

# AUVERGNE

N° 68 - JUIN 2008

# Sciences



LA MICROGRAVITÉ, LES SCIENCES DE LA VIE ET L'ESPACE... EN AUVERGNE

HASARD ET ORDINATEUR

BIOBASIC ENVIRONNEMENT

BENJAMIN FRANKLIN

LES "JEUNES POUSSÉS"

## BULLETIN DE L'ADASTA

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

# EDITORIAL

Le talentueux Iannis Xenakis, pour composer sa puissante et belle musique – écoutez par exemple *Pleiades* par les Percussions de Strasbourg – avait observé les phénomènes sonores émergeant d'une manifestation de dizaines de milliers de personnes. Les événements sonores globaux sont constitués de milliers de sons isolés dont la multitude forme une plastique temporelle qui suit les lois aléatoires. Un mot d'ordre est lancé : une onde se propage alors. Il arrive souvent qu'un choc entre manifestants et répresseurs se produit ; l'onde se rompt en un amas énorme de cris chaotiques jusqu'au désordre total. Ce passage de l'ordre parfait au désordre total répond également aux lois stochastiques. C'est de foule qu'il s'agit également avec **Gérard Fleury** dans le martèlement de pas de piétons empruntant un pont. L'onde sonore engendrée, qui est sans conséquence quand il ne s'agit que de piétons, devient destructrice dans le cas de séismes. L'auteur montre comment est utilisé le hasard pour réaliser des modèles stochastiques permettant de prendre en compte les turbulences dans l'architecture d'un pont. L'ingénierie est aussi fortement consommatrice de méthodes utilisant le hasard pour la résolution de problèmes ; les méthodes les plus récentes s'inspirent de la génétique dans l'élaboration des algorithmes très pratiques en reconnaissance des formes par exemple.

Turbulences ? pas tout à fait mais apesanteur dans la photo de la page de couverture où on reconnaît **Paul Avan**, la tête en bas, dans une expérience mêlant de manière inattendue audition (encore des sons !) et vols spatiaux faisant l'objet d'un programme de recherche financé par le CNES. L'oreille interne intervient dans le sens de l'équilibre en nous permettant de sentir la gravité et les accélérations. Si le bénéfice immédiat est de comprendre « le mal de l'espace », il y a certainement plus d'applications terrestres que spatiales et leur développement peut ouvrir des nouvelles pistes importantes. Nos "**Jeunes Pousses**" de l'**ADASTA** d'aujourd'hui peuvent être ces chercheurs et ingénieurs de demain, et les photos associées au compte-rendu des activités de l'année montrent leur enthousiasme prometteur.

Nous avons débattu en Assemblée Générale d'une ouverture de notre revue auprès de la jeunesse en intégrant les publications du **Conseil Scientifique Sertillanges** à **Auvergne Sciences**. Le prochain numéro de la revue est dorénavant très attendu, et nous vous donnons rendez-vous à la rentrée, pour une année 2008/09 très riche en activités et marquée par l'Année Mondiale de l'Astronomie: **AMA09** dont l'UNESCO et les Nations Unies nous ont octroyé le label.

A tous,  
nous avons une nouvelle présentation de la Revue :  
il s'agit d'un essai avec un nouvel imprimeur

Bonnes vacances

Michel NARANJO,  
Président de l'ADASTA

## MERCI À NOS SPONSORS



## SOMMAIRE

La microgravité, les sciences de la vie et l'Espace... en Auvergne .....	1
Hasard et ordinateur.....	7
Compte rendu de visites d'entreprises et Centres de Recherches .....	16
Biobasic Environnement .....	22
Benjamin Franklin .....	23
Avant programme des conférences Adasta .....	24
Les activités des "Jeunes Pousses" de l'Adasta .....	25

Les articles publiés sont de la responsabilité exclusive de leurs auteurs

### Comité de rédaction de la Revue Auvergne-Sciences

Président : Paul Avan

Rédacteur en chef : Philippe Choisel

Membres : Jocelyne Allée, Georges Anton, Vincent Barra  
Jean-Claude Capelani, Jean Chandezon, Luc Dettwiller,  
Paul-Louis Hennequin, Michel Naranjo, Annie Ville

Photo de couverture : crédit au Professeur Paul Avan

Remerciements également à nos auteurs pour les photos communiquées

Réalisation et conception : Design'Création - 04 71 02 80 57

# LA MICROGRAVITÉ, LES SCIENCES DE LA VIE ET L'ESPACE... EN AUVERGNE



**PAUL AVAN**  
Laboratoire de Biophysique Sensorielle (EA 2667),  
Faculté de Médecine, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand

Cet article a pour but de présenter un compte-rendu de quelques expériences mêlant de manière inattendue audition et vols spatiaux, par l'intermédiaire de programmes de recherche financés par le CNES. Ici il s'agit d'une série de projets de longue haleine, pilotés par nos collègues physiologistes de l'Université de Caen-Basse-Normandie, les professeurs Pierre Denise et Hervé Normand, visant à comprendre les modifications de la physiologie chez les spationautes.

L'audition est concernée par cette recherche, car l'oreille interne héberge non seulement la cochlée, dont nous avons eu l'occasion de parler dans le N° 66 de juin 2007 de « Auvergne-Sciences » et qui est dévolue à l'audition, mais aussi le vestibule. Ce dernier intervient dans le sens de l'équilibre en nous permettant de détecter la gravité et plus généralement les accélérations linéaires ou circulaires. Les cellules sensorielles du vestibule présentent à leur sommet une touffe stéréociliaire, et chacune est surmontée de petits cristaux de carbonate de calcium dits otolithes (fig.1). Le poids des otolithes agit sur la touffe de stéréocils en la faisant dévier, ce qui permet à la cellule de déclencher des influx nerveux qui informent le nerf vestibulaire de la position de la tête, par exemple, droite ou penchée. D'autres systèmes de l'organisme informent également sur la direction de la pesanteur, notamment le système visuel, capable de repérer la verticale, et le système proprioceptif qui détecte les forces et pressions appliquées aux différentes parties de notre corps. Normalement, toutes ces informations sont cohérentes et redondantes. Mais en l'absence de pesanteur, des informations disparaissent et d'autres peuvent entrer en conflit : de telles situations peuvent déclencher le mal de l'espace, analogue par ses manifestations les plus désagréables au mal des transports.

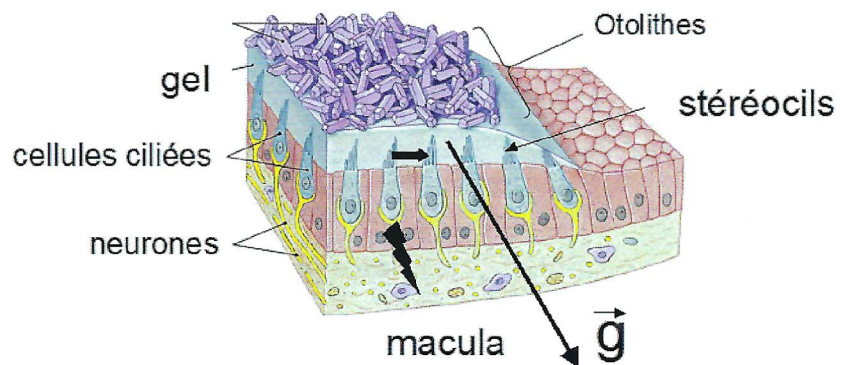


Fig. 1 : Schéma d'une macule sacculaire avec ses otolithes qui lestent les stéréocils des cellules ciliées vestibulaires. Si la gravité (vecteur  $\vec{g}$ ) dévie par rapport à l'axe des stéréocils, ceux-ci subissent une déflexion (flèche) qui informe les neurones de ce que la tête n'est plus verticale.

Le laboratoire de physiologie de l'Université de Caen a obtenu de participer à des campagnes financées par le CNES, le Centre National d'Etudes Spatiales, qui permettent de placer des sujets volontaires dans des situations brèves (mais répétées), où la sensation de pesanteur disparaît. C'est ce qui se produit pour un sujet à bord d'un avion en chute libre, car la réaction du sol de l'avion à la présence de ce sujet massif s'annule. Le sujet flotte donc à l'intérieur de l'avion, par rapport à ses parois, comme si la pesanteur avait disparu. Il ne perçoit aucune différence avec une situation où son poids serait nul. La situation d'un spationaute est identique dans la mesure où la station spatiale où il se trouve est en chute libre. Cependant, à la différence du cas de l'avion ordinaire, la station a été placée sur une trajectoire elliptique qui ne rencontre pas la surface terrestre, l'orbite peut donc se poursuivre indéfiniment. La trajectoire d'un avion en chute libre est une parabole (fig.2), d'où le nom de vol parabolique donné à cette manœuvre de mise en chute libre, mais la parabole coupe la surface terrestre, le vol ne peut donc se poursuivre indéfiniment sous peine de crash. La réalisation d'un vol parabolique, nous allons le revoir, nécessite la présence d'un équipage spécialement entraîné.



Fig. 2 : Y a-t-il un pilote dans l'avion ? Non, il y en a trois (plus un ingénieur mécanicien, un ingénieur d'essais et un pilote remplaçant) ! qui maîtrisent parfaitement la trajectoire.

Ces expériences de vols paraboliques se poursuivent au rythme d'une ou deux campagnes par an en ce qui concerne celles organisées par le CNES, avec trois vols par campagne, trois jours de suite. Hormis l'aspect indiscutablement fascinant de ressentir certaines sensations des spationautes, pourquoi continuer, pourquoi à ce rythme et quel est le but ultime de ces recherches ? Pour bien le comprendre, il nous faut revenir au contexte général des sciences de la vie en microgravité, et aux marges de manœuvre très étroites qu'il impose à tout protocole expérimental.

Grâce aux développements de la robotique, de l'informatique et de l'électronique, on peut explorer la planète Mars sans quitter son bureau. Mais les défenseurs de l'exploration spatiale habitée gardent des arguments de poids en mettant en avant la capacité de l'homme intelligent et entraîné à accomplir en quelques dizaines de minutes ce qu'un robot « bête et discipliné » peut

mettre des mois à exécuter. Et de toute façon, les politiques préfèrent souvent favoriser les programmes qui, pensent-ils, stimulent le plus l'imaginaire de leurs concitoyens, plus prêts à financer un programme très coûteux d'envoi de spationautes sur la Lune qu'un programme infiniment plus modique mais plus systématique d'exploration par sondes automatiques, moins « glamour ». Cependant, le public est versatile, et ne s'enthousiasme pas longtemps une fois l'émerveillement initial atténué : qui se souvient des noms des explorateurs lunaires, à part les deux premiers, Neil Armstrong et Buzz Aldrin (précédés toutefois par Tintin, le capitaine Haddock, et quelques passagers) ?

La politique spatiale des décennies à venir est déjà décidée par les agences internationales, il s'agit de l'exploration humaine de la planète Mars. Le voyage vers Mars durerait plusieurs mois (le voyage retour, que l'on espère possible, également !) pendant lesquels l'organisme des spationautes devra supporter la microgravité, si les moyens de transport n'évoluent pas d'ici le premier grand voyage. Une fois arrivés, les voyageurs subiront une gravité diminuée par rapport à celle de la Terre, mais néanmoins présente ; ils vont donc devoir se réadapter à la pesanteur. Face à ce défi des années 2030, les physiologistes ont un défi préliminaire à relever : ils doivent absolument mieux comprendre la manière dont l'organisme s'adapte à la microgravité et au retour à la pesanteur. En effet, malgré l'expérience déjà accumulée au bout de quarante ans de vols spatiaux habités, on ne peut que se borner à constater que les astronautes, cosmonautes, spationautes et taïkonautes, tous sans exception, voient leurs performances physiques et mentales dégradées, au moins temporairement, au bout de quelques heures en microgravité (avec l'inconfort moral supplémentaire de savoir que les mêmes symptômes vont les accabler lors de leur retour sur la bonne vieille Terre... !). C'est le *mal de l'espace*, version « hi tech » du mal de mer, mais plus lourd de conséquences. L'entraînement préalable, pourtant très dur et très complet, émaillé de tests physiologiques à visée prédictive, ne permet guère de faire émerger les plus résistants. Sinon, il serait facile de les présélectionner au détriment des autres, car le coût d'une mission est très élevé, donc également celui d'un passager inapte à accomplir sa mission.

La seule solution de ces problèmes repose sur l'expérimentation physique et physiologique : tester des sujets sains en situation d'impesanteur, réelle ou simulée, et mesurer autant de paramètres que possible pour tenter de faire émerger des corrélations entre comportement dans l'espace et aptitude à conserver tel ou tel paramètre dans un intervalle normatif malgré l'environnement hostile. C'est ainsi que le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) entretient un programme ambitieux en Sciences de la Vie dans l'Espace. Pour mener à bien un tel programme (hautement compétitif, avec américains, russes, européens et désormais chinois en vive concurrence), il faut :

- des problématiques bien orientées, et des hypothèses plausibles capables d'expliquer au moins en partie le mal de l'espace ; [L'hypothèse que nos équipes de Caen et Clermont-Ferrand examinent attribue un rôle à la pression intracrânienne, la PIC, ou à la pression hydrostatique qui règne dans l'oreille interne, pression intralabyrinthique ou PIL]
- des moyens de mesure adaptés ; [à quoi sert d'incriminer la PIL ou la PIC dans le mal de l'espace si l'on n'a pas les moyens de mesurer au moins indirectement ses changements ?],
- une situation contrôlée et répétitive d'impesanteur.

La dernière condition est bien sûr la plus délicate. Sauf à envoyer les sujets tests en vol spatial, directement, accompagnés des expérimentateurs chargés de les enregistrer, il vaut mieux trouver des situations moins coûteuses. Il existe deux moyens de placer un « laboratoire » en conditions de microgravité, l'un réel, l'autre virtuel. Le moyen virtuel repose sur des expériences de décubitus prolongé, où des sujets volontaires sains sont hospitalisés dans des centres spécialisés (le MEDES à Toulouse, pour un certain nombre de pays membres de l'ESA) et doivent rester couchés, tête en bas, corps incliné de quelques degrés (-6° exactement). Ces conditions se traduisent sur les plans notamment cardiovasculaire et osseux, par des modifications similaires à celles observées dans l'espace. Evidemment, les conditions expérimentales sont très lourdes et il n'est pas possible de tester plus que quelques sujets, de temps en temps.

Pour les situations d'impesanteur réelle, le CNES fait appel à la société Novespace qui gère une base en bordure de l'aéroport de Mérignac. Elle est dirigée actuellement par l'ancien spationaute Jean-François Clervoy. Novespace possède un Airbus A300, n'ayant servi, avant son affectation aux vols « zéro g », qu'aux essais de mise au point de la série A300 (c'est le prototype 003). Sa carlingue est spécialement aménagée pour accueillir environ 45 passagers et quelques membres d'équipage. Le reste de l'espace disponible, occupant toute la zone centrale de l'appareil, permet l'amarrage d'une douzaine de racks expérimentaux hébergeant autant d'expériences. Il s'agit des expériences sélectionnées par le CNES ou tout autre client pour voler lors d'une campagne d'essais scientifiques. Le CNES affrète l'Airbus A300 zéro g deux fois par an en moyenne, mais l'ESA, la NASA ou d'autres agences peuvent tout autant être clientes (fig.3).



Fig. 3 : Bout de piste à Mérignac. Décollage dans 30 minutes, première parabole dans 45 minutes au-dessus de l'Atlantique.

L'Airbus « zéro g » est certifié pour effectuer 31 paraboles par jour. Elles sont exécutées en un seul vol, sauf incident qui oblige à terminer la série de 31 lors d'un deuxième vol le même jour. Pourquoi l'avion doit-il effectuer précisément des paraboles ? Parce que c'est la trajectoire d'un corps en chute libre dans un champ de pesanteur uniforme. La condition pour mettre en impesanteur les objets contenus dans un corps est de mettre le corps en chute libre : la mission des pilotes est de faire suivre à leur Airbus une trajectoire parabolique qui garantit qu'il est en chute libre. Evidemment, un avion n'est pas conçu pour effectuer des chutes libres, mais pour planer ou au moins, être porté par l'air. Toute l'habileté des pilotes est requise pour empêcher à tout moment leur appareil de planer, et au contraire de lui faire suivre une trajectoire de chute libre avec une précision telle que les passagers et les objets intérieurs ne se trouvent jamais exposés à plus de 0,05 g. On démontre que, si un Airbus est lancé vers le haut avec un angle d'attaque de 47 degrés et à vitesse maximum, et si les pilotes arrivent à lui faire suivre une trajectoire parabolique de chute libre, l'avion se retrouve incliné à 42 degrés vers le bas 22

secondes plus tard : à 42° il est alors temps de le redresser en douceur pour le remettre à l'horizontale. L'angle d'attaque de 47 degrés permet d'obtenir la durée maximale d'impesanceur : 20 à 22 secondes. C'est très long quand on a le mal de l'espace, ce qui peut arriver aux débutants, mais très court lorsqu'on doit effectuer des mesures physiologiques plus ou moins complexes. On ne peut négocier une durée supérieure à 22 s, incompatible avec les performances de l'avion !

L'avion amorce une nouvelle parabole après environ une minute de vol horizontal. Certaines expériences auraient grand besoin d'un peu plus de temps pour remettre leurs appareils en état, ou ré-instrumenter leurs sujets, ou effectuer des modifications de protocole, mais les pilotes ne peuvent accéder à cette requête car ils ne peuvent prolonger la phase horizontale. Ceci résulte d'une cascade d'impératifs pointus. Le premier est que les pilotes doivent régler leurs commandes de manière à ne pratiquement pas avoir à effectuer d'effort sur le manche lors d'une parabole, où le pilotage est extrêmement fin. Pour ne jamais s'écarter de la trajectoire idéale, trois pilotes interviennent à cet instant. L'un contrôle le roulis de l'avion, l'autre le tangage, ces deux pilotes assurant que l'avion a une portance nulle. Le troisième pilote ajuste la poussée des réacteurs pour juste annuler la traînée de l'appareil. Les trois actions doivent être totalement découplées. Le pilote chargé du tangage agit donc sur son manche au moyen de simples ficelles (de type lacet de chaussure..., attachées au manche) qu'il actionne vers l'avant ou vers l'arrière, avec une infinie délicatesse ! Ainsi il ne risque pas de faire rouler l'avion dont le contrôle est à la charge exclusive de son collègue. Ce dernier, lui, peut faire tourner son manche, mais jamais tirer ni pousser car il est verrouillé par une barre (de type antivol...). La contrepartie de ces ingénieuses et peu coûteuses dispositions, qui permettent d'atteindre une microgravité excellente et stable, est qu'en vol « banal », horizontal, les pilotes doivent exercer sur leur manche, alors loin du réglage optimum, une traction de 20 kg. Ils ne peuvent prolonger cet effort au-delà d'environ 1 minute. Les expérimentateurs doivent donc concevoir des protocoles qui respectent ce carcan d'une durée très courte entre deux paraboles consécutives.

Une autre contrainte vient de la nécessité de partager les sièges disponibles entre 11 ou 12 expériences, certaines de physique, d'autres de sciences de la vie. Ces dernières sont un peu plus gourmandes en sièges car doivent voler non seulement les expérimentateurs mais aussi les « cobayes » volontaires sains. On dispose ainsi de deux à trois « cobayes » par vol (chacun, dix ou quinze paraboles). Les sujets sont recrutés sur la base du volontariat, bien sûr, de la curiosité (les candidats sont, on peut aisément l'imaginer, très nombreux) et de la possibilité de produire dans les délais un certificat d'aptitude. Celui-ci est similaire, au moins en théorie, à celui des personnels navigants et donc, délivré dans des centres agréés et à durée de validité limitée. En pratique, les sujets ont une marge de manœuvre étroite pour produire le précieux papier dans le temps imparti.

Le principe de notre expérience est de rechercher comment la physiologie du système de l'équilibre s'adapte à une situation de microgravité, comment d'autres systèmes qui reçoivent des informations du système vestibulaire réagissent, et enfin, comment l'apparition de conflits sensoriels et végétatifs entraînant le mal de l'espace peut être expliquée.

L'effet immédiat de la microgravité sur le vestibule est de faire disparaître les informations en provenance des otolithes. L'absence de gravité se traduit aussi par une redistribution des fluides vers la partie haute de l'organisme, avec en principe une dilatation des vaisseaux cérébraux et une probable augmentation des pressions hydrostatiques dans la boîte crânienne : pression intracrânienne (PIC) et pression intralabyrinthique (PIL). En principe les deux pressions s'équilibrent très rapidement car les compartiments contenant le liquide cérébro-spinal et les liquides de l'oreille interne communiquent par plusieurs canaux. Nous faisons donc l'hypothèse que dans nos expériences, PIL = PIC. Une PIL augmentée peut en elle-même induire des troubles importants : après tout et bien que la question soit controversée, il est possible qu'une augmentation de PIL puisse conduire à des symptômes de type « maladie de Menière », maladie de l'oreille interne qui associe des crises de vertiges à une surdité neurosensorielle fluctuante et à des acouphènes. De même pour une hydrocéphalie avec PIC augmentée, pour laquelle des troubles de l'équilibre font partie du tableau.

L'hypothèse d'un rôle du paramètre PIC ou PIL serait très facile à tester s'il existait un moyen non invasif de mesurer la PIC. Mais ce n'est pas le cas : aucun astronaute n'a encore accepté de se faire poser une ponction lombaire ou un cathéter dans un ventricule cérébral pendant la durée d'un vol, pour prix de son passage... L'accès direct à la PIL est encore plus impensable. Les seules données actuelles disponibles concernant la PIC dans l'espace sont déduites d'un seul vol pendant lequel un singe a été enregistré. Si l'enjeu de la mesure non invasive de PIC n'était que spatial, peu de recherches auraient sans doute eu lieu sur ce problème. Mais une solution est venue d'études menées à la frontière entre neurochirurgie et biophysique auditive (fig.4) . Le laboratoire de biophysique sensorielle de Clermont-Ferrand, en collaboration avec le service de Neurochirurgie du CHU (Professeur Jean Chazal) a en effet montré, dans les années 1996-2000, qu'une PIL augmentée se traduit par une mise sous tension de l'os de l'étrier. L'étrier permet à la chaîne des osselets reliée au tympan de faire vibrer les liquides de l'oreille interne sous l'effet du son. Sa fréquence de résonance change en proportion du changement de PIL. Il reste à mesurer la fréquence de résonance de l'étrier : ceci est particulièrement simple si le sujet testé a ce que l'on appelle des *otoémissions*. Les otoémissions acoustiques sont des sons de faible niveau réémis par une catégorie de cellules sensorielles auditives lorsqu'elles vibrent sous l'effet du son qu'elles reçoivent. Les sons réémis sous forme d'otoémissions sont différents, notamment par leur fréquence, de ceux reçus de l'extérieur et il est donc facile de les identifier en les recherchant à leur fréquence spécifique. La détection des otoémissions se fait par la pose d'un simple microphone dans le conduit auditif externe du sujet.

Lorsqu'on recherche les otoémissions, les vibrations sonores traversent deux fois l'étrier : le stimulus à l'aller et

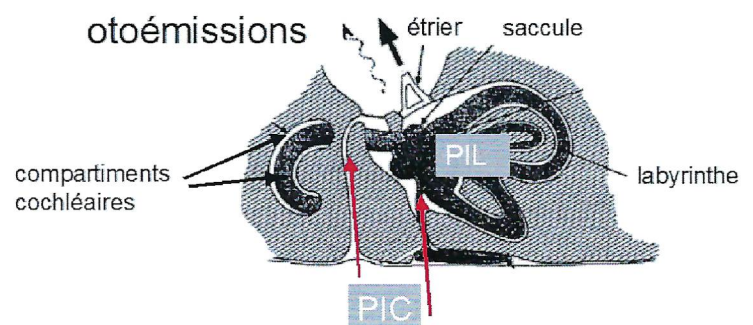


Fig. 4 : Rationnel de notre expérience, les compartiments intracrânien et intralabyrinthique communiquent, et la PIC repousse l'étrier vers l'extérieur en augmentant sa rigidité, ce qui interagit avec les otoémissions acoustiques.

l'otoémission au retour, une fois émise par les cellules sensorielles lorsqu'elle chemine vers le conduit auditif externe. Plus la fréquence de résonance de l'étrier est élevée (elle est habituellement voisine de 1000 Hz), plus l'otoémission montre une phase précoce. Si l'étrier ne modifiait pas la manière dont il transmet les sons, l'otoémission à 1000 Hz resterait fixe, sa phase serait stable. La mesure du déphasage d'une otoémission autour de 1000 Hz par rapport à la situation choisie comme référence (fig.5) informe quantitativement sur la variation de PIC par rapport à la référence. La sensibilité de la méthode est telle qu'une variation de PIC de 60 mm d'eau est détectable par une rotation de phase des otoémissions de 10 degrés. La méthode a été calibrée en comparant nos mesures d'otoémissions à des mesures directes de PIC, chez des patients hospitalisés en neurochirurgie au CHU (service du Professeur Jean Chazal) et chez qui la mesure directe de PIC était indispensable (figs. 6, 7).

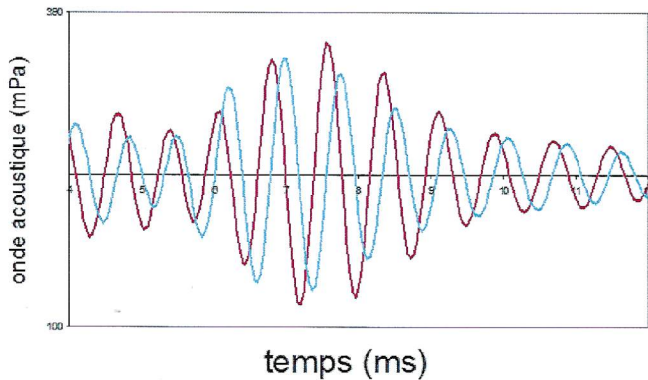


Fig. 5 : une otoémission à PIC normale, et la même, en avance de phase, lorsque la PIC est élevée

### calibration en neurochirurgie

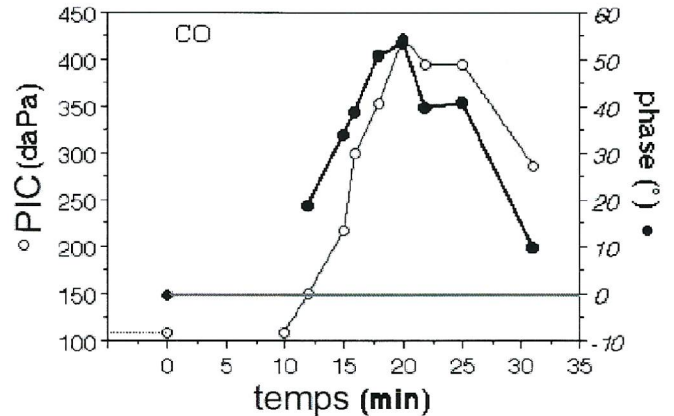


Fig. 6 : Variations de la PIC (cercles blancs) et de la phase des otoémissions (trait gras, cercles noirs) lors d'une intervention neurochirurgicale à PIC variable.

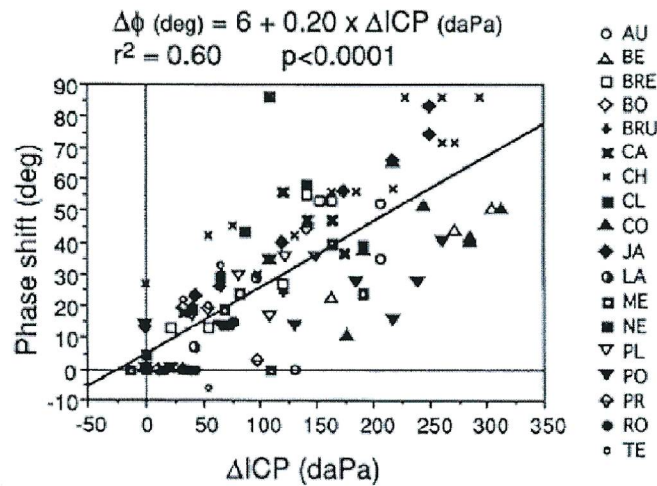


Fig. 7 : Relation linéaire entre PIC et déphasage des otoémissions déterminée sur une série de patients.

Notre projet « CNES » a consisté à détecter les changements de PIC induits par la microgravité par le biais de la réponse des otoémissions acoustiques. Nous avons donc eu besoin de détecter de manière répétitive, au cours de vols paraboliques, et en fonction de la gravité, les otoémissions acoustiques. Les otoémissions sont des sons de faible niveau, rappelons-le, donc leur présence peut être aisément dissimulée en cas de bruit acoustique environnant élevé, comme c'est le cas dans une carlingue d'avion. Sans otoémission détectable, pas de mesure significative. Notre travail se déroulerait donc plus efficacement s'il était possible de sélectionner à l'avance les sujets présentant les otoémissions les plus amples, donc les plus susceptibles d'émerger du bruit de fond. Il est hélas pratiquement impossible d'imposer un test de présélection de ce type et nous sommes obligés d'inclure les sujets sur la base de leur aptitude administrative.

Une autre conséquence de toutes ces contraintes est que les équipes associées dans le projet « vestibule » doivent pratiquer plusieurs expériences simultanées (figs. 8, 9) sur les sujets qui leur sont impartis : six sujets par campagne peuvent voler, et actuellement, quatre expériences différentes sont combinées sur le même sujet. On ne peut donc jamais se trouver dans la situation idéale où un sujet volontaire ne subirait que les contraintes d'une seule expérience. Les quatre expériences actuelles combinent, outre la mesure indirecte des changements de pression intracrânienne par les otoémissions, des mesures de flux sanguin (cérébral et autres) par ultrasonographie Doppler, des mesures de répartition des masses liquidiennes dans l'organisme par ultrasons et aussi mesures pléthysmographiques, ces diverses mesures étant effectuées également dans une situation de réalité virtuelle où le sujet, porteur d'un casque spécial, visualise une situation qui lui donne une illusion de verticale alors que ses capteurs otolithiques ne permettent plus de connaître la position du corps dans l'espace. Il s'agit de savoir comment l'illusion visuelle d'une verticale module la réponse de l'organisme à l'impesanteur, l'adaptation des vaisseaux sanguins et de manière ultime, la redistribution des masses liquidiennes.

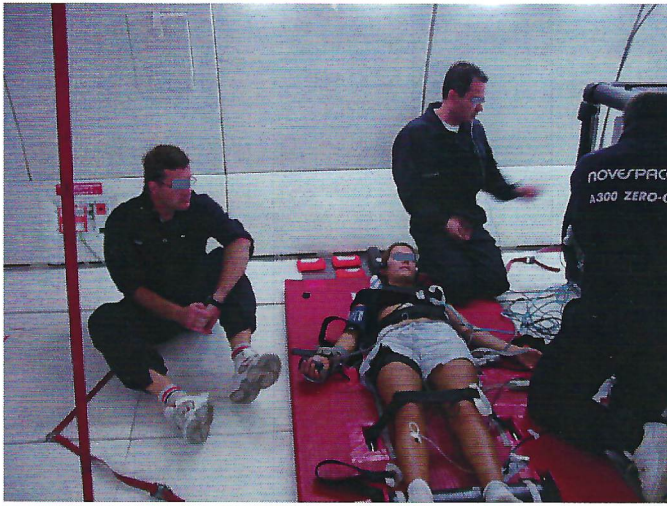


Fig. 8 : "Cobaye" entouré de trois expérimentateurs, deux autres finissent de calibrer leurs appareils hors champ. L'un des câbles allant de l'oreille gauche du sujet au rack situé à droite recueille la PIC. La première parabole est annoncée dans deux minutes.

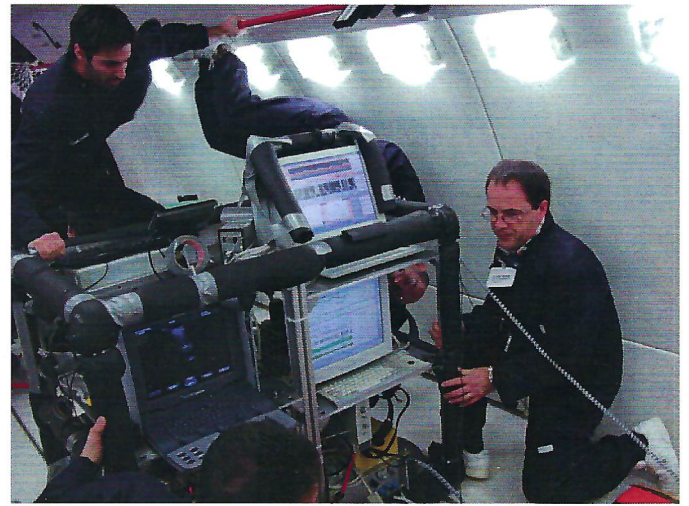


Fig. 9 : Lors d'une phase d'impesanteur, chaque expérimentateur tente de trouver une position stable qui lui permette de surveiller les écrans de contrôle sans gêner les autres...

Le harnachement porté par le sujet d'expérience induit certaines contraintes que l'investigateur principal doit gérer à la seconde près : un capteur déconnecté, une interférence entre deux expériences peut invalider toute une série de paraboles. Il est totalement impossible à quatre expérimentateurs confinés dans un espace étroit, flottant dans la carlingue, essayant de ne pas se gêner mutuellement tout en n'ayant aucune maîtrise de leur posture ni de leur trajectoire, de résoudre en 22 secondes une difficulté technique aussi simple soit-elle. Les nombreuses répétitions au sol ont lieu à 1 g, et ne préfigurent pas tous les incidents potentiels. En pratique, tout incident technique neutraliserait l'ensemble des paraboles d'une série (soit 5), voire même l'ensemble des paraboles d'un « cobaye ». De manière étonnante, cette configuration « catastrophe » est très rare : les expérimentateurs acquièrent vite un flegme et une coordination souriante qui contribuent à faire des campagnes une expérience humaine qu'on a envie de prolonger.

Les paramètres de vol sont bien stéréotypés, comme suit. Décollage de Mérignac, en direction de l'une des deux zones réservées à ce type de vols d'essai (une zone à l'ouest des côtes atlantiques françaises, une en Méditerranée entre le golfe du Lion et la Sardaigne) : départ de la série de vols paraboliques autour de 20 000 pieds (6000 mètres environ) à la vitesse de croisière normale, ascension en 20 s environ jusqu'à atteindre un angle de montée de 47° (montée en cabrage avec réacteurs presque à fond qui engendre une phase d'hyper-pesanteur à 1,8 g pendant les 20 s de l'ascension. Un sujet de 70 kg a alors l'impression, au choix, de peser 126 kg ou de porter un sac de 56 kg : dans les deux cas, difficile de bouger ! Et il ne vaut mieux pas tenter de le faire sous peine de ressentir des vertiges, car lorsque la tête bouge, les otolithes transmettent des informations amplifiées). Au-delà, la parabole commence, on est donc techniquement en chute libre, ce qui n'empêche cependant pas l'appareil de continuer à monter jusqu'à 28 000 pieds, sur sa lancée. Toujours en chute libre, il retombe jusqu'à atteindre un piqué de 42°, où il effectue une ressource qui le ramène en 20 s (ceci est une phase d'hyper-pesanteur de 1,5 g environ) à 20 000 pieds où il retrouve sa vitesse de croisière. Les paraboles s'enchaînent par séries de cinq au bout desquelles les pilotes peuvent soit faire demi-tour pour reprendre une série de 5 paraboles dans l'axe de vol qu'ils viennent de quitter, soit se rendre sur une autre zone de l'espace aérien qui leur est réservé pour trouver des conditions aérologiques optimales. Selon les conditions, le temps qui sépare deux séries de cinq paraboles peut être de quelques minutes comme prévu à l'avance, ou un peu plus long. Ce sont les seuls moments où les expérimentateurs peuvent remédier à une panne, changer de sujet ou instrumenter différemment le sujet qu'ils testent. Autant dire qu'un retard du plan de vol est souvent très bien accueilli... même si les pilotes obéissent, eux, à une autre logique !

Ainsi, plusieurs campagnes sont souvent nécessaires pour recueillir assez de données pour atteindre des conclusions intermédiaires significatives. Lors de nos quatre premières campagnes (en moyenne une tous les 6 mois), nous avons ainsi collecté les données de 300 paraboles environ. Pendant 10 à 15 paraboles, les otoémissions d'un sujet donné sont enregistrées. Mais un sujet peut ne pas avoir d'otoémissions le jour J, d'autres sont malades dès la première parabole, pour d'autres le capteur dans l'oreille se déplace lors de mesures concomitantes... et la cadence de déroulement d'un vol ainsi que l'exiguïté de l'emplacement de chaque expérience (10 à 12 doivent cohabiter au milieu de la carlingue, entourées par 45 passagers qui doivent se déplacer autour de leurs racks d'expérimentation) ne laissent guère de droit à l'erreur. Au total, nous avons pu extraire des données totalement valides de 57 paraboles sur 300, ce qui est honorable par rapport à nombre d'expériences qui échouent totalement dans ce contexte plutôt hostile.

Les leçons scientifiques de cette étude sont que des données de PIC peuvent être collectées en situation de vol spatial, pour la première fois et grâce à la recherche sur l'audition. La PIC augmente en quelques secondes en microgravité transitoire, très nettement (fig.10), parfois de plus de 3 cm de mercure (près de 400 mm d'eau !). Les sujets ressentent d'ailleurs clairement cette augmentation qui s'apparente au fait d'être brusquement pendu par les pieds (en plus étrange, puisque sans sensation de pesanteur). Il est encore trop tôt pour comprendre pourquoi certains sujets voient leur PIC varier beaucoup moins que d'autres. Il semble également exister une assez forte adaptation au bout de quelques séances, dont la cause reste floue : plusieurs sujets ont ainsi pu être enregistrés répétitivement et ont montré une PIC beaucoup plus stable en fin de vol ou de campagne. Du reste, plusieurs sujets malades en début de campagne ont terminé la série de paraboles en pleine forme retrouvée, ayant su plus ou moins instinctivement adopter un ensemble d'attitudes adaptées (tension des abdominaux, respiration, programmation des déplacements en tentant d'anticiper les changements de gravité, etc). C'est intéressant parce que reproduisant ce qui arrive en vol spatial. Il semble donc que nous soyons sur une piste de compréhension du mal de l'espace. L'étape suivante sera pour les organisateurs

de vols spatiaux de proposer à leurs spationautes des contre-mesures, comme une centrifugation qui engendre transitoirement une pesanteur retrouvée, pour les aider à compenser les effets de la microgravité. L'effet de ces contre-mesures sur la PIC sera intéressant à étudier et fera l'objet de campagnes futures.

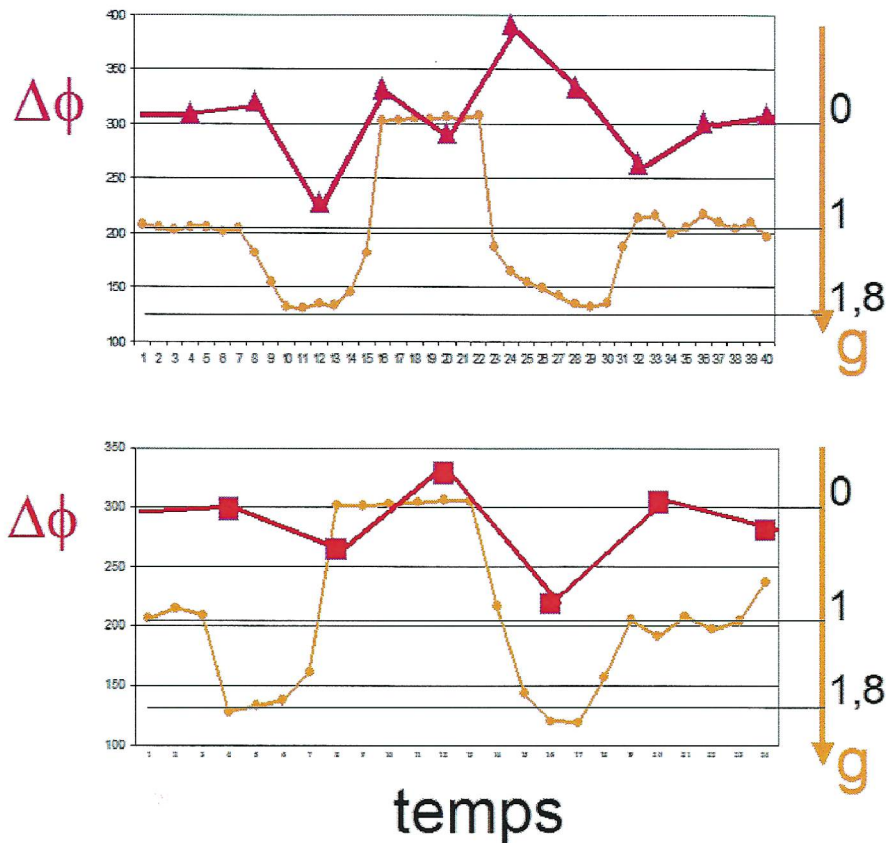


Fig. 10 : Deux exemples de variation de pression intracrânienne au cours d'une parabole. La gravité verticale  $g$  est tracée en traits clairs, avec une orientation vers le bas. La microgravité se produit donc au milieu de chaque tracé, pendant exactement 22 secondes. Les phases d'hypergravité qui l'encadrent durent environ 20 s. On s'attend à ce que la PIC soit maximum en microgravité, et en effet les tracés de PIC et de  $g$  sont parallèles, avec un léger retard pour la PIC. Un déphasage maximum de près de  $100^\circ$ , comme observé en haut, correspond à une augmentation de PIC de 600 mm d'eau, soit 4,4 cm de mercure. La variation observée sur le tracé du bas est beaucoup plus modérée.

En ce qui concerne l'outil acoustique de mesure de PIC, il a certainement plus d'applications terrestres que spatiales et son développement peut ouvrir de nouvelles pistes diagnostiques importantes. En effet l'accès à la PIC est utile dans de nombreuses situations en neurologie et neurochirurgie, et on hésite souvent à effectuer des mesures sanglantes, qui sont douloureuses, coûteuses et non dépourvues de risque. L'accès à la PIC est également un objectif très utile en ORL, et ici, il n'existe aucune méthode sanglante, de toute façon. Le fait d'avoir eu à tester un dispositif innovant et non invasif en conditions hostiles nous a stimulé dans sa mise au point, et a accru notre confiance dans ses possibilités. Quant aux leçons extrascientifiques du projet, elles ne pourraient être mieux contées que ne l'ont fait Jules Verne ou Ray Bradbury, mais le fait d'avoir pu entrer dans leur univers ne serait-ce que pendant près de deux heures et demie au total (en quelques centaines de fois 20 secondes d'impesanteur) a été en soi une aventure très spéciale.

### Remerciements :

L'auteur remercie le CNES et son département des Sciences de la Vie dans l'Espace pour son soutien matériel et logistique, qui a permis la réalisation des expériences décrites.





**Gérard FLEURY**

Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand

Rapprocher hasard et ordinateur, c'est rapprocher deux presque contraires ! Un ordinateur est une machine conçue pour exécuter sans la moindre erreur les tâches précises qu'on lui ordonne d'exécuter. Normalement, son comportement doit être entièrement prévisible et ne pas laisser la moindre place au hasard. Alors pourquoi doit-on simuler le hasard sur un ordinateur ? Et comment faire ?

## **1/A quoi sert le hasard sur un ordinateur ?**

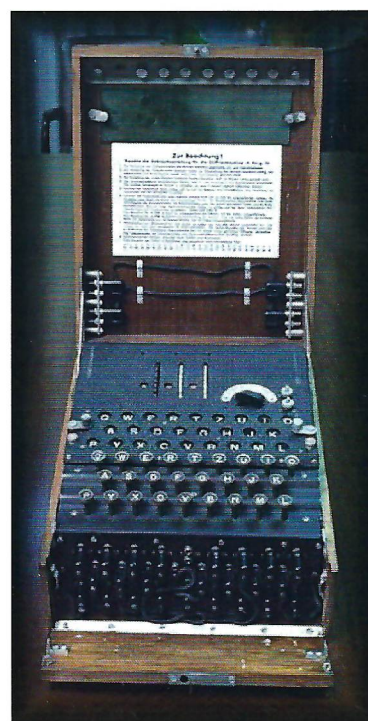
### **1.1. Le hasard pour le hasard.**

En termes de nombre d'utilisateurs, c'est certainement pour des jeux sur ordinateur que le hasard est le plus utilisé. Cela peut aller du hasard directement utilisé (lancer de dés, tirages de cartes...) à la réalisation de variations sur un même thème, via le hasard (dans un jeu, la position de personnages présents à l'écran peut varier d'une partie à l'autre).



On utilise aussi le hasard pour réaliser ou compresser des données, en particulier dans des jeux, là encore. Par exemple le paysage ci-dessous est artificiel. Il fait intervenir à la fois quelques programmes (création d'arbres, de nuages, niveau du sol) et le hasard (les arbres ne sont pas identiques, pas plus que les nuages). Il suffit de stocker les programmes et la suite aléatoire (nous verrons plus loin comment) pour pouvoir recréer le même paysage à la demande, ou bien un paysage similaire mais différent si l'on change les tirages au hasard.

Le hasard est également très utilisé pour crypter des données. Par exemple, la machine de cryptage Enigma utilisée par les allemands pendant la guerre mondiale était avant tout un générateur (pseudo-)aléatoire. Notons que son secret fut cassé partiellement par les polonais, puis par les anglais et en particulier le grand mathématicien Alan Turing à l'aide d'un des premiers calculateurs électroniques.



Pour comprendre la nature, on est amené à faire des modèles mathématiques que je qualifierai de « naturellement » stochastiques (c'est-à-dire faisant naturellement intervenir le hasard). Par exemple, pour modéliser le martèlement des pas des piétons empruntant une passerelle comme celle du millénaire à Londres, on ne voit pas bien comment ne pas faire intervenir le hasard :



Notons que l'on s'est rendu compte que les piétons marchant sur une structure aussi souple, avaient pour certains d'entre eux (environ un tiers), tendance à modifier le rythme de leurs pas et à se caler sur le rythme des mouvements de la structure, ce qui amplifiait les oscillations !

Pour prévenir les effets de séismes, on est contraint d'étudier l'impact sur des structures sensibles des trains d'ondes qu'ils engendrent. Actuellement les seuls modèles réalistes de ces ondes font intervenir le hasard..

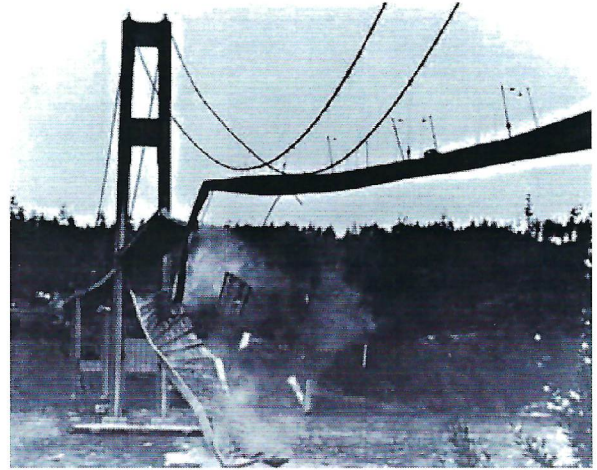
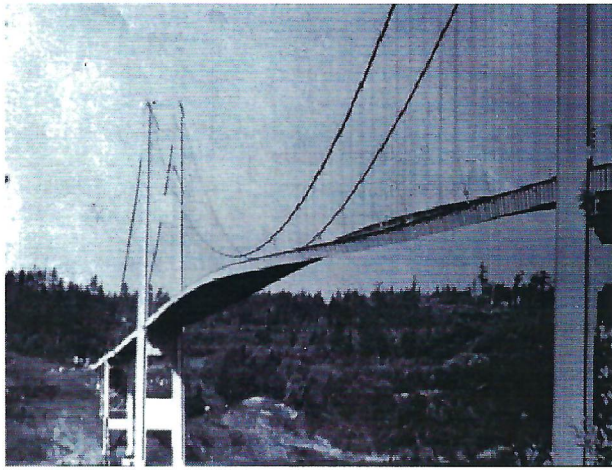


### **1.2. Le hasard, faute de mieux.**

Mais on utilise aussi le hasard pour réaliser des modèles stochastiques «par défaut», comme pour prendre en compte les effets de turbulences. On sait en effet décrire ces écoulements par des équations déterministes (équations de Navier-Stokes), mais leur résolution approchée nécessite trop de calculs dans beaucoup de cas concrets. On modélise alors ces turbulences en utilisant le hasard. De même, les interactions entre des structures aériennes telles que des ponts à haubans et le vent vont souvent être modélisées grâce au hasard. Il en est de même du trafic qui s'écoule sur le pont.



Il s'agit d'éviter ce qui est arrivé au pont de Tacoma (côte ouest des Etats Unis, près du Canada) le 7 novembre 1940 où un vent fort, mais pas tempétueux (environ 80 km/h) a mis en résonance le pont suspendu qui n'a pas tardé à s'écrouler.



### 1.3. Le hasard pour calculer des quantités déterministes.

On utilise également le hasard pour résoudre numériquement certaines équations (qui ne font nullement référence au hasard en elles-mêmes). C'est souvent le cas d'équations aux dérivées partielles intervenant en physique des particules. C'est d'ailleurs dans ce but que les premières méthodes de Monte Carlo (c'est ainsi que l'on appelle des méthodes qui font appel au hasard dans le but de calculer des quantités déterministes) ont été utilisées. La première fois, sans doute, ce fut J. von Neumann qui les mit en œuvre à Chicago pour étudier la première pile atomique, laquelle allait fournir quelques années plus tard, le savoir faire et le combustible nécessaire aux bombes d'Hiroshima et de Nagasaki.

On utilise encore les méthodes de Monte Carlo pour calculer des intégrales multiples (en dimension au moins 3). En effet, pour calculer la masse d'un cube contenant un matériau non homogène connaissant sa densité (variable), on est amené à calculer une intégrale du type :  $I = \iiint_{[0,1]^n} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n$ . Pour effectuer un calcul approché, on va par exemple, partager le cube en petits cubes sur chacun desquels on considérera la densité comme constante. Si l'on partage par exemple en 100 chacun de ses côtés, ce qui donnera  $k=1\ 000\ 000$  de cubes, donc autant de calculs de la densité  $f$ . Si l'on découpe chaque côté en  $n$  morceaux, cette méthode entraîne une erreur décroissant comme  $\frac{1}{n^{1/3}}$ . Or, si l'on veut étudier les anneaux de Saturne, par exemple, chaque particule (supposée ponctuelle) de ces anneaux est définie par sa masse, sa position (trois nombres) et sa vitesse (trois nombres), on sera amené à calculer des intégrales d'ordre 6... Dans ces conditions, l'erreur décroît comme  $\frac{1}{n^{1/6}}$ . Au contraire, une méthode de Monte-Carlo va simplement faire appel à  $k$  tirages au hasard dans le domaine d'intégration (indépendamment de la dimension de ce domaine), puis on effectue le calcul de la densité en chacun des points ainsi tirés et on fait la moyenne. On montre que l'erreur décroît alors en  $\frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{k^{0.5}}$ . En fait dès la dimension 3 il est souvent plus efficace d'utiliser le hasard...

On dispose également de méthodes fondées sur le hasard, très efficaces pour tester si un nombre entier est ou non premier. En fait il y a deux types de telles méthodes : soit elle donne toujours une réponse, mais celle-ci n'est exacte qu'avec une grande probabilité (méthode de Monte Carlo), soit elle ne donne pas toujours une réponse, mais si c'est le cas la réponse est exacte (méthode de Las Vegas).

### 1.4. Le hasard en ingénierie.

Mais on peut utiliser également le hasard pour résoudre des problèmes sur lesquels le hasard n'a pas à intervenir a priori, comme pour établir le placement des conducteurs des bus d'un réseau de transport urbain. Il s'agit simplement d'une sorte de problème d'emploi du temps et le but est d'assurer le service en utilisant le minimum de conducteurs, en respectant la législation ainsi que les règles internes à l'entreprise. Il peut s'agir d'un problème de grande taille (par exemple à Clermont-Ferrand, il y a près de 25 lignes de bus, sur chacune peuvent circuler plusieurs bus, parfois de 4h du matin à plus de minuit, ce qui fait qu'il y a environ 200 services à affecter). De tels problèmes de grande taille sont difficiles à résoudre de manière optimale par les approches usuelles de constitution d'emplois du temps, adaptées à des problèmes moins lourds. Nous verrons tout à l'heure quelques méthodes utilisant le hasard, mais donnons l'idée générale en partant de l'exemple des fourmis. On sait que, chaque matin, les fourmis quittent leur nid pour explorer leur environnement et rechercher de la nourriture. On sait aussi qu'une fourmi qui a trouvé de la nourriture revient à son nid en laissant une trace odorante sur son passage, ce qui permet aux autres fourmis de retrouver la nourriture en remontant cette trace. Elles reviennent alors à leur nid en marquant également leur trace... On a effectué des expériences où le nid de fourmi était séparé par un cours d'eau d'une source de nourriture. Ce cours d'eau était traversé par deux ponts qui permettaient aux fourmis d'accéder à la nourriture par deux chemins de longueur différente. La trace odorante que laissent les fourmis revenant à leur nid est rapidement plus fortement marquée sur le trajet le plus court, puisque les fourmis font plus d'allers-retours, ce qui fait que, très vite, la plupart des fourmis empruntent le trajet court et délaissent l'autre : elles ont résolu un problème consistant à déterminer le trajet le plus court entre leur nid et la nourriture. On peut les imiter en utilisant le hasard pour trouver la plus petite valeur d'une fonction...

### 2/ Qu'est-ce qu'une suite de nombres au hasard ?

Pour utiliser le hasard sur un ordinateur, il faut disposer d'une suite de nombres aléatoires (c'est-à-dire tirés au hasard, par exemple parmi les chiffres 0, 1, ..., 9). Le mieux serait de disposer d'une suite infinie de tels nombres aléatoires. Mais qu'est-ce donc qu'une telle suite infinie aléatoire ? La définition la plus raisonnable consiste à dire qu'elle vérifierait TOUS les théorèmes de probabilités que l'on peut lui appliquer (y compris ceux que l'on ne connaît pas encore !). Parmi ces propriétés, il y en a en particulier deux qui sont capitales :

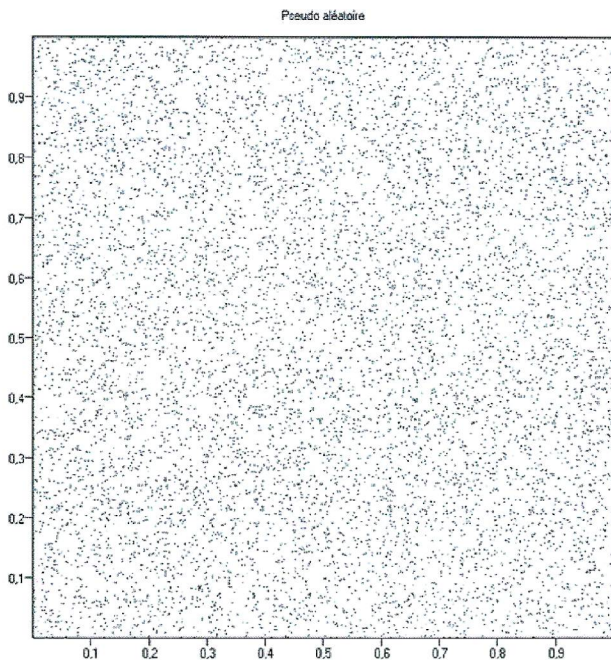
L'équipartition : parmi tous les chiffres 0, 1, ..., 9 de cette suite, il y a exactement un dixième de chacun. De même chaque nombre de 2 chiffres apparaît avec la fréquence 1% etc....

L'indépendance des tirages : connaissant les 25 premiers chiffres, on ne peut rien dire sur le 26<sup>ème</sup>, ni d'ailleurs sur n'importe lequel des chiffres qui se situent à partir du 26<sup>ème</sup> rang.

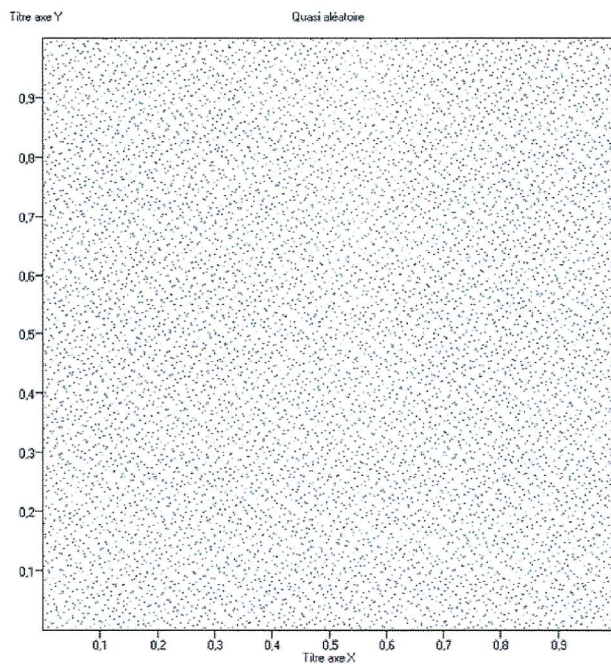
Pour travailler sur un ordinateur, on recherche donc en priorité une suite infinie équirépartie sur les naturels  $\{0, 1, \dots, m-1\}$  (ou sur les réels de  $]0; 1[$ ), dont les tirages pris  $k$  à  $k$  sont indépendants, mais aussi constructible par un algorithme efficace (c'est-à-dire rapidement !).

On peut parfois remplacer une suite aléatoire par une suite quasi aléatoire, c'est-à-dire par une suite bien répartie. Par exemple, la suite de van der Corput est définie comme un miroir des entiers. Prenant un entier tel que 248, on inverse l'ordre de ses chiffres et on met « 0, » devant, ce qui donne : 0,842. De manière générale, à un entier  $n$  écrit dans une certaine base :  $n : abcde...xyz$  on associe le réel qui s'écrit dans la même base :  $c_n = 0,zyx...edcba$ . Par exemple, en base 10, les premiers termes de la suite de van Corput sont : 0,1 0,2 0,3... 0,9 0,01 0,11 0,21... 0,91 0,02 0,12 0,22... 0,92 0,03 0,31.... Les dix termes qui suivent le terme de rang 700 sont : 0,007 0,107 0,207... 0,907. C'est-à-dire que les nombres de la suite se placent successivement dans l'intervalle  $]0; 0,1]$ , puis dans  $]0,1; 0,2]$  puis dans  $]0,2; 0,3]$ ... enfin dans  $]0,9; 1]$  : la suite est équirépartie sur  $]0,1]$ . Bien entendu, connaissant un terme de cette suite, par exemple 0,1274 (construit à partir de 4721), on connaît évidemment le terme suivant : 0,2274 : la suite n'est pas aléatoire.

Pour illustrer la différence entre suite aléatoire et suite quasi-aléatoire, plaçons des points dont les coordonnées sont (pseudo-)aléatoires dans un carré (nous verrons plus loin la raison du mot «pseudo») :

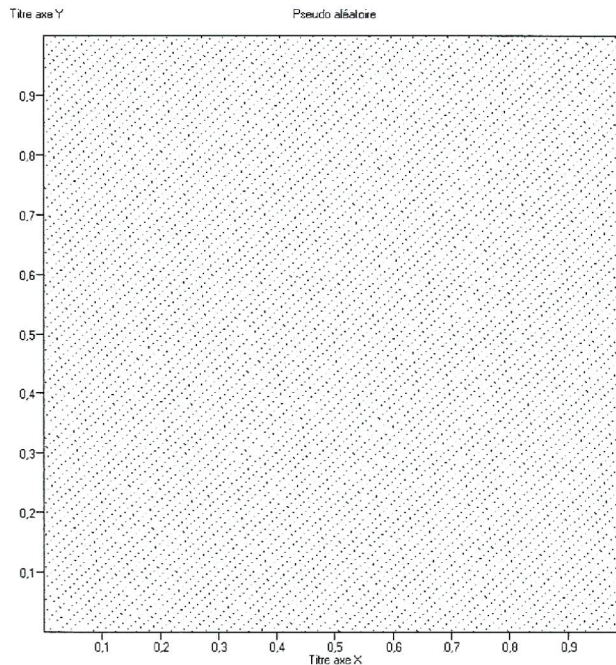


Comparons cet aspect à celui que donnent des points dont les coordonnées sont quasi aléatoires :



Les points quasi-aléatoires sont « parfaitement » disséminés dans le carré, contrairement aux points (pseudo-)aléatoires qui forment de petits amas et laissent certaines petites zones en blanc...

Notons qu'un mauvais usage du générateur (pseudo-)aléatoire peut s'avérer désastreux :



Une suite de chiffres équirépartie est donnée par le nombre de Champernowne (que l'on dit être « normal » en base 10) :  
 $C=0,1234567891011121314151617181920212223242526272829303132333435363738394041424344454647484950515253545556575859606162636465666768697071\dots$

Il est simplement constitué de « 0, » suivi des nombres successifs écrits côte à côte : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12... 21 22 23... 184 185 186...

Remarquons que si l'on groupe les chiffres du nombre de Champernowne par deux et si l'on interprète les groupes de deux chiffres comme un signe typographique : 01 pour « A », 02 pour « B »,... 26 pour « Z » etc., en ajoutant les lettres avec un accent, les signes de ponctuation, les chiffres, l'espace, on peut voir le nombre de Champernowne comme un texte. Ce texte contient vos initiales (chaque groupe de deux lettres successives est présent une infinité de fois, et avec la fréquence 1/10000). De même votre nom est présent une infinité de fois dans ce nombre. Il en est de même de l'œuvre complète de Balzac, y compris ce dernier roman qu'il voulait écrire et n'a pas écrit... Il en est de même du journal d'aujourd'hui et de celui de demain...

Or on peut montrer qu'une suite aléatoire infinie que l'on convertit en suite infinie de chiffres puis que l'on met côte à côte fournit un nombre normal, et ce en toute base. On aimerait bien avoir un nombre normal en toute base, ce qui nous donnerait un bon candidat pour constituer une suite aléatoire infinie. La bonne nouvelle, c'est que l'on montre assez facilement que presque tout nombre est normal en toute base, mais la mauvaise, c'est que l'on n'en connaît aucun ! On soupçonne le nombre  $\pi$  (le rapport du périmètre d'un cercle à son diamètre) d'être normal en toute base, mais on n'a pas de preuve...

Comme de plus, un ordinateur ne peut contenir qu'un nombre fini de nombres, il est illusoire de chercher des suites infinies. Qu'est-ce donc qu'une suite aléatoire finie ? Il y a plusieurs définitions. Nous retiendrons celle de Kolmogorov-Chaitin. Supposons que nous disposions d'une suite finie de chiffres 0 ou 1 (ou de pile/face, si l'on préfère). Comme celle-ci : 01011101011011010100011111010

Elle peut être considérée comme un programme d'ordinateur. En effet, un ordinateur n'est qu'une suite d'interrupteurs (à deux positions 0 ou 1) et un programme se résume à une suite de tels chiffres. Bien entendu, si l'on fournit une suite finie quelconque de 0 et de 1, il y a de grandes chances qu'il ne se passe rien (l'ordinateur plante) ou bien n'importe quoi (en particulier, l'ordinateur peut boucler en tournant sans s'arrêter). Parfois, il peut écrire quelque chose : une suite finie de 0 et de 1. Ainsi, plusieurs programmes peuvent fournir la même suite de 0 et de 1. Par exemple les deux programmes : « répéter 7 fois : écrire 010 » et « écrire 010010010010010010010 » fournissent la même suite. On peut considérer tous les programmes qui fournissent une suite finie de 0 et de 1 donnée  $s$  (il y en a au moins un qui s'écrit « écrire  $s$  ») et déterminer le plus court. On montre que, pour certaines suites  $s$ , le programme le plus court permettant de l'écrire n'est pas beaucoup plus court que le programme « écrire  $s$  ». De telles suites sont dites aléatoires (au sens de Kolmogorov-Chaitin). Il est clair qu'une suite périodique comme 010010010010010010 n'est pas aléatoire, puisque l'on peut la générer avec la programme : « répéter 7 fois : écrire 010 ». Ainsi, une suite aléatoire est une suite que l'on ne peut pas « résumer » par un programme beaucoup plus court qu'elle-même et qui la génère. Une suite aléatoire est une suite de « complexité maximale ». Ainsi, il est impossible de générer une suite aléatoire par un programme efficace, ce qui a fait dire à J. von Neumann (en 1951, donc avant même que cette définition n'ait été arrêtée) : « quiconque essaie de produire des nombres au hasard avec un ordinateur est en état de pêché ! »

### 3/ Notion de générateur pseudo aléatoire.

On est donc contraint de se restreindre à des générateurs construisant des suites qui ont quelques propriétés des suites aléatoires, ce sont les générateurs pseudo aléatoires (et l'on parle de suites pseudo aléatoires). C'est ainsi que J. von Neumann a inventé et utilisé le premier générateur pseudo aléatoire, appelé le middle square. Il consiste, à partir d'un nombre (appelé la « graine ») de 4 chiffres, à le multiplier par lui-même, puis à ne conserver des huit chiffres obtenus (en comptant les éventuels 0 à gauche) que les 4 du milieu. Ensuite, on recommence, ce qui donne, par exemple, la suite :

n	n <sup>2</sup>	n	n <sup>2</sup>	n	n <sup>2</sup>	n	n <sup>2</sup>	n	n <sup>2</sup>
8653	74874409	7516	56490256	2920	08526400	8333	69438889	3708	13749264
8744	76457536	4902	24029604	5264	27709696	4388	19254544	7492	56130064
4575	20930625	0296	00087616	7096	50353216	2545	06477025	1300	01690000
9306	86601636	0876	00767376	3532	12475024	4770	22752900	6900	47610000
6016	36192256	7673	58874929	4750	22562500	7529	56685841	6100	37210000
1922	03694084	8749	76545001	5625	31640625	6858	47032164	2100	04410000
6940	48163600	5450	29702500	6406	41036836	0321	00103041	4100	16810000
1636	02676496	7025	49350625	0368	00135424	1030	01060900	8100	65610000
6764	45751696	3506	12292036	1354	01833316	0609	00370881	6100	37210000

On peut remarquer que la suite dégénère vite : dès que le nombre en cours se termine par « 00 », il en est de même de tous les suivants. De plus, à partir du nombre 6100, la suite devient périodique. Toutes les suites pseudo aléatoires ont ces deux propriétés : elles sont construites à partir d'un nombre (au moins) appelé grain, et elles finissent par devenir périodiques. Comme, avec un même procédé et à partir de diverses graines, on obtient diverses suites, il suffit de stocker le programme réalisant le procédé de création et la graine pour avoir la suite. Si nous revenons au paysage artificiel ci-dessus, pour le stocker, il suffit donc de stocker, outre les programmes de création d'arbres, de nuages, du niveau du sol, le programme générant la suite aléatoire et, la graine. Changer de graine permet de changer de paysage tout en conservant ses caractéristiques macroscopiques (paysage vallonné de forêt sous un ciel d'été).

Actuellement, la plupart des générateurs utilisés sont des générateurs congruents linéaires, ou générateurs de Lehmer. Ils construisent, à partir d'une graine (un entier) une suite d'entiers vérifiant la relation :  $X_n = a.X_{n-1} + b \pmod{m}$ , où  $a$ ,  $b$  et  $m$  sont des entiers soigneusement choisis à la fois pour leurs propriétés mathématiques et informatiques. Ainsi, à partir d'un nombre entier  $X_{n-1}$ , le suivant,  $X_n$ , est obtenu en le multipliant par  $a$  puis en lui ajoutant  $b$ , enfin en prenant le reste dans la division par  $m$ . Pour comprendre cette dernière opération, remarquons que lorsque l'on regarde le réveil et que l'on ajoute 5 heures à 10 heures pour conclure : 3 heures (au lieu de 15), on a calculé modulo 12 en effectuant l'opération  $15 - 12 = 3$ . De même, on dirait que 50 heures représentent 2 jours et 2 heures en remarquant que  $50 = 2 \times 24 + 2$  (ici on a calculé modulo 24 pour trouver le reste 2). Bien entendu, le procédé générant une suite pseudo aléatoire est parfaitement déterministe ; on retrouve exactement la même suite en partant de la même graine...

Voici quelques exemples de générateurs de Lehmer :

$$X_n = 134\,775\,813.X_{n-1} + 1 \pmod{2^{32} = 4\,294\,967\,296},$$

$$X_n = 3\,141\,592\,653.X_{n-1} + 2\,718\,281\,829 \pmod{34\,359\,738\,368},$$

$$X_n = 3\,141\,592\,653.X_{n-1} + 1 \pmod{2^{32} = 4\,294\,967\,296}.$$

$$X_n = 16\,807.X_{n-1} \pmod{2^{31} - 1 = 2\,147\,483\,647}.$$

$$X_n = 41\,358.X_{n-1} \pmod{2^{31} - 1 = 2\,147\,483\,647}.$$

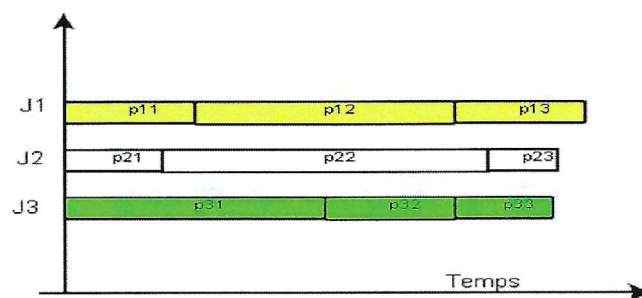
Notons par exemple, la présence de puissances de 2 parmi les choix faits pour  $m$ . Rappelons qu'un ordinateur n'est qu'une suite d'interrupteurs, c'est-à-dire de « portes » soit ouvertes soit fermées que l'on note 0 ou 1, ce qui fait que, pour un ordinateur, calculer le reste dans une division par une puissance de 2 est aussi facile que, pour nous, rechercher le reste dans une division par une puissance de dix comme 10, 100, 1 000... Par exemple, 1594 a pour reste 94 dans la division par 100. Quant aux nombres s'écrivant  $2^{32}-1$ , rechercher le reste dans la division par l'un d'eux sur un ordinateur est encore plus facile que, pour nous, le faire avec un nombre qui s'écrit uniquement avec le chiffre 9, comme 99, 999, 9 999... Il est inutile de « poser » la division : par exemple, pour diviser 5714 par 99, on divise par 100, ce qui donne :  $5714 = 57 \times 100 + 14$ , donc  $5714 = 57 \times 99 + 57 + 14$ , donc  $5714 = 57 \times 99 + 71$ , ce qui donne le reste : 71. Pour diviser 5794 par 99 on procède en deux temps : on divise d'abord par 100, ce qui donne :  $5794 = 57 \times 100 + 94$ , donc  $5794 = 57 \times 99 + 57 + 94$ , soit  $5794 = 57 \times 99 + 151$ , puis on écrit simplement  $151 = 100 + 51$ , c'est-à-dire  $151 = 99 + 52$ , ce qui fait que le reste vaut 52. C'est ainsi pour des raisons d'efficacité des calculs qu'en plus de raisons mathématiques, de tels types de nombres sont choisis pour  $m$ .

#### 4/ Un problème d'atelier complexe, mais pas compliqué.

Considérons un problème en apparence très simple : trouver un élément  $x$  d'un ensemble fini  $X$  tel que la valeur  $f(x)$  associée à  $x$  soit minimale. Par exemple, reprenons le problème de l'affectation des services de conducteurs dans une entreprise de transports publics. Le problème est le suivant : parmi toutes les affectations possibles qui respectent la législation et les règles de fonctionnement de l'entreprise (raisonnablement, il n'y en a qu'un nombre fini), en trouver une qui utilise le plus petit nombre de conducteurs. On peut se dire qu'il suffit d'envisager toutes les solutions possibles et de conserver la meilleure... Mais ce n'est pas toujours possible...

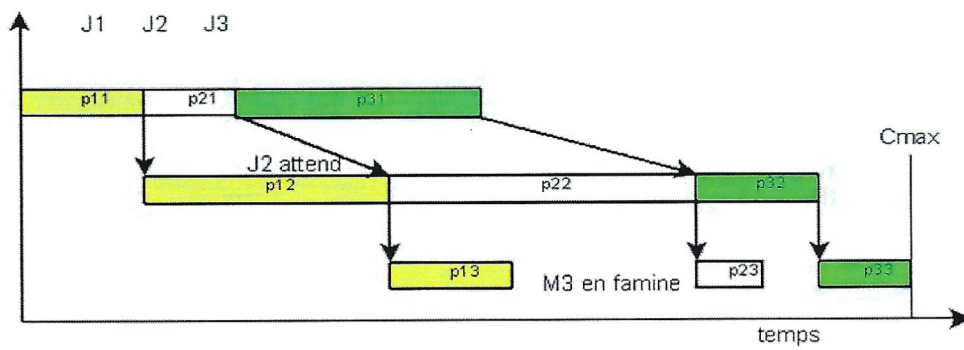
Considérons un problème plus simple : le flow-shop de permutation. Il s'agit d'un atelier comportant des machines. Des pièces doivent passer sur les machines, mais chaque pièce passe une seule fois sur chaque machine pendant une durée connue. De plus, les pièces passent sur les mêmes machines dans le même ordre. Une machine qui a terminé d'usiner une pièce passe instantanément à la suivante, s'il y en a. Le but est d'écouler la charge de travail en le moins de temps possible. Il est clair qu'il suffit de connaître l'ordre d'entrée des pièces dans l'atelier pour connaître tout du fonctionnement de cet atelier.

Supposons par exemple, qu'il y ait 3 machines (un tour, une graveuse et une polisseuse par exemple) et 3 pièces à usiner :



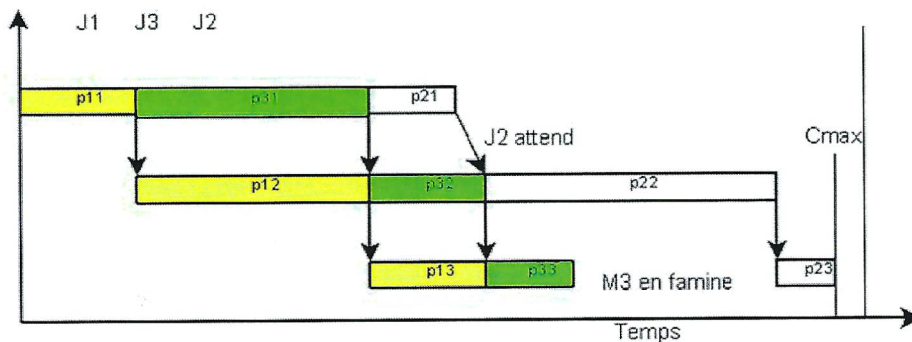
La pièce J1 aura une durée d'usinage p11 sur la première machine, une durée p12 sur la deuxième et une durée p13 sur la troisième. De même pour les pièces J2 et J3.

Calculons la durée totale de traitement dans l'ordre J1, J2, J3 en faisant un diagramme qui illustre le déplacement des pièces dans l'atelier :



Remarquons que la première pièce traverse l'atelier sans attendre. Par contre, la pièce J2 doit, après avoir été usinée sur la première machine, attendre que la deuxième machine ait été libérée par la pièce J1. De plus, la troisième machine reste inactive après avoir usiné la pièce J1, puisque l'usinage de la pièce J2 sur la deuxième machine n'est pas achevé (on dit que la machine est en famine).

Par contre, on voit que, si l'on place les pièces dans l'ordre J1, J3, J2, la durée totale de traitement est plus courte :



Avec 3 pièces, il y a 6 ordres différents pour placer les pièces à l'entrée de l'atelier. Avec 4 pièces, il y en a 24, avec 5 : 120, avec 6 : 720... Le nombre de solutions possibles augmente très vite avec le nombre de pièces à ordonnancer. Par exemple, s'il y a 80 pièces, il y a plus de  $10^{118}$  solutions (soit un nombre de 119 chiffres). Imaginons que, sur un ordinateur, nous puissions évaluer 1 milliard de solutions ( $10^9$ ) par seconde. Il faudrait  $10^{109}$  secondes. Or il y a 86400 secondes dans une journée, disons 100 000. Il faudrait donc au moins  $10^{104}$  jours, soit environ  $10^{101}$  fois 3 ans, soit environ  $3 \times 10^{99}$  siècles (un nombre de cent chiffres), ce qui représente un nombre incalculable de fois la vie estimée du soleil. Si l'ordinateur est amélioré pour aller 100 fois plus vite, le temps sera encore de plus de  $3 \times 10^{97}$  siècles, autrement dit, tant que la technologie des moyens de calcul n'aura pas évolué de manière radicale, le problème n'est pas attaquant par la force brute de la machine !

Or le problème de la minimisation de la durée totale de traitement de  $n$  pièces dans un flow-shop d'au moins 3 machines est un problème NP-difficile, c'est-à-dire que l'on ne connaît pas de moyen efficace de le résoudre. On est ainsi amené à se contenter d'une « bonne » solution. Pour l'obtenir, divers procédés sont disponibles, et parmi eux, des algorithmes faisant intervenir le hasard. Ils reposent sur l'imitation de la nature en observant comment celle-ci a résolu des problèmes analogues. On imite la physique (algorithmes de recuit simulé, de fusion-fission), la biologie (algorithmes génétiques), l'écologie (colonies de fourmis)...

#### 4.1. Les algorithmes génétiques.

Présentons rapidement les algorithmes génétiques. Ils reposent sur l'évolution d'une population d'individus. Chaque individu se résume à UN chromosome. L'outil fondamental est la reproduction, soit par croisement de deux individus, soit par mutation d'un individu. Un individu est en fait une solution du problème. L'adaptation de l'individu est le coût de la solution (c'est-à-dire la valeur de la fonction à minimiser). L'évolution consiste à sélectionner les individus les mieux adaptés (mais pas eux seuls).

Un chromosome étant une suite finie de caractères, le croisement des deux parents :

TTTTTTTT et TTTTTTTT

s'obtient en choisissant au hasard un point de rupture et en accolant le début d'un chromosome à la fin de l'autre, ce qui donne deux enfants :

TTTTTTT et TTTTTTTT

Une mutation s'obtient en modifiant un parent :

ce qui donne un enfant :

TTTTTTTT  
TTTTTTT

Une génération est obtenue en deux temps, tout d'abord on crée une population « fille » par des croisements et des mutations appliqués à des parents sélectionnés au hasard, ensuite, dans cette population, on conserve les meilleurs individus (mais pas seulement), ce qui forme la population de la génération suivante (les populations successives ont le même nombre d'individus).

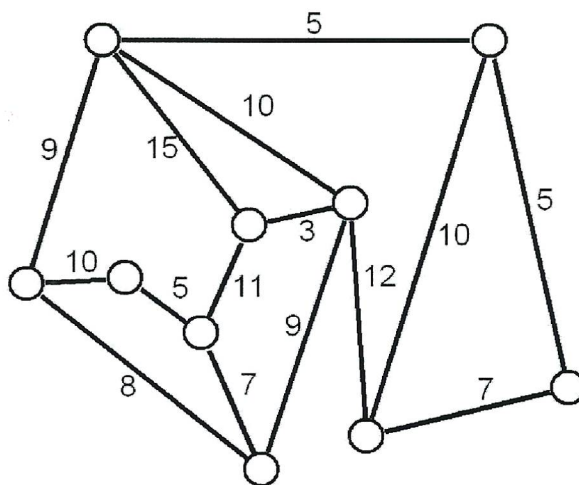
Imaginons que, dans un paysage karstique (comme le Larzac), nous cherchions, dans la brume, le fond de la doline la plus profonde. Nous commençons par disperser des individus dans le paysage, puis nous laissons évoluer en sélectionnant les individus qui vivent à une altitude aussi basse que possible. Il est clair qu'il faut, pour trouver l'altitude la plus faible, conserver un peu de dispersion dans la population : le danger consiste à tomber dans un minimum local. C'est ce qui est arrivé à certaines races de kangourous en Australie : lorsque des lapins ont été introduits, ils ont envahi le territoire et occupé la niche écologique de ces kangourous qui ont presque disparu. Or les croisements ont tendance à améliorer les performances de la population (ils servent à « descendre » dans un minimum). Mais deux individus identiques (ou proches) ont des enfants identiques (proches). Donc ce sont les mutations qui apportent de la diversité génétique de la population (ils servent à sortir des minima locaux). De plus, pour conserver la diversité génétique, il faut ne pas sélectionner seulement les meilleurs individus lorsque l'on passe de la population fille à la génération suivante.

Quand peut-on utiliser un algorithme génétique ? Essentiellement quand le problème s'y prête, c'est-à-dire si une solution est aisément représentable par une suite finie, si l'on sait définir des croisements efficaces et surtout quand on ne sait pas faire autre chose de plus rapide (pour un problème NP-difficile et de grande taille, par exemple).

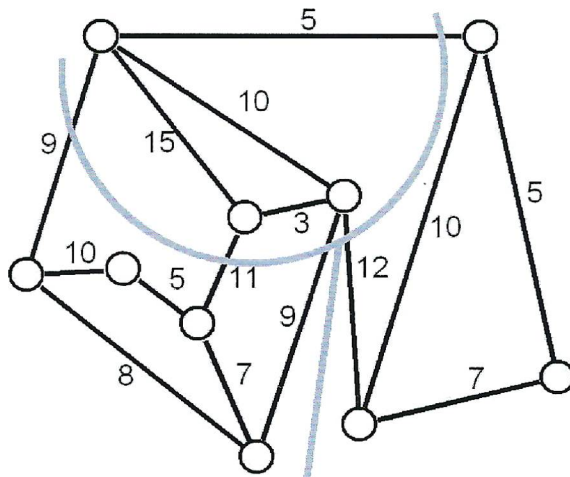
Reprenons l'exemple du flow-shop de permutation. Un chromosome est une liste ordonnée des pièces en entrée. Le coût de l'individu est la durée d'usinage correspondante. Mais il faut définir croisements et mutations. Pour une mutation, on peut, par exemple, choisir une pièce dans la liste et changer sa place. Pour les croisements, c'est un peu plus compliqué et un peu technique, mais possible. On peut alors envisager d'utiliser un algorithme génétique pour rechercher un ordre d'introduction des pièces qui amènera une durée d'usinage quasi minimale.

#### 4.2. Un algorithme de fission-fusion.

Prenons un autre exemple. Il s'agit de partager le ciel en « boîtes », chacune étant attribuée à un centre de contrôle aérien. Le nombre de centres de contrôle est connu. Chaque centre de contrôle doit superviser un nombre d'aéroports à peu près identique. Comme le danger est augmenté lorsque qu'un avion passe d'un centre de contrôle à un autre, on souhaite que la somme des trafics entre deux centres de contrôle soit minimum. On peut représenter les données par un graphe dont les sommets sont les aéroports et dont les arcs matérialisent les liaisons aériennes entre les aéroports. Chaque arc porte un entier indiquant l'intensité du trafic empruntant cet arc.



Une solution à 4 centres de contrôle est illustrée ci-dessous :





Il s'agit d'un problème de partition de graphe. Pour résoudre ce problème, diverses méthodes sont envisageables, parmi lesquelles une méthode inspirée de la physique : l'algorithme de fusion-fission. Il repose sur l'identification d'un aéroport à un nucléon. Un ensemble de nucléons constitue un atome, c'est aussi l'ensemble des aéroports alloués à un centre de contrôle aérien. L'énergie de cohésion de l'atome est la somme des trafics entre les aéroports-nucléons qui le constituent. Maximiser l'énergie de cohésion des atomes revient à minimiser la somme des trafics entre deux centres de contrôle aériens différents et c'est ce que nous souhaitons faire, avec, en plus un nombre d'atomes fixé.

Dans la nature, c'est l'atome de fer qui est le plus stable vis à vis des réactions nucléaires de fusion (fusion de deux ou plusieurs atomes en un seul) ou de fission (fractionnement d'un atome en deux ou plusieurs). Supposons que l'on ait 140 aéroports et que l'on doit constituer 7 centres de contrôle aérien, l'objectif peut donc être vu comme la constitution de 7 atomes aussi stables que possible (c'est-à-dire à énergie interne aussi élevée que possible). On fixera le nombre de nucléons de l'atome de fer à 20 (140 divisé par 7), ce qui signifiera que les centres de contrôles aériens devraient idéalement superviser chacun 20 aéroports. Bien entendu, cet objectif est généralement incompatible avec la nécessité de maximiser l'énergie de cohésion, donc il ne sera réalisé qu'approximativement. Les atomes ayant plus de 20 nucléons auront tendance à se fractionner (fission), ceux ayant moins de 20 nucléons auront au contraire tendance à s'agglutiner à d'autres atomes (fusion). On va, pour constituer ces atomes, partir d'un état initial où chaque nucléon est isolé et constitue un atome, puis, par le jeu des réactions en chaîne, peu à peu constituer des atomes plus stables. Ne détaillons pas plus avant le déroulement de l'algorithme qui utilise de nombreux réglages, mais constatons qu'il part d'une analogie entre ce que nous savons de la physique des atomes et le problème. Notons aussi qu'il serait difficile d'utiliser, par exemple, un algorithme génétique, puisqu'une solution est une partition de l'ensemble des aéroports, ce qui ne ressemble pas du tout à une « suite » d'objets : on n'a pas d'analogie évidente entre une solution et un chromosome.

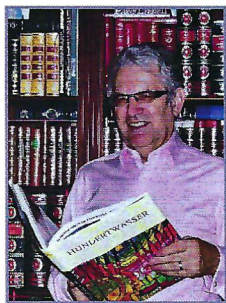
### **5/ Conclusion.**

Pour conclure, disons que les méthodes de Monte Carlo sont très utilisées pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elles sont souvent aisées à programmer, mais aussi avantageusement et souvent facilement parallélisables, ce qui permet avantageusement de compenser partiellement leur lenteur par une utilisation simultanée de plusieurs machines. Enfin, retenons qu'elles ne doivent être utilisées que lorsque l'on ne dispose d'aucune autre approche efficace ! Il est clair que le résultat obtenu varie avec la suite pseudo aléatoire utilisée (ou la graine), ce qui n'est pas un inconvénient, puisque cela permet souvent une évaluation statistique de l'erreur commise. Par contre, lorsque le résultat recherché est numérique, elles ne peuvent fournir un résultat de faible précision (2 à 3 chiffres significatifs). Enfin, on ne dispose pas encore de générateur pseudo-aléatoire adapté aux calculs parallèles massifs que les machines actuelles rendent possibles. Enfin, l'étude probabiliste de leur fonctionnement est souvent ardue.

Sur un plan plus général, l'utilisation d'algorithme utilisant le hasard pour résoudre des problèmes déterministes montre que le hasard, (donc, en quelque sorte le désordre « parfait ») permet d'accéder à l'ordre... Mais, curieusement, l'un comme l'autre sont d'ailleurs également inaccessibles : on ne dispose pas d'une suite aléatoire, pas plus que l'on ne peut dessiner, par exemple, un cercle parfait...

Enfin, le point de départ de la science moderne a été la compréhension de la gravitation universelle grâce aux travaux de Képler, Galilée et Newton. Ceux-ci sont partis de l'analyse du fonctionnement du système solaire. Or ce système est décomposable, et c'est probablement là notre chance. En effet, si l'on considère seulement les trois astres que sont le soleil, la terre et la lune, Poincaré a montré qu'il était impossible de comprendre parfaitement leur comportement. Par contre, si l'on isole la terre et la lune, on sait décrire parfaitement le comportement de la lune (elle décrit une ellipse dont la terre occupe un foyer...). De même, si l'on considère d'une part l'objet double terre-lune et d'autre part le soleil, on établit que terre-lune décrivent une ellipse dont le soleil est un foyer... A partir de là on peut, par une technique de « perturbations » affiner notre compréhension du système formé par les trois objets. C'est le fait que le fractionnement du système solaire rend assez bien compte de son comportement global qui nous a permis de le comprendre en appliquant la méthode de Descartes : « partager les difficultés que je rencontrerai en autant de parties qu'il se pourrait et qu'il serait nécessaire pour les résoudre ». Par contre, cette approche échoue si l'on veut s'attaquer aux multiples petits objets qui constituent les anneaux de Saturne, par exemple... Or la plupart des systèmes ne se laissent pas décomposer ainsi. Un flow shop à 3 machines ne peut, en général, pas se décomposer en flow-shops à deux machines, par exemple... On ne peut appliquer la méthode cartésienne. On en est réduit à utiliser, par exemple, un algorithme génétique, qui fonctionne à partir de l'analogie, méthode archaïque s'il en est et utilise le hasard...

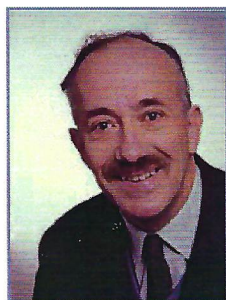
# COMPTE RENDU DE VISITES D'ENTREPRISES ET CENTRES DE RECHERCHES :



## SEPTEMBRE 2007

- Caterpillar France SAS, Grenoble, filiale du groupe Caterpillar Inc.
- CEA Grenoble : Département de Recherche Fondamentale sur la Matière Condensée (DRFMC rebaptisé en 2008 INAC – Institut Nanosciences et Cryogénie)

**Par Michel Naranjo**  
*Président de l'ADASTA*



## MARS 2008

- Le CESTA au Barp (Gironde) :  
Le Laser mégajoule

**Par Michel Massaux**  
*Ancien maître de conférence de physique à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand*

## ... CATERPILLAR INC : UN ACTEUR STRATÉGIQUE MONDIAL ...

**Caterpillar Inc.**, participe, depuis plus de 80 ans, à la construction d'infrastructures dans le monde entier. En étroite collaboration avec son réseau mondial de concessionnaires, elle contribue également au développement positif et durable sur tous les continents. Caterpillar est à la pointe de la technologie et le premier constructeur mondial de matériel de construction et d'exploitation minière, de moteurs diesel et à gaz naturel, et de turbines à gaz industrielles.

### UN PEU D'HISTOIRE :

En 1890, Benjamin Holt et Daniel Best avaient testé diverses formes de tracteurs à vapeur pour l'agriculture. Puis chacun d'eux a œuvré séparément, dans des entreprises distinctes.

En 1925, la société Holt Manufacturing Company et la C. L. Best Tractor Co. fusionnent pour former Caterpillar Tractor Co. Puis en 1931, le premier tracteur diesel Sixty sort de chaîne de montage à East Peoria, dans l'Illinois, équipé d'une nouvelle source d'énergie pour les tracteurs à chaînes. En 1986, la société Caterpillar Tractor Co. change de nom et devient Caterpillar Inc., ce qui reflète mieux sa diversification grandissante.

En 2007 environ 100 000 personnes construisent des tracteurs dans 174 usines dont 98 aux Etats Unis et 76 dans le reste du monde. De plus un réseau mondial de concessionnaires dans plus de 200 pays, constitue un avantage concurrentiel certain, car les clients travaillent avec des individus qu'ils connaissent et en qui ils ont confiance. Presque toutes les concessions sont indépendantes et dirigées au niveau de chaque pays ; Beaucoup d'entre elles entretiennent des relations avec leurs clients depuis au moins deux générations. En France, la commercialisation des engins Caterpillar est assurée par Bergerat Monnoyeur. Dans notre région, ce concessionnaire se trouve en ZI de Ladoux à Cébazat.

### CATERPILLAR À GRENOBLE :

Implantée à Grenoble depuis 1961, l'entreprise emploie aujourd'hui près de 3 000 personnes. Dans ses ateliers de Grenoble et d'Échirolles, l'entreprise fabrique des tracteurs, des chargeuses et des pelles hydrauliques sur chaînes, des pelles hydrauliques sur pneus, ainsi que des trains de roulement et composants. Avec plus de 92% des machines produites sur le site destinées aux exportations, Caterpillar Grenoble sert ses clients dans le monde entier. Avec plus de 300 machines, la gamme des matériels Caterpillar représente une véritable référence dans le secteur industriel.

### Une transmission adaptée aux performances

Le D6K présente une nouvelle conception à axe central avec une transmission hydrostatique qui offre une excellente maniabilité, une meilleure capacité de braquage en prise et une commande de vitesse variable.



Exemple de tracteurs sur chaînes : D6K Caterpillar® avec SystemOne™<sup>1</sup>

L'entraînement hydrostatique commandé électroniquement adapte automatiquement la vitesse de déplacement de la machine aux charges combinées de la chaîne cinématique et de l'équipement, permettant ainsi une vitesse maximale jusqu'à la vitesse sélectionnée par le conducteur. Les vitesses avant et arrière étant indépendantes, les vitesses choisies par le conducteur s'adaptent aux conditions de travail et aux besoins de l'application, et permettent des durées de cycle rapides et une productivité maximale.

La chaîne cinématique hydrostatique offre également une puissance et une commande de chaque chaîne indépendante, avec accélération rapide, vitesses variables en continu et changements de sens de direction automatiques et à la volée sur chaque chaîne. Le conducteur peut effectuer en douceur des braquages en prise ou même une contre-rotation des chaînes en utilisant simplement la commande hydrostatique située sur l'accoudoir gauche du siège de la nouvelle cabine. L'entraînement hydrostatique permet une sélection des vitesses en continu, de zéro à dix kilomètres par heure, en marche avant comme en marche arrière. Le conducteur choisit ainsi la vitesse qui correspond le mieux aux conditions de travail et au terrain.

#### **SystemOne™ pour le train de roulement**

Le train de roulement comporte un châssis porteur oscillant qui diminue les chocs transmis par le sol à la machine, renforce la stabilité de la machine et assure une marche en douceur et plus confortable. Avec un châssis porteur oscillant, les chaînes ont un plus grand contact avec le sol lorsque le terrain est irrégulier, ce qui augmente la stabilité et entraîne un fonctionnement plus rapide de la machine, une productivité supérieure et une fatigue moins importante pour le conducteur.

Pour réduire encore les frais d'exploitation et prolonger la durée de service du train de roulement jusqu'à 35%, SystemOne est fourni de série sur le D6K Caterpillar. Ce système innovant a prouvé qu'il se comportait mieux que les chaînes pré-lubrifiées et les trains de roulement extra-robustes dans une large variété d'applications et de conditions de travail. Tous les composants de SystemOne ont été conçus pour travailler les uns avec les autres et former un ensemble, afin de bénéficier d'une longue durée de service et de connaître une usure équilibrée.

#### **Confort inégalé du conducteur**

Le nouveau poste de conduite spacieux inclut des commandes électro hydrauliques montées sur le siège, une pédale associant décélération et freinage, un afficheur AccuGrade™ intégré (en option), des niveaux acoustiques réduits et une excellente visibilité sur les coins de lame. Une version avec toit est également disponible.

Les nouvelles commandes électro hydrauliques montées sur le siège permettent de contrôler la lame avec précision, assurant une réponse rapide de la direction et une utilisation confortable. Le manipulateur ergonomique de gauche comprend une commande intuitive du sens et de la vitesse de la machine, et des boutons pour programmer et ajuster les régimes de marche avant et arrière. Le manipulateur ergonomique de droite gère, quant à lui, le fonctionnement de la commande de lame.

Le D6K comporte une pédale unique qui associe la fonction d'une pédale de décélération et de freins de manœuvre. Le conducteur peut facilement programmer le fonctionnement de la pédale de décélération pour permettre un régime moteur variable ou une vitesse de transmission hydrostatique variable. Dans les deux configurations, l'enfoncement de la pédale au-delà de la commande de vitesse serre les freins de manœuvre.

1 - Communiqué de presse du 22 janvier 2007, Caterpillar SARL, CP 6000, 1211 Genève 6, Suisse

### Caterpillar Inc., vision 2020 :

Reçus et accompagnés par des collaborateurs talentueux et motivés, les adhérents de l'ADASTA ont été largement informés sur l'esprit d'entreprise développé à Caterpillar basé sur un modèle préservant l'autonomie des unités commerciales tout en reposant sur des processus communs, des technologies et des compétences fondamentales. Une grande importance est donnée aux conditions de travail pour sécuriser les lieux de production. La formation est également une priorité. Sur ce point, signalons que Caterpillar Inc. est propriétaire, à Malaga, d'un centre d'essais et de formation où chaque année un challenge est organisé, la seule compétition internationale à opposer des conducteurs d'engins de construction issus d'horizons très divers, au cours d'un événement destiné à évaluer leur savoir-faire. Pour remporter le titre, il faut bien se comporter dans toutes les épreuves, celles-ci faisant appel à des matériels très divers, par exemple des tracteurs à chaînes, des tombereaux articulés à benne basculante et des mini-pelles. Les scores personnels sont ensuite additionnés, le lauréat étant le concurrent qui obtient le meilleur score global.

Pour Caterpillar Inc., la satisfaction des clients reste toujours la priorité n°1, ce que les visiteurs ADASTA n'ont pas eu de mal à admettre car les produits sont novateurs et les solutions extrêmement intégrées rendant compte de la vision globale de l'avenir pour que cette entreprise reste le leader dans tous les secteurs où elle travaille. La devise est : « **travailler aujourd'hui pour rendre possible le monde de demain** »

## ... LE CEA DE GRENOBLE, DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE ...

### VISITE DE 2 LABORATOIRES :

- Polymères Conducteurs Ioniques
- Nanocristaux

Installé au cœur d'un environnement scientifique, industriel et universitaire très riche, le CEA Grenoble consacre l'essentiel de ses recherches au développement des nouvelles technologies, dans les domaines de l'énergie, de la santé, de l'information et de la communication. Des piles à combustible aux nanotechnologies, en passant par les matériaux et les biopuces, le CEA Grenoble est à la pointe de la recherche technologique et participe activement au transfert de ces connaissances vers l'industrie.

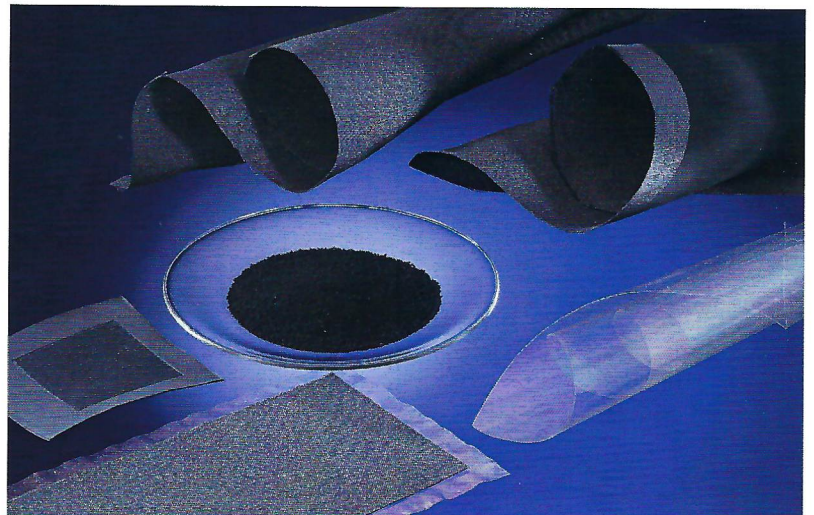
Acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation, le CEA intervient dans les grands domaines des nouvelles technologies pour l'énergie, les nanotechnologies en particulier pour la santé et de l'environnement. Positionné principalement sur la recherche technologique, le centre de Grenoble s'appuie depuis toujours sur une recherche fondamentale reconnue pour son excellence, tant en sciences physiques qu'en sciences du vivant. Cette recherche fondamentale représente environ un tiers des activités de l'organisme et contribue à l'ensemble de ses thématiques : défense, énergie et technologies pour l'information et la santé.

Accueilli par une brillante équipe de chercheurs, les adhérents de l'ADASTA ont été informés, par des exposés et dans des salles d'expérimentations aux grands domaines de recherche du CEA de Grenoble :

### - les nouvelles technologies pour l'énergie :

Le transport et l'habitat demandent de disposer d'énergies non émettrices de gaz à effet de serre ; mais il faut lever les verrous technologiques pour rendre ces énergies plus compétitives. Une solution est le développement de la filière hydrogène, de la production, à sa conversion en énergie électrique par des piles à combustible en passant par son transport et son stockage. Le cœur des piles à combustible est constitué d'un film de polymère, conducteur protonique. La membrane Nafion (polymère perfluoré sulfoné) est le matériau de référence pour ce type de convertisseur électrochimique. On nous a présenté des films présentant d'intéressantes caractéristiques de transport de charge (diffusion d'ions dans un milieu confiné) avec la structure moléculaire et supramoléculaire de ces films de polymères. Il est intéressant également de suivre l'évolution de la conception de micro sources d'énergies pour les objets portables.

Dans le concept d'habitat à « énergie positive », c'est-à-dire qu'il fabrique plus d'énergie qu'il n'en consomme, le solaire photovoltaïque semble une solution qui nécessite encore une recherche, ainsi que l'élaboration de nouveaux matériaux pour faire apparaître de nouvelles propriétés chimiques et physiques aboutissant à des fonctionnalités totalement innovantes : verres autonettoyants, alliages ultralégers etc....



Matériaux constitutifs assemblage membrane électrode

## - les micro et nanotechnologies :

Pour être bref, on pourrait dire que le thème « nanotechnologies » recouvre toutes les techniques de miniaturisation extrême qui permettent de fabriquer des objets, des composants, des systèmes dont les plus petites dimensions sont inférieures à 100 nanomètres, 1 nanomètre valant un milliardième de mètre (1 nm = 10<sup>-9</sup> m).

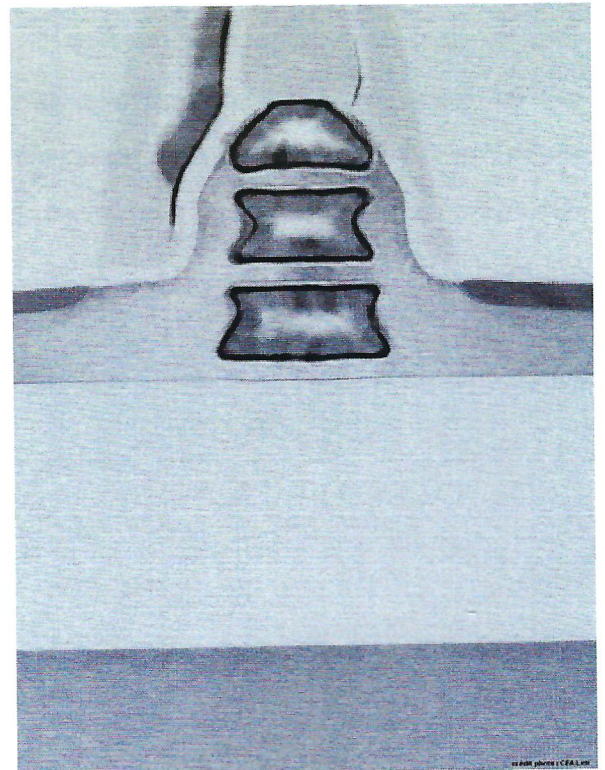
À l'échelle nanométrique, le passage de la science à la technologie peut être extrêmement rapide. Les nanotechnologies pour le vivant laissent entrevoir les innombrables applications qui vont se développer dans les secteurs de la biologie et la médecine, à plus ou moins court terme. On les désigne d'ailleurs sous le vocable de « nano biotechnologies ». La puissance de la microélectronique et de l'informatique pourra être mise au service de ces disciplines pour identifier les si nombreux composants du vivant, suivre le fonctionnement des organes au plus près et, enfin, intervenir pour soigner. Les puces à ADN sont capables de réaliser toutes les tâches d'identification génétique, que ce soit pour la médecine, l'agroalimentaire ou la surveillance bactérienne de l'environnement. Les puces à protéines, en cours de développement, auront pour mission de mener à bien les tâches d'identification des innombrables protéines présentes dans un organisme voire même dans une seule cellule.

La plupart des tâches d'analyse biologique nécessitent la manipulation de fluides. La miniaturisation a induit la naissance d'une nouvelle science: la microfluidique, l'art de manipuler d'infimes volumes d'échantillons et de réactifs. Les labopuces de demain intégreront toutes les étapes, du traitement de l'échantillon au rendu du résultat, absorbant, au passage, des composants microélectroniques, optiques et logiciels.

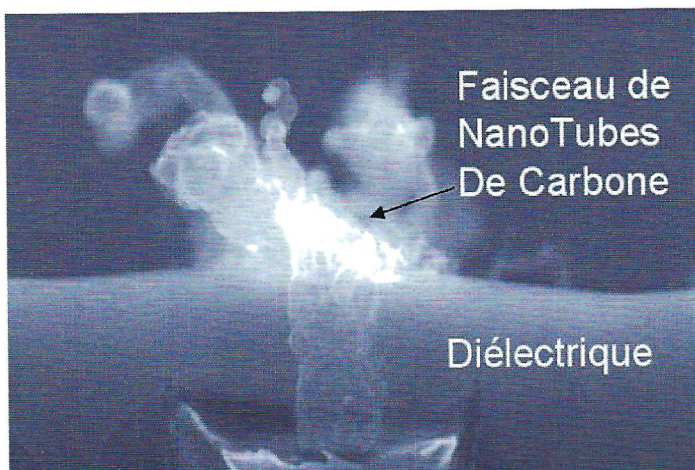
Les télécommunications du futur montrent, dans un autre domaine, que l'évolution des technologies de l'information et de la communication, les premières à bénéficier des technologies de miniaturisation, est loin d'être achevée. Il s'avère, par exemple, que chaque terminal individuel pourra devenir partie intégrante d'un réseau de distribution de données à d'autres utilisateurs que son possesseur.



Observation nanométrique sur nano objets



Multifils nanocomposants



CNT dans via coupe avec noms

## **DERRIÈRE LES SIGLES, L'EXCELLENCE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Dans la présentation des organismes de recherche propres au CEA où travaillant en partenariat nous avons été submergés de sigles : INES, LETI, INPG, NanoBio, Minatec... Nous nous avons appris que derrière ces sigles se trouve l'excellence de la recherche scientifique française et donc l'avenir de notre pays.

**Depuis 1956**, divers instituts et pôles ont été créés.

Fondateur du CEA Grenoble : Louis Néel (Prix Nobel Physique 1970)

Les « 3 Louis » = triptyque Enseignement, Recherche, Industrie, longue tradition et caractéristique historique du bassin grenoblois

Citons :

### **1967 : création du LETI, Laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'Information**

Le Leti est l'un des principaux centres européens de recherche appliquée en électronique. Son activité est consacrée à plus de 85 % à des recherches finalisées avec des partenaires extérieurs. Interlocuteur privilégié du monde industriel, le LÉTI a suscité la création de près de 30 start-up de haute technologie, dont Soitec, leader mondial du silicium sur isolant. Il dépose quelque 200 brevets par an et gère un portefeuille de 1 000 inventions protégées par des brevets.

### **1992 : création de l'IBS : l'Institut de Biologie Structurale**

Créé par le CEA et le CNRS en 1992, l'IBS est devenu unité mixte de recherche CEA-CNRS-Université Joseph Fourier en 1999. A la fois centre de recherche, plateau technique et site d'accueil scientifique, l'IBS, à proximité de grands instruments européens, dispose d'outils performants et modernes dans le domaine de la biologie structurale, un champ de recherche capital pour la compréhension des mécanismes biologiques fondamentaux.

### **2005 : création du pôle NanoBio un pôle d'innovation en nanobiotechnologies**

Nanobio est issu d'une initiative du CEA/Grenoble et de l'Université Joseph Fourier (Grenoble), avec le soutien de l'Agglomération Grenoble-Alpes-Métropole. Développer l'expertise européenne dans le domaine des nanobiotechnologies telles que biopuces, laboratoires sur puces ou biocapteurs : c'est l'objectif de Nanobio, un pôle d'innovation pluridisciplinaire et multi-sites basé dans l'agglomération grenobloise. Ces technologies débouchent sur de nombreuses applications : diagnostic médical, développement de nouveaux médicaments, contrôles alimentaires, analyse bactérienne de l'eau, diagnostic hors laboratoire.... Des marchés qui devraient représenter d'ici quelques années plusieurs milliards d'euros.

### **Egalement 2005 : INES, Institut National de l'Energie Solaire**

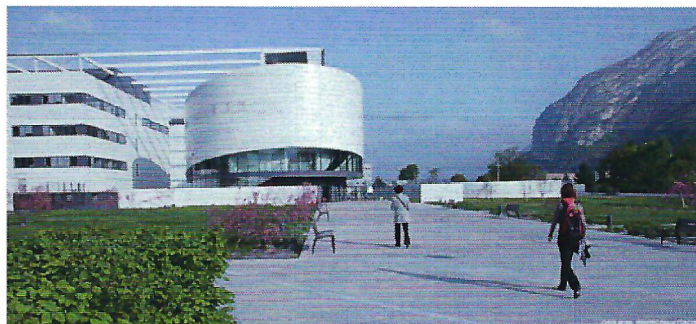
Le CEA a transféré à Chambéry plusieurs de ses programmes autrefois menés sur son centre de Grenoble. L'INES a été créé à l'initiative de la région Rhône-Alpes et du département de la Savoie, et regroupe les principaux acteurs français de la recherche et de l'industrie de la filière énergétique solaire.

### **2006 : inauguration du pôle d'innovation Minatec**

Lancé à l'initiative du CEA-Léti et de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble rebaptisé Groupe INP), Minatec est le premier pôle européen en micro et nanotechnologies. Minatec regroupe, sur un site de huit hectares, une plate-forme de R&D de 19 000 mètres carrés dédiée aux composants avancés et objets communicants où travaillent 4 000 personnes.



Minatec 1



Minatec 2

## **RÉPONDRE AUX OBJECTIFS DE RECHERCHE DE FAÇON RESPONSABLE**

Au cœur des enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle<sup>1</sup>, le développement des différents programmes de recherche du CEA fait l'objet de recherches pour déterminer quel est l'impact, sur l'homme et son environnement. Actuellement le CEA pilote le programme européen 'Nanosafe2' sur gestion des risques potentiels liés aux nanomatériaux. L'implication des chercheurs est très forte dans cette « entreprise citoyenne ».

<sup>1</sup> Titre d'un article dans la revue : « Les Défis du CEA » voir (<http://www.cea.fr>)

# ... LE LASER MEGAJOULE ...

## RETOUR AU C.E.S.T.A. (CENTRE D'ÉTUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES D'AQUITAINE)

En octobre 2005, des membres de l'ADASTA avaient participé à une visite de chantier de construction du LASER MEGAJOULE. Un compte rendu a été publié par « Auvergne-Sciences » N° 64 en décembre 2006, et quelques corrections furent apportées dans le numéro suivant. Le 5 mars 2008, une nouvelle visite a été organisée par l'ADASTA, afin de constater l'état d'avancement de ce gigantesque projet : les lignes qui suivent résument l'état des lieux.

### L'OBJECTIF

Le CESTA, implanté sur la commune du Barp, à 30 km au sud de Bordeaux. Pièce maîtresse de la Direction des Applications militaires du Commissariat à l'Énergie Atomique (C.E.A.), il est le concepteur et l'architecte industriel des armes nucléaires de la force de dissuasion des Armées françaises, de l'Air (missiles aéroportés) ou de Mer (sous-marins lanceurs d'engins).

Depuis 1996, la France ne fait plus d'essais réels de ces armes. Pour continuer à garantir leur fiabilité, le C.E.A. a développé un programme de SIMULATION qui, grâce à des ordinateurs extrêmement puissants (en particulier « TERA ») permettent de reproduire par calcul le fonctionnement d'une tête nucléaire. Pour valider la modélisation du système, et en particulier s'assurer de sa précision, il est indispensable de réaliser des expériences de fusion nucléaire en réduction : tel est le but du LASER MEGAJOULE.

### LA RÉALISATION

Cet outil exceptionnel - l'un des plus puissants du Monde - doit apporter aux noyaux appelés à fusionner une énergie considérable, que seul un LASER peut concentrer en un temps très court. Grâce à 240 faisceaux concurrents, le rayonnement est focalisé sur une microbille de 2 mm de diamètre, contenant une très petite quantité du mélange deutérium-tritium capable de fusionner ; Cela permet de se placer dans les conditions physiques d'une explosion de l'arme nucléaire en vraie grandeur. Des capteurs peuvent recueillir toutes les informations utiles mesurées sur l'échantillon.

Le LASER MEGAJOULE sera opérationnel en 2012. Un prototype est à l'essai depuis 2002 : c'est la LIGNE D'INTÉGRATION LASER (« L.I.L. »), qui compte 4 faisceaux laser. Elle a permis de valider les choix technologiques de l'instrument et la qualité de ses composants optiques (miroirs, lentilles...) soumis à des contraintes extrêmes. La L.I.L. occupe un bâtiment de 150 m de long dans lequel la température et l'humidité sont très étroitement contrôlées et où les poussières sont bannies. Les équipes qui interviennent dans ce bâtiment doivent appliquer des consignes très strictes de propreté qui exigent en particulier des tenues spéciales.

Dans sa configuration définitive, le LASER MEGAJOULE doit occuper un bâtiment de 300 m de longueur et plus de 50 m de largeur. La salle d'expériences proprement dite, au centre, a 40 m de hauteur. Elle abrite la sphère de 10 m de diamètre, en alliage d'aluminium, au centre exact de laquelle sera placée la microbille contenant les réactifs. Des ouvertures ménagées dans sa paroi permettront le passage des faisceaux ou l'introduction des capteurs de mesure ou de contrôle du système.

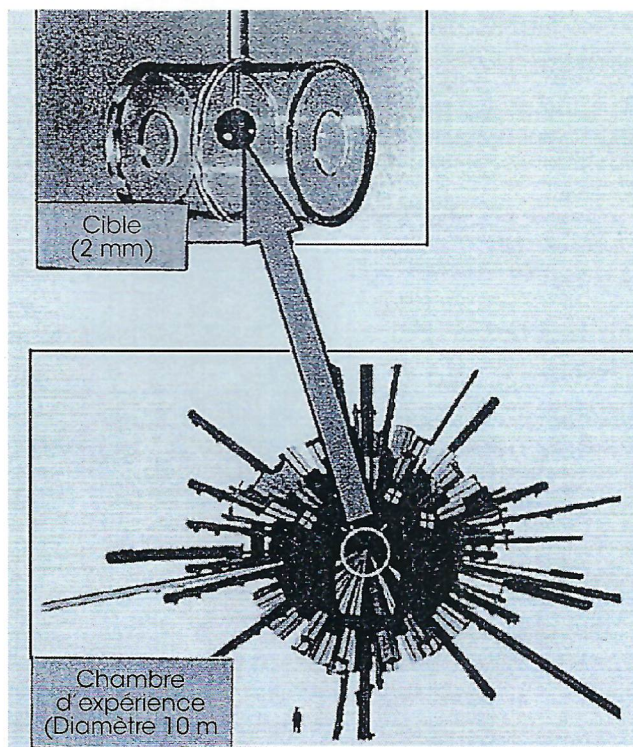


Figure 7  
Modèle transparent de l'ensemble «four» - cible,  
et disposition de l'instrumentation tout autour  
de la sphère d'expérience du L.M.J..

Cette image a déjà été publiée dans le N° 64 d'Auvergne-Sciences

### LA VISITE

Arrivés sur le site en début d'après-midi, les membres de l'Adasta participant à ce voyage furent accueillis par un ingénieur du CESTA chargé de la communication. Une vidéoprojection permit à chacun de situer le LASER MEGAJOULE dans l'ensemble des activités du C.E.A., qui intervient dans 3 grands domaines : l'énergie, la défense, l'information et la santé.

Puis, on nous présenta les constituants optiques d'une ligne LASER dans laquelle est amplifiée l'intensité lumineuse d'un faisceau, issu d'une source minuscule... L'exigence de qualité absolue des surfaces de ces composants fut largement évoquée, car tout défaut, même invisible à l'œil, détruit la cohérence de l'onde transmise et empêche la réalisation de la fusion, qui impose une symétrie sphérique parfaite de l'irradiation de la microbille.

Enfin nous fûmes conviés à une visite du chantier, sous la conduite experte d'une jeune guide qui, par un hasard heureux, avait des attaches familiales fortes en Auvergne... Nous pûmes apprécier à loisir le gigantisme de l'installation, en allant voir en particulier la sphère centrale. Lors de la première visite, elle était en cours d'usinage dans un hall voisin et, cette fois, elle avait trouvé son emplacement définitif, alors que différents corps de métiers s'affairaient autour d'elle...

Vers 17 h, il fallut reprendre la route, mais tout le trajet fut l'occasion d'évoquer les perspectives grandioses qu'ouvre en Aquitaine l'utilisation du LASER MEGAJOULE.

L'ADASTA remercie vivement le CESTA pour l'accueil qui lui a été réservé.

# BIOBASIC ENVIRONNEMENT,

JEUNE ENTREPRISE AUVERGNATE PRÉSENTÉE, A L'ADASTA, PAR SON CRÉATEUR :  
JULIEN TROQUET



L'environnement est aujourd'hui une préoccupation forte des entreprises et des collectivités, confrontées à une exigence sociale et réglementaire grandissante. Les problèmes rencontrés dans ce domaine peuvent être de natures très variées, d'autant que chaque cas s'exprime dans un contexte particulier. Biobasic Environnement développe une approche innovante des problèmes environnementaux en particulier dans le domaine de la dépollution et de la réhabilitation de sites contaminés. Nous avons eu le plaisir de recevoir, à l'ADASTA le mercredi 9 avril 2008 : Julien Troquet, Ingénieur CUST, Docteur de l'Université Blaise Pascal, jeune chef d'entreprise qui reçoit le Premier Prix 2001 de la Fondation Altran pour l'Innovation. Laissons-lui la parole :

Biobasic Environnement est une Société de Services et Conseils en Environnement spécialisée dans le domaine de la gestion et de la réhabilitation des sites pollués par voie biologique. La société propose une solution globale et personnalisée, du simple audit diagnostique à la dépollution de sites par un procédé de bioremédiation innovant, fruit d'une Recherche & Développement active. Ainsi, les technologies mises en œuvre s'appuient sur une forte expertise scientifique et technique et sur une importante activité de Recherche & Développement permettant de mettre au point de nouveaux procédés. Diagnostic et surveillance des sites industriels, ingénierie et travaux de réhabilitation de sites pollués, ingénierie et développement de procédés biotechnologiques de traitement des pollutions, Biobasic Environnement a élaboré une gamme complète de prestations performantes sur le plan technique et économique, réparties en trois secteurs :

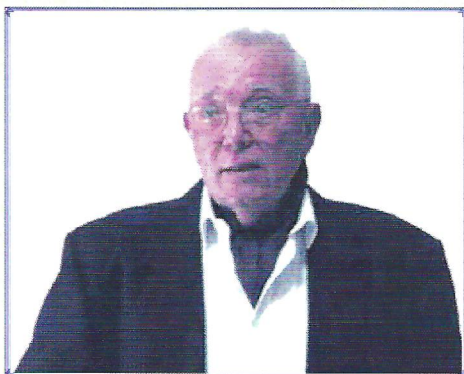
- La méthodologie **ecomap**, développée pour les audits diagnostics de sites industriels permet une recherche optimale des pollutions et une caractérisation précise de l'état de santé du site étudié.
- Le processus de réhabilitation **ecobasic**, comprenant des études de faisabilité technique et économique, puis la mise en œuvre des procédés de dépollution par bioremédiation spécifiquement développés par **Biobasic Environnement**, garantit l'efficacité du traitement.
- La société, via la gamme de services Bioéco intervient également dans le domaine du management environnemental, réalise des études de biodégradabilité d'effluents et/ou de déchets, et assiste ses clients pour la conduite des procédés de traitement biologique des effluents et des déchets en général.

En 2005, **Biobasic Environnement** a également choisi de renforcer son développement en acquérant l'entreprise Montpelliéraine **TechnoMembranes** spécialiste des technologies de filtration par membranes. Cette dernière présente une expertise unique en France dans le domaine du traitement des effluents industriels par voie membranaire. Elle a notamment développé le système de gestion des eaux produites par l'équipage de la station Concordia au Pôle Sud dans le cadre d'un projet conduit par l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Les compétences de la société **TechnoMembrane** complémentaire de celles de **Biobasic Environnement** conduisent à des synergies entre les deux structures qui donnent naissance à une offre intégrée unique dans le domaine des éco-technologies.

L'entreprise se trouve actuellement au Biopôle Clermont-Limagne de Saint-Beauzire.

---

## ADIEU à Michel HENRY



Michel HENRY qui vient de disparaître est un vieil ami de l'ADASTA. Il l'a soutenue depuis sa création grâce à son amitié avec Roland JOUANISSON et à ses hautes compétences : il était Maître de Conférence à l'UPMC (Université Pierre et Marie Curie), physicien renommé, modeste et dévoué pour la connaissance scientifique.

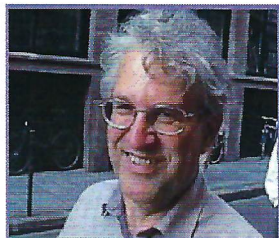
Il était venu à Clermont Ferrand en octobre 2006 à l'occasion du 20<sup>ème</sup> anniversaire de l'ADASTA porter son témoignage d'amitié et de réconfort à Jeannette Jouanisson et à nous tous.

**SUZANNE GÉLY**

Présidente d'Honneur de l'ADASTA



# Benjamin Franklin : TREIZE SEMAINES POUR TREIZE VERTUS



par **Michel NARANJO**

**Professeur Emérite à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand  
Président de l'ADASTA**

On connaît de Benjamin Franklin l'image d'un homme avec son fils, faisant intrépidement voler un cerf-volant sous un ciel gonflé d'orage (1752). De notre temps, les personnes ayant lu ses mémoires ont été surprises, comme Stéphane Olry\*, par son projet de « parvenir à la perfection morale ». C'est ainsi qu'il imagina une méthode lui permettant d'atteindre son but :

Il referma sous treize noms de vertus toutes celles qu'il regardait comme « nécessaires ou désirables » (tableau 1) et pris la résolution de donner pendant une semaine une attention rigoureuse à chacune des vertus successivement. Par exemple dans la première semaine il prit soin d'éviter de donner la plus légère atteinte à la sobriété, abandonnant les autres à leur chance ordinaire, mais il marquait chaque soir les fautes commises (tableau 2).

\*Treize semaines de vertu-journal de l'exercice inventé par Benjamin Franklin de Stéphane Olry est publié aux éditions de l'Amandier (en vente dans toutes les bonnes librairies.)

**TABLEAU 1**

Vertus :	Préceptes :
<b>1. Sobriété :</b>	ne mangez pas jusqu'à pesant ; ne buvez pas assez pour que votre tête soit affectée.
<b>2. Silence :</b>	ne dites que ce qui peut être utile aux autres.
<b>3. Ordre :</b>	évitez les conversations frivoles. Que chaque chose ait chez vous sa place et que chaque partie de vos affaires son temps.
<b>4. Résolution :</b>	soyez résolu de faire ce que vous devez et faites sans y manquer ce que vous avez résolu.
<b>5. Economie :</b>	ne faites aucune dépense que pour le bien d'autrui ou pour le vôtre, c'est-à-dire ne dépensez rien mal à propos.
<b>6. Application :</b>	ne perdez point de temps. Soyez toujours occupé à quelque chose d'utile et abstenez-vous de toute action qui ne le sera pas.
<b>7. Sincérité :</b>	n'usez d'aucun déguisement nuisible ; que vos pensées soient innocentes et justes et conformez-vous-y quand vous parlez.
<b>8. Justice :</b>	ne nuisez à personne, soit en lui faisant du tort, soit en négligeant de lui faire le bien auquel vous oblige votre devoir.
<b>9. Modération :</b>	évitez les extrêmes ; gardez-vous de vous ressentir des torts autant que vous croyez qu'ils le méritent.
<b>10. Propreté :</b>	ne souffrez aucune malpropreté sur votre corps, sur vos habits et dans votre maison.
<b>11. Tranquillité :</b>	ne vous laissez troubler, ni par des bagatelles, ni par des accidents ordinaires ou inévitables.
<b>12. Chasteté :</b>	livrez-vous rarement aux plaisirs de l'amour, n'en usez que pour votre santé ou pour avoir des descendants, jamais au point de vous abrutir ou de perdre vos forces et jusqu'à nuire au repos et à la réputation de vous et des autres.
<b>13. Humilité :</b>	imitiez Jésus et Socrate.

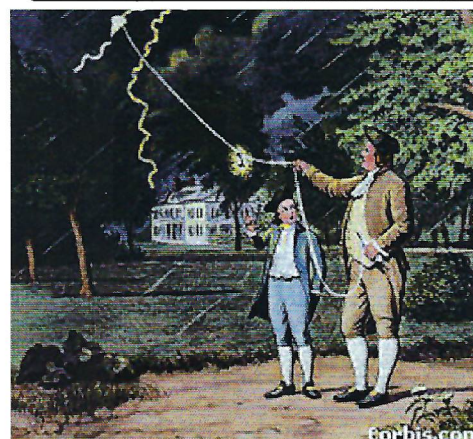
**TABLEAU 2**

	Di	Lu	Ma	Mer	Jeu	Ven	Sam
So							
Si	XX	X		X		X	
Ord	X	X	X		X	X	X
Rés			X			X	
Ec		X			X		
Ap			X				
Sin							
Jus							
Mod							
Pro							
Tra							
Cha							
Hu							

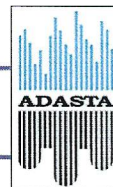
Les X indiquent les fautes commises par Benjamin Franklin

Notons que la consignation, par Benjamin Franklin, des fautes faites jour après jour nous permet de penser qu'il n'a pas pu aller plus loin que la sixième semaine...

Qui pourrait aller jusqu'à la treizième ? et encore mieux qui pourrait faire un cycle de quatre fois treize semaines pour avoir le bonheur de tendre vers la vertu la plus parfaite ?



# AVANT PROGRAMME DES CONFÉRENCES ADASTA DU SECOND SEMESTRE 2008 ET DÉBUT 2009



**Mercredi 24 septembre 2008**  
à 17h30 à l'ADASTA - Centre Riche-Lieu à Chamalières :

**«MÉTABOLISME DES ACIDES NUCLÉIQUES»**  
par **Olivier Bardot**.

Olivier Bardot est Maître de conférences en biochimie, biologie moléculaire à l'Institut Universitaire de Technologie de l'Université d'Auvergne au sein de l'Unité Mixte de Recherche CNRS 6247 – INSERM U931 – Clermont-Université

.....

**Mercredi 22 octobre 2008**  
à 17h30 (le lieu sera précisé ultérieurement)

**«GLACIERES NATURELLES ET ARTIFICIELLES EN AUVERGNE»**  
par **Jean-Pierre Couturié**

Jean-Pierre Couturié est Maître de conférences honoraire à l'Université Blaise Pascal, hydro-géologue il a effectué de nombreuses recherches sur le thème de l'eau.

.....

**Mercredi 19 novembre 2008**  
à 17h30, au Centre Riche-Lieu :

**«LES LICHENS»**  
par **Jean Berthier**.

Jean Berthier a effectué sa carrière d'enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, département de botanique.



Cette conférence est placée sous l'égide de la **Fête de la Science 2008**

.....

**Mercredi 10 décembre 2008**  
à 17h30, au Centre Riche-Lieu :

**«ÉTAT DE LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE SUR LE MÉCANISME AGRICOLE»**  
par **un chercheur du CEMAGREF**

La Région Auvergne compte plusieurs centres du Cemagref qui est un organisme public de recherche finalisée sur la gestion des eaux et des territoires. Ses recherches sont orientées vers la production de connaissances nouvelles et d'innovations techniques utilisées par les gestionnaires, les décideurs et les entreprises pour répondre à des questions concrètes de société dans les domaines de la gestion des ressources, de l'aménagement et de l'utilisation de l'espace.

.....

**Mercredi 25 février 2009**  
à 17h30, au Grand Amphithéâtre de la Faculté des Lettres, site Gergovia :

**«LES ASTÉROÏDES»**  
par **Daniel Benest**

Daniel Benest est astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Ses recherches portent sur la mécanique céleste (problème restreint des trois corps avec application à la dynamique des petits corps du Système solaire et aux exoplanètes dans les systèmes d'étoiles doubles). Il est l'auteur de plus de 70 articles scientifiques spécialisés et de plus de 25 articles et livres de vulgarisation.

Cette conférence est une des grandes conférences nationales placées sous l'égide de l'Année Mondiale de l'Astronomie 2009, sous le patronage de Nations Unies et de l'UNESCO.



# LES ACTIVITES DES "JEUNES POUSSES" DE L'ADASTA

par **Pierrette TOURREIX et Claudie BALLY**  
Groupe des "Jeunes Pousses" de l'ADASTA



## OCTOBRE 2007 30<sup>ÈME</sup> ANNIVERSAIRE DE CEYRAT-BOISSÉJOUR-NATURE ET FÊTE DE LA SCIENCE AU CENTRE JAUDE

Depuis fort longtemps, nous n'avions pas eu une rentrée des « Jeunes Pousses » aussi diversifiée et intense. Les « jeunes » recrues ont d'emblée pu profiter, à quelques jours d'intervalle, d'une sortie à Ceyrat et au Centre Jaude.

### SAMEDI 6 ET DIMANCHE 7 OCTOBRE : 30<sup>ÈME</sup> anniversaire de Ceyrat-Boisséjour-Nature

Pourquoi une sortie à Ceyrat à cette occasion ? Nos « jeunes » recrues le doivent aux anciens. Chaque année, l'ADASTA participe aux forums organisés par la Ville de Clermont Ferrand. Chaque année, nos « Jeunes Pousses » animent d'une façon très active, et présentent leur savoir en reprenant des expériences spectaculaires. C'est ainsi qu'ils furent remarqués par le Président de l'association Ceyrat-Boisséjour-Nature en 2006.

Avec beaucoup d'entrain, Jules, Eléonore, Thomas C., Etienne, Léa, Marie, Pierre, Grégoire, Louis, Justine, Thomas P, Adèle, Clémence T., Clotilde, Guillaume, Clémence L. ont innové de nouvelles expériences, pour le bonheur des visiteurs. Aucun n'a manqué d'esprit curieux et scientifique, ils ont partagé leur maîtrise avec les adultes en leur proposant notamment de percer un ballon avec une aiguille à tricoter sans le faire éclater .... Que de joies pour eux tous en considérant le désarroi des adultes !



Comme l'Espace Culture et Congrès Henri Biscarrat nous permettait de nous éclater, nous avons réalisé des volcans en phase éruptive, des feux d'artifice mémorables avec du coca-cola.

*Pour vous amuser en famille : prenez une bouteille de coca cola de 2 litres. Préparez environ 4 à 5 menthos « blanc », après avoir enlevé le bouchon de la bouteille de coca, verser les bonbons dans le liquide, et... fuyez...*



Nos « Jeunes Pousses » ont mis à profit ce week-end pour découvrir les artisans artistes venus également présenter leur métier.

Tant le sculpteur sur pierre, la poterie, le graveur sur métal (maître ouvrier graveur de la Banque de France), l'apiculteur, que la jeune femme fabriquant du fil au fuseau, le tresseur d'osier, le potier ont tour à tour fait découvrir tout le plaisir de leur métier à nos enfants. Chacun a pu réaliser sa propre œuvre s'il le désirait.



Le planétarium de l'ADASTA a permis à environ 140 adultes de découvrir le ciel et ses étoiles sous la « bulle bleue ».



### MERCREDI 10 OCTOBRE : Fête de la Science au Centre Jaude



Une douzaine de « Jeunes Pousses » de l'ADASTA a participé. Au programme : les ballons transpercés, l'assiette asséchée, le verre d'eau renversé sur une feuille de papier, la lampe à lave, des observations surprenantes à la loupe binoculaire sans oublier le volcan qui déverse sa lave colorée. Installés dans le hall de ce centre commercial, nous n'avons pas osé sortir le coca-cola et les menthos .... Plus sagement, Jean Chandezon a fait une démonstration de stéréophotographie. Muni de lunettes aux verres rouge et vert, chacun pouvait observer une image colorée en relief. Merci à tous les organisateurs de la Fête de la Science qui permettent à de jeunes scientifiques de faire connaître leurs talents d'animateurs.

## MERCREDI 14 NOVEMBRE 2007 :

### PREMIÈRE PARTIE DE LA SÉANCE : LUTTE CONTRE LE BRUIT

Animation par Bernard Sanselme, contrôleur de sécurité à la CRAM Auvergne.

Cette séance très technique et ardue pour nos « Jeunes Pousses » avait pour but de :

- montrer le fonctionnement de l'oreille
- sensibiliser aux dangers des décibels élevés
- inciter à la protection contre les bruits graves ou aigus au niveau sonore élevé qui provoquent la surdité.

Bernard Sanselme a abordé quelques notions fondamentales :

#### différence entre bruit et son :

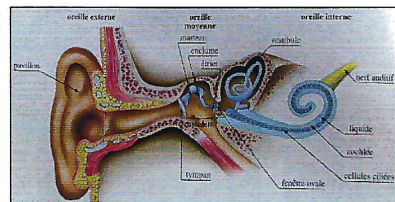


Ce qui est entendu et qui est considéré comme quelque chose de désagréable sera qualifié de : Bruit  
La même chose pourra donc être qualifié par les uns de SON et les autres de BRUIT



Ce qui est entendu et qui est considéré comme quelque chose d'agréable sera qualifié de : SON

rôle de l'oreille : il y a environ 20 000 cellules ciliées dans chaque oreille :



**les fréquences audibles**, une oreille normale perçoit les sons de fréquences comprises entre environ 20Hz et 20000Hz.

L'oreille présente une sensibilité maximale autour de 3 000 Hz.

Le niveau d'intensité acoustique est mesuré en décibels (symbole : dB) avec un sonomètre.

*\*Décibel : en hommage à Graham Bell (1847-1922). La préoccupation dominante de sa vie fut l'apprentissage du langage aux sourds. Les recherches dans ce domaine le conduisirent à l'invention du téléphone en 1875.*

*Tout le groupe des « Jeunes Pousses » fut très attentif lors de l'exposé : ils ont retenu que l'audition est un bien précieux, qu'il est indispensable de lutter contre le bruit car la surdité est le plus souvent irréversible.*

## DEUXIÈME PARTIE : RÉALISATION D'UN TÉLÉPHONE

A l'aide de 2 boîtes de conserve et d'une ficelle, chaque enfant a fabriqué son téléphone. Pour l'utiliser, il suffit de parler dans l'une des boîtes de conserve pendant que l'autre personne pose l'autre boîte à son oreille pour écouter.

Les vibrations émises par la voix voyagent le long de la ficelle et sont restituées dans la boîte de conserve qui joue le rôle de caisse de résonance.

C'est la récréation pour les enfants qui communiquent et s'amuse entre eux.

C'est bien plus drôle que le téléphone portable.....

## MERCREDI 5 DÉCEMBRE 2007 : LES « JEUNES POUSSÉS » AU LASMEA

(Laboratoire de recherche des Sciences et Matériaux pour l'Electronique et l'Automatique)  
dans le cadre du projet « Prise en charge de la sécurité de l'enfant piéton par l'enfant lui-même »

Le groupe des « Jeunes Pousses » est accueilli à **POLYTECH** à Clermont Ferrand sur le complexe scientifique des Cégeaux. L'une des recherches de ce laboratoire concerne la détection des piétons dans un environnement humain dont le but serait d'aboutir à la mise en place dans une ville de petites voitures automatisées les « Cycab ».

Les chercheurs ont filmé les « Jeunes Pousses » dans diverses situations de la rue : courir, sauter, s'arrêter brusquement, marcher, tomber.

L'équipe chargée de cette recherche étudiera les comportements des déplacements de ces jeunes enfants pour une meilleure prise en charge de leur sécurité par rapport aux Cycab.

Ensuite, les enfants ont pris la caméra chacun leur tour pour filmer tout ce qui se trouvait autour d'eux : personnes, environnement, tramway ..... mais le temps imparti à chacun (30 enfants en deux heures) s'est révélé bien trop court pour comprendre toutes les astuces d'un reportage !

Une deuxième séance est prévue le 4 juin 2008 en extérieur avec les véhicules Cycab. La plateforme Pavin devrait être terminée et les enfants pourraient approcher l'une de ces voitures intelligentes, pour tester avec l'efficacité des algorithmes de détection développés par les chercheurs du LASMEA à partir des enregistrements effectués lors de la séance de décembre.

#### Réactions des enfants à cette séance :

Dans une salle, on a regardé une vidéo : des mini-voitures sans conducteur à 2 places se déplaçaient place de Jaude à Clermont Ferrand. La voiture s'arrêtait s'il y avait un objet sur son parcours. Elles sont équipées de caméras.

Dans le hall d'entrée, nous étions par groupes de 4 ou 5 avec un adulte. Nous avons couru, marché, sauté, arrêté brusquement, parlé. Le monsieur étudiant assis dans le hall observait sur son écran d'ordinateur ce que les trois caméras placées dans le hall avaient filmé.

Pendant quelques minutes nous avons filmé le tram, les grimaces, les culbutes faites par nos copains, les robots qui étaient dans le hall.

On aimerait bien voir nos films. Dans une salle à l'étage on a observé des illusions d'optique.

## MERCREDI 9 JANVIER 2008 : CIRCUITS ÉLECTRIQUES ET JEUX D'ADRESSE : L'ANNEAU LUMINEUX

Les vacances de Noël sont juste terminées. Les «Jeunes Pousses» viennent de reprendre l'école depuis lundi mais les animateurs ont travaillé. La séance conduira les «Jeunes Pousses» à fabriquer un jeu d'adresse qu'ils rapporteront chez eux. Auparavant, il faut s'initier aux rudiments de l'électricité, reconnaître un isolant, un conducteur, réaliser différents montages en série puis en dérivation.

Le jeu d'adresse encore appelé « anneau lumineux » ou la « queue de cochon » consiste à déplacer un anneau de fil électrique dénudé autour d'un fil (aussi dénudé) que l'on a tordu pour en accroître la difficulté. Le fil et l'anneau ne doivent pas se toucher et la lampe ne doit pas s'allumer. Le vainqueur est celui qui a le plus petit nombre d'allumages.

Quel travail pour fixer les douilles, les fils conducteurs, les fils dénudés, la pile dans une boîte en carton comme support ! Les tournevis, les ciseaux sont trop peu nombreux..... Mais bravo pour les enfants qui ont beaucoup d'esprit : ce sera de futurs bons bricoleurs !

L'après midi s'est terminée autour de la galette des Rois. Parents, animateurs, «Jeunes Pousses» ont apprécié galette et jus de fruits : il y a eu beaucoup de Reines et de Rois.

Une fiche technique descriptive des montages a été remise à chaque enfant.



*Fin de la séance,  
la photo  
de groupe*



*Anneau final*

## MERCREDI 6 FÉVRIER 2008 : LE RECYCLAGE ET LA FABRICATION DU PAPIER.

Cette séance est essentiellement basée sur l'approche des problèmes de la consommation, sur la gestion des déchets. Elle a pour but de montrer l'intérêt du recyclage.

**1 - Les «Jeunes Pousses» ont été sensibilisés au problème des déchets ménagers et industriels** par le biais de panneaux explicatifs. La société de consommation est à l'origine d'une production de plus en plus importante d'emballages, de déchets de toutes sortes. Il est indispensable de traiter et de recycler pour

- \*protéger l'environnement
- \*économiser l'énergie
- \*limiter la pollution
- \*donner une nouvelle vie aux matériaux.

Dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle le problème des déchets se posait dans les grandes villes.

Le préfet Eugène POUBELLE signe un arrêté qui pose la base de la collecte des ordures ménagères et met à disposition des locataires des immeubles la fameuse « poubelle ».

### **2 - Les déchets organiques**

Le bois, le papier, les matières plastiques sont des matériaux organiques. Les gaz produits lors de la combustion contiennent entre autres de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone et des particules de carbone.

Le dioxyde de carbone dans l'atmosphère entraîne une élévation de la température de notre planète : c'est l'effet de serre. Les particules de carbone peuvent occasionner des troubles respiratoires. Il faut donc éviter de les faire brûler et il est préférable de les recycler.

### 3 - Fabrication de la pâte à papier et de la feuille à partir de papier recyclé.

\* Préparation de la pâte

Les « Jeunes Pousses » ont déchiré des petits morceaux de papier (style papier journal) qu'ils ont mis dans une bassine remplie d'eau. Ils ont trituré à pleines mains dans la bonne humeur jusqu'à ce qu'ils obtiennent une pâte liquide. Des fleurs séchées ont été disséminées dans le mélange.

\* Fabrication de la feuille

Les « Jeunes Pousses » ont réparti la pâte obtenue sur un tamis, ils ont secoué, égalisé, uniformisé, tassé pour égoutter plus rapidement. Le contenu du cadre a été renversé sur un tissu de feutre et ainsi de suite en alternant pâte et feutre.

Le tas ainsi obtenu appelé « paquet » restera sous presse plusieurs heures. Ensuite les feuilles seront mises à sécher à l'air.

Nos papetiers en herbe ont bien travaillé : la méthode détaillée leur fut remise pour refaire l'expérience avec leurs parents.

## MERCREDI 13 FÉVRIER 2008 : EXPOSITION « INSECTES ET PAYSAGES D'Auvergne » AU MUSÉE LECOQ.

### Sur les traces d'Henri Lecoq.

Deux groupes d'enfants correspondant à deux niveaux d'âge furent formés. Chacun, muni d'une fiche éducative, sous forme de jeu, devait parcourir les différentes salles du musée avec recherche de divers éléments lui permettant de comprendre qui était, et ce qu'avait fait Henri Lecoq. Un esprit d'éveil et d'observation minutieuse leur était demandé pour repérer, classer les animaux, les insectes, leur milieu, leur nourriture.

Tous ont fait preuve de concentration, écouté avec intérêt l'animatrice et manifesté leur désir de revenir pour la prochaine exposition.



Une des salles du Musée Lecoq

## MERCREDI 12 MARS 2008 : ACIDES BASES INDICATEURS COLORÉS

La teinture de chou, les indicateurs colorés, le curcuma changent de couleur selon le milieu dans lequel ils sont, soit acide soit basique.

Les « Jeunes Pousses » ont testé des substances diverses : eau, jus de citron, bicarbonate de soude, vinaigre blanc, levure.

Quelques messages écrits à l'encre invisible ont terminé la soirée ....

## MERCREDI 2 AVRIL 2008 : PEINTURE RUPESTRE EN VUE DE LA PRÉPARATION DU VOYAGE À LASCAUX, CASTELNAUD DU SAMEDI 5 AVRIL 2008.

### 1 - Peinture rupestre à la manière de Lascaux

Les « Jeunes Pousses » ont eu à leur disposition des pigments naturels en poudre, du jaune d'œuf utilisé comme liant et des reproductions des dessins de Lascaux ainsi que des supports tels que tuiles, cailloux, etc...

Après avoir choisi leur motif, ils ont exécuté avec beaucoup de précision un ou plusieurs dessins de la « célèbre grotte » taureaux, cerfs, chevaux. A l'aide de pinceaux ou de leurs doigts ils ont savamment mélangé pigments et liant de façon à reproduire une fausse vraie peinture murale ...



### 2 - Fabrication d'un fossile

Le fossile est réalisé à partir d'une coquille d'escargot vide. Pour cela, les enfants ont dû mélanger le plâtre avec de l'eau afin d'obtenir une pâte lisse et homogène dont ils ont rempli la coquille.

Après séchage, l'ensemble a été plongé dans le vinaigre blanc. Au bout de quelques heures la coquille disparaît et il apparaît un bel et faux fossile d'escargot.

Pourquoi : la coquille de l'escargot est en calcaire, le calcaire est attaqué par les acides (le vinaigre) par contre le plâtre, lui, ne réagit pas avec les acides.

Le plâtre dont on a rempli la coquille joue le rôle de la terre dans la nature. L'acidité du vinaigre provoque la décomposition de la coquille tout comme l'acidité du sol a permis la fossilisation au cours du temps.

## **SAMEDI 5 AVRIL 2008 : VOYAGE DANS LE PÉRIGORD.**

Dès 6 heures nos 34 «Jeunes Pousses» et leurs accompagnateurs ont pris l'autocar en direction du Périgord.

Arrivée à 10 h à Castelnaud pour la visite guidée du château : Castelnaud ou plutôt Castelnaud « le château neuf » fondé au XII<sup>ème</sup> siècle. L'histoire de Castelnaud est très mouvementée : tantôt démantelé ou au contraire agrandi et embelli. Il a été abandonné à la révolution, a servi de carrières de pierres vers 1832, puis restauré à partir de 1967 à 2005. C'est aujourd'hui le château le plus visité du Sud Ouest de la France, il domine fièrement la vallée de la Dordogne. Nous y avons vu une collection d'armes et d'armures, la salle des maquettes, des engins de guerre, des sièges, la reconstruction grandeur réelle des machines de guerre (trébuchet mangonneau, pierreries, bombarde).

Notre guide Sylvie a réalisé deux lancers de boulets avec le trébuchet. Les enfants qui avaient bien écouté les instructions lui ont dicté les différentes opérations à réaliser et les manœuvres ont été réussies.

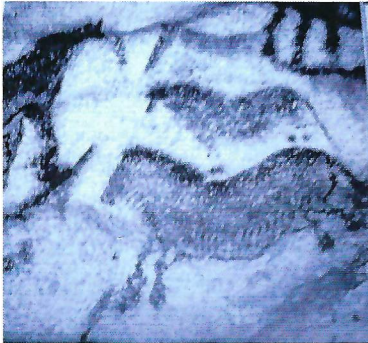
Sous un beau soleil au zénith ! Nous avons pique-niqué sur les bords de la Dordogne dans un cadre superbe et verdoyant.

A la Roque Gageac, nous avons embarqué sur la gabare de Norbert (réplique d'une gabare du 18<sup>ème</sup> siècle) pour 55 minutes de mini croisière commentée.

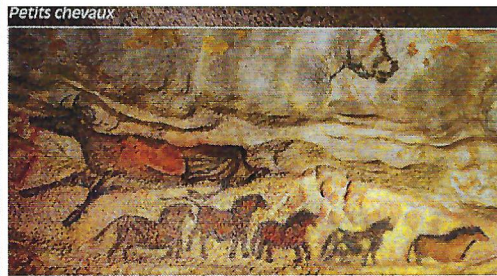
Au cours de cette promenade sur la calme rivière qu'est la Dordogne, le guide a abordé les sujets suivants : faune, flore, écosystème, vie des gabariers et inondations.

Il a décrit le paysage environnant, parlé des habitants préhistoriques, troglodytes et des châteaux construits sur les hauteurs pour surveiller la vallée. Ils se reflètent dans la rivière.

A 16 heures, nous arrivions à Lascaux II pour la visite. Lascaux II est situé à environ 200 mètres de la grotte originale, c'est le fac simulé de cette grotte fermée depuis 1963 afin de protéger les peintures. Les deux galeries reproduites « la salle des taureaux » et le « diverticule axial » rassemblent 90% des peintures de la cavité originale. Nous découvrons des taureaux, des cerfs, des chevaux mais aussi de très nombreux signes dont le mystère reste entier. Ces peintures ont été reproduites dans les moindres détails, avec leur relief exécuté comme il y a près de 17000 ans.



Petits chevaux



Les enfants ont reconnu les animaux qu'ils avaient peints sur leur tuile ou caillou lors de la séance de préparation du 2 avril 2008. Ainsi grâce à son double sanctuaire paléolithique, ce patrimoine renaît à la vue des hommes du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Le passage dans la boutique est incontournable. Les «Jeunes Pousses» ont quelques pièces à dépenser, il faut rapporter le souvenir qui matérialisera le mieux le souvenir de cette belle journée, certes récréative mais très riche en enseignements.

## **JEUDI 8 MAI 2008 : FLEURISSEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE À ROYAT DANS LE CADRE DU MARCHÉ AUX FLEURS ET PLANTES**



Encadrés par leurs deux animatrices, Pierrette Tourreix et Claudie Bally, les «Jeunes Pousses» ont su démontrer que l'ouverture scientifique pouvait également être une histoire de jardinage.

A travers des expériences ludiques : labyrinthe à pomme de terre, tête de sorcière\*, et armés de pots, terreaux, plants, roches, nuisibles des jardins et leurs loupes binoculaires, ils ont observé que la nature répond à de nombreux critères biologiques.

Nous remercions vivement Monsieur Marcel Aledo, Maire de Royat, Mesdames Dominique Fumel, Paulette

Avril, les jardiniers pour leur collaboration. Ils ont permis à nos enfants de pouvoir intervenir au milieu du public, ceci est également une expérience de la vie.



\* le cerveau de la sorcière a été remplacé par de la graine de gazon qu'il faudra « tondre » régulièrement après un bon arrosage.

## **MERCREDI 21 MAI 2008 : FABRICATION DU PAIN AUX MOULINS DE SAYAT**

Après avoir observés les règles d'hygiène, les enfants ont appris à reconnaître les ingrédients : farine, eau, sel, levure. Puis ils ont pétri la pâte, formé des pâtons.

Pendant le temps de levage de la pâte, les «Jeunes Pousses» ont visité le moulin à farine, au retour, ils ont défourné les pains et pris un bon goûter à base de fouées (petits chaussons de pâte à pain à garnir de chocolat, confiture, compote) accompagnés d'une boisson.

Journée très réussie enfants et adultes ont été ravis.

## Les « Jeunes Pousses » de l'Adasta à Lascaux



Tout le monde prend la pose



« Nous découvrons des taureaux, des cerfs, des chevaux, mais aussi de très nombreux signes dont le mystère reste entier... »

## ADASTA

### Adhésions et Abonnements

Adhésions à titre individuel ..... 30 €

Adhésions à titre collectif ..... 80 €

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

**Permanences** - elles sont assurées par les bénévoles :

du Lundi au Jeudi de 8h à 12h et de 14h à 17h et le Vendredi de 8h à 12h (*juillet et août inclus*)

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

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

**Siège social - 10, rue de Bien-Assis - 63000 Clermont-Ferrand**

**Tél./Fax 04 73 92 12 24 - E-mail : [adasta@wanadoo.fr](mailto:adasta@wanadoo.fr) - Site internet : <http://perso.wanadoo.fr/adasta>**

Dépôt légal Juin 2008 - N° ISSN - 1166-5904