxiale). Autrefois, le point de départ était le jour du solstice d'été quand le soleil est à sa déclinaison maximale de 23°27' (latitude du tropique). D'où la dénomination d'année tropique si on se réfère à ce point, à laquelle on préfère le terme d'année des saisons, plus compréhensible.

On trouve la trace de ce *calendrier archaïque* qui aura perduré pendant 3 à 4 millénaires dans le célèbre *calendrier vague*, qui lui succéda en l'an -4236 (date déterminée par déchiffrage des hiéroglyphes). Certains égyptologues ont préféré - 4228. Ces 8 années de différence ne sont pas importantes compte-tenu de durées aussi longues. Nous prendrons cependant comme date exacte -4235, en accord avec les observations astronomiques précises établies de nos jours.

Le fait de changer de calendrier s'explique très certainement par cette observation faite depuis longtemps, à savoir que le calendrier archaïque entraînait un déréglage rapide des saisons et que l'année tropique de 365 jours du calendrier vague, était beaucoup plus proche de la réalité que ne l'était une année à 360 jours. Mais il faudra un événement important pour entraîner l'adhésion du peuple égyptien. En effet, les paysans égyptiens s'étaient montrés jusque là particulièrement réticents quant à l'introduction de 5 jours supplémentaires (*les épagomènes*). Leur vie, dictée par la crue bienfaisante annuelle du Nil, n'en avait cure.

Or, en un certain jour de l'année -4235, l'attention des prêtres d'Héliopolis dont le savant collège faisait autorité, constatèrent la coïncidence entre la crue du Nil et le lever héliaque de Sirius. Cet aspect du Ciel correspondait pour les Égyptiens à l'état originel de l'Univers. Ce jour fut désigné comme étant le 1er jour de l'année nouvelle. Il tombait dans un mois appelé Thoth et le 1er Thoth -4235 devint le 1er jour du calendrier vague.

Le lever héliaque de Sirius correspond à l'instant où Sirius et le Soleil apparaissent simultanément sur la ligne d'horizon. Compte-tenu de la luminosité solaire qui rend Sirius invisible dès que le bord supérieur du Soleil affleure la ligne d'horizon, on convient de dire qu'il y a lever héliaque quand Sirius apparaîssant, le centre du Soleil est à 7° au-dessous du plan de l'horizon. On ne sait pas très bien comment les anciens Égyptiens avec les moyens d'observation dont ils disposaient, arrivaient à faire une bonne détermination. Force est de constater que la date qu'ils nous ont indiquée comme fin des 1ère, 2ème et 3ème période sothiaque correspond à une année près à la date astronomiquement déterminée.

- Sirius (*Sothis* en Égypte) et la période sothiaque

Sirius, étoile mythique de l'Égypte ancienne, est l'étoile la plus brillante du Ciel. Ce fait a toujours été reconnu, ce qui montre bien que les Hommes ont toujours su faire la différence entre les étoiles et ces objets qualifiés «d'errants» que sont les planètes. Étoile principale de la Constellation du Grand Chien, elle fait partie sur la sphère des fixes de l'hémisphère austral, mais étant située près de l'équateur céleste elle est très visible en France d'octobre à février. On peut ainsi facilement l'observer en plein centre de Clermont-Ferrand, même si la ville est éclairée. Elle fait partie de ce que l'on appelle le triangle de l'hiver, accompagnant Bételgeuse de la Constellation d'Orion et Procyon de la Constellation du Petit Chien. Sa luminosité est principalement due au fait qu'elle ne se trouve qu'à 8 a.l de notre système solaire, ce qui est peu.

Il apparut rapidement que l'année vague à son tour était trop courte : l'emploi des 5 jours épagomènes était insuffisant. On aurait pu penser que le lever héliaque de Sirius aurait lieu au 1er Thoth de l'année suivante de 365 jours. Mais au lieu de se maintenir au 1er Thoth, il se fit bientôt le 2, puis le 3 Thoth, etc,... les saisons dérivaient au fil des mois du calendrier vague. Il fut bientôt évident que la dérive était de un jour tous les 4 ans et c'est pourquoi les Égyptiens furent sans aucun doute le premier peuple à découvrir, par le spectacle de leur calendrier civil désaccordé, que l'année des saisons était de 365,25 jours. Au bout de 120 années de calendrier vague les saisons avaient déjà glissé vers l'aval d'un mois entier et au bout de 730 ans, le décalage fut de 6 mois. Les rites agricoles tombèrent à contre-sens. Dans le langage d'aujourd'hui, on aurait dit que l'été était en hiver.

Enfin au bout de mille quatre cent soixante et une années vagues (365,25 X 4 = 1461), tout rentra dans l'ordre : le lever héliaque de Sirius revint au premier de l'an, c'est à dire au 1er Thoth.

On célébra ce retour par des fêtes et des mystères extraordinaires et le cycle écoulé prit le nom de *période sothiaque*. Cette période est fameuse dans l'histoire de l'Égypte : tous les manuels de cosmographie et toutes les histoires des sciences en font mention.

Les dates astronomiquement calculées de la fin des 1ère, 2ème et 3ème périodes sothiaques sont respectivement -2775, -1317 et +139. L'Égypte étant devenue romaine vers -40, Jules César imposa - aidé en cela par Sosigène, célèbre astronome grec vivant à Alexandrie à cette époque - l'année julienne de 365,25 jours par introduction d'un sixième *épagomène* tous les 4 ans (disposition confirmée par décret de l'Empereur Auguste en -29). On voit ainsi qu'en +139, près de 2 siècles s'étaient écoulés depuis la réforme de J. César. Tous les actes officiels de l'Égypte étaient régis par le nouveau calendrier. Les Égyptiens toutefois n'avaient pas oublié et célébrèrent la fin de la 3ème période sothiaque dans des liesses populaires extraordinaires dont l'écrivain latin Censorinus s'est fait l'écho.

Deux événements complémentaires méritent d'être cités :

- Après les fêtes qui marquèrent la fin de la 1ère période sothiaque, la dérive du lever héliaque de Sirius recommença et le calendrier civil reprit sa divagation parmi les saisons. Les Egyptiens s'accommodèrent de ces anachronismes pendant plus de 4000 ans. Le roi Ptolémée III Evergète (le Bienfaiteur) avait décrété en -238 l'emploi d'un jour supplémentaire tous les 4 ans, mais le peuple égyptien se refusa à utiliser ce jour suspect. Il faudra attendre J. César comme indiqué précédemment.

- La fin de la 4ème période sothiaque (événement alors oublié) eut lieu en +1591 de notre ère. On notera que la réforme grégorienne date de +1582. Neuf ans seulement séparent ces deux événements. Il y a là une coïncidence fortuite qui mérite d'être signalée.

Nota

Quatre autres étoiles bien connues de l'ancienne Égypte sont à signaler.

- La constellation d'Orion, l'une des plus belles du Ciel, est située à proximité immédiate de Sirius. En son centre on y trouve 3 étoiles formant le ceinture d'Orion. Appelées les 3 Rois et déifiées par les Pharaons qui se reconnaissaient en elles, ils bâtirent les 3 grandes pyramides d'Égypte (Khéops, Khéphren et Mykérinos) il y a plus de 4000 ans avec leurs 3 sommets respectant le léger désalignement de l'un des Rois par rapport aux 2 autres. (fig. 1 et 2) (on notera cependant qu'il ne s'agit que d'une hypothèse avancée par d'éminents égyptologues).

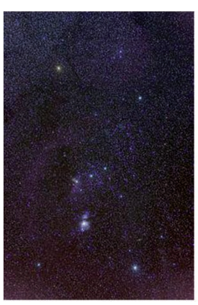


fig. 1

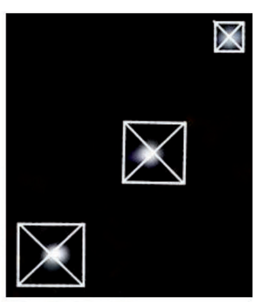


fig. 2

- Thuban, étoile α (alpha) de la constellation du Dragon, indiquait le nord géographique. C'était l'étoile polaire de l'époque pharaonique qui a maintenant perdu ce statut, compte-tenu de la rotation de l'axe de la Terre. Beaucoup de temples égyptiens étaient tournés vers cette étoile.

Fig. 3 Position de Thuban par rapport à la Grande Ourse et à la Petite Ourse

D'après la classification de Bayer, astronome allemand du XVIème siècle, on convient de nommer les étoiles d'une constellation par les lettres de l'alphabet grec dans l'ordre de leur éclat apparent. Thuban est une exception : ce n'est pas l'étoile la plus brillante du Dragon mais s'appelle quand même 'alpha' pour rappeler son importance historique.

Période Grecque

Environ 5 siècles avant notre ère se développe en Grèce une brillante civilisation qui fournira nombre de savants et marquera d'un sceau indéfectible l'histoire de la Science. On indiquera les personnalités suivantes , en notant leur contribution à la connaissance de l'Univers :

- D'Aristote à Hipparque

Aristote (-384 ? -322 ?), précepteur d'Alexandre. Bien que n'étant pas astronome, ses écrits vont avoir une influence considérable en astronomie et en physique. Sa conception du Monde demeurera inébranlable jusqu'au XVIIème siècle. La Terre, immobile, trône au centre d'un Univers sphérique. Il distingue le monde infralunaire imparfait -lieu du changement et du périssable - où les mouvements, rectilignes s'effectuent de bas en haut ou de haut en bas, et le monde supralunaire, parfait, où rien ne peut naître ni y périr et qui est rempli d'une substance appelée "éther". Les mouvements y sont circulaires et uniformes ce qui est le cas des étoiles.

Il ne pouvait cependant expliquer le mouvement de ces objets appelés "πλανητης " , (planétès) origine du mot "*planète*", dont le comportement erratique déroutait les Anciens. Depuis toujours, ceux-ci considéraient qu'il y avait 7 planètes, classées conformément à la suite [S] ci-après, depuis la plus éloignée de la Terre jusqu'à la plus proche : *Saturne, Jupiter, Mars, le Soleil, Vénus, Mercure, la Lune*. Soleil et Lune faisaient partie de cette liste car leur mouvement "erratique" ne pouvait alors être expliqué. Nos jours de la semaine sont consacrés à ces planètes mais rangés dans un ordre différent dont l'origine semble coïncider avec les débuts de l'Astrologie vers -200.

Nos jours de la semaine correspondent aux corps célestes de la suite [S] . Lundi (*Lunae dies, jour de la Lune*), Mardi (*Martis dies, jour de Mars*), Mercredi jour de Mercure, Jeudi (*Jovis dies, jour de Jupiter*), Vendredi (*Veneris dies, jour de Vénus*) Samedi, c'est *Sabbati dies*, jour du Sabbat. Mais en anglais, samedi c'est *Saturday*, le jour de Saturne. Dimanche, c'est *Dominica dies*, jour du Seigneur. Mais en anglais ou en allemand, nous trouvons encore *Sunday* et *Sonntag* : jour du Soleil.

Sur un cercle ces 7 astres rangés dans l'ordre [S] et dans le sens trigonométrique, peuvent former un heptagone régulier *étoilé* dont les sommets conduisent de Saturne au Soleil, puis à la Lune, à Mars, etc., comme dans notre semaine. On voit ainsi qu'à un ordre régulier ancestral, s'est substitué un désordre qui, l'habitude aidant, est devenu l'ordre actuel de la suite des jours de la semaine.

Le mouvement de certaines planètes était particulièrement curieux. Mars, Jupiter et Saturne semblaient s'arrêter (c'est la "station") pour repartir en sens inverse (c'est la "rétrogradation"). Il faudra attendre Appolonios de Perga (-240 à -170) pour qu'un pas décisif soit franchi. Ce mathématicien va introduire une ingénieuse combinaison de cercles pour décrire tous les mouvements planétaires. Il imagine la Terre au centre d'un cercle appelé déférent. Une planète telle que Jupiter parcourt un *épicycle* dont le centre se déplace lui-même sur le déférent. Ceci permettra de résoudre le problème de la rétrogradation et de la variation de luminosité des planètes au fil des mois.

L'arpentage de la Terre commencera grâce à Ératosthène (-284 à -192) qui va effectuer la toute première mesure de la circonférence terrestre qu'il va évaluer à 39 500 km. Aristarque de Samos va s'illustrer quant à lui dans l'évaluation des distances de la Lune et du Soleil et sera le 1er à penser que les corps les plus légers tournent autour des corps les plus lourds, autrement dit que la Terre et les planètes tournent autour du Soleil. C'est la 1ère ébauche d'un système héliocentrique qui sera cependant vite oublié des contemporains.

Mais c'est Hipparque (-190 à -120) qui va porter l'astronomie de cette époque au sommet de son art. Il fera quelques découvertes fondamentales qui méritent d'être signalées :

- mise en évidence du phénomène de la précession (variation des longitudes célestes) par mesure de la longitude céleste de Spica (étoile *alpha* de la constellation de la Vierge) trouvée à 174°.

L'astronome grec Timocharis -144 ans plus tôt - l'avait notée à 172°. L'immense mérite d'Hipparque a été de ne pas remettre en cause l'observation de son prédécesseur, réalisée avec des instruments de visée moins précis que les siens. Il en déduisit que l'axe de la sphère des fixes, la Terre étant immobile d'après les conceptions de l'époque, avait tourné de 2° en 144 ans, c'est-à-dire 2°x60'x60''/144 = 50'' d'arc/an. Déduction erronée puisque nous savons depuis Copernic que c'est l'axe de rotation de la Terre qui tourne. N'empêche que la valeur trouvée est exacte, cette rotation étant estimée de nos jours à 50,2''/an.

- distinction entre l'année sidérale temps mis par le soleil pour faire un tour complet parmi les étoiles soit 366,2563 jours sidéraux) et l'année des saisons (temps qui s'écoule entre 2 passages consécutifs du soleil au point équinoxial soit 366,2422 jours sidéraux).

- l'année des saisons ne fait pas 365,25 jours solaires moyens (365 jours et 6 heures) mais 365 jours 5 heures et 55 minutes. La valeur exacte est 365 jours 5heures et 48 minutes.

- création d'un célèbre catalogue d'étoiles qui sera utilisé jusqu'au XVII^{ème} siècle, dans lequel il recense environ 850 étoiles classées suivant leur luminosité, grandeur s'échelonnant de 1 pour les étoiles les plus brillantes, jusqu'à 6 pour celles à peine visibles à l'oeil nu.

On peut ainsi juger au travers des données fournies par Hipparque, l'extraordinaire précision obtenue avec les moyens dont il disposait et que l'on peut qualifier de rudimentaires, eu égard aux techniques actuelles.

- Ptolémée (Claude) (100-170)

On le considère comme le plus grand astronome de l'Antiquité. Son ouvrage le plus connu, en grec *Megalê syntaxis* (Grande Composition), que les Arabes traduiront par *Almageste*, est un chef-d'oeuvre d'analyse scientifique.

Il y rappelle sa vision du Monde dont les fondements ont été établis par Aristote. La Terre, sphérique, est au centre, immobile, et ne tourne pas sur elle-même, mouvement que les oiseaux ou les nuages flottant dans l'air ne manqueraient pas de trahir.

Les conditions d'existence des éclipses sont l'un des problèmes les plus complexes développés dans l'Almageste. La méthode qu'il met au point permettra de savoir si l'éclipse est partielle ou totale et de calculer sa durée. Elle ne subira pratiquement aucune modification jusqu'au XVII^{ème} siècle. Ptolémée affinera également la théorie des épicycles d'Apollonios en introduisant l'équant, point fictif permettant de rendre compte de façon très satisfaisante la position en longitude des planètes.

(Quatorze siècles plus tard, Copernic et sa théorie héliocentrique ne feront pas mieux…) Il rédigera plus tard d'autres livres d'astronomie et livrera aussi à la postérité un catalogue complet de 1022 étoiles où celles-ci sont classées par constellation avec leur coordonnées et éclat, nombre qui incite à penser que Ptolémée n'a pas fait que reprendre le catalogue d'Hipparque.

On notera à ce sujet que Ptolémée avait divisé le Ciel en 48 constellations qui sont aujourd'hui au nombre de 88.

Les 48 constellations de Ptolémée se trouvent pour l'essentiel dans l'hémisphère boréal et comportent en plus des constellations habituelles (Grande Ourse, Petite Ourse…), les constellations équatoriales (Orion, Grand Chien...), les 12 constellations zodiacales ainsi que 2 grandes constellations (le Centaure et le navire Argo) situées dans l'hémisphère austral mais que les Grecs pouvaient observer, leurs lieux d'observation (Alexandrie et Syène - nom antique d'Assouan -) étant situés très au sud. C'est dans le Centaure que se trouvent les étoiles de la Croix du Sud, qui ne formeront une constellation distincte que plus tard (sous le règne de Louis XIV). Quant au Navire Argo, il sera scindé en 3 constellations distinctes par La Caille vers 1700.

Période médiévale arabe

Après Ptolémée, il y aura un déclin progressif de l'astronomie dans l'Occident latin. L'Orient va offrir un meilleur climat à la science et après un sommeil de quelques siècles, l'héritage grec et plus particulièrement celui de Ptolémée, va être redécouvert par les astronomes arabes. C'est vers le VIII^{ème} siècle que se développent des programmes précis d'observation. L'étude de l'astronomie répond pour les savants arabes à une exigence précise : détermination des heures de prière et direction de la Mecque. Compte-tenu du calendrier lunaire musulman et du repérage de la première visibilité du croissant de lune, les astronomes arabes se penchèrent sérieusement sur l'astronomie théorique, en particulier sur celle de l'Almageste, une bonne connaissance des mouvements de la lune et du soleil leur étant nécessaire. Des observatoires verront le jour à Bagdad, Damas, Ispahan, dotés pour la plupart d'instruments hérités de l'Antiquité. Le plus grand observatoire de l'époque sera construit à Samarkand, dans le Turkestan au début du XV^{ème} siècle. Vers les XI^{ème} et XII^{ème} siècles, des critiques seront émises quant aux aux conceptions de Ptolémée, mais jamais elles ne menaceront sérieusement les bases mathématiques de l'Almageste.

On citera en tant que grands savants de cette époque :

- Al-Battani en Syrie qui est le premier à mentionner l'utilisation de tubes d'observation, dépourvus de lentilles, afin d'éliminer au maximum toute lumière parasite. Vers 880, il détermine à 23°35' - précision remarquable - l'angle de l'écliptique avec le plan de l'équateur céleste. On sait que cet angle diminue légèrement avec le temps, puisqu'il est actuellement de 23°27'.

- Al-Soufi – traducteur arabe de l'astronomie grecque - découvrit le premier le grand nuage de Magellan, visible au Yémen mais pas à Ispahan (le premier européen à le contempler dans son intégralité fut Magellan au cours de son voyage du XVI^{ème} siècle). Il fut également le 1er à signaler la nébuleuse d'Andromède en 905 - observation qui tombera dans l'oubli - avant qu'elle ne soit redécouverte au XVII^{ème} siècle.

- Al-Biruni (973-1050) grâce à sa connaissance du sanskrit, aura accès aux sources indiennes et fera une remarquable synthèse de toute l'astronomie en se référant aux travaux en langue arabe comme en langue grecque.

Les Arabes ne changeront pas les noms des constellations que Ptolémée leur avait attribués. Par contre, un élément majeur sera introduit : les étoiles importantes seront désignées par un nom qui est resté jusqu'à nos jours et qui, dans la plupart des cas, est en relation avec l'histoire mythologique. Exemple pour *Véga* de la constellation de la Lyre, *Dubhé* de la Grande Ourse, *Deneb* du Cygne…

Le XII^{ème} siècle verra la traduction par Gérard de Crémone - érudit établi à Tolède et connaissant le grec et l'arabe - de l'Almageste de l'arabe en latin.

On va ainsi arriver à la Renaissance avec une astronomie dans l'impasse, tant l'héritage d'Aristote et Ptolémée exerce une domination sans partage dont il paraît impossible de sortir.

Les temps modernes et la Renaissance

(chute de Constantinople en 1453)

1 - Copernic (1473-1543) - la révolution Copernicienne -

Depuis longtemps, de nombreux astronomes avaient pris conscience des imperfections du système géocentrique de Ptolémée : le point équant en particulier violait le principe fondamental du mouvement circulaire uniforme. Or tout ce qui émane du divin - la création de l'Univers - ne pouvant être que parfait, il fallait que cercle et mouvement uniforme soient la base même de toute cosmologie.

La publication en 1543 du *De revolutionibus orbium coelestium* marque un tournant décisif dans l'histoire de l'astronomie. Copernic, chanoine polonais né à Thorn (Silésie), fera ses observations dans un observatoire situé à Frauenburg (Silésie orientale) et après 30 années de recherche propose un modèle du monde dans lequel :

- Soleil et étoiles occupent dans l'espace des positions fixes

- les planètes sont des corps sphériques décrivant autour du Soleil des orbites circulaires situées sensiblement dans un même plan.

- la Terre est une planète et tourne sur elle-même ce qui explique la succession des jours et des nuits.

Copernic, conscient du côté éminemment provocateur de ses idées et qui à juste titre pouvait être inquiet quant aux conséquences que son oeuvre pourraient générer tant elles étaient en contradiction avec des conceptions millénaires, avait ordonné que la parution n'eut lieu qu'après sa mort. Celle-ci se fit effectivement quelques jours après le décès.

L'éditeur - le théologien luthérien Andreas Osiander - inquiet peut-être lui aussi, avait pris soin de placer en tête de l'ouvrage un avertissement au lecteur, non signé et en totale contradiction avec les idées de Copernic, expliquant que l'on ne devait voir dans le *De revolutionibus* qu'une "hypothèse destinée à sauver les apparences", brillant euphémisme pouvant expliquer pourquoi le *De revolutionibus* ne sera mis à l'Index qu'en 1616, lors de l'affaire Galilée c'est à dire 73 ans plus tard.

Pourquoi Copernic a-t-il adopté l'héliocentrisme ? Ses raisons profondes restent un mystère. Ce fut un piètre observateur - point reconnu de nos jours - mais il était intelligent, érudit, curieux et connaissait parfaitement l'Almageste ainsi que toutes les observations des astronomes grecs. C'est probablement le foisonnement d'idées qui en résultait qui l'a conduit à l'héliocentrisme, étant guidé par la perfection du mouvement circulaire uniforme. Son système en s'affranchissant des déférents et des épicycles explique facilement les rétrogradations des planètes supérieures, Vénus et Mercure prenant alors le statut de planètes inférieures par opposition aux précédentes.

Toutefois l'on ne pouvait que difficilement accepter que la Terre perdît sa qualité de centre du monde. On objectait en particulier que si la Terre se déplaçait autour du Soleil, il devrait en résulter des modifications périodiques des positions mutuelles des étoiles sur la sphère céleste, modifications que l'on n'avait jamais constatées. L'héliocentrisme ne sera pas considéré en soi comme un facteur d'amélioration par rapport au système géocentrique de l'Antiquité et très peu d'astronomes adhéreront d'emblée à la cosmologie héliocentrique. On retiendra cependant en tant que défenseurs de Copernic, Michael Maestlin (1550-1631) qui sera le professeur de mathématiques de Kepler, ainsi que Thomas Digges (1546-1595) astronome anglais qui sera l'un des premiers à défendre publiquement cette théorie. L'histoire a retenu le nom de Giordano Bruno (1548-1600), condamné à mort par l'Inquisition et brûlé vif à Rome en 1600, car défendant une conception très personnelle de l'héliocentrisme (pour lui, chaque étoile est un soleil autour duquel tournent des planètes).

En cette fin du XVI^{ème} siècle, aucune preuve ne viendra confirmer la cosmologie copernicienne. Les contemporains vont donc voir dans le système de Copernic un artifice de calcul, astucieux et intelligent, certes, mais non prouvé.

2 - Tycho Brahé (1546-1601) - Le champion de l'observation -

Considéré comme l'un des plus illustres astronomes du XVI^{ème} siècle, Tycho Brahé prend conscience que l'amélioration de l'astronomie passe par l'accumulation d'observations précises du ciel. En 1572, un événement va le décider à s'engager dans cette voie. C'est l'apparition d'une "étoile nouvelle", en fait une supernova , dans la constellation de Cassiopée. Brahé va démontrer que l'absence de parallaxe de la nouvelle venue est la preuve qu'elle n'appartient pas au monde infralunaire, mis qu'elle est située dans le ciel des étoiles fixes. Pensant qu'il s'agit d'un miracle, il n'osera pas rejeter l'idée de l'incorruptibilité du monde supralunaire.

On désigne par «supernova» un ensemble de phénomènes consécutifs à l'explosion d'une étoile qui s'accompagne d'une augmentation brève mais énorme de sa luminosité. Vue de la Terre une supernova apparaît donc comme une étoile nouvelle, alors qu'elle correspond en réalité à la disparition d'une étoile. Le phénomène peut durer plusieurs mois et être visible en plein jour.

D'une façon générale, la parallaxe d'un astre est la moitié du diamètre apparent de la Terre vue de l'astre. La parallaxe annuelle d'une étoile est l'angle sous lequel on verrait depuis cette étoile le demi-grand axe de l'orbite terrestre. (Mesures impossibles à réaliser à l'époque de Tycho Brahé vu les distances énormes séparant la Terre des étoiles).

Il reviendra à l'Espagnol Munoz (Valence 1573) de conclure hardiment contre Aristote que la nova de 1572 ayant une cause naturelle, la nature du ciel ne diffère pas en substance de celle du monde des éléments. Un coup encore plus sévère sera porté à la physique d'Aristote quand à partir de 1577, Tycho Brahé et d'autres observeront une série de comètes et démontreront que ces objets ne sont pas des phénomènes atmosphériques, mais bien des astres situés au-delà de l'orbe lunaire.

Entre-temps, dans son observatoire d'Uraniborg (situé dans l'île de Hveen, près de Copenhague et équipé des instruments les plus précis de l'époque) où il s'est installé en 1576, il multiplie les observations et va publier en 1588 un ouvrage consacré aux observations cométaires dans lequel il rejette les systèmes de Ptolémée et Copernic. Raisons invoquées :

- le système géocentrique du premier est irrecevable car violant le principe du mouvement circulaire uniforme (argument déjà mis en avant par Copernic à cause du point équant), épicycles souvent disproportionnés et mouvement des planètes par rapport au soleil mal expliqué

- l'héliocentrisme de Copernic est indéfendable pour des raisons théologiques, astronomiques et physiques.

La Terre, corps lourd dense et opaque ne peut être qu'inapte au mouvement et si elle tournait autour du Soleil, on devrait mesurer la parallaxe des étoiles : ceci amène Tycho Brahé à imaginer un système hybride, sorte de compromis géo-héliocentique où la Terre reste immobile avec les planètes tournant autour du Soleil, lui-même tournant en un an autour de la Terre.

Tombé en disgrâce après la mort de son protecteur le roi du Danemark, Tycho Brahé va quitter Uraniborg en 1597 et trouver refuge à Prague auprès de l'empereur Rodolphe II qui lui confie la charge de mathématicien impérial. C'est là qu'un certain Kepler va le rejoindre en 1600.

Tycho Brahé va mourir de façon inexpliquée en 1601.

3 - Johannès Kepler (1571-1630)
- Le dernier géant de l'observation traditionnelle -

En 1600 Tycho Brahé reçoit la visite d'un jeune mathématicien talentueux qui a pour nom Johannès Kepler et qui pour des raisons de sécurité (troubles religieux) cherche à quitter Graz, ville de Styrie où il est établi. Déjà connu pour avoir publié le Mystérium Cosmographicum - ouvrage dans lequel il expose tout à la fois son adhésion aux thèses coperniciennes influencé en cela par son professeur de mathématiques Michael Maestlin et le fait que le système solaire n'a que 6 planètes - il est accueilli à bras ouverts par Brahé qui lui confie la mission d'étudier le mouvement de la planète Mars. Les historiens rapportent que Kepler aurait dit qu'en 8 jours, le problème serait réglé...

6 est un nombre parfait (nombre égal à la somme de ses diviseurs). Il existe 5 polyèdres réguliers - déjà montré par Euclide - et aux yeux de Kepler, les 5 intervalles existant entre les 6 planètes ne pouvaient être le fruit du hasard. Il a ainsi proposé les polyèdres réguliers comme archétype des sphères planétaires.

Nommé mathématicien impérial après la mort de Brahé, il va s'atteler pendant 8 ans à ce difficile problème. A partir des observations accumulées par celui-ci, il lui semble qu'il faut rejeter la vieille théorie du mouvement circulaire uniforme, mais obtient finalement une orbite circulaire où le soleil occupe le point équant, cher à Ptolémée. Pourtant, si certaines positions de Mars coïncident parfaitement avec l'orbite ainsi définie, deux observations s'en écartent de près de 8'. Kepler renonce alors à son hypothèse : l'orbite ne peut être un cercle. C'est alors que, commettant des erreurs quant à la force issue du Soleil et du temps mis par la Terre pour parcourir de petits segments sur son orbite, et après des tâtonnements sans nombre, il va formuler la fameuse loi des aires - le rayon vecteur joignant le Soleil à la planète balaie des aires égales en des temps égaux - la première énoncée mais que l'on présente traditionnellement comme la deuxième.

Kepler reprend alors ses calculs de l'orbite de Mars et constate alors que toutes les positions de la planète sont correctement représentées dans l'hypothèse de l'orbite elliptique. Il formulera alors ce que l'on considère comme sa première loi : les planètes décrivent autour du Soleil des ellipses dont ce dernier occupe l'un des foyers (il applique l'ellipse à l'orbite martienne mais ne généralisera le principe aux autres planètes qu'en 1621).

Il publiera ses découvertes en 1609 dans un ouvrage très difficile - l'Astronomia nova -, où il raconte sa quête du mouvement de Mars. Si la chance l'a favorisé dans ses recherches, on doit reconnaître en lui un travailleur acharné que de longs calculs ne rebutent pas. Disons simplement qu'il faisait ses observations la nuit et que les calculs effectués le jour de façon manuelle par 5 ou 6 collaborateurs étaient souvent entachés d'erreurs : il fallait donc les reprendre. Ce souci constant de vérifier que les hypothèses s'accordent avec les observations est le propre d'une démarche empirique mais souvent fastidieuse.

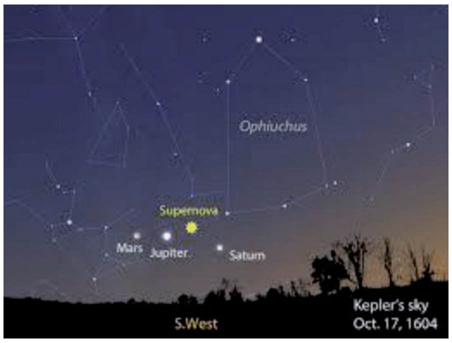
Ces deux lois signent l'abandon du mouvement circulaire uniforme, principe remontant à l'Antiquité et auquel Tycho Brahé accordait une valeur absolue.

Malgré cela, l'accueil fait aux lois de Kepler sera mitigé. Galilée par exemple n'acceptera jamais l'ellipse, preuve du poids des a priori.

Quelques ouvrages et études complémentaires de Kepler - astronome particulièrement fécond - méritent d'être signalés.

- *De stella nova* est la description détaillée d'une supernova apparue dans le ciel de Prague en 1604.

Explosion observée dans la constellation d'Ophiuchus en 1604 et restée visible jusqu'en octobre 1605. Kepler n'a pas été le découvreur de la supernova, les conditions météorologiques étant mauvaises à Prague au moment de l'apparition de l'astre. Par contre,mis au courant quelques jours plus tard par un de ses élèves, on lui doit une étude particulièrement détaillée de l'astre avec détermination de sa luminosité par comparaison avec celle de Jupiter.



Le titre complet de l'oeuvre est «De stella nova in pede Serpentarii». Cela signifie que l'étoile observée était située dans le pied du «Serpentaire» autre dénomination d'Ophiucus. On l'a dénommée SN (supernova)1604 ou encore étoile de Kepler en l'honneur de l'astronome.

Située relativement bas sur l'horizon, ce qui aurait pu rendre sa découverte difficile, SN1604 était en réalité à proximité du plan de l'écliptique. Les 3 planètes Mars, Jupiter et Saturne se trouvaient également dans cette région à ce moment-là.

On peut encore observer de nos jours les restes de la matière éjectée lors de l'explosion de cette supernova, donc visualiser cette étoile de Kepler sous la forme de son rémanent.

- Ephémérides pour les années 1617 à 1636, où le passage de Mercure et Vénus devant le Soleil sont correctement prédits pour 1631.

- *Harmonices Mundi* (l'Harmonie du monde) publié en 1618 et dans lequel il énonce sa troisième loi : les cubes des grands axes des orbites planétaires sont proportionnels aux carrés de leurs périodes :

$a^3/T^2 = C^{te}$.

(Kepler avait pu déterminer sinon les distances vraies des planètes au Soleil, du moins leurs distances relatives et il avait remarqué que plus la distance moyenne d'une planète au Soleil était grande, plus sa durée de révolution était grande. Il eut alors l'idée de rechercher s'il n'y avait pas une relation entre les durées de leurs révolutions et leurs distances moyennes au soleil. D'où cette troisième loi, qui couronnait son oeuvre).

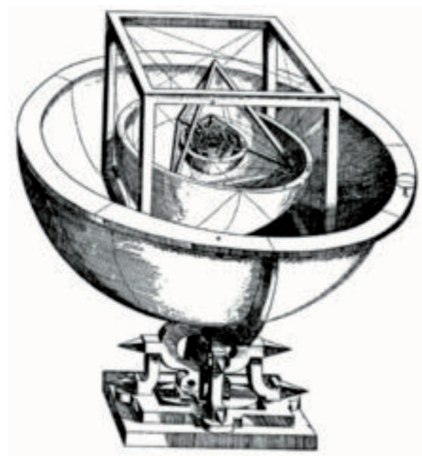
- *Epitome astronomiae copernicanae* (Épitomé de l'astronomie copernicienne) , gros ouvrage au titre trompeur (épitomé signifiant "abrégé ") qui est une impressionnante synthèse de toute l'astronomie. C'est le plus important traité d'astronomie depuis l'Almageste. C'est là qu'il étend à toutes les planètes ses 3 lois, y compris à la Lune et aux satellites de Jupiter nouvellement découverts par Galilée.

- *Tabulae Rudolphinae* (Les Tables Rudolphines) paraissent enfin à Ulm en 1627 : c'est l'aboutissement du long effort que Kepler a entrepris depuis 1600 pour mettre en ordre les résultats de Tycho Brahé. Ces tables, les plus précises jamais parues, bénéficient de l'invention récente des logarithmes par Neper en 1614/1617.

On retiendra de Kepler son génie, son intuition, son obstination, son acharnement au travail et cette citation de lui parue dans *Astronomia nova* : "les voies par lesquelles les hommes arrivent à la vérité me semblent aussi dignes d'admiration que cette vérité elle-même ".

Toutes les observations réalisées depuis l'Antiquité jusqu'à Kepler possèdent cette caractéristique commune, à savoir que le seul instrument d'optique utilisé était l'œil humain. Kepler sera le dernier à utiliser ce moyen et les lois fondamentales qu'il a démontrées sont le fruit d'un travail purement empirique, avec essais et erreurs. Dès lors qu'il en est ainsi, c'est que quelque chose de plus profond sous-tend la découverte. Les lois de Kepler se trouvent effectivement être la vérification expérimentale de la loi de la gravitation universelle qui sera énoncée par Newton environ 70 ans plus tard en 1687.

Portrait de Kepler



Modèle d'univers de Kepler (1627)

Statue de Tycho Brahé et Kepler à Prague

Mais la véritable révolution en Astronomie va maintenant avoir lieu. C'est la révolution instrumentale qui va faire faire à l'Astronomie des progrès immenses dans la connaissance de l'Univers.

Galileo Galilei dit Galilée (1564-1642)

Avec l'avènement de la lunette au début du XVII^{ème} siècle s'ouvre une ère radicalement nouvelle pour l'astronomie. Grâce aux lunettes qu'il a construites, les observations de Galilée ouvrent la voie à d'innombrables découvertes et la science des instruments ne va cesser de progresser.

Origine obscure des lunettes

Les premières lunettes d'approche furent construites en Italie à la fin du XVI^{ème} siècle. Elles ont eu un véritable inventeur, mais un profond mystère entoure cette découverte qui sera divulguée en 1608 en Hollande. Ceci fait que ce pays a été considéré comme le lieu de la découverte. Mais les premières lunettes n'ayant eu d'abord que des usages exclusivement militaires, on peut tenir pour certain que le silence fut imposé par ceux qui s'en servaient, à celui qui les avaient construites.

Galilée n'entendit parler de ces instruments hollandais qu'en juin 1609 lors d'un voyage à Paris. Son génie lui fit entrevoir dans ces objets d'admirables instruments de découverte. Il sera le premier à utiliser ces instruments pour l'observation du ciel.

Professeur à l'université de Pise, Galilée se voit projeté sur le devant de la scène en 1610 avec la publication d'un petit livre le *Sidereus nuncius* (le Messager céleste) dans lequel il annonce des découvertes proprement incroyables grâce à sa toute nouvelle lunette. La même année et peu de temps après la parution de cet ouvrage, Kepler apporte son soutien à Galilée dans sa *Dissertatio cum nuncio sidero* (Discussion avec le messager céleste). Qu'annonce Galilée ?

- D'abord, il voit 4 gros satellites tourner autour de Jupiter. Avec ceux-ci, qu'il a baptisés "médicéens" en l'honneur de Côme II de Médicis, il tient la preuve que la Terre n'est pas le centre de toutes les révolutions célestes.

Quatre ans après Galilée, Simon Marius (en allemand S. Mayr) qui avait réussi à fabriquer une lunette astronomique en 1609, fait paraître les résultats de ses observations dans un ouvrage intitulé Mundus Iovialis (le Monde de Jupiter). Il prétend avoir découvert, quelques jours avant Galilée, les quatre lunes de Jupiter, auxquelles il donnera les noms qui leur sont restés : Io, Europe, Ganymède et Callisto (indiquées dans l'ordre de leur proximité avec Jupiter). La plus ancienne observation de Jupiter consignée par S. Marius date de décembre 1610. La primauté de la découverte des satellites de Jupiter sera vivement revendiquée par Galilée qui l'accusera de plagiat. Les historiens trancheront en faveur de Galilée qui est donc reconnu comme le premier à avoir vu les satellites de Jupiter. Dans le même ouvrage, Simon Marius annonçait aussi avoir découvert la galaxie d'Andromède qualifiée à l'époque de «nébuleuse». Bien qu'elle ait été observée par le persan Al-Soufi au X^{ème} siècle, on admet qu'il est le premier astronome à l'avoir observée au moyen d'une lunette astronomique.

- Ensuite, regardant Vénus, il observe un cycle complet de phases, analogues à celles de la Lune, preuve que Vénus tourne autour du Soleil. Sur la Lune, qui depuis l'Antiquité est réputée pour sa perfection, il voit des montagnes, des vallées et des cratères c'est-à-dire des défauts de surface. Quant à la Voie lactée, considérée jusqu'alors comme une exhalaison de l'atmosphère, elle se révèle constituée d'une multitude d'étoiles invisibles à l'œil nu. Dans l'amas des Pléiades où un oeil exercé peut distinguer 6 à 7 étoiles, sa lunette en distingue 30 de plus. Un peu plus tard en observant par projection le Soleil, il en découvrira ses taches et mesurera leur période de rotation. On sait cependant aujourd'hui que c'est David Fabricius qui le premier observera les taches solaires en 1611. En 1617 Galilée produira un rapport détaillé sur la première étoile binaire - Mizar de la constellation de la Grande Ourse - découverte par un de ses disciples Benedetto Castelli, professeur de mathématiques à Pise.

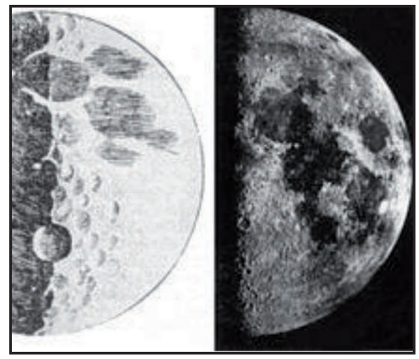
Grâce à ses observations faites avec une lunette qui était loin d'être parfaite - en regardant Saturne, il ne vit qu'un amas croyant ainsi que la planète était compose de 3 astres, "ratant" ainsi la découverte des anneaux - Galilée va porter un coup mortel à deux millénaires de physique aristotélicienne. S'opposant donc frontalement aux canons de l'époque, ses conceptions basées sur les immenses possibilités de sa lunette entreront vite en conflit avec les autorités religieuses, gardiennes de la doctrine des moeurs et de la foi. 1616 est à ce sujet une année cruciale. Le 24 février, le Saint-Office déclare que la proposition selon laquelle le Soleil est immobile et centre du monde est stupide et philosophiquement absurde. De plus, le fait que la Terre ne soit ni immobile, ni le centre du monde, est jugée erronée au regard de la foi. Le 5 mars 1616, le De *revolutionibus* de Copernic est mis à l'Index et Galilée est invité à renoncer à ses opinions coperniciennes. L'affaire Galilée commence. Émaillée de soubresauts multiples, nous n'indiquerons ici que les 2 événements qui nous semblent les plus caractéristiques de cette période de la vie de Galilée :

- avril 1632 *:* parution du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, véritable machine de guerre contre l'héritage aristotélicien écrit en italien et non en latin, la langue savante. Trois personnages y sont impliqués, un pur disciple d'Aristote (Simplicio), un penseur brillant (Salviati) représentant Galilée, un homme honnête qui feint la neutralité (Sagredo). L'ensemble est un vibrant plaidoyer en faveur de l'héliocentrisme, qui seul permet d'expliquer toutes les découvertes effectuées avec la lunette.

- Galilée est sommé de comparaître devant l'Inquisition à Rome où il se rendra en avril 1633. Il abjure à genoux après avoir écouté la sentence.

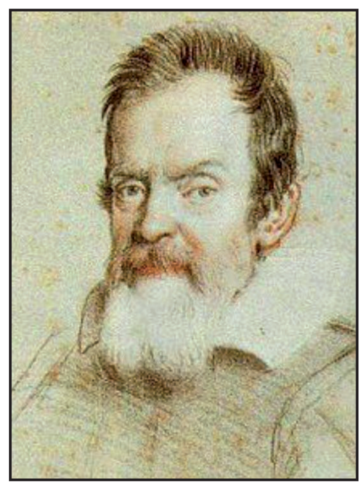
Galilée quittera Rome, théâtre de son humiliation et rédigera dans sa villa d'Arcetri son plus grand chef d'oeuvre le *Discours concernant deux sciences nouvelles* édité à Leyde en 1638. Il meurt en 1642.

Les deux sciences nouvelles sont la mécanique et les mouvements locaux, c'est à dire dans le langage moderne la statique et la dynamique.



Dessins de Galilée de la surface de la lune

Réplique d'une lunette astronomique de Galilée



Portrait au crayon de Galilée

C'est vers la fin de la vie de Galilée que les instruments d'observation vont se multiplier tout en s'améliorant. Les objectifs des premières lunettes astronomiques étaient des lentilles simples, un seul verre servant de collecteur de lumière, et les images obtenues, affectées par l'aberration chromatique étaient de médiocre qualité. Les innovations en la matière vont venir de toute l'Europe. Les verres italiens deviennent de plus en plus purs pour les besoins des astronomes, Christian Huygens améliore l'oculaire lui adjoignant une seconde lentille.

L'époque marque aussi l'émergence du métier d'astronome et il existera en France et en Angleterre des chercheurs chargés d'explorer et d'arpenter le ciel. Appelés par Colbert à Paris, Huygens et

Cassini vont mettre leur talent au service de Louis XIV qui va créer l'Académie Royale en 1666 puis l'Observatoire de Paris en 1667. Les découvertes vont se succéder par exemple découverte de Titan, le plus gros des satellites de Saturne par Huygens qui montrera qu'un anneau entoure la planète sans la toucher, Cassini découvrant d'autres satellites de la planète ainsi que la division sombre de l'anneau qui portera son nom. C'est d'ailleurs lui qui estimera sur la foi des lois de Kepler que la distance de la Terre au Soleil est d'environ 140 millions de kilomètres, bel exploit pour l'époque puisque nous savons maintenant qu'elle est de 150 millions de km. Le danois Römer donnera la première évaluation de la vitesse de la lumière par observation des satellites de Jupiter.

La chance d'ailleurs semble sourire aux astronomes de XVII^{ème} siècle car outre une réapparition soudaine des taches solaires en 1671 ce qui provoque un regain d'intérêt pour notre étoile, plusieurs comètes spectaculaires vont illuminer le ciel en Europe en...1652, 1661, 1664, 1665, 1668, 1672, 1677, 1678, 1680, 1682, 1683, 1684, 1686 et 1689. Toutes vont marquer les esprits et pousser les astronomes vers des théories étonnantes : Cassini par exemple invente un zodiaque des comètes - idée qui va se révéler farfelue - mais sera surtout l'un des premiers à affirmer l'identité entre certaines comètes anciennes et des nouvelles venues.

De la lunette au télescope Newton (1642-1727) et Halley (1656-1743)

Les objectifs réfracteurs ne donnaient de bons résultats qu'avec des lunettes de grandes dimensions. L'Anglais Isaac Newton va proposer en 1668 un instrument d'observation composé d'un miroir plan et d'un miroir parabolique, fonctionnant ainsi suivant un mode réflecteur et non plus réfracteur. On peut admettre qu'il s'agit du premier télescope qui sera par la suite perfectionné pour donner des appareils réflecteurs aussi puissants que les meilleurs réfracteurs de l'époque. Les lunettes seront surpassées par les télescopes et abandonnées de façon définitive dans le courant du XVIII^{ème} siècle.

En quelques années, l'astronomie va bouleverser le monde, passer dans les moeurs et se diffuser auprès d'un public lettré. Mais celui qui va vraiment enrichir ce siècle, donner un fondement théorique à l'édifice entier, c'est Newton qui, en plus de ses travaux sur la lumière, va s'attaquer à son grand oeuvre c'est à dire à la gravitation universelle.

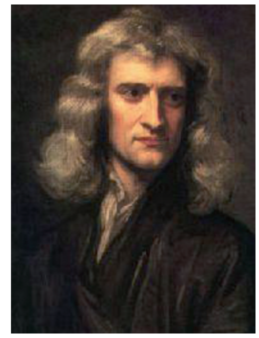
Photo du premier télescope présenté par Newton à la Royal Society en 1672. Il n'avait que 15 cm de long et son miroir principal 37 mm de diamètre utile. Il grossissait 30 à 40 fois.

En 1687, Newton publie son oeuvre majeure "*Philosophae naturalis principia mathematica*" (Principes mathématiques de la philosophie naturelle). Figure dans cet ouvrage le Principe de la gravitation universelle qui peut s'énoncer ainsi :

Deux particules matérielles quelconques s'attirent mutuellement avec une intensité proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelles au carré de leur distance. (On écrit $F = kmm'/d^2$).

Newton montrera de plus que les lois de Kepler découlent directement de son principe. Mais là encore, le succès de Newton ne sera pas immédiat – sauf en Angleterre - et cette force qui agit "à distance" n'aura pas que des partisans, surtout en France, où l'héritage de Descartes - qui affirmait notamment qu'il n'y a dans la nature que des forces "au contact" - est très fort. Les querelles entre cartésiens et newtoniens se poursuivront pendant environ 70 ans jusqu'au "retour" de celle que l'on ne nomme pas encore la comète de Halley.

Edmund Halley - contemporain de Newton quoique un peu plus jeune - va inciter son compatriote à publier ses *Principia*. Exploitant des observations cométaires accumulées au fil des siècles, il pense que ces astres sont soumis aux mêmes lois que les planètes. En 1705, il publie les éphémérides de la comète de 1682, retour qu'il prévoit pour 1758... prévoyant également à cette occasion que si comète il y a, il ne sera plus là pour la voir, vu son âge. Alors, viendra, viendra pas ? La théorie de Newton est en jeu. Dès 1757, les astronomes scrutent le ciel et une petite équipe de calculateurs français décide de reprendre et d'affiner les éphémérides de Halley. Sur la base des formules conçues par le mathématicien Alexis Clairaut (1713-1765), Jérôme Lalande (1732-1807) et Hortense Lepaute (1723-1788) décidèrent de calculer les déviations de la comète dues aux grosses planètes. Ils prédirent un retard dû à Jupiter et Saturne et annoncèrent le retour de la comète non en 1758 mais en 1759 avec passage au périhélie en avril 1759 avec une marge d'erreur de 1 mois. Ces conclusions sont déposées en novembre 1758 alors que la comète était recherchée par tous les astronomes européens. Finalement elle sera retrouvée pendant la nuit de Noël 1758, jour anniversaire de la naissance de Newton, par Johann Palitsch (1723-1788), hobereau prussien vivant dans la région de Dresde. Toute l'Europe peut alors observer l'astre qui passera au périhélie le 13 mars 1759.



Portrait de Newton à 42 ans

Cet événement va marquer :

- la naissance de la mécanique céleste, accompagnée de la théorie des perturbations permettant d'affiner le mouvement d'un corps passant au voisinage d'un autre corps, une influence réciproque s'établissant entre eux par application de la loi de la gravitation universelle.

- le triomphe posthume de Halley dont la comète s'appellera immédiatement et sans contestation la "comète de Halley"

- la gloire universelle pour Newton

- la fin définitive des querelles entre newtoniens et cartésiens

1. On notera que Newton connaîtra de son vivant une ascension fulgurante et occupera des fonctions prestigieuses comme Directeur de le Monnaie et président de la Royal Society, poste qu'il occupera de 1703 à sa mort en 1727. Son enterrement grandiose impressionnera fortement Voltaire.

2. Halley est le découvreur du mouvement propre des étoiles suite à une de ses observations concernant l'angle Arcturus-Sirius s'écartant de 30' de l'angle mesuré par Hipparque.

3. La sépulture de Newton située dans l'abbaye de Westminster à proximité de celles des rois d'Angleterre porte bien comme date de naissance le 25 décembre 1742. A l'époque, l'Angleterre n'avait pas encore adopté le calendrier grégorien qui date de 1582. C'est la raison pour laquelle il y a abus de langage de dire que la comète est réapparue le jour anniversaire de la naissance de Newton, puisque sa date de naissance d'après le calendrier grégorien est le 3 janvier 1743. L'Angleterre n'adoptera ce calendrier qu'en 1752.

Photo comète Halley 1986

Comète de Halley vue en avril 1066 sur la tapisserie de Bayeux

Portrait de E. Halley

Découverte des autres planètes du système solaire

1] William Herschel - Uranus -

C'est vers cette époque que William Herschel (1738-1822), musicien de Hanovre installé en Angleterre, réalise des observations systématiques du ciel. Il s'est mis à l'astronomie en amateur vers 1766 et quelques années plus tard, sa sœur Caroline (1750-1848) le rejoindra et l'assistera dans ses travaux astronomiques jusqu'à la fin de ses jours. Construisant sérieusement un grand nombre de télescopes à miroirs qu'il vend par centaines, il découvre des systèmes binaires et de nombreuses nébuleuses, mais cherche avant tout à classer les différents types d'objets qu'il découvre. Lors d'une recherche systématique d'étoiles doubles, il va découvrir une septième planète, multipliant du même coup par deux les dimensions du système solaire connu jusque-là.

Herschel voit ainsi Uranus - la 7ème planète - pour la première fois le 13 mars 1781. Cet objet, déjà vu par certains mais confondu avec une étoile, est considéré dans un premier temps par Herschel comme comète. Les observations alors réalisées par l'observatoire de Greenwich indiquent que cette "comète" se comporte différemment des comètes habituelles. Johann Bode, directeur de l'observatoire de Berlin, constatant une trajectoire presque circulaire de cet objet, pense que l'on est plutôt en présence d'un objet planétaire. C'est Anders Lexell - mathématicien et astronome russe, suédois d'origine mais ayant émigré en Russie - qui va définitivement prouver que l'on est bien en présence d'une planète et non d'une comète après étude mathématique de sa trajectoire. Herschel lui-même reconnaîtra ce fait en 1783.

Mais quel nom donner à cette 7ème planète ? Herschel dont le statut à ce moment change, le roi George III l'ayant doté de crédits lui permettant de se consacrer à sa passion de l'observation, va proposer de nommer cet astre "*Georgium Sidus*" (planète de George) en l'honneur du souverain. Devant le refus des astronomes contemporains, on proposera "planète de Herschel ", dénomination refusée par l'intéressé lui-même. Finalement, Bode proposera de revenir à l'Antiquité et par analogie avec Saturne, père de Jupiter, proposera ce qui fut accepté, de donner le nom de "Ouranos" - Uranus en français - à cette planète. (Ouranos dans la mythologie grecque est le père de Saturne).

Cette découverte et toutes les autres faites par Herschel - 2 satellites d'Uranus + 2 satellites de Saturne, publication de 2 catalogues recensant chacun 1000 nébuleuses - ne doivent rien au hasard. Ceci est dû aux instruments de plus en plus puissants qu'il fabrique. Son chef-d'œuvre en la matière sera un télescope de 1,2 m de diamètre pour une distance focale de 12 m qui restera le plus grand télescope du monde pendant 50 ans.

William et sa sœur polissant une lentille de télescope.

Caroline assistera en permanence son frère et découvrira elle-même 8 comètes. Sa contribution à l'œuvre de celui-ci sera considérable et le roi George III lui attribuera une rente annuelle conséquente afin de poursuivre ses travaux avec William. On leur doit un premier modèle de notre galaxie mettant clairement en évidence sa forme aplatie. Ils commettront cependant l'erreur de placer le Soleil en son centre.

Loi de Bode

En 1772, Bode, découvre une loi concernant l'échelonnement des distances planètes/soleil. On écrit sept nombres dont le premier est zéro et le second 3, et dont les autres s'obtiennent en doublant à chaque fois :

0 3 6 12 24 48 96

on ajoute 4 à chacun d'eux, soit

4 7 10 16 28 52 100

on divise enfin ces nombres par 10, ce qui donne

0,4 0,7 1 1,6 2,8 5,2 10

Les 4 premiers de ces nombres représentent sensiblement les longueurs des demi-grands axes des orbites de **Mercure, Vénus, la Terre** et **Mars** si l'on prend pour unité la longueur du demi-grand axe de l'orbite terrestre (longueur égale à l'unité astronomique (UA) par définition). Ensuite, sautant le nombre 2,8 , les deux derniers nombres de cette liste représentent sensiblement, avec cette même unité, les demi-grands axes des orbites de **Jupiter** et de **Saturne**.

Telle est ce que l'on a appelé la loi de Bode.

La lacune correspondant à 2,8 s'est trouvée comblée par la suite, lorsqu'on découvrît un certain nombre de planètes de petites dimensions circulant à cette distance du Soleil formant ce que l'on appelle la ceinture d'astéroïdes. Seules les plus massives d'entre elles sont sphériques (voir ci-après)

Lorsque fut découverte la planète **Uranus** (1781 donc peu après la parution de cette loi), on reconnut que le demi-grand axe de son orbite était sensiblement égal au nombre obtenu en ajoutant un huitième terme à la suite de Bode [(96 x 2) + 4] /10 = 19,6. Mais pour **Neptune** et **Pluton**, les discordances sont grandes. Aussi ne doit-on attacher à la loi de Bode que la valeur d'une règle mnémotechnique curieuse, ayant eu son heure de gloire à l'époque de Herschel et au début du XIXème siècle mais tombée aujourd'hui en désuétude.

2] Giuseppe Piazzi - Les astéroïdes -

D'après la loi de Bode, une planète aurait dû se trouver entre Mars et Jupiter à 2,8 unités astronomiques du Soleil. D'où le terme de planète manquante que l'on a souvent donné à cette lacune. C'est donc dans cette région du ciel que les recherches vont dorénavant s'orienter, alimentant toutes les spéculations.

Force est de constater que le XIXème siècle va s'ouvrir en fanfare pour l'astronomie. Celui-ci débutant le 1er janvier 1801, c'est en effet dans la nuit du 1er janvier de cette année que le père Giuseppe Piazzi (1746-1826) - directeur de l'observatoire de Palerme - découvre un corps situé à cette distance de 2,8 prévue par la loi de Bode, mais s'avérant être beaucoup plus petit que n'importe quelle planète. Il lui est extrêmement difficile de déterminer les éléments de l'orbite, ne disposant que de quelques observations effectuées entre janvier et février 1801. Grâce aux travaux du très grand mathématicien allemand Gauss, une méthode de détermination de l'orbite sera élaborée en quelques semaines et Céres - déesse de l'Agriculture et nom donné à cette nouvelle planète - sera retrouvée le 1er janvier 1802 à Brême par l'astronome allemand Olbers (1758-1840), lequel débusquera un peu plus tard un objet identique à Cerès mais un peu plus petit qui sera dénommé Pallas.

On notera que l'on dénombre de nos jours des milliers d'astéroïdes dûment répertoriés - c'est-à-dire dont l'orbite est bien connue - et que tous ces corps gravitent à l'endroit de la planète manquante. Ils n'ont cependant pas une masse totale suffisant pour en "faire" une planète du type de celles que nous connaissons.

D'une façon générale, un astéroïde est défini comme un petit corps du système solaire, de forme irrégulière et dont les dimensions varient de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres. Quand le diamètre avoisine ou dépasse les 1000 km, leur forme est sphérique et ils peuvent alors prendre le statut de planète naine, ce qui est le cas de Cérès. Une grande partie d'entre eux évolue sur une orbite située entre Mars et Jupiter. Un autre groupe important est situé au-delà de Neptune et constitue la ceinture de Kuiper (astronome hollandais qui les a découverts vers 1950).

3] Le Verrier - Neptune -

La planète Uranus découverte par W.Herschel et observée par tous les télescopes de par le monde vers les années 1800 avait un itinéraire bizarre et ne semblait pas suivre cette ellipse imposée par la loi de Newton. Une explication naturelle assez surprenante va être proposée par différents scientifiques parmi lesquels on trouve en particulier Arago (1786-1853) physicien, astronome et homme politique français : il existe une autre planète plus lointaine qui perturbe sa trajectoire par influence gravitationnelle.

Deux astronomes vont chercher à calculer - indépendamment l'un de l'autre et sans se connaître - la position du présumé astre perturbateur. L'un, John Adams, jeune anglais qui ne sera pas pris au sérieux par ses pairs, et l'autre, français, Urbain le Verrier (1811-1877) - qui deviendra directeur de l'Observatoire de Paris -, poussé dans sa démarche par Arago. Les calculs de le Verrier sont envoyés à l'astronome berlinois J. Galle qui le jour même de la réception des calculs du français, trouve la planète à 1° de l'endroit prévu par le Verrier (et à 10° pour Adams).

Les dessins astronomiques de Galilée montrent qu'il a observé Neptune en 1612, répertoriée alors comme une simple étoile. Il la remarque de nouveau dans le ciel un mois plus tard et constate même qu'elle a bougé par rapport aux étoiles voisines. Ce ne peut donc pas être une étoile mais il n'en tire aucune conclusion. Elle sera également observée par John Herschel, fils de William qui ne notera rien de particulier. Cette planète a donc échappé aux astronomes et la découverte en revient aux mathématiciens.

Cette nouvelle planète, d'abord appelée "le Verrier " par Arago a reçu, après consensus, le nom neutre de Neptune.

Cette découverte consacre la méthode scientifique et marque le triomphe de la mécanique céleste. Les astronomes semblent à présent en mesure de prévoir tout ce qui concerne le mouvement des astres.

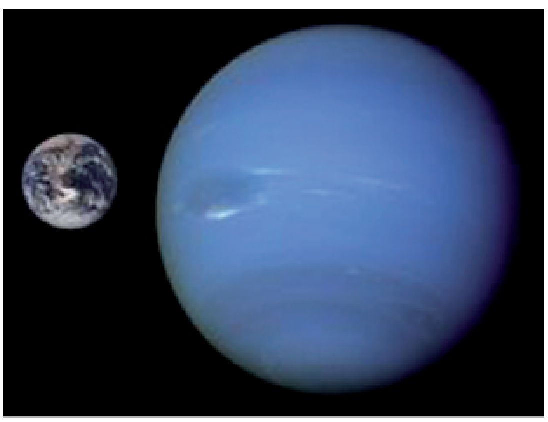


Image montrant les tailles respectives de Neptune et de le Terre

Portrait de le Verrier (1870)

4] Tombaugh - Pluton -

C'est l'observation des perturbations orbitales de Neptune qui vont décider Percival Lowell (1855-1916) - astronome américain ayant fait fortune dans les affaires - de se lancer à la recherche d'une planète, située au delà de Neptune. Il suivra la même méthode que pour la découverte de Neptune mais les instruments de l'époque ne lui permettront pas de mesurer les anomalies de l'orbite recherchée. Il lancera alors une campagne photographique de 3 ans en 1905 qui ne donnera rien de concluant. Mort en 1916, il laisse dans son testament de quoi poursuivre les recherches et c'est à C.Tombaugh (1906-1997) qu'il revient après une cartographie minutieuse du ciel et analyse des clichés photographiques, de découvrir en mars 1930 cette nouvelle planète.

Quelques particularités méritent d'être signalées, tant astronomiques qu'historiques, concernant cet astre :

- après avoir hésité quant au nom à lui donner, et suite à suggestion émanant de la petite Vénétia Burney (11 ans) dont le grand-père bibliothécaire à Oxford était en relation avec lui, Tombaugh proposera " PLUTON " ce qui fut immédiatement accepté, ce mot renfermant les 2 lettres P & L, initiales de Percival Lowell que l'on peut effectivement considérer comme le véritable promoteur de la découverte. De plus, on revenait à l'Antiquité, ce qui avait l'avantage d'éliminer les susceptibilités.

- Pluton est accompagné d'un satellite, Charon découvert en 1978 soit environ 50 ans après Pluton. Le barycentre de l'ensemble Pluton/Charon est à l'extérieur de Pluton. Charon a un diamètre voisin de la moitié du diamètre de Pluton. Il est en rotation synchrone et en orbite pratiquement géostationnaire par rapport à son astre. Pour ces raisons, le couple Pluton/Charon est une particularité unique de notre système solaire.

Considéré comme planète lors de sa découverte, Pluton a été rétrogradé au rang de planète naine par l'UAI (Union astronomique internationale) en 2006. Cela est dû à un changement de définition du mot "planète". Ne peut être considéré maintenant comme planète du système solaire qu'un objet satisfaisant aux 3 conditions suivantes :

- être en orbite autour du Soleil
- avoir une masse suffisante pour garder une forme sphérique
- son orbite autour du Soleil doit être libre de tout obstacle

Pluton ne respecte pas cette troisième règle, compte tenu de la présence de Charon. En effet, ce n'est pas le centre de Pluton qui suit une orbite elliptique autour du Soleil, mais le centre de gravité Pluton/Charon.

Un jour peut-être, l'UAI reviendra sur sa position qui, rappelons-le, fut la conséquence d'un vote à la majorité simple de ses membres.

CONCLUSION

De nouveaux objets ont été découverts dans le système solaire après 1930. Ils expliquent cette notion de "planète naine " ayant entraîné le déclassement de Pluton.

L'astronomie est en perpétuel changement et suit l'évolution des découvertes techniques. L'oeil est resté pendant des siècles notre seul instrument d'observation. Il fut remplacé par le télescope (Herschel/Uranus), puis par la mécanique céleste (Le Verrier/Neptune) et enfin par la photographie (Tombaugh/Pluton).

Des méthodes nouvelles sont à l'oeuvre concernant une neuvième planète. L'avenir nous renseignera quant à son existence réelle.

Sources : Larousse du Ciel
Internet
le calendrier : Paul Couderc (PUF n°203)

RENÉ DE POSSEL (1905–1974) UN MATHÉMATICIEN DANS SON ÉPOQUE

Par Bruno RAKINSKI
Physicien et membre de l'ADASTA

INTRODUCTION

J'ai eu l'immense chance de rencontrer René de Possel et de discuter avec lui à de nombreuses reprises pendant une douzaine d'années. Ma mère était son assistante. Mes premiers souvenirs de cette période se trouvent au sous sol du prestigieux Institut Henri Poincaré, un des hauts lieux des mathématiques. En fait on parlait plutôt des caves de l'IHP. Là, agenouillées sur un coussin devant une grosse machine bruyante, des femmes manipulaient des cartes perforées. Des piles de ces cartes étaient remises avec grand soin dans le haut de la machine puis reprises en bas pour un nouveau passage.

En un autre lieu, rue du Maroc, à l'Institut Blaise Pascal, je me souviens des nombreux étudiants dans les couloirs, des affichages de résultats d'examens, de l'odeur de cuir et de bois du bureau de René de Possel avec son tableau noir couvert de craie, sa bibliothèque et sa table pleine de livres de math aux titres incompréhensibles pour moi.

Je me souviens de son expression très critique : « *La bourbe de Bourbaki* » sans bien comprendre ce qu'il mettait derrière ce désaveu.

«*Au départ nous étions trois, Weil, Cartan et moi-même* », confiait René de Possel. Il aimait raconter le canular d'un faux professeur démontrant un improbable théorème de Bourbaki avec un raisonnement séduisant mais faux.

Très opposé aux « maths modernes » en dehors de l'enseignement supérieur, il soulignait : « *Bourbaki n'est pas destiné à l'enseignement où, il faut partir du plus concret possible avant d'abstraire puis de généraliser* ».

Il a été pour moi d'une aide déterminante, en classe de math spé, pour la résolution d'un problème de calcul intégral et différentiel sur lequel butait toute la classe. En quelques minutes, il était en mesure de me proposer trois solutions ; la seule que je pouvais mettre en oeuvre parmi les trois, m'a valu un 19/20, et la présentation de la correction du devoir, au tableau, devant mes 35 camarades du lycée Chaptal à Paris.

C'est dans cette période que nous avons eu le plus d'échanges, mon niveau en mathématique me permettant de commencer à percevoir l'intérêt de ses études et leurs enjeux.

Il me faisait part en particulier, de ses réflexions sur les infinis qui apparaissent en physique, sur le groupe de renormalisation et les théories des cordes, à côté de la reconnaissance automatique des caractères et de la théorie des jeux qu'il m'illustrait en jouant avec moi au jeu de Nim (connu aussi sous le nom de jeu de Marienbad).

Il aimait beaucoup me parler de ce qu'était la recherche en mathématique, et de ce qu'elle n'était pas. C'est à cette occasion que nous avons beaucoup échangé (et joué) sur la notion de conjecture, avec comme exemples pratiques les conjectures de Syracuse et de Riemann.

Il soulignait l'importance qu'avait eu pour son engagement dans la recherche mathématique, sa rencontre à Göttingen avec deux grandes personnalités allemandes : un logicien un peu fou travaillant sur la démontrabilité et une femme qui a établi des théorèmes fondamentaux sur les lois de conservation en physique. Cette femme, pour Albert Einstein, a joué un rôle majeur dans l'évolution de la physique théorique. Si je n'ai pas retenu leurs noms à l'époque, je suis sûr aujourd'hui qu'il parlait de Kurt Gödel et d'Emmy Noether.

J'ai alors été très impressionné par l'immense culture mathématique de cet homme, son intelligence brillante et sa simplicité. Je ne peux que regretter aujourd'hui que notre différence d'âge et de culture, ne nous aient pas permis de partager davantage. Je garde comme un précieux souvenir de cette période, son cartable noir qui ne le quittait jamais et qu'il m'a fait l'honneur de me donner.

Cette rencontre particulièrement riche, a déclenché mon intérêt, de nombreuses années plus tard, pour approfondir la connaissance du parcours de ce mathématicien. C'est l'objet des paragraphes qui suivent.

1 - L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE RUE D'ULM 1924

Au début du vingtième siècle, la plupart des mathématiciens français étaient polytechniciens. La tendance s'est ensuite inversée au profit des normaliens. Ainsi, l'École Normale Supérieure fournit une bonne part de l'élite du monde de la recherche, en concurrence avec l'École Polytechnique.

René de Possel en 1924

C'est dans cette prestigieuse ENS de la rue d'Ulm, que **René de Possel (1905-1974)** entre à l'âge de 18 ans, la même année que Henri Cartan et Jean Coulomb.

Sont alors élèves de l'ENS, en 1924, outre René de Possel et Henri Cartan, Georges Canguilhem, et Paul Nizan. Mais aussi Jean Wyart, cristallographe, Jean Cavaillès, philosophe, Jean Coulomb, physicien, Raymond Aron, sociologue, Jean Dieudonné, mathématicien, Charles Ehresmann, mathématicien, Louis Néel, prix Nobel de physique 1970, Jean-Paul Sartre, prix Nobel de littérature 1964. Les élèves de l'ENS jouissent à l'époque d'une grande liberté dans leurs études.

ENS 1924

2 - ANNÉES VINGT, L'ÉTAT DES MATHÉMATIQUES EN FRANCE

Avant la première guerre mondiale, les mathématiques étaient dominées par deux hommes exceptionnels : le Français Henri Poincaré (1854-1912) et l'Allemand David Hilbert (1862-1943) ; probablement les derniers capables d'embrasser, globalement, l'ensemble des mathématiques.

Parmi les nombreux travaux de Poincaré, on retiendra ici son rôle dans l'étude des systèmes d'équations différentielles, les théories modernes sur le «chaos», l'émergence de la topologie.

Parmi les nombreux travaux de Hilbert, on retiendra ici son rôle dans la théorie des invariants, l'axiomatisation de la géométrie, les espaces vectoriels.

Les mathématiques mondiales étaient ainsi dominées par les écoles française et allemande.

La guerre de 1914-1918 est la cause principale d'un déclin de l'école française. **André Weil** (1906 - 1998) rappelle que la moitié des mathématiciens normaliens ou polytechniciens des promotions de 1910 à 1914 sont morts dans cette guerre.

Pour **Jean Dieudonné (1906-1992)** : «*Ce sont les jeunes mathématiciens tués à la guerre qui auraient dû continuer les travaux de Poincaré ou de Picard*»

Mais une autre cause du déclin est la grande rigidité des institutions scientifiques françaises, par ailleurs trop centralisées et l'absence de moyens financiers.

Les normaliens arrivant à l'école, y découvrent un enseignement suranné, et se trouvent donc contraints de travailler entre eux, partageant leurs lectures d'ouvrage, souvent allemands. Ils sont aussi tentés d'aller chercher à l'étranger ce qu'ils ne trouvent pas en France.

La plupart d'entre eux trouvent des équipes d'accueil en Allemagne, particulièrement à Göttingen qui par la vitalité de son école constitue un grand pôle d'attraction. René de Possel ira aussi compléter sa formation à Munich et Berlin. De leurs rencontres avec d'éminents chercheurs à l'avant-garde de la science mathématique naît la volonté de remplacer un cours d'analyse qui date de 1902 (Le Goursat).

3 - N. BOURBAKI LE MATHÉMATICIEN QUI N'A JAMAIS EXISTÉ

En 1935 André Weil, Henri Cartan et René de Possel décident de refondre ce cours d'analyse et d'écrire un ouvrage sur l'intégration et le calcul différentiel.

André Weil en 1924

Henri Cartan en 1924

Cinq ou six amis, tous normaliens des années vingt, à peu près chargés de ce même enseignement dans des universités de province se lancent alors dans ce qui allait devenir l'une des plus grandes aventures intellectuelles du vingtième siècle. «*Réunissons-nous, réglons tout cela une fois pour toutes* » dit André Weil. Cela se déroule à Paris, dans une brasserie auvergnate du quartier latin « A Capoulade ».

Brasserie « A Capoulade » sur la gauche

Quelques mois plus tard, le congrès de Besse en Chandesse (juillet 1935) fonde officiellement le groupe Bourbaki avec André Weil, Henri Cartan, René de Possel, Claude Chevalley, Jean Coulomb, Jean Delsarte, Jean Dieudonné, Charles Ehresmann, et Szolem Mandelbrojt.

Besse en Chandesse (1935) congrès fondateur de Bourbaki.

De Possel, Mandelbrojt et Coulomb étant à Clermont-Ferrand, c'est eux qui organisent le premier congrès à Besse. C'est là que ce groupe de mathématiciens décide de se baptiser du nom de Bourbaki.

Il y aura ensuite plusieurs congrès à Clermont-Ferrand et Murol, Nicolas Bourbaki est donc un authentique auvergnat !

La première phrase du premier compte-rendu du premier congrès est : «WEIL expose son projet - fixer pour 25 ans les matières du certificat de Calcul différentiel et intégral en rédigeant en commun un traité d'analyse».

Mais rapidement, la réflexion sur le plan de l'ouvrage devient une tâche beaucoup plus difficile que prévu.

L'étude approfondie des théorèmes fondamentaux en algèbre et topologie conduit Bourbaki à dégager une nouvelle vision des mathématiques en leur reconnaissant une unité qui repose sur la théorie des ensembles.

Cette conception moderne allait considérablement influencer le monde mathématique international.

L'objectif «fixer les matières du certificat de calcul différentiel» était dépassé, le «pour vingt-cinq ans» serait vite oublié.

On parlait désormais des «Eléments de Mathématique», pour désigner le futur ouvrage qui atteindra plus de 7000 pages de textes en 2012.

Bourbaki introduit l'ouvrage ainsi «Ce traité prend les mathématiques à leur début, et donne les démonstrations complètes. Sa lecture ne suppose donc, en principe, aucune connaissance mathématique particulière, mais, seulement, une certaine habitude du raisonnement mathématique et un certain pouvoir d'abstraction».

En réalité, il exige des connaissances du niveau licence de mathématique. Ce n'est pas un ouvrage grand public, mais plutôt un cours pour étudiants de second et troisième cycle universitaires et une référence pour mathématiciens confirmés.

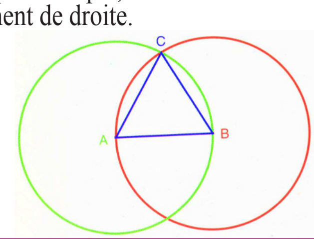
La philosophie de Bourbaki est présentée dans un article de 1947 intitulé «L'architecture des mathématiques» où il y développe trois notions clés :

L'unicité des mathématiques.

l'évolution de la science mathématique consiste en une systématisation des relations existant entre les diverses théories. L'unité de ses différentes parties (logique, topologie, algèbre, analyse, géométrie...) s'impose avec la méthode axiomatique.

La méthode axiomatique.

Mais Euclide utilise, sans s'en rendre compte, des propriétés ni posées en axiomes, ni démontrées, mais qui font appel, à l'intuition visuelle, comme, par exemple, sa construction du triangle équilatéral à partir d'un segment de droite.



Si Euclide est le précurseur de la méthode axiomatique, c'est Hilbert, avec ses «Fondements de la Géométrie», publiés en 1899, qui a su dégager un système cohérent d'axiomes.

David Hilbert peut être considéré comme le père de l'axiomatique moderne et, par là même, du mouvement Bourbaki.

Les structures.

Elles sont indissociables, pour Bourbaki de la méthode axiomatique : «on part d'un ensemble d'éléments dont la nature n'est pas spécifiée et pour définir une structure on se donne des relations où interviennent ces éléments ; on postule ensuite que ces relations satisfont à certaines conditions qui sont les axiomes de la structure envisagée. Faire la théorie axiomatique d'une structure c'est déduire les conséquences logiques des axiomes de la structure»

Une des plus importantes est la structure de Groupe :

«Un ensemble non vide G est un groupe s'il est muni d'une loi interne, notée$*$, qui à tout couple (x,y) d'éléments de G associe un élément noté $x*y$, appartenant aussi à G, et si les trois axiomes suivants sont vérifiés :

1) Associativité : pour tous éléments x, y, z de G on a : $x*(y*z) = (x*y)*z$

2) Existence d'un élément neutre : Il existe un élément de G que nous écrirons e et tel que : $x*e = e*x = x$, quel que soit l'élément x de G.

3) Existence d'un inverse pour tout élément : quel que soit l'élément x de G, il existe dans G un élément noté x^{-1} tel que $x*x^{-1} = x^{-1}*x = e$.

Lorsque la loi $*$ est commutative, c'est-à-dire quand $x*y = y*x$ pour tous x et y, on dit que G est un groupe abélien».

Par exemple, il est facile de voir que les axiomes de la structure de groupe sont vérifiés pour l'ensemble des nombres entiers muni de l'addition ordinaire. Quels que soient les nombres réels x, y, z on a :

$x+(y+z) = (x+y)+z$.

L'élément neutre est 0 car $x+0 = 0+x = x$

L'élément inverse de x pour l'addition est -x car $x + (-x) = 0$.

Bourbaki distingue trois grands types de structures : les structures mères.

• Les structures algébriques telles que groupes, anneaux, corps, espaces vectoriels… où intervient une loi qui associe à tout couple d'éléments un troisième.

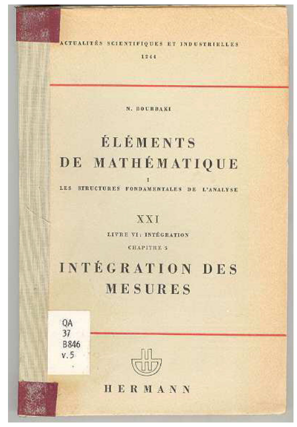
• Les structures où intervient une relation d'ordre, telle que «supérieur ou égal» ou encore «inférieur ou égal» qui permettent d'ordonner, de comparer entre eux tout ou partie des éléments d'un ensemble.

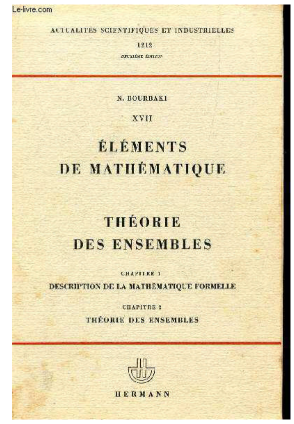
• Les structures topologiques qui fournissent une formulation mathématique abstraite des notions intuitives de voisinage, de limite, et de continuité.

Bourbaki, construit La mathématique en s'appuyant sur la conception axiomatique. Des structures plus complexes apparaissent, en évoluant du général au particulier. Par exemple, le corps des nombres réels est, à ce titre, une structure complexe : c'est une combinaison de deux structures algébriques (la loi d'addition et celle de multiplication) et d'une notion de limite. Il apparaît donc assez tard dans l'exposé des « Eléments de mathématique ».

L'édifice comporte ainsi les domaines classiques telles que l' algèbre, la théorie des fonctions ou encore les géométries, mais ces domaines, plus particuliers, ont perdu, leur autonomie antérieure car, d'après «l'architecture des mathématiques», elles sont désormais :«des carrefours où viennent se croiser et agir les unes sur les autres des structures mathématiques plus générales». Les liens étroits qui apparaissent entre des domaines éloignés sont alors sources de découvertes.

Grâce à son courageux travail collectif de synthèse, Il est généralement admis dans le monde entier, que le plus important traité de mathématique contemporain est signé d'un nom de fantaisie, hérité d'une plaisanterie de normaliens. l'influence de Nicolas Bourbaki dans la mathématique contemporaine a, en effet, été considérable. Ses concepts ont été très largement adoptés et son vocabulaire traduit dans tous les pays.





L'influence de Bourbaki a même débordé le champ de la mathématique. La mode du structuralisme des années 50 et 60 en est issue. L'axiomatique et les structures ont alors envahi la littérature, l'anthropologie la psychologie et bien sûr l'enseignement (cf Raymond Queneau, Claude Levi-Strauss, Jean Piaget...).

«Je fais partie d'une génération pour laquelle "bourbakiste" est un mot péjoratif. Je fais pourtant partie de ceux qui pensent que leur héritage est fondamental », souligne Cédric Villani, directeur de l'Institut Henri-Poincaré.

Aujourd'hui, si Bourbaki a vieilli, il n'est pas mort. Les séminaires Bourbaki ont lieu au rythme de deux ou trois par an et 2016 verra la parution d'un nouveau volume de topologie algébrique.

4 - RENÉ DE POSSEL ET L'ŒUVRE DE BOURBAKI

«Nous étions vraiment des potaches» rappelait souvent René de Possel lorsqu'il évoquait ses années passées rue d'Ulm et au sein du groupe Bourbaki naissant. Le groupe s'était doté, pour ses échanges internes, d'un vocabulaire spécifique qui venait s'ajouter au jargon normalien. Blagues, calembours et auto dérision rythmaient les discussions toujours très vives lors des réunions. Les témoins de ces échanges qualifiaient volontiers ce groupe de bande de fous.

« *Notre projet de refondation du cours d'intégration et topologie était extrêmement naïf. Cinq ans plus tard nous n'avions toujours rien publié* ».

Mais il était nécessaire de mettre en place dès le début quelques structures fondamentales pour donner une base solide à tout l'édifice et assurer les liens entre les différentes branches de la mathématique soulignant sa profonde unité.

L'identification des structures topologiques était une grande révolution. :

une topologie sur E est définie par une famille O de sous-ensembles que l'on appelle des « ouverts », vérifiant :

- toute intersection finie d'éléments de O est encore un élément de O

- toute union d'éléments de O est un élément de O

- E et le vide sont éléments de O

C'est très puissant : pour l'intersection, on dit «finie», mais pas pour l'union (on peut donc prendre une union infinie). Cette dissymétrie, suffit à définir ensuite les notions de voisinage, de limite, de convergence, d'intérieur, de fermeture etc. Car évidemment, un fermé est le complémentaire d'un ouvert.

Un voisinage d'un point est n'importe quel ensemble qui contient un ouvert contenant ce point. Etc. etc.

René de Possel commentait le célèbre « coup de gueule » de son ami Jean Dieudonné : « A bas Euclide !».

Pour Bourbaki, et aussi maintenant pour une grande majorité de mathématiciens et physiciens, le mythe d'Euclide est la source de deux graves erreurs intellectuelles. Ce mythe consiste à postuler qu'il existerait des vérités absolues, immuables qui seraient des caractéristiques de la nature directement accessibles à l'homme. Notre connaissance de l'infiniment grand et de l'infiniment petit démontre qu'il n'y a aucun moyen d'extraire de la nature de telles vérités premières.

Tout le monde a cru que la géométrie euclidienne constituait une vérité rigoureuse acquise par le raisonnement pur et qu'il était donc possible d'aller plus loin dans la quête de l'absolu par une simple démarche intellectuelle. Cette position a constitué un frein majeur à la prise de conscience du concept de relativité. Les effets pervers de ce mythe sont clairement identifiés : difficulté d'appréciation de la valeur d'un raisonnement logico-déductif et de son résultat ;

Stérilisation du doute et donc de l'esprit critique à l'égard d'autres savoirs.

La seconde erreur intellectuelle a été d'identifier formellement notre espace physique à sa représentation géométrique euclidienne, postulant ainsi que notre espace est un absolu géométrique éternel, donc doté d'attributs divins ?

Ces deux graves erreurs intellectuelles étaient compréhensibles au temps d'Euclide ; si elles ont perduré pendant deux millénaires, c'est à cause de facteurs philosophiques et religieux trop dominants.

Même Newton se glissera dans ce cadre en construisant sa mécanique rationnelle absolue en adjoignant à l'espace absolu, un temps absolu.

La découverte des géométries non euclidiennes, l'axiomatisation de la géométrie par Hilbert et enfin le développement de l'analyse, marqueront un tournant décisif. La découverte de courbes remplissant l'espace, continues mais différentiables nulle part montrera la vulnérabilité de l'unique fondement solide - l'intuition géométrique - sur lequel les mathématiques étaient censées reposer, avant le XIX ième siècle.

Certes, le célèbre slogan de Jean Dieudonné portait critique de l'enseignement et de la place excessive accordée à la géométrie euclidienne des triangles, mais c'était bien plus une révolte contre de nombreux contemporains encore enfermés dans la croyance du mythe d'Euclide malgré les progrès des mathématiques du XIXe siècle.

Ce qui faisait l'originalité et le succès de Bourbaki, au delà du talent de chacun de ses membres, c'était son mode de fonctionnement. Pas de hiérarchie (même si André Weil avait un ascendant certain sur le groupe).

Des décisions prises à l'unanimité avec droit de veto pour chacun. Le secret sur la composition du groupe, ses activités, les dates et lieux de ses réunions. Une taille du groupe limitée à une douzaine, avec départ à l'âge limite de cinquante ans et recrutement parmi les cobayes invités aux congrès et qui se seront montrés critiques et actifs.

René de Possel avait une relation compliquée avec Andre Weil. Mme Evelyne de Possel, après avoir quitté son mari était devenue Mme Evelyne Weil. Mais au delà de ce différent personnel, c'est une divergence fondamentale avec des choix du groupe et de Weil en particulier, qui le pousseront à prendre ses distances avec Bourbaki. René de Possel qui connaît les travaux du logicien Kurt Gödel, ne peux accepter que la logique mathématique soit négligée dans la rédaction d'un traité qui à l'ambition de refonder la mathématique. En effet, à la base, il y a la théorie des ensembles dont l'axiomatisation repose elle-même, sur la logique formelle. L'histoire a donné raison à de Possel contre Weil. René de Possel quitte définitivement le groupe Bourbaki à l'automne 1941, mais continuera à suivre ses travaux, et restera assidu à ses congrès. Devant l'extrême formalisation et une forme de dogmatisme des traités Bourbaki, René de Possel parlera souvent de la « *bourbe de Bourbaki* ». Les définitions et les théorèmes de base sont assénés sans justification, le lecteur qui les néglige finit par acquérir une vision caricaturale de l'activité mathématique.

A propos de l'enseignement : « *Il faudra dire que Bourbaki était un traité en vue d'unifier et de consolider les mathématiques, et absolument pas un livre de pédagogie* ».

5 - MATHS MODERNES : LA DÉRIVE DE L'ENSEIGNEMENT

On reproche parfois à Bourbaki son rôle dans la réforme des «maths modernes » dans les années 1970.

Cette réforme, ambitieuse en théorie, mais abstraite jusqu'à l'absurde dans ses programmes, a conduit à un grave échec. Pourtant l'influence de Bourbaki dans sa promotion a été nulle.

THÉORÈME ET DÉFINITION.

Quels que soient les couples (D_1, D'_1) et (D_2, D'_2) de demi-droites vectorielles de $\mathcal{E}_2$ la relation :
«Il existe une rotation vectorielle f de $\mathcal{E}_2$ telle que
$f(D_1) = D'_1$ et $f(D_2) = D'_2$»
est une équation d'équivalence dans D x D, D représentant l'ensemble des demi-droites vectorielles de $\mathcal{E}_2$.
Toute classe d'équivalence pour cette relation est appelée **angle de deux demi-droites vectorielles de $\mathcal{E}_2$.**

Définition de l'angle de deux demi-droites en classe de Première en 1971, sans figure !

Laurent Schwartz (1915 - 2002) émet une opinion semblable à celle de de Possel: « *On a peu à peu remplacé la richesse des anciennes mathématiques des lycées : théorèmes, figures géométriques, relations entre les mathématiques et les autres sciences, par une pléthore d'axiomes et de définitions, incompréhensibles pour une bonne partie des élèves et très pauvres en résultats*».

La commission qui est créée en janvier 1967, présidée par le grand mathématicien **André Lichnerowicz (1915 - 1998)** préconise une pédagogie « *active, ouverte, la moins dogmatique possible, faisant appel au travail par groupe et à l'imagination des enfants et proscrit le jargon impénétrable, le symbolisme abscons et les austères abstractions*».

Cette commission n'a aucun rapport avec Bourbaki. La présence de Jean Dieudonné n'y est justifiée que par son niveau en mathématique et son intérêt pour l'enseignement. Il n'intervient pas en tant que bourbakiste. D'ailleurs, il est lui-même extrêmement net sur l'esprit qui doit présider à la réforme : « *On ne peut développer avec fruit une théorie mathématique sous la forme axiomatique que lorsque l'étudiant s'est déjà familiarisé avec la question à laquelle elle s'applique, en travaillant pendant un certain temps sur la base expérimentale, ou semi-expérimentale, c'est-à-dire en faisant constamment appel à l'intuition* ».

Pour de nombreuses raisons, la mise en oeuvre de la réforme échappera à ses concepteurs. Si Bourbaki, n'est pas responsable de la réforme des maths modernes, ses thèses ont servi de caution théorique à des enseignants mal formés pour l'appliquer rapidement, avec le résultat que l'on connaît.

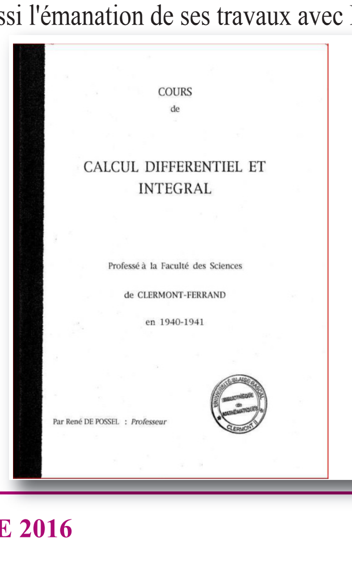
6 - TRAVAUX ET ENSEIGNEMENT

De 1933 à 1934, il enseigne à Marseille, puis est nommé Professeur à l'université de Clermont-Ferrand. Il est aussi professeur au Collège de France où il assure un cours de théorie abstraite de la mesure et de l'intégration. Après un retour sur Marseille puis Besançon, il revient à l'université de Clermont-Ferrand en 1938. A sa demande, il sera ensuite professeur de mathématiques pendant 18 ans à Alger (1941-1959)

Il réalise avec son assistant Jean Pouget, des films d'analyse sur les fonctions continues sans dérivée et les fonctions auto-similaires

Pionnier dans la théorie mathématique des jeux stratégiques (après Blaise Pascal et Emile Borel), il publie « Sur la théorie mathématique des jeux de hasard et de réflexion » (1936).

Il publie son cours « Calcul différentiel et intégral » directement inspiré de Bourbaki en 1940 « Les théories modernes de l'intégration» en 1946, sont aussi l'émanation de ses travaux avec Bourbaki.



Il publie ensuite un nombre considérable d'articles : « Sur l'indétermination de la puissance d'un torseur réparti » ; « Les principes mathématiques de la mécanique classique » ; « Initiation à la topologie » ; « Sur les systèmes dérivants et l'extension du théorème de Lebesgue relatif à la dérivation d'une fonction à variation bornée » ; «La notion physique d'énergie vis-à-vis des définitions du travail et de la force ».

A partir de 1959 il est professeur d'analyse numérique à la faculté des sciences de Paris jusqu'en 1962.

Il continue de publier des articles d'importance majeure : « Deux lemmes sur les variétés à deux dimensions, et leur application au polygone fondamental d'une variété conforme prolongeable » ; « Sur les variétés à deux dimensions, les ensembles de capacité maximale et le prolongement des variétés conformes » ; « Sur l'existence d'ensembles d'entiers qui interviennent en théorie ergodique » ; Graphes et jeux de "prise" qui est une nouvelle contribution à la théorie des jeux (ici une théorie sur le jeu de Marienbad et sur plusieurs variantes)

En 1962, à l'occasion du tricentenaire de la mort de Blaise Pascal il présente un important colloque international de mathématiques à Clermont Ferrand sur le traitement de l'information par les machines. Il est alors Professeur et Directeur de l'Institut de Programmation à la Faculté des Sciences de Paris et Directeur du Laboratoire de Calcul Numérique du CNRS.

Sans les résumés d'interventions des congressistes, il introduit avec autorité et de façon détaillée les sessions de logique mathématique, calcul des probabilités, géométrie et physique mathématique, analyse numérique et enfin traitement automatique de l'information. La qualité de cette présentation, presque improvisée, montre la grande maîtrise qu'il avait de ces vastes domaines.

7 - L'AFFAIRE AUDIN, DE RENÉ DE POSSEL A CEDRIC VILLANI

Alger 1957, le général Massu a tous pouvoirs avec la 10e division parachutiste, pour pacifier la ville. L'armée procède à des arrestations massives, internant les détenus dans des centres où l'on recourt à la torture pour obtenir des informations.

Maurice Audin, jeune assistant de mathématique de René de Possel, à la Faculté des Sciences d'Alger et membre du Parti Communiste Algérien est arrêté. Il terminait alors sa thèse. Il meurt dans des conditions jamais complètement élucidées. Mais en 1957, la thèse officielle est que Maurice Audin a disparu après s'être évadé.

Maurice Audin (1932 - 1957)

Après la disparition de Maurice Audin, René de Possel, son directeur de thèse, rassemble et met en ordre ses notes, puis propose le tout comme thèse de Doctorat. Cette proposition est d'abord refusée, mais l'émotion est immense, surtout dans les milieux universitaires. C'est alors que Laurent Schwartz (entre autres) impose l'imparable raisonnement suivant : « *Si Audin n'est pas mort, mais empêché, rien n'interdit une soutenance in absentia* ».

René de Possel présente ainsi les travaux de son thésard le 2 décembre 1957. Cette soutenance extraordinaire est relatée dans le journal « Le Monde » du lendemain :

« C'est M. de Possel, professeur à la faculté des sciences d'Alger, aujourd'hui détaché au C.N.R.S., qui, en qualité de directeur de thèse et à titre d'« invité », a présenté les deux travaux de M. Audin : « Equations linéaires dans un espace vectoriel » et « Cycles limites dans les systèmes différentiels ».

Le jury était présidé par M. Favard, professeur à la faculté des sciences de Paris, et composé de MM. Schwartz et Dixmier, respectivement professeur et maître de conférences à la même faculté.

« M. Audin est-il là ? »

- Non, a constaté au début de la séance le président du jury. Dans ces conditions, conformément aux instructions de M. le doyen, la soutenance va avoir lieu. Je donne la parole à M. de Possel, qui a dirigé les travaux de M. Audin. »

Aussitôt après, et pendant trois quarts d'heure, M. de Possel a présenté le manuscrit du candidat en couvrant le tableau noir d'équations et de formules que commentait parfois d'un mot le rapporteur de la thèse, M. Schwartz.

A l'issue de l'exposé, ce dernier a indiqué que le manuscrit soumis au jury présentait certaines lacunes matérielles, mais qu'il avait été laissé dans cet état «par fidélité». M. Schwartz indiqua encore que le travail représentait une bonne contribution aux mathématiques modernes. Il attestait une « solide culture » et apportait des « idées originales ». «M. Audin avait d'autres idées, a ajouté M. Schwartz. D'autres chercheurs, nous l'espérons, pourrons les développer à sa place. »

Le jury s'est alors retiré pour délibérer et trois minutes après est revenu dans l'amphithéâtre.

« L'exposé qu'a fait M. de Possel, a déclaré alors M. Favard, montre l'importance du travail présenté ; il témoigne d'une grande maîtrise de moyens et d'un talent d'autant plus précieux qu'il est plus rare. Les résultats de cette thèse pourront connaître dès demain de nombreuses applications. La faculté veut apporter ici son témoignage à Mme Audin et à ses parents. A l'unanimité, le jury a décidé que le doctorat ès sciences mathématiques est accordé à M. Audin avec mention très honorable. Je vous demande de ne pas applaudir, mais seulement d'observer une minute de silence. Merci. »

Après une minute de recueillement, l'assistance a quitté l'amphithéâtre dans le plus grand calme.

L'atmosphère générale de la « cérémonie », le nombre comme la qualité de l'assistance, confirment qu'il ne s'agissait pas simplement d'un « acte pédagogique ». Alors que les personnes en mesure de comprendre l'exposé de M. de Possel auraient sans doute pu tenir dans une modeste salle de travaux pratiques, le grand amphithéâtre de la Sorbonne n'aurait pas été trop vaste pour accueillir l'auditoire.

Comme la salle des thèses (soixante places), d'abord réservée pour la soutenance, l'amphithéâtre de physiologie, finalement choisi, a été trop exigu malgré ses trois cent cinquante places. Des auditeurs stationnaient dans les couloirs aux abords de la salle, et l'on peut évaluer à près d'un millier le nombre des personnes présentes ».

Un Prix de Mathématiques Maurice Audin est rapidement créé, qui récompense un mathématicien exerçant en France et un autre exerçant en Algérie.

Aujourd'hui, le président du prix Maurice Audin est Cédric Villani, mathématicien français, professeur des Universités et directeur de l'Institut Henri Poincaré. Lauréat en 2010 de la médaille Fields, il s'investit beaucoup dans la communication, pour faire comprendre au plus grand nombre certaines avancées des mathématiques contemporaines. Pour remettre ce prix de part et d'autre de la méditerranée, il était présent à Alger le 12 mars 2014, et c'est lui qui a présidé la cérémonie du 18 juin dernier, dans les locaux de l'Institut Henri Poincaré.

« *C'est avec émotion que j'ouvre cette séance de remise du prix Maurice Audin, en présence de la famille Audin, Josette et Pierre, en présence du président et du trésorier de l'association Maurice Audin. (...)*

Je commencerai par une très brève évocation de la mémoire de Maurice Audin. Né en 1932 à Beja, mort à Alger en 1957, Maurice Audin était un mathématicien français, assistant à l'université d'Alger et militant de l'indépendance algérienne. Si tout le monde le connaît, c'est en particulier pour son engagement courageux au service de cette cause, l'indépendance algérienne, et la disparition, jamais officiellement élucidée, qui l'a fauché, alors qu'il était en train de terminer sa thèse, l'arrachant brutalement à l'affection de ses proches et à la communauté.

En décembre 1957 déjà, le grand mathématicien René de Possel, directeur de thèse de Maurice Audin, avait soulevé l'émotion en faisant soutenir la thèse in absentia, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, devant une foule rassemblée pour l'occasion. Le jury était composé de Jean Favard, Jacques Dixmier, et Laurent Schwartz, bien connu lui aussi pour son engagement humaniste. René de Possel lui-même avait exposé les travaux de Maurice Audin qui avait obtenu la mention très honorable. Laurent Schwartz rappelle cet épisode dans ses mémoires avec émotion.

Je me suis rendu, en mars dernier, à Alger, à l'occasion, entre autres, de la remise de ce prix du côté algérien, et cela a aussi été une grande émotion pour moi, de voir le nom d'Audin affiché un peu partout, et la place qui porte son nom. En tant que mathématicien, je dois dire que nous sommes fiers de compter Maurice Audin dans notre communauté : un symbole fort d'engagement scientifique et moral, que nous saluons avec admiration.

Commémoration sur la place Maurice Audin à Alger en mars 2014

C'est l'une des fonctions de ce prix scientifique : saluer la mémoire de ce militant courageux. Et à Alger, le 12 mars dernier, en présence du ministre de l'enseignement supérieur, a eu lieu une évocation très émouvante et parfois très dure de Maurice Audin, et du sort qu'il a connu ; cette présentation a été faite par l'un de ses camarades.

Aujourd'hui, satisfaisant à une requête de longue date, c'est le Président de la République française, François Hollande, qui a tenu à s'exprimer après avoir reçu Pierre et Josette Audin. Je vais vous donner lecture de ce texte, transmis par le Président pour lecture publique.

Aujourd'hui est remis le Prix AUDIN de mathématiques, en mémoire de Maurice AUDIN, jeune professeur et militant de l'Algérie indépendante.

Depuis mon entrée en fonction, j'ai fait de l'exigence de vérité la règle à chaque fois qu'il est question du passé de la France.

C'est cette exigence qui m'a guidé quand, à l'occasion de mon voyage à Alger en décembre 2012, j'ai rappelé notre devoir de vérité sur la violence, sur les injustices, sur les massacres, sur la torture.

C'est cette exigence qui m'a conduit à ordonner que soient engagées des recherches sans précédent dans les archives du ministère de la Défense, afin de découvrir si des documents officiels permettaient d'éclairer de façon définitive les conditions de la disparition de M. AUDIN en juin 1957.

Ces recherches n'ont pas permis de lever les incertitudes qui continuent d'entourer les circonstances précises de la mort de M. AUDIN, que la Justice n'a plus les moyens d'éclairer. C'est aux historiens qu'il appartient désormais de les préciser.

Mais les documents et les témoignages dont nous disposons aujourd'hui sont suffisamment nombreux et concordants pour infirmer la thèse de l'évasion qui avait été avancée à l'époque. M. AUDIN ne s'est pas évadé. Il est mort durant sa détention.

C'est ce que j'ai voulu signifier en me rendant le 20 décembre 2012 place Maurice AUDIN à Alger, devant la stèle qui honore sa mémoire.

C'est ce que j'ai dit à Mme AUDIN en la recevant le 17 juin 2014, 57 ans après la disparition de son mari à l'égard duquel un devoir de mémoire et de vérité nous oblige.

Comme le rappelle le Président, nous avons un devoir de mémoire et de vérité ; il est extrêmement important de ne pas oublier le passé, ainsi que les idéaux pour lesquels certains généreux confrères ont donné leur vie.

Il faut aussi bien sûr regarder vers l'avenir, et c'est de cela aussi qu'il est question avec ce prix Audin.

À l'occasion de la remise de ce prix du côté algérien, j'avais eu l'occasion de donner un exposé et de rencontrer les étudiants du lycée d'élite de Kouba, de jeunes étudiants algériens extrêmement motivés, et l'ambiance de travail et d'espoir qui y régnait faisait partie de l'importance de ce prix Audin.

Le prix est fait dans cet état d'esprit : regarder vers l'avenir, avec un double rôle : favoriser la coopération entre la France et l'Algérie, au niveau scientifique, favoriser la fraternité entre les scientifiques et les humains en général ; et aider le milieu mathématique algérien à progresser et à prendre place sur la scène internationale.

Le rôle de coopération entre l'Algérie et la France est reflétée par le fait que le jury du prix Maurice Audin est constitué de personnalités françaises et algériennes, de premier plan dans le domaine mathématique. C'est un prix scientifique, attribué pour la qualité de travaux de recherche. Il est attribué aussi pour une démarche : une démarche d'ouverture, une démarche de collaboration. Il est destiné à favoriser la qualité de la recherche scientifique, et non la quantité - avec l'idée que c'est le travail de pointe qui est le plus important dans la recherche. Le prix est décerné tous les deux ans. Deux mathématiciens qui ont joué un rôle très important, durant ces dernières années, pour assurer le Prix Audin sont Wendelin Werner, médaille Fields 2010, dont je salue le travail ces dernières années au sein du jury, et Gerard Tronel, qui s'est exprimé tout à l'heure, et qui a été la cheville ouvrière du prix.

Le prix Maurice Audin acquiert une importance de plus en plus grande, non seulement du fait de son contexte, mais aussi du fait de l'importance grandissante des sciences mathématiques dans notre monde. Ces sciences s'invitent dans tous les défis technologiques, dans notre économie, et dans le progrès, comme le prouvent les efforts de plus en plus importants consentis dans ce domaine par les pays qui souhaitent le plus s'affirmer sur la scène mondiale.

Également important à travers cette célébration des mathématiques est le rôle de formation de l'esprit, et d'exigence intellectuelle, qui est associé à la discipline avec toute sa rigueur, répondant à l'exigence intellectuelle dont Maurice Audin a fait preuve.

L'Institut Henri Poincaré, depuis l'an dernier, a émis le souhait, en accord avec l'association Maurice Audin, d'être associé de près à ce prix, et s'apprête à le parrainer au travers de conventions qui sont en cours de préparation. Je m'exprime ici donc à la fois en tant que directeur de l'Institut Henri Poincaré et en tant que représentant du jury. C'est l'occasion de rappeler que cet institut a été créé également pour favoriser les échanges internationaux, et a été créé aussi dans un contexte dur, au lendemain de la première guerre mondiale et de l'anéantissement politique de la science européenne. Nous sommes fiers de reprendre le prix Audin parmi nos missions. »

Douze ans plus tard, René de Possel évoquait encore avec émotion cette étape de sa vie devant un portrait de Maurice Audin accroché au mur de son bureau. Il aurait eu presque l'âge de son fils, Yann.

8 - RENÉ DE POSSEL, DIRECTEUR DE L'INSTITUT BLAISE PASCAL.

En 1946, le CNRS, décide de créer une structure destinée à orienter des recherches en traduction automatique et de mettre en oeuvre les moyens de calcul indispensables à la recherche française. L' Institut Blaise Pascal est créée avec Louis Couffignal comme directeur. Mais en 1954 la France est très en retard, il n'existait toujours pas de machine numérique en France. Louis Couffignal sera remercié pour cette raison.

Mais il faudra attendre 1957 et l'arrivée de Jean Coulomb (1904-1999), comme Directeur Général du CNRS, pour conduire la transition.

Jean Coulomb, bourbakiste de la première heure, fait venir d'Alger son ancien camarade de classes préparatoires, René de Possel. Il l'impose d'abord à la tête du Laboratoire de Calcul Numérique del'Institut Henri-Poincaré, puis comme successeur de Couffignal à l'Institut Blaise-Pascal.

Tant au CNRS qu' à l'université, René de Possel bénéficie d'une réputation de brillant mathématicien reconverti du bourbakisme aux mathématiques appliquées. C'est ainsi qu'une chaire d'analyse numérique est créée, pour lui, en 1959 à Paris.

Complétant ce dispositif (calcul, recherche, enseignement universitaire, formation continue), de Possel fonde en 1962 un institut de programmation destiné à former des ingénieurs en informatique. l'Institut de Programmation deviendra, quelques années plus tard, le Laboratoire d'Informatique de Paris 6. Avec René de Possel, l'Institut Blaise-Pascal acquiert un ordinateur par an de 1957 à 1966, et attire de nombreux étudiants en exerçant un rayonnement international certain. L'effectif de l'IBP, passe de 40 personnes en 1961, à plus de 140 en 1965.

En 1962, les ordinateurs sont extraits de la cave de l'Institut Henri-Poincaré et du site de Châtillon (ONERA) et regroupés rue du Maroc dans le XIX^{e} arrondissement. René de Possel reçoit des contrats de divers organismes de recherche français et étrangers, et construit un vaste réseau de relations internationales, à l'Est comme à l'Ouest. Il est élu président du conseil du Centre international de calcul de Rome.

Grâce à ses appuis dans la hiérarchie du CNRS, mais aussi au plus haut niveau du gouvernement, il reçoit des moyens considérables (la moitié des crédits du CNRS dédiés à l'équipement informatique). De Possel crée un DEA d'analyse numérique, où il introduit une option « logique et informatique ». Celle-ci constituera la base du DEA d'informatique. Il crée aussi le RAMI (laboratoire de recherches avancées en moyens informatiques) en 1966, qui deviendra un laboratoire propre du CNRS en 1974.

L'Institut de Programmation joue un rôle majeur dans la formation des informaticiens parisiens. Il délivre des diplômes « Programmeur d'application », « Programmeur d'études », « Expert en traitement de l'information », qui ne sont assimilés à aucun titre académique, mais qui correspondent simplement à la demande du marché. L'espoir de faire reconnaître un titre d'ingénieur en traitement de l'information est toutefois déçu et abandonné après « *la levée de boucliers syndicale devant la perspective de créer un comité des études où auraient siégé des industriels, entraînant une mainmise du grand capital sur la formation universitaire* ».

Sous la pression de la demande et des crédits accordés, l'Institut Blaise-Pascal devient une usine à calcul. Elle ne peut être gérée selon les pratiques de la recherche mathématique. Son responsable, Louis Nolin (adjoint de René de Possel) ne peux répondre à des impératifs contradictoires touchant à la réactivité demandée par les entreprises clientes d'une prestation de service et à la lourde bureaucratie du CNRS. Par ailleurs, la gestion des salaires d'informaticiens est peu compatible avec la grille de traitements de la fonction publique. René de Possel se déclarait profondément ennuyé par les tâches administratives ou routinières. Ce brillant mathématicien ne pouvait pas être un gestionnaire de prestations de service d'un centre de calcul.

1969, le CNRS transforme alors l'IBP en une fédération de laboratoires et de centres de service sous le contrôle d'un administrateur commun.

9 - LA LECTURE AUTOMATIQUE DE CARACTERES

Dans un contexte de guerre froide, le Ministère de la Défense et le SDECE financent l'Institut Blaise Pascal pour la conception d'une méthode de traduction automatique.

Le directeur du Laboratoire de Calcul Numérique, René de Possel, et son sous-directeur, André Lentin, joueront un rôle important dans l'interaction entre mathématiques appliquées, langages formels et linguistique.

De Possel identifie immédiatement un préalable à la traduction automatique, c'est la reconnaissance automatique des caractères, qui représente déjà en soi un vaste champ d'étude. C'est une opération particulièrement complexe et ardue.

Si la lecture automatique des textes imprimés est actuellement réalisée par des logiciels largement répandus (OCR), c'est lui qui a construit et fait fonctionner en 1969 la première machine à lire automatiquement les textes imprimés.

De nombreux écrits jalonnent son activité bien éloignée de ses réflexions sur la topologie ou le calcul intégral de son début de carrière.

United States Patent [19] [11] **3,934,225**
de Possel [45] **Jan. 20, 1976**

Brevet américain sur la reconnaissance de caractères

[54] **SYSTEM FOR SCANNING AND IDENTIFYING STANDARDISED CHARACTERS AT HIGH SPEED**

[76] Inventor: **Rene de Possel,** 55, avenue du Panorama, 92340 Bourg la Reine, France

[22] Filed: **Jan. 15, 1974**

[21] Appl. No.: **433,438**

[30] **Foreign Application Priority Data**
Jan. 19, 1973 France 73.01923

[52] **U.S. Cl.** .... **340/146.3 J;** 340/146.3 MA
[51] **Int. Cl.²** **G06K 9/12**
[58] **Field of Search**........... 340/146.3 R, 146.3 MA, 340/146.3 J, 146.3 AC, 146.3 Y, 146.3 AQ

[56] **References Cited**
UNITED STATES PATENTS
3,346,845 10/1967 Fomenko .... 340/146.3 Y

Primary Examiner—Leo H. Boudreau

[57] **ABSTRACT**

This invention relates to a system for scanning and identifying characters in a document carrying a text made up of equidistant parallel lines of equal length placed one below another, some lines possibly being blank. The system includes means for scanning the text in successive transverse sweeps during each of which a transverse band covering a small number of lines of writing is scanned. The document is movable relative to the fixed position of the band so that, between one transverse sweep and the next, each line of writing comes into substantially the same position as the line before. Each band is itself scanned at a frequency T in J equidistant columns, each of said columns being divided into a number N of small areas which form a line. The said scanning means supplies N electrical signals formed by a "0" or a "1" which correspond respectively to the whites and blacks and vice versa in the text.

10 Claims, 41 Drawing Figures

Même s'il aborde le problème sous un angle mathématique, il s'agit de mathématiques tellement appliquées qu'elles peuvent relever de la propriété intellectuelle. Plusieurs demandes de brevet sont ainsi déposées en France ou aux USA.

Des écrits plus académiques sont aussi produits, ils mettent en valeur les travaux de René de Possel sur l'un de ses derniers sujets d'étude avant sa retraite du RAMI.

10 - REFLEXIONS SUR LES CONJECTURES ET LA RECHERCHE EN MATHEMATIQUE.

René de Possel aimait les jeux mathématiques et s'en servait pour faire passer adroitement des notions qui seraient restées inaccessibles autrement. Outre les jeux de stratégie (par exemple le jeu de Marienbad), il portait un intérêt particulier aux conjectures (conjecture de Syracuse et conjecture de Riemann par exemple).

Une conjecture est une proposition pour laquelle on ne connaît pas encore de démonstration, mais que l'on soupçonne d'être vraie, en l'absence de contre-exemple qui viendrait la réfuter. Même si un très grand nombre d'exemples vérifient la conjecture, cela ne permet pas de dire que la conjecture est vraie.

Les conjectures sont l'un des moteurs de la recherche mathématique.

Quand une conjecture est démontrée, elle devient un théorème et rejoint la liste des faits mathématiques.

Une conjecture peut être choisie comme hypothèse pour étudier d'autres énoncés, mais si elle est réfutée, elle devient inutilisable tout comme les développements mathématiques qui s'appuyaient sur elle.

Enfin une conjecture peux se révéler indécidable relativement au système d'axiomes dans laquelle elle s'insère, elle peut être érigée en nouvel axiome (ou rejetée par la mise en place d'un nouvel axiome).

Le théorème d'incomplétude de Kurt Gödel montre en effet que dans toute théorie qui contient l'arithmétique, il existe des propositions qui, quoique démontrables pour chacun des entiers, ne peuvent pas être démontrées en tant que théorème sur tous les entiers.

10.1 - LA CONJECTURE DE SYRACUSE

La conjecture de Syracuse (ou problème de Collatz), se présente de manière très simple.

Partons d'un entier naturel différent de 0. S'il est pair, on le divise par deux, s'il est impair, on le multiplie par 3 et on lui ajoute 1, puis on réitère.

Tous les essais montrent que la suite de nombres obtenue converge vers 4, 2, 1.

On conjecture donc que l'on finit toujours par trouver la valeur 1 à la fin des calculs, valeur à partir de laquelle on restera bloqué dans le cycle 1, 4, 2, 1,...

Il faudrait donc démontrer que pour l'infinité des nombres naturels il y a une convergence de la suite, et que cette convergence se produit sur le cycle 1, 4, 2, 1 et pas sur un autre cycle.

L'énoncé est si simple, qu'il est étonnant que personne n'ait pu résoudre ce problème posé depuis le milieu du XX ième siècle, malgré le travail de nombreux mathématiciens éminents.

$\mathbf{u_{n+1} = u_n /2}$ **si** $\mathbf{u_n}$ **pair**

$\mathbf{u_{n+1} = 3u_n + 1}$ **si** $\mathbf{u_n}$ **impair**

La démonstration est évidente pour les puissances de 2, c'est à dire pour les nombres tels que $\mathbf{u_n = 2^k}$ qui par définition sont tous pairs.

De même pour les nombres de type $\mathbf{u_n = 4k+1}$, puisque ,

$\mathbf{u_{n+1} = 12k+4,\ u_{n+2} = 6k+2,\ u_{n+3} = 3k+1 < u_n}$

La démonstration est aussi simple pour les nombres de type $\mathbf{u_n = 4k+2}$ et pour un très grand nombre de familles d'entiers. Ainsi il a par exemple été possible de démontrer en s'aidant d'un ordinateur, que les nombres de type **65536k + i avec i < 65535** convergent bien vers le cycle limite.

Grâce à ce type de démonstration, la conjecture a été démontrée pour près de 98% des entiers naturels. Dans toute science, une vérification de cette ampleur serait suffisante pour conclure que la proposition est vraie. Le mathématicien ne s'en satisfera pas car même si cette proposition n'est que de peu d'intérêt pratique pour d'autres réflexions, il en recherchera une démonstration complète avec l'espoir d'ouvrir un nouveau champ mathématique, de développer un nouvel outil ou encore d'établir une connexion entre deux domaines a priori éloignés. Dans le cas de la conjecture de Syracuse, il est certain que si elle est un jour démontrée, cette démonstration (ou ses conséquences) aura plus d'intérêt et d'utilité que la proposition elle même.

Confronté à un problème difficile, le mathématicien envisagera des angles d'attaque multiples. Par exemple une approche probabiliste pour la conjecture de Syracuse En tenant compte du fait qu'un nombre impair donne un nombre pair et que ce dernier va être divisé par deux ensuite, et qu'il y a dans l'ensemble des entiers naturels autant de pairs que d'impairs, après N opérations, le nombre initial a en moyenne été multiplié N/2 fois par (1/2) pour les pairs et N/2 fois par environ (3/2) pour les impairs. Donc après N opérations, le nombre initial a en moyenne été multiplié par $(3/4)^N$ qui tend vers 0. Cette décroissance renforce l'idée que la conjecture est vraie. Cependant rien ne permet d'exclure que la convergence se fasse sur un autre cycle que le cycle 1, 4, 2, 1.

Une autre réaction du mathématicien pourra être de généraliser le problème avant de s'y attaquer.

Pour la conjecture de Syracuse, si l'on prend comme règle pour $\mathbf{u_n}$ impair : $\mathbf{u_{n+1} = qu_n + 1}$ avec q impair, John Conway a démontré que pour certaines valeurs de q >3, la conjecture est fausse. Mais il a aussi montré que des extensions de la conjecture de Syracuse, conduisaient à un problème indécidable.

Donc, bien que la conjecture soit vraie au moins pour des entiers jusqu'à $\mathbf{2^{62}}$, il n'y a pas de certitude pour la totalité de ℕ. Il n'est donc pas possible de parler de théorème de Syracuse.

10.2 - LA CONJECTURE DE RIEMANN

Contrairement à celle de Syracuse, la conjecture de Riemann est un véritable carrefour des mathématiques ; elle est utilisée dans un grand nombre de théories où on la considère comme vraie, et on parle plutôt d'hypothèse de Riemann. Toutes les démonstrations qui reposent sur la véracité de la conjecture tomberaient donc si elle se révélait fausse. L'hypothèse de Riemann a en outre des connexions avec la physique ; il y a donc un intérêt majeur à la démontrer ou la réfuter. Elle concerne les nombres premiers, et plus particulièrement leur distribution.

Un nombre premier est un entier naturel supérieur à 1, qui n'admet comme diviseur que 1 et lui même. Par exemple : 2, 3, 5,7, 11, 13, sont des nombres premiers. Il existe une infinité de nombres premiers, comme le démontre esthétiquement Euclide. Comment les nombres premiers sont ils répartis dans l'ensemble des entiers naturels ? Cette question a agité les plus grands mathématiciens, elle a engendré des ponts entre des domaines différents ainsi que la création de nouveaux outils mathématiques ou encore l'ouverture de nouveaux domaines.

Depuis plus d'un siècle la question de la somme des inverses des carrés des entiers est posée, quand Euler démontre en 1748 que cette somme vaut :

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}.$$

C'est le théorème d'Euler, qui fait apparaître un lien entre les nombres naturels et un nombre transcendant.

Mais Euler va plus loin, et pour généraliser son théorème, définit une fonction zéta sur les nombres réels supérieurs à 1 par :

$$\zeta(k) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^k}.$$

Il démontre alors que cette fonction zéta peut s'exprimer exclusivement à partir des nombres premiers p, en faisant le produit suivant jusqu'à l'infini

$$\zeta(k) = \prod_{p \in \mathcal{P}} \frac{p^k}{p^k - 1}$$

Il existe donc un lien, inconnu jusque là, entre les nombres premiers et les entiers naturels.

Devant une répartition des nombres premiers qui semble anarchique, Legendre étudie une technique de comptage (1785). Pour cela, il définit le nombre de nombres premiers plus petits que x, qu'on appelle aujourd'hui la fonction de compte des nombres premiers, notée π(x). Gauss travaille aussi sur ce sujet, et parvient à la conjecture de Gauss Legendre selon laquelle π(x), pour les grandes valeurs de x, se comporte comme la fonction x/ln(x), où ln est la fonction logarithme népérien.

Tchebycheff, pour la première fois dans l'histoire des mathématiques, conduit une démonstration en utilisant des inégalités pour encadrer la quantité sur laquelle porte la conjecture de Gauss Legendre. Il établit ainsi que, pour x grand, avec A ≈ 0,92 :

$$A\frac{x}{\ln x} \le \pi(x) \le \frac{6}{5}A\frac{x}{\ln x}$$

Il faudra attendre 1896 et les travaux de Hadamard d'une part, et La Vallée Poussin d'autre part, pour que l'égalité soit démontrée de façon indépendante par les deux mathématiciens.

$$\lim_{x\to+\infty} \pi(x)\frac{\ln(x)}{x} = 1.$$

C'est le théorème des nombres premiers : le nombre π(x) de nombres premiers inférieurs ou égaux à x est équivalent, lorsque le réel x tend vers +∞, au quotient de x par son logarithme népérien. La densité des nombres premiers est donc bien décroissante, comme on avait pu le conjecturer. Sans entrer dans le détail de cette démonstration, il faut souligner qu'elle aurait été impossible sans l'utilisation d'une nouvelle fonction, la fonction zéta de Riemann. Cette fonction a la même formulation que celle d'Euler, sauf que la fonction zéta de Riemann est définie sur l'ensemble des nombres complexes. Avec s = σ + i

C'est le théorème des nombres premiers : le nombre $\pi(x)$ de nombres premiers inférieurs ou égaux à x est équivalent, lorsque le réel x tend vers $+\infty$, au quotient de x par son logarithme népérien. La densité des nombres premiers est donc bien décroissante, comme on avait pu le conjecturer. Sans entrer dans le détail de cette démonstration, il faut souligner qu'elle aurait été impossible sans l'utilisation d'une nouvelle fonction, la fonction zéta de Riemann. Cette fonction a la même formulation que celle d'Euler, sauf que la fonction zéta de Riemann est définie sur l'ensemble des nombres complexes. Avec $s = \sigma + it$

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

σ est la partie réelle de s et t sa partie imaginaire. La fonction ζ de Riemann est obtenue par prolongement analytique de la fonction ζ d'Euler.

Cette fonction ζ de Riemann, particulièrement compliquée, est loin d'être bien comprise et fait l'objet toujours actuellement d'intenses recherches très techniques.

C'est en donnant une relation, liant les zéros de sa fonction (les valeurs de s telles que $\zeta(s)=0$), à la fonction de compte des nombres premiers, $\pi(x)$, que Riemann permet la démonstration du théorème des nombres premiers. Il établit en outre que la position des zéros de la fonction ζ, fournit la position des nombres premiers. Certains zéros sont évidents, on les appelle les zéros triviaux, ce sont les valeurs paires négatives de s (-2 -4 -6...). Riemann découvre que la partie réelle $\sigma = ½$ joue un rôle particulier etconcentre ses recherches sur la fonction $\zeta = ½ + it$.

En 1859, il conjecture que les zéros non triviaux sont tous situés sur cet axe $\sigma = ½$. C'est la conjecture de Riemann.

Dans le séminaire Bourbaki de novembre 2002, Stéphane Fischler rapportait qu'elle était vérifiée numériquement sur plus de 1 500 000 000 zéros !

D'ailleurs, souvent dans les séminaires Bourbaki, ce sujet est abordé avec la présentation de nouvelles contributions.

Hilbert et Polya montrent que la conjecture de Riemann serait démontrée si l'on pouvait trouver un opérateur **H** dont les valeurs propres (nécessairement réelles) soient exactement les parties imaginaires $\mathbf{E_k}$ des zéros non triviaux. Ce qui s'écrit : $\mathbf{H\ \psi_k = Ek\ \psi_k}$.

Si un tel opérateur **H** n'a pas encore été trouvé explicitement à ce jour, la ressemblance avec l'équation de Schrödinger sous sa forme la plus compacte : $\mathbf{H\ \psi = E\psi}$ est troublante. Un lien avec la mécanique quantique est suggéré.

1976, de manière fortuite, le physicien théoricien Freemann Dyson découvre qu'une équation présentée par un théoricien des nombres, Montgomery, est semblable à celle qu'il a lui même établi dix ans plus tôt.

D'une discussion entre les deux hommes, il résulte que les niveaux d'énergie d'un système dynamique complexe suivent la même loi que les sauts entre zéros non triviaux de la fonction ζ de Riemann. En 1996, il est démontré que ce n'est pas une simple analogie ; il s'agit fondamentalement de la même équation si l'hypothèse de Riemann est juste.

Depuis, les deux domaines, théorie des nombres et physique théorique ne cessent de s'enrichir mutuellement, en confirmant qu'il y a un point commun entre la répartition des nombres premiers et la physique quantique. Alain Connes, qui a reçu les plus grandes distinctions en mathématique, souligne le lien entre ces deux univers mystérieux, celui des particules élémentaires et celui des nombres premiers. René de Possel aurait apprécié !

Nous sommes en un point où l'histoire nous fait un clin d'oeil : tout entier étant le produit de nombres premiers, ces derniers en sont les briques élémentaires ; Euclide les appelait «les nombres protons».

Pour en savoir plus :

Sur l'activité de René de Possel

* Colloque de Clermont-Ferrand Annales scientifiques de l'université tome 7 (1962)
* De Bourbaki à la machine à lire: Journée d'hommage à René de Possel, [16 novembre 1994].
  Mémoire algérienne, Henri Alleg, Stock, 2005

Sur le groupe Bourbaki :

* Bourbaki Une société secrète de mathématiciens, collection Les génies de la science Belin 2002.
* Mathématique, Jacques Roubaud, éditions du seuil 1997
* N. Bourbaki, l'Auvergnat par Paul-Louis Hennequin, Auvergne-Sciences, N°58, Juin 2004

Sur l'affaire Audin

* Une vie brève, Michele Audin, Gallimard
* La raison d'état, Vidal Naquet, Éditions de Minuit, 1962
* La Vérité sur la mort de Maurice Audin, Jean-Charles Deniau, édition Équateurs, 2004

Sur les « maths modernes »

* L'enseignement des mathématiques au XXe siècle dans le contexte français, Hélène Gispert,Université Paris Sud.
* Du calcul aux mathématiques ? L'introduction des «maths modernes» dans l'enseignement primaire français, 1960-1970, Renaud d 'Enfert, IUFM de l'académie de Versailles

Sur les brevets en reconnaissance optique des caractères (OCR) :

* Demande de brevet français: système d'exploration et d'identification à grande vitesse de caractères normalisés déposé le 13 janvier 1973 sous le n° 73-01-923. René De Possel.
* Demande de brevet français: le dispositif électronique analyseur des signes d'un microfilm. René de Possel.
* System for scanning and identifying standardised characters at high speed by Rene de Possel patent US 3934225.

Sur la recherche académique en lecture automatique :

* Le fonctionnement du laboratoire de calcul numérique de l'institut Blaise Pascal. L'équipement dont il dispose et les principales recherches qui y sont poursuivies Bologna, 19-22 maggio 1963
* Les résultats obtenus du RAMI "laboratoire de recherches avancées en moyens d'informatique de 1968-1972" en reconnaissance des formes et en particulier en lecture automatique.
* La machine à lire universelle et la reconnaissance des formes, mars 1972

Sur la conjecture de Syracuse

La conjecture de Syracuse, par Jean-Paul Delahaye _ Pour La Science_ N°247 de mai 1998

Sur la conjecture de Riemann

* La symphonie des nombres premiers Marcus du Sautoy Points Science
* Merveilleux nombres premiers Jean-Paul Delahaye Belin, 2000
* Les Nombres premiers, entre l'ordre et le chaos. Gérald Tenenbaum, Michel Mendès France Dunod
* Les nombres premiers Tenenbaum, G., Mendes France, M. Que sais-je ?, n° 571, P U F, 1997.

OBJETS MATHÉMATIQUES

« Les recherches mathématiques peuvent s'appliquer et comme s'incarner dans des modèles et des mécanismes complexes et en somme faciliter par là leur compréhension en se « donnant à voir » » [1]

Par Yvette PERRIN
Professeur émérite de l'Université Blaise Pascal

Dans une bibliothèque du Département de Mathématiques de l'Université Blaise Pascal on peut voir une trentaine d'objets étonnants en plâtre, en laiton et en bois.

Prestigieux vestiges du patrimoine mathématique, ces objets conçus par des mathématiciens allemands pour illustrer la solution de divers problèmes mathématiques, ont une longue histoire qui remonte aux années 1860.[4],[7],[8]

En 1863 Ernst Kummer, professeur à l'Université de Berlin, présente pour la première fois, lors d'un congrès, un modèle en plâtre d'une surface de Steiner, entièrement fabriqué de ses mains. Il utilisera par la suite des modèles pour d'autres exposés et discussions scientifiques. La construction de ces modèles va alors de pair avec les découvertes les plus avancées sur les surfaces algébriques.

Une formule accompagne souvent l'objet : elle représente son équation algébrique, dont l'objet lui-même est la réalisation géométrique.

Rapidement d'autres géomètres dont Félix Klein, construisent à leur tour des modèles ou en supervisent la conception. Dans les Universités allemandes la conception et la fabrication de ces modèles deviennent des sujets d'exercices.

Certains étudiants n'hésitent pas à en illustrer leur thèse. Ceci montre combien à cette époque les mathématiciens accordaient de l'importance à la visualisation dans l'étude de la géométrie. Leur conviction était telle qu'ils firent des modèles mathématiques un outil indispensable. Nombre de mathématiciens et physiciens de renom ont alors contribué avec leurs étudiants et assistants à une vaste production de ces objets et préconisé leur utilisation.

On situe aux alentours des années 1870 la fabrication massive des modèles géométriques. C'est la maison d'édition Ludwig Brill à Darmstadt qui en prend l'initiative. Cet éditeur était le frère d'un mathématicien impliqué dans la conception des originaux : le professeur Alexander Brill, alors collègue de Félix Klein à Munich. La maison a été rachetée en 1900 par Martin Schilling lui aussi frère de mathématicien : Fridrich Schilling, un élève de Klein à Göttingen. La maison Schilling, d'abord installée à Halle et ensuite à Leipzig acquiert vers les années 1900 le quasi-monopole de la fabrication des objets et de leur vente dans le monde entier. En 1904, Martin Schilling publie un énorme catalogue qu'il enrichit jusqu'en 1911 et où figureront près de 400 modèles. Ce catalogue permet aux enseignants de commander les modèles qu'ils désirent. C'est très vraisemblablement de cette manière et à cette époque qu'ont été obtenus les modèles de la Faculté de Clermont-Ferrand.

Le prix de la plupart de ces objets était relativement élevé : par exemple la maquette de la surface de Kummer à 4 points doubles était vendue 21 marks, soit environ 450 euros de nos jours. La totalité de la collection était évaluée à près de 230 000 euros.

Aucun thème de la géométrie ne semble avoir échappé à la modélisation : surfaces algébriques, géométrie projective, géométrie différentielle, surfaces minimales, et même topologie et théorie des fonctions. On trouve ainsi la représentation des 5 polyèdres réguliers, de polyèdres étoilés, de cylindres, de cônes, de surfaces algébriques, quadriques, cubiques, quartiques. La géométrie différentielle, avec ses notions de courbure, de singularités, de surfaces minimales, trouve matière à représentation. La représentation de graphes de fonctions et de surfaces de Riemann marque les dernières étapes de cette vaste entreprise.

On a très peu d'informations sur la façon dont ces modèles étaient conçus : le choix précis des équations qu'ils figuraient, du système de coordonnées, le choix de la valeur des paramètres pour que les propriétés intéressantes des surfaces soient clairement visibles. On ne sait rien non plus sur la construction des modèles en plâtre originaux qui servaient de moules à la fabrication en série, si ce n'est la recette du plâtre.

La grande période de fabrication prend fin avant la 1ère guerre mondiale. En 1932 Martin Schilling en annonce la suspension à cause de la rareté des maquettes nouvelles proposées et aussi en raison des mauvaises conditions du marché.

Il n'y a pas que des raisons économiques à l'intérêt décroissant pour ces modèles. A la fin du 19ème siècle, les fondements des mathématiques furent remis en question ; l'imprécision de nombreuses branches, menant parfois à des erreurs ou à des paradoxes inacceptables, fut dénoncée. Dans le grand mouvement formaliste, abstrait et structuraliste qui s'ensuit, l'intuition géométrique fut pointée du doigt. Cette évolution, incarnée en France par le célèbre groupe Bourbaki, fit peu à peu tomber en désuétude les modèles dès les années 1930. Les collections furent remisées en attendant des jours meilleurs. [13]

Les collections les plus importantes se trouvent à l'Université de Göttingen en Allemagne et à l'Institut Henri Poincaré en France, mais de nombreuses Universités et Musées de par le monde possèdent des collections de la maison Brill-Schilling notamment en Allemagne, Italie, Espagne, Portugal, Autriche, Etats-Unis, Israël… En France, en dehors de l'Institut Henri Poincaré qui possède la quasi-totalité de la collection Martin Schilling, soit près de 400 objets, Le Palais de la Découverte, l'Université de Besançon… et l'Université Blaise Pascal disposent de plusieurs dizaines de ces objets.

La collection de l'Université Blaise Pascal

La collection de l'Université Blaise Pascal comporte 26 modèles en plâtre, 3 modèles en laiton et 6 objets en bois.

Les modèles en plâtre représentent :

- Onze surfaces algébriques : six quadriques, une cubique et quatre quartiques,
- Trois surfaces à courbure constante positive,
- Deux surfaces à courbure constante négative,
- Quatre surfaces à courbure moyennes constante,
- Trois surfaces graphes de fonctions de la variable complexe,
- Cinq surfaces enveloppes de familles de droites réfléchies ou normales à une quadrique,
- Une surface sur laquelle l'ellipsoïde est représenté de manière conforme par normale parallèle,

Les trois modèles en laiton représentent trois surfaces à courbure constante, respectivement positive, négative et moyenne.

Les six objets en bois sont des portions de trois plans orthogonaux deux à deux sur lesquels sont projetées des courbes gauches.

Sur cette collection de Clermont-Ferrand, nous ne savons quasiment rien quant à la date à laquelle elle est arrivée, ni qui l'a commandée ou l'a transportée à l'Université. Beaucoup de ces objets sont un peu ébréchés, certains mêmes sont cassés ou amputés.

L'Université de Besançon possède une collection de modèles de la maison Brill-Schilling de taille analogue à celle de Clermont-Ferrand. Tous les modèles qui portent une étiquette encore visible viennent de la maison Brill, c'est-à-dire ont été fabriqués avant 1900. Il en est de même des modèles de la collection de Clermont-Ferrand. Ces deux collections sont presque complémentaires. Par exemple la collection de Besançon ne comprend pas de quadriques en plâtre, mais plusieurs cubiques, pas de graphes de fonctions complexes mais un certain nombre de surfaces réglées en fil de fer.

Les ensembles de quartiques des deux collections sont complémentaires, ainsi que ceux des surfaces qui relèvent de l'optique géométrique. Or l'on sait qu'à la fin du 19ème siècle plusieurs professeurs ont exercé successivement dans les deux Universités.

Nous allons présenter un certain nombre d'objets de la collection de l'Université Blaise Pascal, mais auparavant, nous devons préciser quelques définitions et propriétés géométriques illustrées par ces modèles.

Surfaces algébriques

Onze modèles de la collection de Clermont-Ferrand représentent des surfaces algébriques.

Une surface algébrique est l'ensemble des zéros d'un polynôme. Dans l'espace euclidien il est seulement possible de réaliser des surfaces S de la forme :

$$S = \{(x, y, z) \in R^3 \colon f(x, y, z) = 0\} \quad \text{où}$$

$$f(x,y,z) = \sum a_{ijk}\, x^i y^j z^k, \ \ a_{ijk} \in R$$

alors que la théorie générale des surfaces algébriques traite des surfaces projectives complexes.

Le degré du polynôme f est par définition le degré de la surface.

La collection de Clermont-Ferrand comprend six quadriques, c'est-à-dire des surfaces de degrés deux, une cubique : surface de degrés trois et quatre quartiques : surfaces de degrés quatre.

Les points importants d'une surface algébrique sont ses points singuliers. Un point (x, y, z) de la surface définie par le polynôme f est dit singulier si

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x, y, z) = \frac{\partial f}{\partial y}(x, y, z) = \frac{\partial f}{\partial z}(x, y, z) = 0.$$

En un point singulier le plan tangent n'est pas défini.

Une surface qui n'a pas de point singulier est appelée une surface lisse, dans le cas contraire elle est dite singulière.

Les quadriques sont des surfaces lisses. La cubique et les quartiques de la collection sont toutes des surfaces singulières. Sur la plupart des modèles en plâtre de la collection sont gravées des courbes qui illustrent des notions de géométrie différentielle, en particulier celles de courbure et de géodésique.

Notions de courbure

Une possible approche de la notion de courbure est la suivante : la courbure d'une courbe C est, pour être bref, la vitesse avec laquelle varie la direction des tangentes le long de la courbe. En d'autres termes, la courbure en un point p de la courbe est la dérivée seconde par rapport à l'abscisse curviligne (voir définition ci-dessous) de la position du point. On l'affecte du signe + si dans un voisinage de p la courbe est au-dessous de la tangente et du signe - dans le cas contraire.

Soient maintenant une surface **S** et p un de ses points. On suppose que la surface est disposée de telle sorte que le plan tangent en p à la surface soit horizontal. Chaque plan vertical E passant par p coupe la surface S suivant une courbe C_E. Soit k_E la courbure de C_E au point p. Il y a alors deux seules possibilités :

1 - k_E a la même valeur pour tous les plans verticaux E. Dans ce cas le point p est appelé point ombilic de S.

2 - k_E a des valeurs différentes.

- Il existe deux plans verticaux E_1 et E_2 tels que l'on ait pour tout plan vertical E les inégalités $k_{E1} \leq k_E \leq k_{E2}$. k_{E1} et k_{E2} sont appelés courbures principales.

On les notera désormais $k_1(p)$ et $k_2(p)$.

Les plans E_1 et E_2 sont orthogonaux. Les tangentes aux courbes C_1 et C_2 au point p déterminent deux directions appelées directions principales et qui sont orthogonales. Les lignes de courbure de la surface S sont les courbes tracées surla surface qui en chaque point p ont pour tangente une direction principale.

On appelle courbure de Gauss au point p le nombre

$K(p) = k_1(p) \,.\, k_2(p)$

La courbure de Gauss permet d'avoir une idée approximative de la forme de la surface. En effet, choisissons un repère dont l'origine est le point p et les directions des axes px et py sont les directions principales. Dans un voisinage de p l'équation de la surface est de la forme :

$$z = f(x, y) = \frac{1}{2}\left(k_1(p).x^2 + k_2(p).y^2\right)$$

+ termes de plus hauts degrés.

En conséquence si $K(p)$ est positive, dans un voisinage de p, la surface a la forme d'une coupe. La section de la surface par un plan parallèle au plan tangent et infiniment proche est une ellipse.

Si $K(p)$ est négative la surface a la forme d'une selle. La section de la surface par un plan infiniment proche parallèle au plan tangent est une hyperbole. Les deux asymptotes de cette hyperbole rapportées au plan tangent sont les tangentes asymptotes. Les courbes asymptotes de la surface sont les courbes de la surface dont ce sont les tangentes.

Si $K(p)$ est nulle, le point p est dit point parabolique. Le lieu de ces points est la courbe parabolique de la surface.

Enfin, on appelle courbure moyenne de la surface au point p, le nombre

$$H(p) = \frac{1}{2}\left(k_1(p) + k_2(p)\right)$$

Notion de géodésique

Schématiquement, une géodésique d'une surface S est une courbe tracée sur la surface qui minimise ou maximise la distance entre deux quelconques de ses points.

Précisons ce que l'on entend par distance entre deux points d'une surface et pour cela, il faut définir la longueur d'un arc de courbe.

Un arc de courbe dans l'espace est dit rectifiable si l'ensemble L des longueurs de toutes les lignes polygonales inscrites dans cet arc est majoré. Dans ce cas la longueur de l'arc est par définition la borne supérieure de l'ensemble L .

Un arc paramétré par des fonctions continûment dérivables : $x = f(u)$, $y = g(u)$, $z = h(u)$, $\in [a,b]$ est rectifiable et sa longueur l est égale à

$$l = \int_a^b \sqrt{f'^2(u) + g'^2(u) + h'^2(u)}\, du$$

Sur un arc rectifiable orienté, sur lequel on a choisi un point origine **O** on définit l'abscisse curviligne d'un point quelconque M par la valeur algébrique de la longueur de l'arc $\overline{OM}$.

Soient une surface S et deux points A et B de cette surface. On considère tous les arcs de courbes tracés sur S d'extrémités A et B. L'arc qui a la plus petite ou la plus grande longueur est un arc de géodésique.

Présentation de certains modèles de la collection de l'Université Blaise Pascal. [14]

Toutes les équations de surfaces sont rapportées à un repère orthonormé dont les axes et les plans coïncident avec les axes et plans de symétrie de la surface, quand elle en a.

Surfaces algébriques de degré 2 : quadriques.

Sphère

Equation: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1$

Equations paramétriques:

$x = a \cos u \cos v$

$y = a \cos u \sin v$

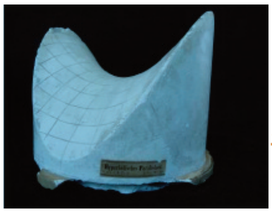
$z = a \sin u$

$u, v \in [0, 2\pi]$

a est le rayon de la sphère. Tous les points de la sphère sont des points ombilics de courbure positive 1/a. Les géodésiques sont les grands cercles.

Les courbes tracées sur cette sphère sont des chaînettes, c'est-à-dire les lignes d'équilibre d'un fil matériel qui épouse la forme de la sphère.

Paraboloïde hyperbolique



Equation: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = z$

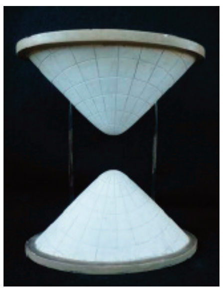
Equations paramétriques:

$x = a(s+t),\ \ y = b(s-t),\ z = 4st,\ \ (s,t) \in R^2$

Ces équations montrent que la surface contient deux familles de droites obtenues en donnant à s puis à t des valeurs constantes.

On devine deux de ces droites sur le modèle.Les autres courbes tracées sur la surface sont des lignes de courbure.

Hyperboloïde à deux nappes.



Equation: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1$

Equations paramétriques:

$x = a\cos u \sinh v,\ y = b\sin u \sinh v,\ z = \cosh v$

$(u,v) \in R^2$

Les courbes tracées sur cette quadrique sont des lignes de courbure. La surface a quatre points ombilics.

Surfaces algébriques de degré 3 et 4 : cubiques et quartiques :

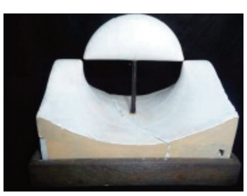
- Les cyclides de Dupin

Les cyclides de Dupin sont des surfaces algébriques de degrés 3 ou 4 caractérisées par le fait que leurs lignes de courbure sont des segments de droite ou des arcs de cercle.

Les exemples élémentaires de cyclides sont les tores obtenus par rotation d'un cercle autour d'un axe situé dans le plan du cercle. Si l'axe est extérieur au cercle, c'est un tore anneau, s'il est tangent, c'est un tore corné, sinon c'est un tore croisé. Toute cyclide de Dupin est obtenue par inversion d'un tore. La forme de la cyclide dépend de la forme du tore et de la position du pôle d'inversion par rapport au tore.

Comme leurs noms l'indiquent ces surfaces ont été découvertes par Charles Dupin, et fait l'objet de sa thèse (1803). Maxwell (1868) a décrit les différentes formes de cyclides de Dupin qui ne sont pas de révolution : cyclide anneau, cyclide cornée, cyclide croisée, cyclide parabolique.

Cyclide parabolique en croissant simple



Cette surface est l'inverse d'un tore croisé, le pôle d'inversion étant situé sur le tore.

$$\left[x + \left(\frac{k}{2} - 1\right)p\right]\left[x^2 + y^2 + z^2 - \frac{k^2p^2}{4}\right] + pz^2 = 0$$

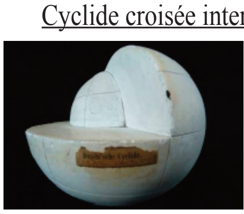
Equations paramétriques :

$$x = \frac{p}{2} + \frac{2v^2+(k-u^2-v^2)}{1+u^2+v^2},\quad y = pu + \frac{v^2+k}{1+u^2+v^2}$$

$$z = pv + \frac{1+u^2-k}{1+u^2+v^2},\quad (u,v) \in R^2.$$

C'est une cubique rationnelle, c'est-à-dire une cubique qui admet une représentation paramétrique par des fonctions rationnelles.

Cyclide croisée interne



Cette surface est l'inverse d'un tore croisé, le pôle d'inversion étant à l'extérieur du tore ou à l'intérieur du fuseau interne du tore. C'est une quartique d'équation :

$$(x^2 + y^2 + z^2 + b^2 - d^2)^2 = 4((a(ax - cd)^2 + b^2y^2)$$

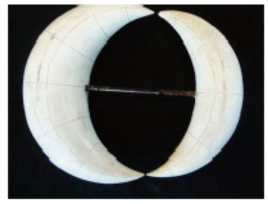
Equations paramétriques:

$$x = \frac{d(c - a\cos u\cos v) + b^2\cos u}{a - c\cos u\cos v},\ y = \frac{b\sin u(a - d\cos v)}{a - c\cos u\cos v}$$

$z = \frac{b\sin v(c\cos u - d)}{a - c\cos u\cos v},\ (u,v) \in R^2,\ \ a > b > 0,\ \ c^2 = a^2 - b^2,\ d \gg 0, a < d.$

Les lignes de courbures tracées sur la surface sont obtenues pour u= const et v= const.

Cyclide en croissant double



C'est encore l'inverse d'un tore croisé, mais le pôle d'inversion est l'intérieur du tore et à l'extérieur du fuseau.

Equation : $(x^2 + y^2 + z^2 + b^2 - d^2)^2 = 4((a(ax - cd)^2 + b^2y^2)$

Equations paramétriques:

$$x = \frac{d(c - a\cos u\cos v) + b^2\cos u}{a - c\cos u\cos v},\ y = \frac{b\sin u(a - d\cos v)}{a - c\cos u\cos v}$$

$z = \frac{b\sin v(c\cos u - d)}{a - c\cos u\cos v}, (u,v) \in R^2,\ a > b > 0,\ c^2 = a^2 - b^2,\ d \geq 0, 0 < d < c.$

Les courbes tracées sur cette cyclide sont des lignes de courbure.

- Surfaces de Kummer

Une quartique dans l'espace projectif complexe a au plus 16 points singuliers (on dit aussi points doubles). Une surface de Kummer est une quartique qui a effectivement 16 points singuliers réels ou complexes, à distance finie ou infinie. Ces points singuliers forment une configuration intéressante dans l'espace : il y a 16 plans qui contiennent chacun 6 de ces 16 points doubles et par chaque point double, passent 6 de ces plans. Chacun de ces plans touche la surface suivant une conique et est tangent à la surface en chaque point d'intersection. Pour cette raison, on les appelle des plans doubles.

L'équation générale d'une surface de Kummer est :

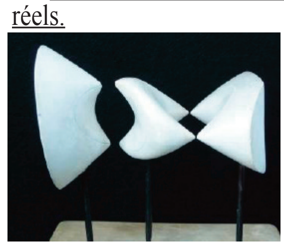
$$f_\mu^2 = \sigma pqrs \text{ où} \begin{Bmatrix} f_\mu = x^2 + y^2 + z^2 - \mu a^2 \\ p = z - a + x\sqrt{2} \\ q = z - a - x\sqrt{2} \\ r = z + a + y\sqrt{2} \\ s = z + a - y\sqrt{2} \end{Bmatrix}$$

$$\sigma = \frac{3\mu^2 - 1}{3 - \mu^2},\quad \mu \neq 3, 1, \frac{1}{3}$$

L'équation $f_\mu = 0$ est l'équation d'une sphère centrée en 0, de rayon $\sqrt{\mu}a$ et l'équation $pqrs = 0$ est l'équation de la réunion des faces prolongées d'un tétraèdre régulier centré en 0 et dont la distance des faces au centre est égal à a.

Le paramètre a détermine la taille du modèle.

Surface de Kummer à 4 points doubles réels et 4 plans doubles réels.



Chaque plan double contient 2 points doubles réels et 2 paires de points doubles complexes conjugués. Les coniques le long desquelles les plans doubles rencontrent la surface sont marquées sur la surface.

Surface de Kummer à 8 points doubles et 8 plans doubles réels

Chaque plan double réel contient quatre points doubles réels et 2 points doubles complexes conjugués. Les courbes tracées sur la surface sont des coniques intersection de la surface avec les plans doubles.

La surface de Kummer à 8 points doubles a particulièrement attiré le regard du photographe américain Mann Ray qui en a fait de magnifiques clichés.

Surfaces de révolution à courbure constante.

Une surface à courbure constante est une surface qui a, en chaque point, la même courbure de Gauss. Citons Stefan Neuwirth [10] : «Ces surfaces d'abord étudiées par Minding (1839), ont eu une importance cruciale en géométrie depuis que Beltrami (1869) a compris qu'elles jouissaient de la propriété la plus importante de la géométrie euclidienne, la libre mobilité des figures. Voici comment elle est décrite par Schilling.

Toutes les surfaces de même courbure constante sont applicables l'une sur l'autre sans extension ni compression et on peut les faire glisser sur elles-mêmes comme, par exemple le plan ou la sphère. On peut donc parler sur de telles surfaces de congruences de figures, parce que on peut faire se recouvrir des morceaux de surface (suffisamment petits) par glissement sur la surface même, et ainsi les comparer. La condition nécessaire pour élaborer une géométrie au sens euclidien est ainsi donnée pour ces surfaces ; à la place de « droites » on considère les lignes de plus court chemin, c'est-à-dire les « géodésiques ». La géométrie sur les surfaces de courbure constante positive est la géométrie sphérique habituelle ; celle sur les surfaces de courbure constante négative est appelée géométrie non euclidienne et recouvre celle fondée par Lobatchevski, à laquelle manque le onzième axiome d'Euclide [le postulat des parallèles] (Schilling, 1911, Page 142) »

Pour obtenir l'équation de ces surfaces, on choisit une courbe quelconque *C* dans le demi plan (x > 0, z) paramétrée par l'abscisse curviligne *t* : *C(t)=(r(t), h(t))*.

Si l'on fait tourner cette courbe autour de l'axe Oz, on obtient une surface de révolution *S*. On démontre que *S* a une courbure constante *K* si et seulement si r est solution de l'équation différentielle :

$r'' + K\,r = 0.$

Pour chaque solution de cette équation, nous obtenons la valeur correspondante de *h* en intégrant l'équation : $h'^2 = 1 - r'^2$

- Surfaces de révolution à courbure constante positive

On se limite au cas où $K = 1$.

Ces surfaces sont décrites par les équations :

$r(t) = R\cos t$ où *R* parcourt l'ensemble des réels positifs et

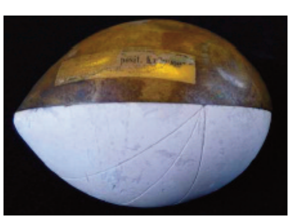
$h(t) = \int_0^t \sqrt{1 - R^2 (\sin u)^2}\, du$

Si $R=1$, on obtient une sphère, si $R<1$, on obtient une surface en forme de fuseau et si $R>1$, on obtient une surface en forme de bosses.

Surface de révolution à courbure positive constante en forme de bosses.

Les courbes tracées sur la surface sont des géodésiques.

Surface de révolution, à courbure positive constante en forme de fuseau.



Elle est en plâtre et une moitié est recouverte d'une surface en laiton. Les courbes tracées sont des géodésiques.

- Surfaces de révolution à courbure constante négative

On se limite au cas où $K = -1$.

La solution générale de l'équation différentielle (1) est donnée par $r(t) = ae^{t} + be^{-t}$

Suivant que ab<0, ab=0 ou ab>0, on obtient trois types de surfaces correspondant aux trois expressions de r(t) :

$$r(t) = \sqrt{1 - R^2}\ \sinh t \quad \text{avec} \quad 0 < R < 1$$

$$r(t) = e^{t}$$

$$r(t) = \sqrt{1 - R^2}\ \cosh t \quad \text{avec} \quad R > 1$$

Si $0 < R < 1$, la surface est de type hyperbolique, si $R > 1$ elle est de type conique, si $r(t) = e^t$, la surface est une pseudo-sphère.

Surface de révolution à courbure constante négative de type hyperbolique.

Les courbes tracées sont de plusieurs sortes : lignes géodésiques, cercles géodésiques, parallèles.

Surface de révolution à courbure constante négative de type conique.

Les courbes tracées sont des lignes géodésiques et une ligne asymptotique.

- Surfaces de révolution à courbure moyenne constante

Parmi les surfaces à courbure moyenne constante, celles pour lesquelles la courbure moyenne est nulle ont une grande importance. Ce sont les surfaces minimales.

Une surface régulière bordée par une courbe fermée *C* est dite minimale si son aire réalise le minimum des aires de toutes les surfaces régulières bordées par la courbe *C*.

La théorie des surfaces minimales commence avec Lagrange (1776). En 1776, Meunier trouve le premier exemple non trivial de surface minimale : la caténoïde. C'est une surface de révolution bordée par deux cercles coaxiaux situés dans des plans parallèles. La courbe de profil est une chaînette, c'est-à-dire la courbe obtenue en laissant pendre une chaîne fixée en ses deux extrémités. On peut aussi réaliser cette surface en prenant un cadre formé de deux cercles coaxiaux situés dans des plans parallèles et en le plongeant dans une eau savonneuse. Le film de savon que l'on obtient a la forme d'une caténoïde.

Caténoïde

Les courbes tracées sur la surface sont des lignes de courbure : parallèles et méridiens et des lignes asymptotiques (lignes obliques).

Les modèles suivants sont des surfaces de révolution à courbure moyenne constante non nulle.

Onduloïde

Les courbes tracées sur la surface sont des géodésiques.

Nodoïde

Les courbes tracées sur la surface sont des géodésiques

- Surfaces définies comme enveloppes de droites.

Développée d'un paraboloïde hyperbolique, c'est-à-dire enveloppe des droites normales au paraboloïde en chacun de ses points.

Man Ray a fait de cette surface un très beau cliché qui a inspiré plusieurs artistes surréalistes.

L'une des deux composantes de l'enveloppe d'une famille de rayons parallèles réfléchis par un hyperboloïde à une nappe.

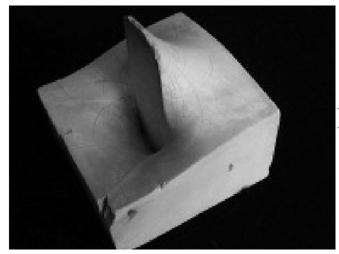
Equations :

$$S = \left\{ (x,y,z), \exists\beta : 20y^2 = \left(\beta - \frac{5}{2}\right)^3 \left(3\beta + \frac{5}{2} + \frac{x^2}{25}\right), -5z^2 = \left(\beta + \frac{5}{2}\right)^3 \left(3\beta - \frac{5}{2} + \frac{x^2}{25}\right) \right\}$$

Surface sur laquelle l'ellipsoïde est représenté de manière conforme par normales parallèles.

Cette surface se représente de manière conforme, c'est-à-dire par une application qui conserve les angles sur un ellipsoïde de sorte que les normales en un point de la surface et en son image sur l'ellipsoïde soient parallèles.

Surfaces graphes de fonctions de plusieurs variables.



Partie réelle de la fonction w = 1/z

Si l'on pose $w = u + iv$ et $z = x + iy$, la surface a pour équation, dans un repère orthonormé *(O,x,y,u)*, dont le plan des *(x,y)* est le plan horizontal :

$$u = \frac{x}{x^2+y^2}$$

Les courbes tracées sur la surface sont des lignes de niveau et des lignes de plus grande pente qui leur sont orthogonales.

Partie imaginaire de la fonction

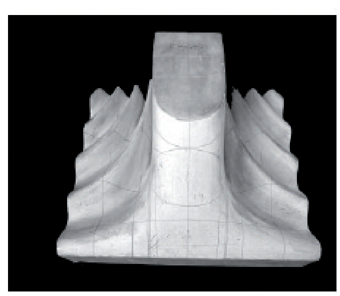
$$f(z) = \frac{2}{\pi} \log \frac{z+\frac{\pi}{4}}{z-\frac{\pi}{4}}$$

Dans le repère défini précédemment, l'équation de la surface est :

$$u = \frac{2}{\pi} Arg \frac{x + iy + \frac{\pi}{4}}{x + iy - \frac{\pi}{4}}$$

Les courbes tracées sur la surface sont des courbes de niveau et des lignes de plus grande pente qui leur sont orthogonales.

Amplitude de Jacobi



Les coordonnées *(x,y,z)* des points de cette surface dans un repère orthonormé de R^3 (le plan des *(x,y)* étant horizontal) sont liées par l'intégrale elliptique :

$$x = \int_0^z \frac{dt}{\sqrt{1 - y^2 \sin^2 t}}$$

La fonction $z = am\,(x,y)$ ainsi définie est appelée amplitude de Jacobi.

Les courbes tracées sur la surface sont des sections par des plans parallèles aux plans de coordonnées.

Histoire récente

Délaissés par les mathématiciens dès les années 1930, les modèles géométriques de la maison Brill-Schilling ont été remis à l'honneur par des artistes et designers.

« Vers les années 30 Max Ernst découvrit fortuitement l'immense collection de l'Institut Henri Poincaré. Dans les vitrines poussiéreuses de ce haut lieu de la Science, ces objets qui ne passionnaient plus guère les mathématiciens, stimulèrent tout de suite l'imagination de l'artiste… Max Ernst fit appel à Man Ray qui photographia une vingtaine de ces objets en 1934-1935. Douze de ces photos furent reproduites en pleine page dans le numéro de *Cahiers d'Art* [5] consacré à l'objet abstrait, à l'occasion de « l'exposition surréaliste d'objets » à la galerie Charles Ratton. Quelques uns de ces modèles géométriques y étaient exposés à côté d'objets surréalistes et de sculptures africaines et océaniques » [13].

Dans « *Autoportrait* » [11] Man Ray écrit : « Parmi les photographies que je rapportais à Hollywood, il y avait tout un paquet d'épreuves faites dans les années 30, destinées à servir de modèles à une série de tableaux. Elles représentaient des objets en bois, en métal, en plâtre et en fil de fer qui, dans les vitrines poussiéreuses de l'Institut Henri Poincaré, servaient d'illustrations à des équations algébriques. Ces équations n'avaient aucun sens pour moi mais les formes des objets, en elles-mêmes, étaient aussi variées et aussi authentiques que celles que l'on trouve dans la nature. Ce qui à mes yeux les rendaient plus importantes encore, c'est qu'elles étaient fabriquées par les mains de l'Homme. On ne pouvait pas dire qu'elles étaient abstraites, comme le craignait Breton lorsque je les lui montrai pour la première fois. Pour moi, tout l'art abstrait est comme un fragment, comme un agrandissement d'undétail de la nature ou d'une oeuvre d'art. Ces objets-là, par contre, étaient des microcosmes complets. »

D'autres manifestations en 1936 permirent au public de découvrir ces objets mathématiques : la couverture du catalogue de l' « International Surrealist Exhibition », qui eut lieu à Londres en été, reproduisait un collage de Max Ernst : un personnage en partie crée à partir de découpages d'objets mathématiques empruntés au catalogue Schilling. A New York, durant l'hiver de la même année, quinze des tirages photographiques de Man Ray furent inclus dans l'exposition « Fantastic Art, Dada, Surrealism », du Musée of Modern Art.

Ces objets ont aussi inspiré les sculpteurs de la première moitié du 20e siècle : Naum Gabo, Barbara Hepworth, Henri Moore, Antoine Pesner et Ruth Vollmer.

Plus récemment, les logiciels offrant la possibilité de représenter sur ordinateur des surfaces en trois dimensions et d'en faire le tour redonnent une grande vitalité à la représentation. Ils ont stimulé à nouveau des artistes et mathématiciens qui ont conçu et fabriqué de nouveaux modèles géométriques en s'aidant des technologies nouvelles. François Apéry, dans « *Old and new Mathematical Models : saving the heritage of the Institut Henri Poincaré* » [1] montrent deux modèles récents: une bouteille de Klein à 12 points pincés et surface de Boy de degrés 6, fabriqués respectivement en 2005 et 2008 par Steward Dickson et Gregorio Franzoni.

Depuis la rénovation de l'Institut Henri Poincaré (1995-96) beaucoup de ces objets ont été restaurés, nettoyés et exposés dans les vitrines de la bibliothèque ou prêtés pour des expositions organisées par des Musées ou des Cités des Sciences. Une partie importante est encore dissimulée dans les réserves du sous-sol. Une autre voyage à travers le monde dans une exposition itinérante qui a déjà visité Washington, Copenhague et puis Jérusalem (octobre 2015). François Apéry, farouche défenseur de la collection de l'Institut, milite pour qu'elle continue à vivre en s'enrichissant de nouveaux modèles : «… a collection should not be static but enriched by new models suggest by working mathematicians. Proposing two wire models (a Boy surface of degree six and a Morin surface of degree eight) presently shown in the IHP library, I wished to lead by example.» [1]. La collection de l'Université Blaise Pascal mériterait, elle-aussi, d'être restaurée, protégée et mise en valeur.

Bibliographie

1 Apéry, F. 2012, « Old and new mathematical models : saving the heritage of the Institut Henri Poincaré » dans *Mathematics and Modern Art: proceedings of the first ESMA conference, hed in Paris july 19-22, 2010*, édité par C. Bruter, n° 18 dans *Springer proceedings in mathematics*, p. 17-27

http://dx.doi.Org/10 1007/978-3-642-24497-1_3

2 Beltrami, E. 1869, "Essai d'interprétation de la géométrie non euclidienne" *Annales scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*. vol. 6, p. 251-288.

http://www.numdam.org/item ?id=ASENS_1869_1_6251_0.

3 Brette, J. 2000, "La collection de modèles mathématiques de la bibliothèque de l'IHP », *Gazette des Mathématiques*, vol 85.

http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/ 2000/85/ smf_gazette_85_5-8 pdf.

4 Brill, L. 1892, *Katalog mathematischer Modelle für den höheren mathematischen Unterricht*, 5ème ed., Brill.Darmstadt.

5 *Cahiers d'Art*, n° 1-2, 1936

6 Chotteau, T., F. Delmer, H. Nocton, Y. Perrin, J. Peiffer, S., Paychat, et P. Jakuwobski. 2001 *Rencontres entre artistes et mathématiciennes* : Toutes un peu les autres, chap. Corps géométiques. L'Harmattan, Paris. p. 14-55.

7 Fischer, G., ed. 1986 *Mathematische Modelle aus dem Sammlungen von Universitäten und Museen. Bildband*, Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

8 Fischer, G.,éd.1986 *Mathematische Modelle aus dem Sammlungen von Universitäten und Museen. Kommentarband*, Friedr.Vieweg & Sohn, Braunschweig.

9 Institut Henri Poincaré. *Modèles mathématiques*.

http://ihp.fr/node/10663

10 Neuwirth, S. 2014, « Les Objets mathématiques comme modèles mathématiques » dans *Objets mathématiques*, p. 13-37. Editté par Silviana Editoriale Musée du temps de Besançon et Université de Franche-Comté, Besançon.

11 Ray, M. 1998, *Autoportrait*, n° 310 dans Babel, Actes Sud Leméac, Arles [Montréal]. Titre original : *Self portrait*, 1963.

12 Schilling, M. 1911, *Catalog mathematischer Modelle für den höheren mathematischen Unterricht*, 7e ed., MartinSchilling, Leipzig.

http://libsysdigi.uiuc.edu/ilharvest/MathModels/0006CATA.pdf

13 Villani,C. et Strauss,A.. 2013, « Objets mathématiques » dans *Dictionnaire de l'objet surréaliste*, édité par D. Ottinger, Gallimard et Centre Pompidou, Paris.

14 Photos de Michel Perrin Juin 2015

LES RHINOGRADES

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

ETERNUEMENT

D'après une vieille légende hongroise, si un narrateur commence son récit en éternuant, la véracité de ses paroles sera alors automatiquement mise en doute. Ainsi, la « Suite Hary Janos, de Zoltan Kodaly, qui relate les exploits imaginaires d'un soldat fanfaron, commence-t-elle par un gigantesque éternuement orchestral. Par **l'éternuement** de la figure 1, les lecteurs de ce texte sont **prévenus**…

Fig 1. L'éternuement avertisseur

LA DÉCOUVERTE DES RHINOGRADES

Le taxon fictif des Rhinogrades fut découvert en 1961 par le naturaliste allemand Gerolf Steiner alias Harald Stümpke qui les présenta dans son ouvrage « Anatomie et biologie des Rhinogrades » aux éditions Gustav Fischer.

L'éminent zoologiste Pierre-Paul Grassé, qui fut Membre et Président de l'Académie des Sciences, préfaça l'ouvrage.

Comme les Plantigrades marchent sur la plante de leurs pieds, comme les Digitigrades marchent sur leurs doigts, les Rhinogrades marchent sur leur nez.

Découverts fortuitement dans l'archipel des Aïeaïeaïes de l'Océan Pacifique oriental, ils comptent plus de 200 espèces, recensées sur les 37 îles de l'Archipel.

DESCRIPTION DES RHINOGRADES

Les Rhinogrades présentent une diversité d'adaptations particulières de l'appendice nasal, devenu *appendice naso-ambulacraire*, et de la queue préhensile. Selon les espèces, l'appendice nasal sert au déplacement, au saut, à la chasse.

La queue est utilisée pour sauter, s'accrocher, se défendre. Les membres classiques, devenus inutiles peuvent s'atrophier.

Les Rhinogrades sont de petite taille et leur régime alimentaire est varié : herbivores, frugivores, insectivores ou carnivores. Ils vivent de quelques mois à quelques années.

Leur gestation dure six mois et chaque portée ne compte qu'un petit

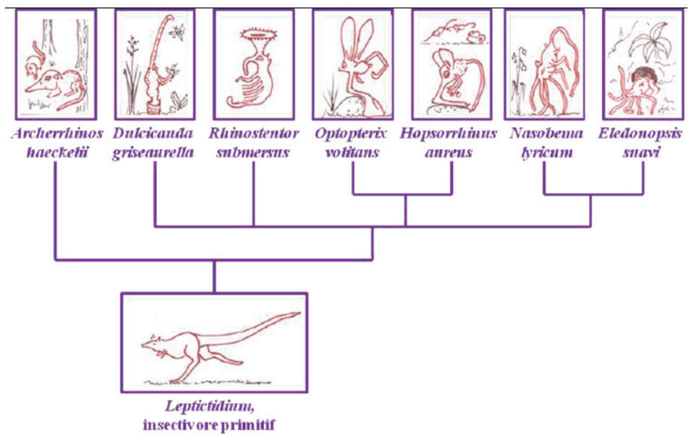


Fig 2. Arbre phylogénétique (très) simplifié des Rhinogrades, qui montre leur diversité.

La figure 2 présente l'arbre phylogénétique simplifié des Rhinogrades. Ils seraient issus d'une branche d'insectivores primitifs, comme ***Leptictidium*** vivant à l'Eocène et dont les fossiles ont été trouvés sur le site de Messel en Allemagne.

Sur les branches de l'arbre figurent quelques exemples :

Archerrhinos haeckelii, dédié à Haeckel, biologiste allemand qui répandit les idées de Darwin.

Il présente encore bien des points communs avec l'insectivore originel.

Pour ***Dulcicauda griseaurella***, le queue-mielleux gris doré, la morphologie change.

Fixé sur une colonne sécrétée par son nez, il attire les insectes dont il se nourrit par une production gluante et sucrée de sa queue.

Rhinostentor submersus présente cette forme de trompette, par ailleurs fréquent dans le monde vivant, notamment chez les lichens et les champignons.

Nasobema est comme une musaraigne qui porterait quatre tentacules nasaux sur une grosse tête.

En équilibre sur le nez, il se sert de ses quatre pattes pour attraper sa nourriture et pleure lorsqu'on le capture.

Hopsorrhinus aureus, le nasin sauteur, peut faire des bonds en arrière qui dépassent dix fois sa longueur en prenant élan sur son nez. Il se nourrit de crustacés qu'il capture avec sa queue.

Otopterix volitans, l'oreille-volant.

Pour chasser les libellules, il vole à reculons en battant des oreilles, ce qui lui permet d'utiliser son appendice nasal comme atterrisseur.

Eledonopsis suavi, le polynase aux moeurs crépusculaires, expose, le soir venu son nez formé de quatre à six excroissances rubanées pour appâter les insectes.

Ces animaux vivaient sur les îles de l'archipel des Aïeaïeaïes avant que celui-ci ne disparaisse suite à un évènement sismique, à la fin des années 1950.

Certains d'entre eux ont peut-être pu s'échapper.

DE RÉCENTES DÉCOUVERTES

Néanmoins, nos connaissances sur les Rhinogrades continuent à progresser. D'abord par la découverte, lors de travaux au Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de spécimens naturalisés par Louis Bouffon, dans les années 1990 et sur lesquels ont été effectuées des études génétiques. Les résultats, difficiles à interpréter, ne permettent pas de savoir si les Rhinogrades sont plus proches de l'Eléphant ou de la Souris.

Plus récemment, aux îles Vanikoro, sur des fragments d'épaves des frégates de Lapérouse, des trous dans le bois ont été repérés sans que la cause en soit connue. Ce n'est qu'après 2006 et l'expédition Espiritu Santo dans l'archipel du Vanuatu que le mystère fut éclairci. De cette expédition, destinée à recenser la biodiversité, des fragments de bois, présentant des trous identiques, furent ramenés au MNHN, Et là, ces galeries livrèrent sept spécimens d'une nouvelle espèce de Rhinograde, *Nasoperforator bouffoni* (figure3).

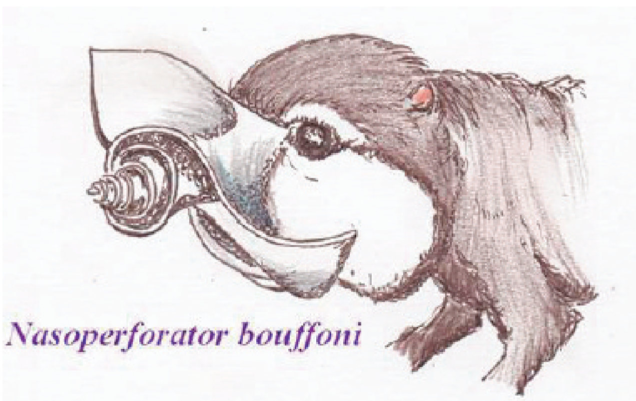


Fig. 3. Vue de *Nasoperforator bouffoni*. Est particulièrement apparent le nez en forme de tarière, renforcé par de l'émail dentaire, par lequel ce petit animal taille des copeaux de bois qu'il ingère directement.

L'étude attentive de *Nasoperforator* montra que l'émail de la dentition envahit le nez, en pointe de tarière. Il suffit à l'animal de progresser en hélice dans le bois pour que les copeaux ainsi dégagés rejoignent sa bouche et son tube digestif. Là, une flore bactérienne et fongique assure la digestion de la cellulose et de lignine qu'aucun Vertébré ne digère de lui-même. Nasoperforator est xylophage, comme les termites !

ENCORE BIEN DES POINTS A ECLAICIR A PROPOS DES RHINOGRADES

Leur position taxonomique.- La lecture des lignes précédentes laisse supposer que les Rhinogrades sont des Mammifères et beaucoup de zoologistes considèrent ce point comme acquis. Pourtant, de rares irréductibles préfèrent les rapprocher des Poissons (en tous cas au début de leur vie). Quoiqu'il en soit, les Rhinogrades sont des Vertébrés.

Leur mode de vie.- Les Rhinogrades vivent solitaires ou en groupe. Dans ce dernier cas, on ignore s'il peut apparaître un comportement eusocial, comme pour le rat-taupe glabre dont le mode de vie ressemble à celui des fourmis, des termites ou des abeilles.

De même, on ignore si les Rhinogrades, face à des conditions de vie peu favorables, hibernent comme les muscardins.

Leurs capacités digestives.- Si la digestion du bois par *Nasoperforator* est maintenant comprise, il reste bien d'autres processus à élucider. Ainsi, il apparaît que beaucoup de Rhinogrades se nourrissent d'insectes, mais aucun Rhinograde n'apparaît dans la liste des animaux équipés d'une chitinase, enzyme de dégradation de la carapace des insectes, indispensable pour qui vit de ce régime. Le tableau I, issu de résultats publiés deux ans après leur découverte ne fait aucune allusion à ces êtres vivants.

Quand aux Rhinogrades herbivores, rien ne permet de savoir s'ils digèrent le végétal à la manière de l'escargot qui le fait par sa cellulase stomacale (mais l'escargot n'est pas un Vertébré) ou si, à la manière du ruminant, ils confient leur aliment au travail de la panse et de ses microorganismes. Si la seconde hypothèse était vraie, ce serait là une occasion passionnante d'étudier la miniaturisation de ce fermenteur naturel.

Animal	Poissons	Batraciens	Reptiles	Oiseaux	Mammifères
Chitinase positif	Poiss. rouge Saumon Anguille	Grenouille Salamandre	Lézard Tortue Cistude, Caméléon	Moineau Merle	Taupe Souris Poule Rhinolophe
Chitinase négatif			Tortue grecque (herbivore)	Colombe (granivore)	Chat, Lapin, Mouton, Homme

Tableau I.- Quelques exemples d'animaux chez lesquels a été recherchée une chitinase digestive. En rouge, les animaux possédant cet enzyme, tous insectivores ; en vert, ceux qui n'en possèdent pas et ont d'autres régimes alimentaires. (d'après la figure 28 dans Jeuniaux Ch., 1963, Chitine et Chitinolyse, Masson et Cie, éditeurs à Paris).

Leurs migrations.- Les Rhinogrades sont capables de migration, c'est certain. Découverts dans l'Océan Pacifique oriental, on les retrouve à Vanikoro et au Vanuatu, nettement plus à l'ouest et un nouveau Rhinograde viendrait d'être décrit à l'île Grande Glorieuse, entre les Comores et Madagascar, île inhabitée dépendant des Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF), encore plus à l'ouest.

Qui peut dire que les Rhinogrades n'ont pas déjà atteint l'Océan Atlantique en doublant le Cap de Bonne Espérance? Alors, ils pourraient atteindre l'estuaire de la Loire, remonter le fleuve et ses affluents comme l'Allier, à la manière de certaines plantes venues des Amériques. Un jour peut-être des Rhinogrades seront observables en Auvergne.

EN DERNIÈRE MINUTE ET POUR CONCLURE

Le nouveau Rhinograde des TAAF serait *Rhinoressortus zebuloni* qui progresse par bonds. La figure 4 en propose une esquisse déductive. Comme le kangourou le fait avec les muscles et les tendons de ses pattes postérieures, il stocke par l'élasticité de son nez conformé en ressort, son énergie cinétique à la fin d'un bond et la réinvestit immédiatement dans le bond suivant. Le premier bond est amorcé par un éternuement.

Fig.4.-Essai de représentation de Rhinoressortus zebuloni, récemment découvert dans les TAAF, à l'ile Grande Glorieuse

HOMMAGE
à Suzanne GÉLY

Suzanne Gély avait 92 ans quand elle nous a quittés le 30 janvier de cette année. Elle était commandeur des Palmes Académiques, distinction à la hauteur de la reconnaissance de ses mérites.

Etudiante à l'Ecole Normale Supérieure de Sèvres elle a été admise à l'agrégation de Sciences Physiques. Sa curiosité intellectuelle et sa passion de l'enseignement ont été jusqu'au bout dédiées à ce corps de disciplines.

Elle a admirablement concilié esprit scientifique et foi dans la conduite de sa vie.

Professeure de classe préparatoire au Lycée Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, elle a assumé tout à la fois ses charges familiales, ses activités professionnelles et son engagement en toutes occasions pour la vulgarisation scientifique.

Présidente de la section Auvergne de l'Union des professeurs de Physique et Chimie, elle s'est investie dans le lancement des Olympiades avec l'Ecole Supérieure de Chimie.

Membre de l'ADASTA dès sa création en juin 1986, puis Présidente pendant deux mandats à la suite du Président fondateur Roger Vessière, elle a avec régularité publié 19 articles dans « Auvergne Sciences » en parfait compagnonnage avec le directeur scientifique, rédacteur en chef, Roland Jouanisson.

Elle s'est aussi engagée pour la revue des «Savants et Inventeurs d'Auvergne» (cf n°spécial de mai 2005).

Sa conviction que le partage de la démarche scientifique devait aussi s'exprimer lors d'expériences ludiques ouvertes à tous publics (congrès, fêtes de la Science…) a porté ses fruits.

Entre autres initiatives, la naissance des « Jeunes Pousses », création interne de l'ADASTA dédiée aux jeunes du primaire a été portée par le Président Jean-Claude Capelani avec un succès remarquable : le groupe choisi au plan national a représenté la France à Moscou.

Ainsi son idée de recevoir des jeunes de collèges ou d'écoles primaires les mercredis a permis un temps qu'ils mettent « La Main à la Pâte ».

En qualité de Présidente de la Société Française d'Energie Nucléaire et membre de l'Association des Palmes Académiques, elle a organisé la venue de la fille d'Irène Joliot Curie pour une conférence qui a été un grand moment de culture scientifique à Clermont-Ferrand.

Elle s'est bien sûr intéressée aux travaux d'Ampère, de Pasteur, Fresnel, Becquerel …

Depuis sa maison de Laschamps elle s'est interrogée sur l'inversion du champ magnétique terrestre dans la chaîne des Dômes.

Son énergie, son investissement, sa prise de parole inlassables nous ont tous marqués. Notre hommage ici se veut affectueusement admiratif et porteur d'un souvenir sincère.

Roland FUSTIER

HOMMAGE
à Jean-Pierre CARROUÉ

Jean-Pierre CARROUÉ était un homme aux talents multiples et d'une fidélité exemplaire dans ses engagements.

Né en 1934 à Clermont-Ferrand et décédé à Aubière à l'âge de 81 ans, cet ancien élève du Lycée Blaise Pascal et de la Faculté de Géologie a fait toute sa carrière au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

Envoyé en mission en Côte d'Ivoire, il se prit de passion pour l'Afrique et effectua différentes missions au Sénégal, au Zaïre, au Rwanda et à Madagascar. Il fut notamment chargé de la réalisation de la carte géologique de la Nouvelle-Calédonie.

Nommé Président de la SHNA (Société d'Histoire Naturelle d'Auvergne), il créa une exposition permanente sur les mines de plomb argentifères, dans l'enceinte du château de Pontgibaud.

Membre de l'ADASTA, Association pour le Développement de l'Animation Scienfique et Technique en Auvergne, il organisa de nombreuses visites, celle entre autres, dans la région d'Ebreuil (Allier), du four à chaux du Puy Vacher.

On lui doit plusieurs articles publiés dans la revue de l'ADASTA.

Tous ses amis de l'ADASTA garderont de lui, le souvenir d'un homme passionné et curieux de tous les secrets que recèle encore la terre.

Jean-Pierre ANCELLE

VOYAGE SCIENTIFIQUE EN LIMOUSIN (2 et 3 mars 2016)

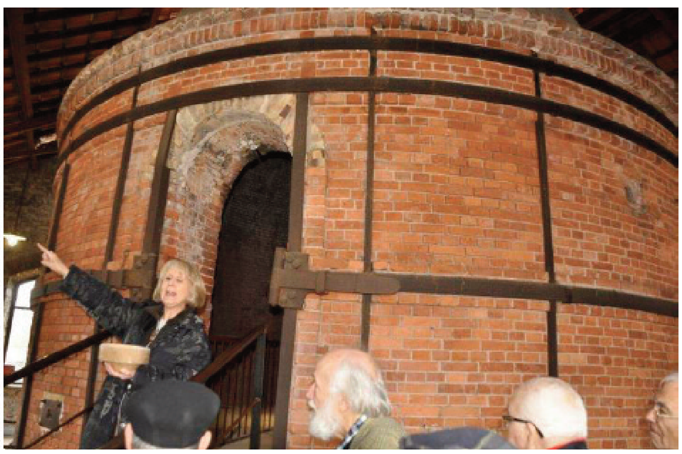
(Compte-rendu rédigé par Michel Massaux)

Bien que voisins, l'Auvergne et le Limousin se connaissent mal. Pour y remédier, l'ADASTA a proposé à ses membres un court séjour centré sur la ville de Limoges. Il a eu lieu les 2 et 3 mars 2016 et a réuni 38 participants.

La première journée était consacrée à la céramique, avec comme objectif la mise en lumière de l'activité traditionnelle, la PORCELAINE, mais surtout l'examen des perspectives d'avenir dans le domaine des matériaux nouveaux, en plein essor.

Au cours du trajet, trois intervenants : Jean-Pierre COUTURIÉ, Michel MASSAUX et Bruno RAKINSKI présentèrent les aspects géologiques, physico-chimiques et technologiques des céramiques, en guise d'introduction.

Pour illustrer l'activité porcelainière de Limoges, le programme proposait la visite d'un site emblématiquec : le four des CASSEAUX. Situé dans un ancien quartier de la ville, près de la Vienne pour pouvoir recevoir le bois flotté utilisé au début comme combustible, il a été édifié en 1884 et perfectionné en 1904. Par un système astucieux, il réalisait en même temps deux cuissons : le «dégourdi» à 950°C et le «grand feu» à 1400°C.



Converti au cours du XX^{ème} siècle à l'utilisation du charbon, il a cessé de fonctionner vers 1960, à l'arrivée du gaz de LACQ en Limousin.

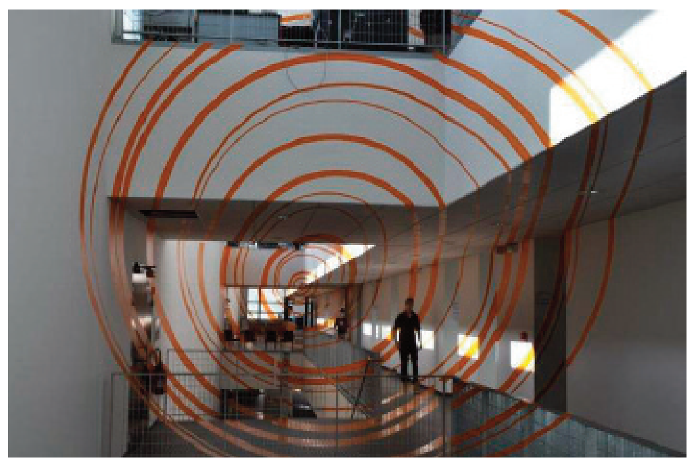
Transformé en musée, le four surprend par ses dimensions : près de 8 m de diamètre et 20 m de hauteur. Le volume utile atteint 80 m^3. Devenu monument historique, il est complété par une exposition permanente des outils de fabrication : tours, moules, étuis réfractaires appelés « gazettes », contrôle de la température, … Des maquettes et des panneaux explicatifs complètent agréablement la visite guidée.

Après le repas, pris au bord de la Vienne, on s'oriente vers la zone d'ESTER TECHNOPOLE, au nord de Limoges, siège moderne d'activités de formation, de recherche scientifique et de création d'entreprises tournées vers le futur.

Sur le premier de ces thèmes, nous avons parcouru les locaux de l'Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle (ENSCI) qui forme des ingénieurs spécialisés, admirant au passage deux anamorphoses étonnantes.

Puis ce fut la visite du groupe CERINNOV, présenté par deux de ses dirigeants. Il est formé de 3 sociétés associées :

ENSCI



• **CERINNOV** conçoit des équipements thermiques et des ensembles de production de pièces en céramique traditionnelle ou technique : façonnage, émaillage, décoration, marquage,…

• **CERLASE** assure les activités de recherche et développement du groupe, avec une orientation marquée vers des procédés novateurs utilisant les LASERS ;

• **WISTRA**, associée depuis 2013, fabrique les fours adaptés à la production de céramiques de tous types.

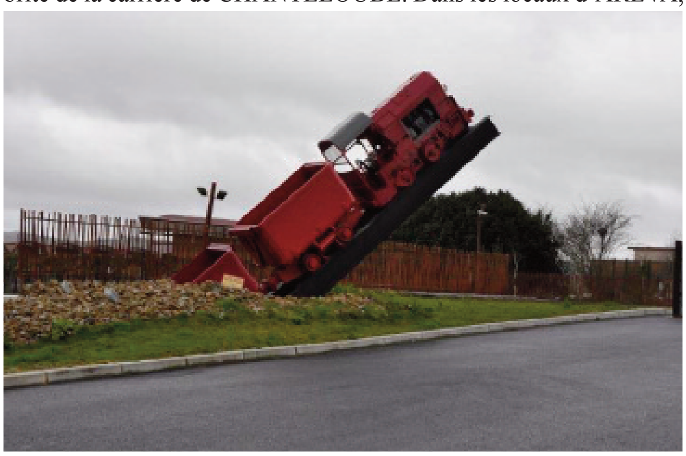
Cette visite, très instructive, a été fort appréciée par les participants.

En fin d'après-midi, nous avions rendez-vous sous la coupole, d'architecture futuriste très harmonieuse, du siège du Technopôle ESTER. Créé en 1993, cet ESPACE SCIENTIFIQUE et TECHNOLOGIQUE d'ECHANGES et de RECHERCHE a magnifiquement rempli son rôle en associant la formation (en particulier 2 Ecole d'Ingénieurs dont l'ENSCI), les transferts de technologie et l'activité de nombreuses «start-up» ou de grands groupes industriels comme CERINNOV.

Le dîner et l'hébergement étaient assurés par le complexe sportif de Limoges : CHEOPS 87. Au cours d'un apéritif d'accueil, Bruno RAKINSKI, alpiniste chevronné, nous expliqua comment il prépare des expéditions en solitaire sur des sommets à plus de 6000 m, dans les Andes ou l'Himalaya. Ce fut un échange passionnant avec un spécialiste si discret que beaucoup d'entre nous ignoraient tout de son activité.

Le 03 mars, au matin, nous partions pour Bessines-en-Gartempe, qui fut le siège d'une intense activité minière au cours de la seconde moitié du XXème siècle : l'extraction de minerai d'uranium par le C.E.A., la COGEMA puis AREVA.

Ce court trajet permit à Jean-Pierre COUTURIÉ d'évoquer ses premiers pas de minéralogiste, à la recherche du béryl qui fit la célébrité de la carrière de CHANTELOUBE. Dans les locaux d'AREVA,



quelques activités ont été développées comme la réhabilitation des anciens sites miniers, la recherche de solutions innovantes dans l'exploitation du minerai et un Conservatoire de minéraux uranifères du monde entier. Un musée éducatif consacré à l'évolution de l'industrie nucléaire, de la mine aux applications, a été ouvert sur le site en 2013. Guidés par son conservateur, Bruno GUERIN, nous avons pu admirer sa conception moderne, grâce à un film de présentation en trois dimensions et à des maquettes interactives très pédagogiques.

Après le repas, pris dans le bourg de Bessines-en-Gartempe, nous terminions notre périple en LIMOUSIN par la visite de l'entreprise EMIX à Saint-Maurice-la-Souterraine, en Creuse. Fondée en 1999, elle se consacre à l'élaboration sous argon de lingots de silicium polycristallin destinés à la fabrication de panneaux solaires. Deux unités de production travaillant en parallèle peuvent produire 300 tonnes de matériau fini par an. Il faut souligner la grande disponibilité de nos deux guides au cours de la visite, depuis l'atelier des fours jusqu'au laboratoire de contrôle.

Sur le chemin du retour via la R.C.E.A. traversant le département de la Creuse d'Ouest en Est, puis l'A71, Louis AVAN, fondateur du Laboratoire de Physique Corpusculaire de l'Université BLAISE PASCAL de Clermont Ferrand, brossa un magistral tour d'horizon de la Science nucléaire, depuis ses premiers pas jusqu'aux dernières découvertes réalisées grâce aux accélérateurs de particules du CERN où interviennent plusieurs équipes clermontoises.

Ce tour en LIMOUSIN laissera, nous l'espérons, une bonne impression sur le dynamisme de nos voisins, grâce à l'excellente qualité de l'accueil offert par tous les intervenants.

La Porcelaine et le four de Casseaux

L'histoire de la fabrication de la porcelaine dure a toujours plus relevé, on le sait bien, de l'alchimie et de ses nombreux tâtonnements que d'une science exacte. Alchimie dans le dosage de la pâte, mélange de silice (environ 73% de quartz), de fondant (environ 3% de feldspath) et d'alumine (environ 30% de kaolin), additionné d'argile à pipe (ball clay) afin d'augmenter la plasticité. La vraie porcelaine est apparue en Chine entre le début du VIIIe siècle et le début du IXe siècle, mais n'arriva en occident que vers 1700 après de nombreux siècles d'espionnage.

Alchimie dans les températures de cuisson, puisque les objets en terre subissent une première cuisson à 950 °C et que le dégourdi ainsi obtenu, fragile et poreux, doit ensuite recuire à 1 400 °C (le grand feu) pour donner le biscuit de porcelaine. Alchimie dans la décoration, entièrement arsanale, sur ou sous émail, alchimie dans la fabrica tion des différents pigments. Il fallut aux occidentaux mener encore plusieurs décennies d'espionnage pour découvrir la compostion secrète du vert céladon.

Et bien sûr, et c'est le sujet de notre article, alchimie dans la maîtrise du feu, dans la conception architecturale et dans la construction des fours de cuisson, qui malgré leur longue évolution, ont dû assurer des températures stables et homogènes et offrir des capacités industrielles. C'est à l'occasion de ces longs perfectionnements, qu'on a pu mettre en évidence les propriétés oxydo-réductrices de la cuisson. Une céramique peut être cuite en oxydation si le feu est clair, lorsque l'oxygène alimente le four en abondance, ou en réduction, lorsque le four s'emplit d'oxyde de carbone, lequel cherche à se transformer en gaz carbonique, en prenant l'oxygène de l'oxyde de fer éventuellement contenu dans la pâte. L'oxyde de fer contenu dans la terre cuite lui donnera une coloration rouge si elle est cuite en oxydation, et grise si elle est cuite en réduction.

Les Chinois considèrent que les Shang ont découvert le secret de la porcelaine, qui n'était à l'époque qu'un grès imparfait, pourtant chimiquement assez proche. Les premiers fours datent de l'époque Shang avec les fours longyao (fours dragon), de très grande taille, construits en suivant une pente de 8 à 20 degrés, de trente à quatre-vingts mètres de large, chauffés au bois, et les fours mantouyao (fours miche), alimentés au charbon, à atmosphère réductrice de capacités plus limitées.

Le four des Casseaux est l'un des cinq derniers fours à porcelaine conservés à Limoges. Il est le seul, avec ses 7,74 m de diamètre, et sa hauteur de 12 m sous globe, à être classé Monument historique (four à globe, en briques réfractaires, à flamme renversée, du système Minton, doté de 8 alandiers). Il est situé rue Donzelot, tout près de la Vienne, accolé à l'usine «Royal Limoges». Construit en 1884 pour l'ancienne usine Gérard-Dufraisseix-Morel, les successeurs de Charles Field Haviland, qui lui-même avait acquis l'entreprise de François Alluaud. Il perdit son utilité avec l'adoption en 1959 de la technique de cuisson au gaz, dans les fours tunnels. Il fut décidé de conserver le four, comme témoignage de la tradition porcelainière de la ville. (https://fr.wikipedia.org/wiki/Four_des_Casseaux)

Le four des Casseaux est à deux niveaux. Le premier niveau, appelé laboratoire était destiné à la cuisson de l'émail, la deuxième cuisson, à 1400 °C. Le second niveau, le globe, était destiné à la première cuisson des pièces en terre, c'est-à-dire à 900 °C. Grâce à ces deux niveaux, on pouvait cuire jusqu'à 10.000 objets en même temps. Les flammes entraient dans le laboratoire où la porcelaine cuisait, protégée dans des contenants en céramique, les gazettes, puis pénétraient dans des carneaux ménagés dans la sole du laboratoire pour se diriger dans le globe, par l'intermédiaire de conduits ménagés dans la chemise du four. La capacité du four est estimée à 100 m^3.

Ce four est construit dans un bâtiment en moellons de granit, à chaînage d'angle en pierre de taille. Les baies sont couvertes d'arcs segmentaires en brique ; les pignons sont percés d'oculi. Les bâtiments, à un étage carré, contenaient à l' origine deux fours : l'espace vide ménagé dans le plancher ceinturant le deuxième four disparu a été conservé. Les poutres des planchers et les charpentes sont métalliques. L'ensemble est couvert de deux toitures à longs pans en tuile mécanique à lanterneaux, dont l'un est percé en son centre pour le passage de la cheminée du four. Les pignons est ont conservé des traces d'arrachement, qui témoignent, avec les baies en plein cintre, de la juxtaposition et des communications avec d'autres bâtiments de fours aujourd'hui disparus.

(http://www.tourismehautevienne. com/portrait-du-musee-du-four-des-casseaux)

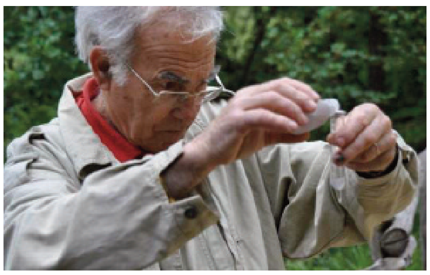
Alain DOURSOUT

CIRCUIT DES SOURCES MINÉRALES (sortie du 15 juin 2016)

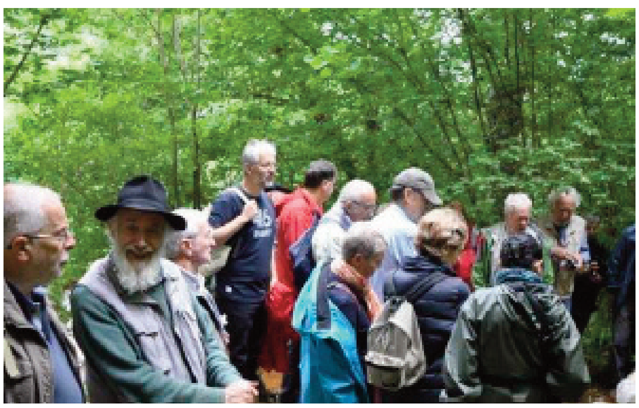
(Compte-rendu rédigé par Michel Massaux)

A la demande de quelques membres de l'ADASTA, une excursion vers des sources minérales dans le département du Puy-de-Dôme avait été projetée pour le printemps 2016. Malgré quelques ratés d'organisation, elle a eu lieu le 15 juin 2016 avec 42 participants, sous une forme voulue festive.

Elle a débuté à Saurier, village pittoresque au bord de la Couze PAVIN, entre Besse-en-Chandesse et Issoire. Plusieurs sources d'accès facile jaillissent sur les rives du torrent. Jean-Pierre COUTURIÉ , géologue expert, réalisa à cette occasion plusieurs expériences déterminant les propriétés physico-chimiques de leurs eaux.

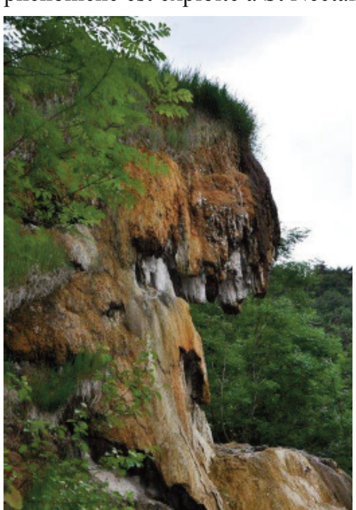


Jean-Pierre Couturié



Michel Massaux (2ème en partant de la gauche)

L'ascension vers le gros bloc de travertin formé par une autre source, la TETE DE LION, entre Saurier et Saint Floret, permit de mettre en valeur les caractéristiques d'une eau pétrifiante. Le même phénomène est exploité à St Nectaire ou à Gimeaux près de Riom.



Tête de lion

Après un bon repas pris à Boudes, au centre d'une zone viticole renommée, le groupe se rendit au village de BARD, au voisinage duquel se trouve une source qui était déjà connue et appréciée des gallo-romains. Des pièces de monnaie en bronze ont été trouvées à proximité. Son eau, calco-sodique et légèrement ferrugineuse, dégage du gaz carbonique.

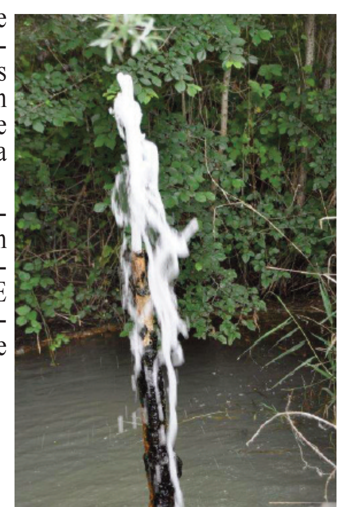
La poursuite de l'excursion nous conduisit à Coudes, où la source appelée «LA SAULCÉE» permit de faire une dégustation agréable dans un abri d'accès facile.

La source de Bard

Source des Saladis

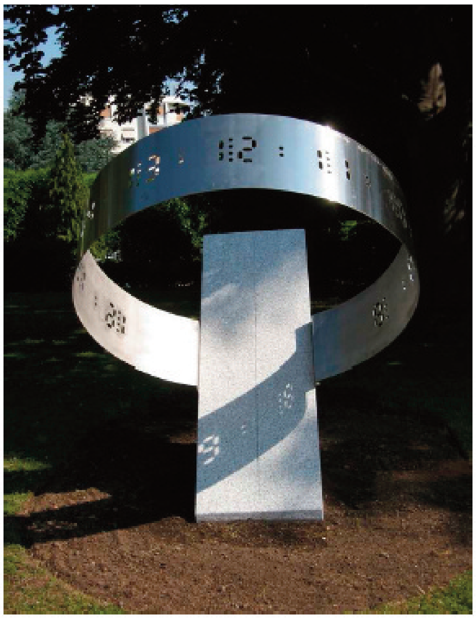
En fin d'après-midi, la sortie se termina sur le site des SALADIS, où des deux côtés de l'Allier, on trouve plusieurs venues d'eaux gazeuses salées, bien connues dans la région pour leurs vertus curatives sur toutes les maladies de peau.

Sur la rive droite, face à l'usine d'embouteillage de Sainte Marguerite, on peut admirer deux geysers sur une plateforme de travertin. Un projet de station hydrothermale avait été envisagé sur ce site il y a un siècle.



Cette sortie sans prétention, déroulée dans la bonne humeur, est un prélude aux manifestations d'octobre destinées à fêter les 30 ANS DE L'ADASTA. Le principe a été retenu pour d'autres excursions de journée.

INAUGURATION DU CADRAN SOLAIRE DE CHAMALIÈRES



CHAMALIÈRES

Ville de référence et d'innovation

Horloge Solaire

Projet élaboré par l'ADASTA
(**A**ssociation pour le **D**éveloppement de l'**A**nimation **S**cientifiqueet **T**echnique en **A**uvergne)
Président Henri BOUFFARD

Conçue par Gérard BAILLET, ingénieur et membre de l'ADASTA

Acier offert par AUBERT & DUVAL et usiné par AUMÉLEC

Réalisation de l'ensemble par la ville de CHAMALIÈRES

Horloge solaire inaugurée le 21 avril 2016
par Louis GISCARD d'ESTAING, maire de CHAMALIÈRES.

Discours de Gérard Baillet, concepteur du cadran solaire, lors de l'inauguration

Monsieur le Maire

A l'installation de l'horloge solaire j'avais mis Chamalières au centre de l'univers, je n'ai pas trouvé plus fort pour aujourd'hui, j'espère que vous ne m'en voudrez pas, aussi je me limiterais à quelques anecdotes liées aux cadrans solaires.

Tout d'abord deux extraits de la revue Astronomie de 1882. n°7 Fondée par Camille Flamarion en 1882 et toujours existante, j'y suis abonné.

Le premier extrait pour répondre à un vers de Virgile :

Qui ose dire que le soleil se trompe ?

La communauté des horlogers de Paris, sous Louis XIV, a choisi comme devise sur le listel de son blason : **(en latin) Elle prouve que les heures du soleil sont trompeuses**

Le soleil apparent a effectivement une marche irrégulière ce qui oblige à des corrections pour obtenir l'heure légale. Voir la table de correction de l'horloge solaire ici.

Le deuxième extrait: Un cadran solaire est essentiellement fixe et invariable. Il ne faudrait pas, pour régler sa pendule, se trouver dans le cas de cette dame qui avait envoyé sa domestique consulter le cadran solaire du jardin. Celle-ci, « ne s'y connaissant pas », avait dévissé la plaque et l'avait apportée à sa maîtresse « pour qu'elle vit l'heure elle-même ».

Ces deux anecdotes rappellent :

- qu'il faut savoir que l'âge d'or des cadrans solaires correspond à l'expansion du nombre d'horloges. Les particuliers devaient mettre régulièrement leur horloge à l'heure, ce qui a entraîné un cadran solaire ou une méridienne (elle donne le midi) par horloge. A Paris les cadraniers étaient « rue du cherche midi ».

- qu'au siècle de Louis XIV les horloges dites à « équation » avaient 3 aiguilles une pour les heures, une pour les minutes de temps moyen, une pour les heures solaires décalée par une came qui faisait 1 tour par an. On en voit encore dans les châteaux.

Le téléphone, la radio marquent la fin des cadrans solaires

La deuxième anecdote évoque la difficulté du transport du temps. La première horloge précise pour faire le point en mer date de l'invention du chronomètre de marine par un charpentier : Harrison (1750) en Angleterre. Elle avait une précision de 1/3 de seconde par jour.

Du vécu, véridique:

A deux reprises, devant un cadran solaire mural j'ai trouvé une personne qui regardait un cadran sur la tranche, en rasant le mur. A la question vous cherchez quelque chose... la réponse fut : Oui, je cherche où est le moteur qui fait tourner l'aiguille...

Merci de votre attention.

CHAMALIERES

Ville de référence et d'innovation

Comment obtenir l'heure légale ?

Étape 1 : Lire l'heure solaire indiquée par l'horloge. Voici comment procéder :

Lorsque le repère est sur le trait du socle, on se situe à l'heure précise.

Le repère indique la demi-heure.

Attention, lorsque les repères ou sont à gauche du trait, on se situe *avant* l'heure ou la demi-heure. Lorsqu'ils sont à droite du trait, on se situe *après* l'heure ou la demi-heure.

On obtient ainsi *l'heure solaire vraie* à Chamalières.

Étape 2 : Ajouter ou retrancher à l'heure solaire vraie, suivant le signe, la correction du tableau ci-contre en fonction de la date. On obtient l'heure dite « *temps universel* ».

Étape 3 : Ajouter + 1 heure si l'on se trouve en période d' « heure d'hiver » ou + 2 heures si l'on se trouve en période d' « heure d'été ». On obtient alors *l'heure légale* française.

Date	Correction (minutes)	Date	Correction (minutes)
01/01 au 06/01	-08	21/08 au 29/08	-10
06/01 au 11/01	-05	29/08 au 05/09	-12
11/01 au 17/01	-03	05/09 au 11/09	-15
17/01 au 24/01	-01	11/09 au 17/09	-17
24/01 au 06/02	+01	17/09 au 23/09	-19
06/02 au 03/03	+01	23/09 au 29/09	-21
03/03 au 12/03	-01	29/09 au 06/10	-23
12/03 au 20/03	-04	06/10 au 14/10	-25
20/03 au 27/03	-06	14/10 au 26/10	-27
27/03 au 03/04	-08	26/10 au 22/11	-28
03/04 au 11/04	-10	22/11 au 29/11	-25
11/04 au 20/04	-12	29/11 au 05/12	-23
20/04 au 03/05	-14	05/12 au 10/12	-20
03/05 au 08/06	-15	10/12 au 15/12	-18
08/06 au 18/06	-12	15/12 au 20/12	-16
18/06 au 28/06	-10	20/12 au 25/12	-13
28/06 au 10/07	-08	25/12 au 31/12	-11
10/07 au 21/08	-07		

Prends le temps de vivre
l'heure que je te donne.

PROGRAMME DES CONFÉRENCES 2e semestre 2016

9 NOVEMBRE - 17H30 - BIEN-ASSIS

Les machines arithmétiques de Blaise Pascal

Muséum Lecoq - **Nathalie VIDAL** responsable départ "histoire des sciences et techniques "
Dominique VOGT régisseur principal

7 DÉCEMBRE - 17H45 - POLYTECH AMPHI 1

Privée de découvertes depuis 50 ans, la Science est-elle en panne ?

Christian MAGNAN ProfesseurAstrophysicien

Trentenaire de l'ADASTA

10 OCTOBRE - 17H45 - POLYTECH AMPHI 2 - MINI-CONFÉRENCES

La science est-elle chemin de liberté ?

Louis AVAN *(Membre de l'Adasta)*
Professeur honoraire du CNAM (*Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris*)

La trichromie La synthèse des couleurs

Roland FUSTIER *(Membre de l'Adasta)*
Professeur Physique-ChimieAncien Président de l'UdPPC (*Union des Professeurs de Physique et Chimie*)

La couleur en pratique

Gérard MOUILLAUD *(Membre de l'Adasta)*
Technicien supérieur Institut Gay-Lussac, spécialiste traitements des surfaces et revêtements

●

11 OCTOBRE - 17H45 - POLYTECH AMPHI 2 - MINI-CONFÉRENCES

La place centrale des micro-organismes dans le développement des biotechnologies

Georges JEMINET *(Membre de l'Adasta)* - Ancien Directeur de recherche CNRS chimie

Les astronomes peuvent-ils être heureux ?

Georges ANTON *(Membre de l'Adasta)* - Ingénieur chimiste

L'électromagnétisme dans le monde moderne

Jean CHANDEZON *(Membre de l'Adasta)* - Docteur ès Sciences Professeur émérite Universités

●

12 OCTOBRE - 17H45 - POLYTECH AMPHI 2

Le mystérieux parfum des roses

Jean-Claude CAISSARD *(Auteur extérieur)* - Chercheur Université Jean Monnet - 42023 St-Etienne

●

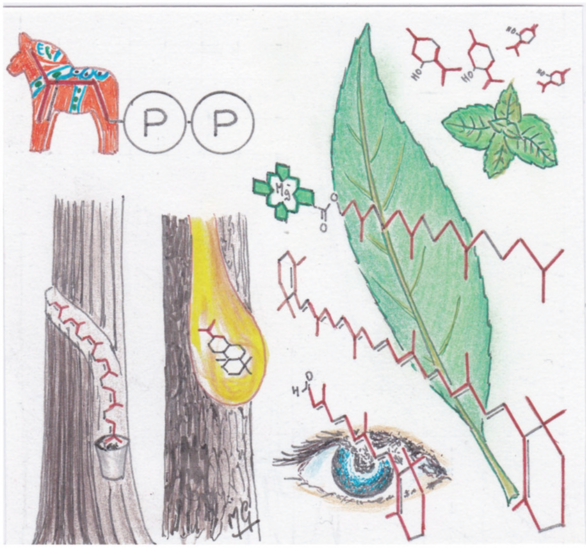
14 OCTOBRE - 17H00 - MAIRIE CLERMONT FERRAND

Les défis de la mobilité

Pierre ROBERT *(Auteur extérieur)*
Directeur du Centre de Technologie Europe Michelin,
Directeur du site Ladoux

Histoires de Plantes et autres…
Par Michel Gendraud (dessins et textes)

LA SAGA DES ISOPRENOÏDES

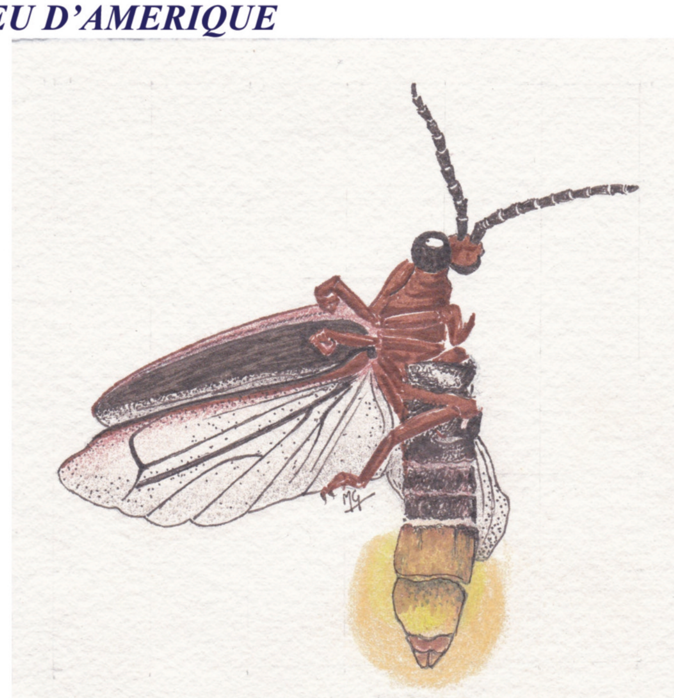


La molécule isoprène est comme un minuscule cheval de carbone et d'hydrogène qui naît attelé à un chariot de pyrophosphate. Elle le quitte en prenant son énergie, pour s'accrocher en guirlande à ses semblables. Ainsi se construit la famille des isoprénoïdes, rigoureuse et fantaisiste.

Ces guirlandes ne se dissolvent que dans les corps gras, mais elles se lient tête-bêche, se cyclisent, se tordent et se colorent, et même se coupent en deux. C'est une très ancienne famille, qui intervient aux postes clés du vivant.

Aux structures est le stérol, qui peut être recyclé en hormone et passer à l'information. A l'énergie, le phytol offre à la chlorophylle sa position fonctionnelle, le carotène est en appoint. Que l'automne sépare les deux premiers et le vert quittera le feuillage. Que l'animal scinde le troisième en deux rétinals et il aura l'information visuelle. A l'information aussi, menthol, eucalyptol et autres essences disent alentour la plante qui les émet. Enfin, à la défense, la résine du conifère piège l'insecte, et le caoutchouc de l'hévéa coagule le latex pour fermer la blessure faite à l'arbre.

LA MOUCHE A FEU D'AMERIQUE



Depuis combien de lunes les nuits amérindiennes offrent-elles le ballet des mouches à feu? Il charma les missionnaires européens et captiva la science. Les mouches à feu devinrent lucioles et luciférine la lampe de leur lanterne qu'allumait la luciférase.

Les naturalistes, qui virent les lucioles brouter à midi les feuilles des arbres et clignoter à minuit pour se rencontrer, comprirent que ce feu, cette lumière, était un message.

Les biochimistes observèrent que la luciférine brillait par l'ATP, indicateur universel de vie. Mesurant cette lumière par l'ATP-mètre, ils surent la masse de vie de l'échantillon.

Aujourd'hui, avant que la mouche à feu ne se retire sur ses terres amérindiennes, les physiciens lorgnent la structure de sa lanterne pour améliorer les DELs, toujours plus nombreuses à éclairer nos écrans et nos rues.