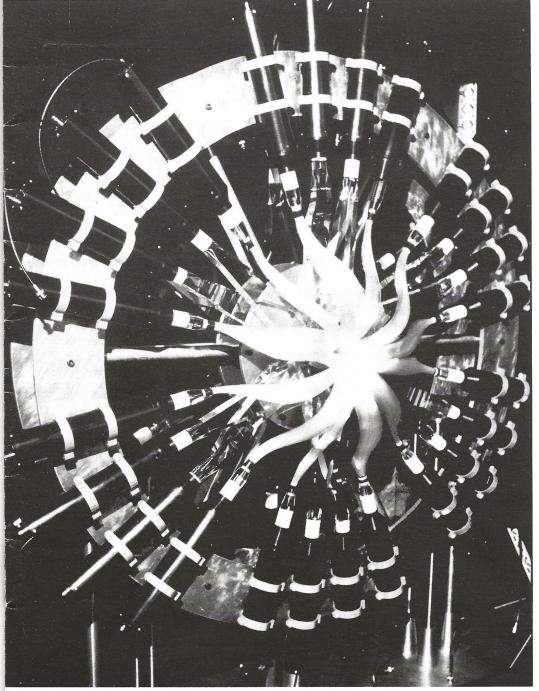
OGE POLICIE PHAP A ME NOUF ALL THY AFFECTIVE ASSESSED TO MOUS TAILS TO MENU BEING FOR THE NOUF ALL THY AFFECTIVE ASSESSED TO THE NOUT A

ESTE ON IT RECEON STOLEN ARCHOLOGICAL STOLEN BOTH AND A STEEN AND

ROTO CONTROL EDUCATION INDUSTRIE MATHEMAXXVI OF FIQUE OF NIZAS EXPRESSOR PLASIQUE FOUNDESTATIST CONTROL

15ER



INTERVIEW DE V. GISCARD D'ESTAING

Président du Conseil Régional d'Auvergne

LA PHYSIQUE DES PARTICULES ELEMENTAIRES

INTERVIEW DE MAURICE KRAFFT

L'IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

— L'éditorial	2
 Interview de V. Giscard d'Estair Président du Conseil Région d'Auvergne : L'action du Conseil Région pour l'Education et la Formation 	al
La recherche: La physique des particules élémentaires. Vue actuelle et perspectives par J.C. Montret	5
Interview de Maurice Krafft : L'homme et les volcans	7
Dossier recherche: L'imagerie par résonance magnétique nucléaire par J.C. Capelani	8
Expériences pour tous Un montage d'électronique pour débutants par G. Depreux Le Père Merle et l'Electrostatique par R. Jouanisson Les questions-piège de G. Ferrachat	16
Publications,PAE et Images of la Science	de 18
- Les expositions	19
— Nouvelles de la Région 2	20

Photographie de la couverture :

Détecteur de particules (Photo Jack ARNOLD).



LE MOT DU PRÉSIDENT

Grâce à d'heureuses initiatives et à la générosité de très nombreux concitoyens auvergnats, le Centre Hospitalier Régional Universitaire de Clermont-Ferrand sera prochainement doté d'un équipement d'Imagerie Médicale par Résonance Magnétique Nucléaire. Ce matériel de diagnostic et de recherche dont l'évolution technologique a été continue au cours des dernières années, permet de pénétrer à l'intérieur du milieu cellulaire pour en apprécier les plus fines variations physico-chimiques. La rédaction d'AUVERGNE SCIENCES a jugé judicieux, à cette occasion, de demander à M. Capelani, Ingénieur au Centre Jean Perrin, de présenter à ses lecteurs cette remarquable technique.

L'information scientifique et technique puise l'essentiel de sa substance dans les activités et les travaux des Universités ou Ecoles, des Industries, de leurs centres de recherche et laboratoires ; découvrir la réalité de l'activité des entreprises et laboratoires locaux est donc l'un de nos plus grands objectifs ; AUVERGNE SCIENCES vous présente dans ce numéro quelques activités du laboratoire de Physique Corpusculaire de l'Université de Clermont II dirigé par le Professeur J.C. Montret. Cet article nous paraît particulièrement opportun au moment où d'éminents chercheurs tentent de recréer les conditions qui furent celles de la matière quelques instants après l'explosion primitive dont est sorti l'univers.

AUVERGNE SCIENCES est un magazine d'Informations Scientifiques et Techniques essentiellement à vocation régionale ; aussi, nous avons cherché à connaître quelle était la politique du Conseil Régional d'Auvergne en matière de Formation et de Recherche ; nos lecteurs trouveront dans ce numéro une interview du Président V. Giscard d'Estaing qui a bien voulu accepter de répondre aux questions d'AUVERGNE SCIENCES.

La densité exceptionnelle de ce numéro, l'intérêt des articles et informations que nous apportons à nos lecteurs les inciteront, nous le souhaitons vivement, à adhérer à l'Association pour le Développement de l'Animation Scientifique et Technique en Auvergne (ADASTA) et à s'abonner à son bulletin AUVERGNE SCIENCES. Nous avons de nombreux projets qui contribueront efficacement au rayonnement de notre région et de sa métropole; votre aide et votre soutien nous sont toutefois indispensables. Rejoignez nombreux l'ADASTA.

Roger VESSIÈRE

L'ADASTA a bénéficié en 1986 du soutien financier :

- du Conseil Régional d'Auvergne,
- du Palais de la Découverte,
- du Ministère de l'Education Nationale (DBMIST)

Directeur de la Publication : Roger VESSIERE

Rédaction: Roland JOUANISSON

Bulletin trimestriel - Abonnement : 50 F par an

Edité par ADASTA Complexe des Cézeaux B.P. 45 63170 AUBIERE

Tél. 73 26 41 10 (poste 30 60)

UNE INTERVIEW DE VALERY GISCARD D'ESTAING,

Président du Conseil Régional



L'ACTION du CONSEIL REGIONAL pour l'EDUCATION et la FORMATION

La Région assure désormais de larges responsabilités en matière d'éducation : formation professionnelle continue, apprentissage et plus récemment, enseignement secondaire.

Dans le domaine de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, la Région peut également intervenir pour favoriser le développement économique régional.

Nous avons demandé à M. Valéry Giscard d'Estaing, Président du Conseil Régional, de bien vouloir nous exposer les grandes lignes de l'action entreprise en Auvergne depuis un an en matière d'éducation et de formation. Nous le remercions d'avoir répondu avec précision à nos questions.

M. le Président, il y a un an que le nouveau Conseil Régional d'Auvergne s'est mis en place sous votre direction. Parmi les priorités que vous aviez affirmées figurent l'éducation et la formation. Pouvez-vous nous préciser les grandes lignes de l'action entreprise dans ces deux domaines ainsi que l'importance de l'effort financier qu'elles représentent pour notre Région ?

La Région, depuis juin 1983 pour la formation professionnelle (formation professionnelle continue et apprentissage) et, depuis le 1er janvier 1986 pour l'enseignement secondaire, exerce de larges compétences en matière de formation qui lui ont été transférées par les lois de décentralisation.

La Région est décidée à assumer pleinement ces nouvelles compétences qui représentent des enjeux considérables pour l'avenir de l'Auvergne.

Mais, la formation, en général, qu'elle soit initiale ou continue n'est pas une fin en soi. Il s'agit de moyens qui doivent accompagner et induire le développement économique et social de notre Région.

Aussi, le nouvel Exécutif Régional souhaite que l'appareil de formation resserre ses liens avec le tissu économique régional.

Sa volonté d'adapter l'appareil de formation aux besoins des entreprises, la Région la manifestera dans les mois à venir à travers un certain nombre de moyens matériels et financiers mis en œuvre au profit des formateurs et donc des "formés" et également à travers un certain nombre de réflexions qu'elle mène dans les différentes filières de formation dont elle a la charge ou qui lui paraissent prioritaires pour le devenir de l'Auvergne :

- · la formation professionnelle continue
- · l'apprentissage
- · l'enseignement secondaire
- · l'enseignement supérieur

LA FORMATION PROFESSIONNELLE CONTINUE ET L'APPRENTISSAGE

La Formation Professionnelle Continue.

La Région intervient sous différentes formes :

- elle finance le fonctionnement de stages. En 1987, 22,5 MF sont consacrés au fonctionnement d'environ 220 stages;
- elle rémunère des stagiaires (environ 3500) soit au titre de stages, soit à titre individuel sur 3 programmes (Rémunération de Promotion Professionnelle, stagiaires hors Régions, Congés Individuels de Formation) ce qui représente un budget de 30 MF en 1987;
- elle subventionne ou met à disposition des équipements pour les Centres de Formation Professionnelle Continue (4 MF en 1987).

Pour la première fois depuis 1983, l'Assemblée Régionale a débattu, au cours de sa session du 6 avril 1987, de la politique de Formation Professionnelle Continue. Les orientations retenues à l'issue d'une large concertation avec tous les partenaires sociaux et économiques de la Région ont pour objectif de privilégier les formations qui permettent aux demandeurs d'emploi d'accroître leurs chances de retrouver un emploi qualifié, et celles qui sont susceptibles d'aider les actifs des PME-PMI à acquérir les nouvelles qualifica-

tions indispensables au développement de ces entreprises.

L'Apprentissage

Le Conseil Régional *participe* au fonctionnement des Centres de Formation d'Apprentis de la Région, soit 14 centres (37 MF).

Il subventionne par le biais de conventions, des équipements ainsi que la réalisation de travaux (4,5 MF).

Parallèlement, à ces deux interventions prioritaires, il a mis en place conjointement avec l'Etat une action de formation des enseignants de Centre de Formation d'Apprentis à la pédagogie de l'alternance (230000 F).

A cela s'ajoute cette année un plan de rénovation et de renforcement de l'apprentissage lancé par l'Etat. Ce plan est établi conjointement par l'Etat et la Région et financé à parité (3,5 MF Etat; 3,5 MF Région, soit 7 MF).

LA FORMATION INITIALE

Par ailleurs, la Région exerce depuis le 1er janvier 1986 de nouvelles compétences, en matière de fonctionnement et d'investissement dans les établissements d'enseignement secondaire.

Elle se voit confier des attributions nouvelles : il s'agit d'assurer la construction, la reconstruction, l'extension, les grosses réparations, l'équipement et le fonctionnement des Lycées et établissements d'éducation spécialisée. Pour l'Auvergne, 77 établissements publics (comprenant Lycées, Lycées Professionnels, établissements d'enseignement adapté et établissements agricoles), ainsi que 39 établissements privés ont été transférés, ce qui représente en terme d'effectifs 51000 élèves. Un très important programme d'investissements est lancé dans plusieurs grands établissements de la Région.

L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

La Région mène des actions volontaires en faveur de l'enseignement supérieur, notamment dans le cadre du Contrat de Plan. La Région :

- a financé la construction et l'équipement d'un 4ème département "Génie Thermique et Energie" à l'IUT de Montluçon pour près de 17 MF sur un coût total d'opération de 24 MF:
- s'est engagée à renforcer les moyens de l'Université de Clermont-Ferrand pour ses formations d'ingénieurs aux métiers de la filière électronique en affectant un crédit d'environ 1,5 MF sur 5 ans pour l'équipement du CUST.

Enfin, comme vous le savez, le Conseil Régional, avec de nombreux partenaires locaux souhaite que se crée à Clermont-Ferrand une Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs.

La création d'une Ecole d'Ingénieurs à Clermont-Fd a été l'enjeu d'un choix politique lors des élections régionales de 1986. Pouvez-vous nous préciser un an après ce que sera cette Ecole et ce que nous pouvons attendre d'une telle réalisation pour le développement de l'Auvergne ?

Le projet d'une Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, à Clermont-Ferrand, avance bien. Une association de soutien à l'implantation de cette école est présidée par M. Jean Tigeot. Elle associe responsables économiques et universitaires de la Région.

J'ai récemment fait le point sur l'état d'avancement de ce dossier avec :

- · le Recteur Vilaine
- des représentants de l'Union Régionale des Groupements d'Ingénieurs d'Auvergne (URGI),
- une délégation de l'Association de soutien à l'implantation d'une ENSI à Clermont, conduite par son Président M. Jean Tigeot.

Un consensus existe entre les différentes parties sur le fait que cette école doit être une école consacrée à la mécanique et qu'elle puisse développer un tronc commun d'enseignement et des spécialisations concernant des champs professionnels plus délimités de la mécanique.

Le projet de programme pédagogique devrait être prêt dans les prochains mois. L'ouverture provisoire (dans des locaux de l'Université), pourrait être possible dès lors que la formation en atelier pourrait être assurée dans une ENSI existante qui apporterait, ainsi, un parrainage à la future ENSI de Clermont.

Au-delà même des problèmes d'équipement, ce parrainage est nécessaire pour que la future ENSI de Clermont acquière une renommée nationale.

Un chef de projet devrait être nommé prochainement par le Gouvernement.

M. Monory, Ministre de l'Education Nationale et M. Valade, Ministre Délégué sont personnellement informés de ce dossier par mes soins et ceux du Vice-Président Gouteyron.

Le Budget de la Recherche Publique est l'affaire de l'Etat. Cependant, une région peut avoir intérêt à soutenir des recherches dans des domaines particuliers. Pouvez-vous, M. le Président, nous précisez votre point de vue sur ce sujet ?

Le budget de la Recherche Publique relève essentiellement de la compétence de l'Etat. Mais la Région peut être associée au développement de la recherche et de la technologie. C'est pourquoi, bien que les lois de décentralisation ne lui confient pas de compétences directes en matière de recherche universitaire, la Région s'intéresse à la recherche et à l'innovation technologique en tant que facteurs du développement économique régional.

Pour 1987, le soutien de la Région sera affecté, en priorité, à des opérations ayant des retombées économiques directes pour la Région Auvergne, à court ou moyen terme. Ses possibilités d'intervention s'élèvent à 4,9 MF, ce qui est très élevé compte tenu de la situation financière actuelle du Conseil Régional.

Il s'agit surtout d'accorder des subventions d'équipement pour des achats de matériels, quand ce matériel est associé à un programme de recherche : le taux de l'intervention régionale peut atteindre 30 % du montant total H.T. des programmes. Les dossiers sont instruits, sur proposition des Universités, par

le Comité Régional de la Recherche et de la Technologie.

De plus, la Région cofinance à 50% avec le CNRS des bourses de formation pour la Recherche. Ces bourses sont destinées à de jeunes ingénieurs qui poursuivent pendant 3 années des recherches dans des laboratoires du CNRS ou associés à lui. Ce système permet à la Région d'être un partenaire actif pour définir et appliquer des opérations d'intérêt régional. Actuellement, 7 bourses de Docteur-Ingénieur sont en cours d'exécution.

Le nouveau Conseil Régional a clairement réaffirmé son attachement à ces orientations en souhaitant privilégier les actions susceptibles de contribuer au développement de la Région, et en donnant la priorité aux subventions d'équipement sur les subventions de fonctionnement.

On parle de plus en plus de "culture scientifique et technique" de nos jours. Que pensezvous de cette expression? La culture scientifique ne fait-elle pas partie intégrante de la "culture" au sens traditionnel du terme, comme c'était le cas au 18^{ème} siècle, par exemple?

Le développement des Sciences et Techniques est une des clés de la croissance économique et du progrès social. La culture scientifique et technique est la possession de connaissances liées à ce secteur. Il faut donc intégrer ces nouvelles notions dans la notion traditionnelle de culture.

Les universités ou les instituts de formation sont aujourd'hui de plus en plus "pluridisciplinaires".

Et l'on voit bien le succès des "généralistes" dans la vie économique. Ceux qui savent allier cultures scientifique, technique, juridique et littéraire sont les mieux armés pour répondre aux exigences de la compétition économique, nationale et internationale.

P.S.M. COMPOSANTS

29, place du Changil 63000 CLERMONT-FERRAND Tél. 73311376

- Composants électroniques professionnels
- Matériel et outillage
- Appareils de mesure
- Librairie technique

librairie les Volcans

80, boulevard Gergovia - CLERMONT-FERRAND

NNOCEVINENAL GEAM I RIPOPOLOGIE GENTOSIVE I REINFORMATI QUE PATALIVIOLOGIE INFORMATI QUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRO IMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE PHOLOGIE I PHYSICALE ASTRONIQUE PARATIQUEZO ELECTRONIQUE DE LA TRANSPILICA DE MODYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE ANTONIME APO LE CONTROP EN PROPERSIONE I ESTINICUESTATISTICI DE LA TRANSPILICA DEL TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DEL TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DEL TRANSPILICA DEL TRANSPILICA DEL TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DE LA TRANSPILICA DEL TR

LA PHYSIQUE DES PARTICULES ELEMENTAIRES VUE ACTUELLE ET PERSPECTIVES

par J.-C. Montret*



La physique des particules élémentaires a deux buts intimement correlés.

D'abord elle recherche les constituents u

D'abord elle recherche les constituants ultimes de la matière afin de répondre à la question : de quoi le monde est-il fait ? Ensuite elle s'interroge sur les mécanismes qui régissent les interactions entre ses constituants. Ces questions, bien qu'anciennes, sont toujours en vigueur et sont la base d'une démarche scientifique dont la physique des particules (encore appelée physique des hautes énergies) constitue l'avancée extrème.

LA CONSTITUTION DE LA MATIERE

La matière apparaissait, avant les années 40, bâtie à partir de trois constituants fondamentaux : le proton et le neutron formant le noyau atomique, centre de l'atome autour duquel gravitent les électrons. Cette apparente simplicité fut rapidement dépassée et aux alentours des années 60, grâce aux résultats expérimentaux acquis sur les grandes machines accélératrices de l'époque, les Physiciens possédaient un spectre compliqué de particules, qu'ils essayaient de classer en "familles": leptons, mésons, baryons. Cette classification fit apparaître en 1964 aux théoriciens que mésons et baryons sont en fait des particules composées et qu'avec un nombre réduit de constituants (les quarks), il est possible d'expliquer le spectre des hadrons(1).

C'est en 70, à Stanford aux USA, que la diffusion très " profonde " d'électrons de haute énergie a permis de sonder les nucléons et de mettre en évidence leur structure composite. Très rapidement les composants furent identifiés aux quarks.

Dans le monde qui nous entoure, les seules particules présentes sont l'électron et les quarks u et d(²), ces derniers constituant les protons et les neutrons. Or, fait surprenant, on a découvert expérimentalement en les créant à l'aide d'accélérateurs, d'autres particules jouant un rôle important et n'existant pas à l'état naturel. Ainsi il existerait 6 quarks et, à u et d, il faut ajouter s (étrange), c (charme), b (beauté) et t (top) (l'existence de ce dernier reste encore à confirmer). De plus, à l'électron est associé un neutrino, formant ainsi avec lui une famille. Deux autres familles sont connues, le muon et son neutrino ν_{μ} , le tau et son neutrino ν_{τ} .

Ainsi le tableau des particules élémentaires pourrait se résumer comme suit :

					obovec ál
					charge él.
Leptons	Neutrinos	v e	$ u_{\mu}$	ν_{τ}	0
	Leptons chargés	е	μ	τ	-1
Quarks	1	u	С	t	+2/3
	l	d	S	b	-1/3

Chacune de ces particules existe avec une charge électrique de signe opposé, appelée anti-particule. Il y a donc 6 antileptons et 6 antiquarks.

Les quarks n'ont jamais été vus à l'état libre. Liés dans les hadrons par la force nucléaire forte dont les porteurs sont les "gluons" il serait très important de briser leur confinement. Pour ce faire, le Laboratoire de Physique Corpusculaire clermontois participe à une expérience au Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) dont le principe peut se résumer ainsi : on accélère dans le super-synchrotron du CERN, jusqu'à des énergies de quelques centaines de Gigaélectron-volts (GeV) par nucléon, des noyaux d'oxygène. Ces derniers vont collisionner des noyaux fixes lourds (uranium, plomb). Lors du choc des deux noyaux, toute l'énergie se trouve concentrée dans un volume infinitésimal et, sous l'effet de cette énergie, protons et neutrons peuvent se désintégrer, laissant place à une sorte de plasma de quarks et de gluons appelé "quagma".

Cette expérience est en cours actuellement et les premiers résultats enregistrés sont encourageants.

Il est à noter que cet état de la matière a dû exister à l'origine de l'univers, il y a 15 milliards d'années, juste après le Big-Bang et ce durant un temps très court. Recréer en laboratoire un tel état, même en quantité infime, devrait permettre de vérifier des théories

récentes de la physique des particules et certaines hypothèses cosmologiques. (La photo de la couverture représente la partie du détecteur utilisé dans cette expérience et qui a été construite par le laboratoire clermontois).

LES FORCES

Dans la nature, toute interaction entre deux objets peut-être ramenée à une des quatre interactions suivantes :

- 1. L'interaction de gravitation. Connue depuis très longtemps, elle est responsable du mouvement des planètes et, plus proche de nous, de la pesanteur.
- 2. L'interaction électromagnétique. C'est elle qui assure l'existence des atomes en liant les électrons, chargés négativement, au noyau atomique, chargé positivement.
- 3. La force nucléaire. Elle est responsable de la cohésion nucléaire et lie les protons et les neutrons dans les noyaux. Elle est la manifestation particulière d'une force plus " forte " qui lie les quarks entre eux dans les hadrons.
- 4. L'interaction faible. Elle se manifeste dans la désintégration β des noyaux, et souvent lors de la désintégration de particules.

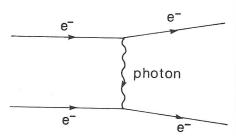
Ces quatre interactions ont des propriétés très différentes et le tableau suivant donne leur intensité et leur portée comparées.

- * J.C. MONTRET, Professeur à l'Université de Clermont II, Directeur du Laboratoire de Physique Corpusculaire UA 33 CNRS IN $_2$ P_3 .
- Hadrons: particules composées à partir des quarks.
 On distingue: les baryons (proton, neutron,...) composés de 3 quarks.
 - les mésons composés d'un quark et d'un antiquark.
- (2) u, initiale de up, haut
 - d, initiale de down, bas.

Force	Forte	Electro magnétique	Faible	Gravitation.
Intensité comparée	1	10-2	10-5	10-40
Portée (m)	Ponctuelle	00	≤10 ⁻¹⁷ ,	00

Le monde de l'atome et du noyau n'obéit pas aux lois de la mécanique classique mais à celles d'une nouvelle mécanique, quantique et relativiste. Cette théorie permet d'expliquer la création et l'annihilation des particules selon la règle de conservation globale matière-énergie d'Einstein. La théorie quantique a de plus la vertu d'expliquer comment une force peut s'exercer à distance entre deux objets. Selon elle, le champ de forces entre deux particules en interaction, est matérialisé par un quantum d'énergie.

Dans le cas de la force électromagnétique c'est le photon qui quantifie le champ. Il est bien connu des physiciens car présent dans tous les phénomènes lumineux, rayonnements X et γ , ondes hertziennes....

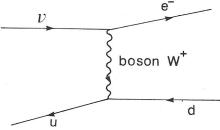


Interaction entre deux électrons par échange d'un photon

Pour la force de gravitation, on parle de " graviton " encore difficile aujourd'hui à intégrer complètement dans les théories quantiques.

Pour l'interaction nucléaire, la force fondamentale s'exerce entre les quarks composant les hadrons, les quanta du champ "fort" étant appelés gluons.

Enfin l'interaction faible à livré ces dernières années (1983) son secret. Elle est véhiculée par un boson existant sous les trois états chargés : W+, W-, Zo.



Interaction d'un neutrino et d'un quark d par échange d'un boson W⁺ et produisant un e⁻ et un quark u.

Le tableau suivant résume les forces fondamentales, les quanta de champ qui en sonles vecteurs et les particules qui leur sonsensibles.

Forte

gluons

quarks

gluons

m

particules

chargées

Force

quanta

particules

sensibles

pho	ton	W+, W−, Z∘	graviton			
Electro nagnétique		Faible	Gravitation.			
modèle "électro-faible" standard, quatre expériences regroupant des laboratoires de monde entier, sont en cours d'élaboration. Le laboratoire clermontois participe à la construction d'un des 4 grands détecteurs nommé ALEPH.						

quarks,

leptons

W+, W-, Zo

toutes

de Recherche Nucléaire s'est lancé dans la construction d'un grand collisionneur électron-positon (L.E.P. (3)). Cet accélérateur de 27km de circonférence communique à chaque particule (e-, e+), une énergie de 50 Giga électron-volts. Lors des collisions, à cette énergie, un nombre important de bosons intermédiaires seront créés. Afin d'étudier de manière très complète leurs caractéristiques et de vérifier les prévisions théoriques du

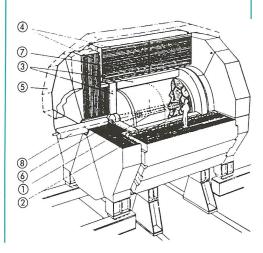
VFRS	1 5	IINIFI	CA	TION	DES	EODCES

Simplifier au maximum les schémas descriptifs du monde qui nous entoure est une des idées-clés de la physique des hautes énergies. La première tentative dans ce sens est d'unifier en une seule théorie la description des interactions électromagnétiques et des interactions faibles.

La découverte au grand collisionneur proton anti-proton du CERN du boson intermédiaire (W^{\pm} , Z^{o}), apporta la confirmation attendue par les théoriciens de l'unification de ces 2 interactions.

Mais découvrir n'est pas étudier. Afin de mesurer toutes les caractéristiques de l'interaction "électro-faible" le Centre Européen

L'ensemble de la collaboration (300 physiciens et ingénieurs de 25 laboratoires internationaux) travaille depuis quatre ans déjà à sa construction et espère l'achever en 1988, date à laquelle le LEP devrait être opérationnel. Ainsi un nouveau champ de recherche va s'ouvrir et une moisson de résultats nouveaux sera mise à la disposition des physiciens. Elle devrait nous permettre d'avancer dans notre compréhension de la nature et, tout en confortant le modèle standard, d'appréhender une nouvelle étape : l'unification de l'interaction "électro-faible" et de l'interaction forte. Cependant les nouveaux effets nécessiteront des énergies encore plus élevées et déià de nouveaux projets sont en élaboration. La physique des particules n'a pas encore terminé son travail. Les idées théoriques sont nombreuses mais seule l'expérience, par l'irréductibilité de ses réponses, permettra de cerner les réalités de l'infiniment petit.



- ① Chambre interne (IC)
- Détecteur central (TPC)
- Calorimètre électromagnétique
- Calorimètre hadronique
- ⑤ Chambres à muons
- 6 Luminomètre7 Bobine de l'aimant
- Quadrupôle

Détecteur ALEPH

 L.E.P. Initiales de : Large Electron Position Storage Rings.

Maurice KRAFFT: L'HOMME ET LES VOLCANS

Quand un volcan se réveille quelque part dans le monde, rien ne peut retenir Maurice Krafft qui saute dans le premier avion disponible. Quand il signe un contrat avec un éditeur il prévoit une clause qui le dispense de respecter les délais en cas d'éruption...

Maurice Krafft, depuis plus de 20 ans, étudie et filme les volcans explosifs, les plus dangereux de la planète. Entre deux voyages à Hawaï ou au Mexique il présente ses films, participe à des émissions de télévision et écrit des ouvrages de vulgarisation, secondé par son épouse Katia, elle-même volcanologue réputée.

Maurice Krafft est une force de la nature animée par une passion peu commune. Il est devenu l'un des meilleurs experts mondiaux des phénomènes volcaniques. Nous l'avons rencontré il y a quelques semaines au pied du Puy-de-Dôme où il a accepté de répondre à nos questions.

AUVERGNE-SCIENCES

Maurice Krafft, qui êtes-vous, un scientifique ou un aventurier?

M.K.

Je ne suis pas un aventurier en tous cas. Je ne suis pas non plus un scientifique à part entière. Je suis géologue de formation et je suis finalement devenu une espèce de volcanologue errant par manque de moyens à l'Université.

Ce sont des conférences, la vente de livres, les aides extérieures qui me procurent les moyens de voir 6 ou 7 éruptions volcaniques par an. Je ne les collectionne pas, mais j'estime qu'un volcanologue, surtout s'il est spécialisé dans les volcans actifs, est plus compétent s'il voit beaucoup de volcans. C'est un peu comme un médecin qui est plus apte à juger des cas médicaux s'il a vu beaucoup de malades.

A.S.

Si un volcan se réveille quelque part dans le monde, vous partez par le premier avion, quelles que soient vos autres obligations. Cette passion qui dure depuis plus de vingt ans, comment vous est-elle venue?

M.K.

C'est mon père qui m'a montré, quand j'avais 7 ans, le Stromboli, et je l'ai vu de près!

Mon père s'intéressait beaucoup à l'histoire naturelle. J'ai eu envie de devenir géologue,

mais quand j'ai fait mes études de géologie à Strasbourg, je me suis ennuyé car j'avais déjà appris tout cela dans les livres. En mai 1968, je terminais une maîtrise et, comme l'époque était troublée, j'ai décidé d'aller voir les volcans d'Islande, puis je suis allé en Indonésie.

Si on voit un volcan en éruption de près, on a envie de devenir volcanologue!

A.S

En quoi consiste le travail scientifique au bord d'un volcan ?

MK

Je ne consacre plus de sommes importantes, comme au début, à des mesures scientifiques qui font appel à du matériel sophistiqué comme par exemple le géodimètre à laser ou le chromatographe en phase gazeuse. Je suis devenu un spécialiste de phénoménologie des éruptions. J'essaye de comprendre beaucoup de choses par l'observation, avec un œil de scientifique qui*a besoin d'aller vite sur place.

Je ne crois pas beaucoup aux mesures ponctuelles faites rapidement, ici ou là, sur un volcan; je crois à la mesure systématique et continue des paramètres physiques et géochimiques, comme c'est le cas à Hawaï.

En somme je suis un volcanologue d'intervention, passionné de phénoménologie des éruptions. Quand une éruption commence on me demande ce qui va se produire ensuite, quelles sont les zones menacées... Pour répondre je fais surtout appel à mon expérience.

A.S.

Pourquoi les volcans d'Hawaï vous intéressent-ils tout particulièrement ?

MK

Hawaï possède le plus grand sinon le plus ancien observatoire du monde, créé en 1912. Le volcan basaltique à lave fluide y est particulièrement bien étudié.

A.S.

Les volcans et les tremblements de terre sont passionnants mais ils tuent. Où en est la prévision dans ce domaine et l'information des populations menacées ?

M.K.

D'abord il ne faut pas confondre les phénomènes volcaniques et les tremblements de terre qui sont rarement liés.

En ce qui me concerne je suis spécialiste des volcans et non des tremblements de terre. Dans le domaine de l'information tout est à faire sauf au Japon. Sur 1000 volcans potentiellement actifs, il y en a une vingtaine (situés dans les pays développés) qui sont surveillés et pour lesquels on a de bonnes chances de donner des prévisions correctes.

La prévision volcanologique n'est pas aussi avancée que la prévision météorologique.



A Hawaï, pour les volcans basaltiques, après 75 ans d'observations, il est possible de prévoir une éruption quelques semaines à l'avance avec 70 % de chances de donner la date correcte à quelques heures ou quelques jours près. Pour un volcan explosif comme le Saint Helens on ne peut pas prévoir l'intensité du phénomène, qui est lié à la pression des gaz. En se fiant à l'histoire géologique de ce volcan on pouvait penser que le souffle ne dépasserait pas 10 km. Or, comme vous le savez, le volcanologue David Johnson a été balayé à 10 km de l'éruption en 1980. Déterminer l'intensité d'une éruption est un problème primordial.

Un volcan qui dort longtemps a un réveil d'autant plus brutal. En conséquence ce sont les volcans les moins bien surveillés qui sont les plus dangereux.

A.S.

Parmi les volcans actifs les plus proches de nous, le Vésuve donne-t-il des signes de réveil ?

M.K.

Rien ne permet de prévoir une éruption prochaine mais si l'éruption qui détruisit Pompéi en 79 se renouvelait elle ferait actuellement 200 000 morts!

Je ne voudrais pas être à la place du volcanologue qui aurait la responsabilité de faire évacuer ou non les populations!

Pourtant Maurice Krafft est convaincu qu'il est possible de limiter considérablement les risques de catastrophe. Il faut d'abord informer les populations ménacées, les rendre conscientes des dangers qui les menacent.

Une catastrophe comme celle qui s'est produite il y a quelques mois en Colombie est très significative à cet égard.

On comprend alors encore mieux cette passion chez l'homme qu'est Maurice Krafft, conscient du rôle qu'il peut et qu'il doit jouer dans ce domaine.



L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE

NOTIONS PHYSIQUES, TECHNOLOGIQUES et TECHNIQUES

par Jean-Claude Capelani*

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une nouvelle modalité d'imagerie médicale permettant de représenter des coupes d'organes comme le permettait avant elle la scanographie à rayons X.

Mais, contrairement à la scanographie qui s'appuie sur des radiations ionisantes (rayons X) elle se base, pour obtenir ces informations, sur l'interaction entre des champs magnétiques statiques ou variables, des ondes radiofréquence (RF) et la matière vivante. Elle fournit un fort contraste sur les tissus mous sans être invasive et permet l'obtention de l'image selon des coupes d'orientation quelconque.

INTRODUCTION

La place de la résonance magnétique dans l'imagerie médicale

Le tableau suivant traduit les axes de progression physique et technique de l'évolution de la panoplie des méthodes physiques :

- la radiologie (début du siècle)
- la médecine nucléaire (1960)
- l'échographie (1970).
- l'imagerie par résonance magnétique nucléaire.

Le magnétisme de certains novaux atomi-

ques et leur propriété de restituer un signal détectable après avoir été soumis à une onde radio particulière sont connus depuis les travaux des américains Purcell et Bloch en 1946; ils reçurent pour cela le Prix Nobel de Physique en 1952. Mais le passage de la spectroscopie IRM aux applications médicales et en particulier à l'imagerie, est dû à Lauterbur en 1970 et aux équipes de New York, notamment à Dama Dian, Minkoff et Goldsmith de Brooklyn, où fut construit en 1976 le premier appareil d'IRM.

1 - Propriétés magnétiques des noyaux atomiques.

Les noyaux atomiques possédant un nombre pair de protons et de neutrons (¹½C, ¹½O, ½OCa, etc...) n'ont pas de propriétés magnétiques.

Inversement, certains de ceux à nombre impair de protons et de neutrons peuvent présenter un magnétisme détectable; c'est le cas en particulier de 1gC, 3LP, 1gF, et 23 Na.

Le plus simple de tous est le noyau d'hydrogène ¡H qui ne comporte qu'un seul proton.

L'hydrogène est un composant essentiel de l'eau, des liquides organiques et des graisses; il est donc très abondant dans le corps humain; c'est le noyau le plus intéressant en imagerie par résonance magnétique; l'ensemble de cet exposé concerne l'imagerie protonique, c'est-à-dire l'imagerie médicale actuelle, tirée de la résonance magnétique de l'hydrogène.

Le noyau atomique est animé d'un mouvement spontané de rotation rapide sur luimême appelé SPIN; la charge électrique positive du proton en tournant, induit un champ magnétique microscopique appelé Dipôle Magnétique ou par abus de langage SPIN (fig. 1) qui peut être représenté par un

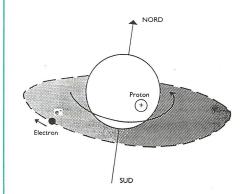
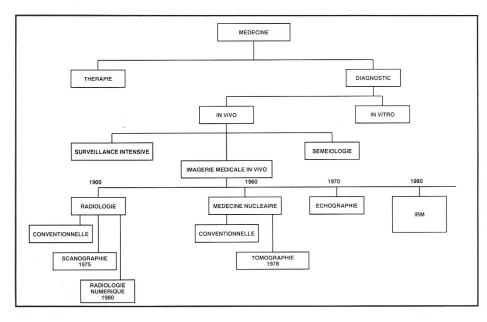


Fig. 1 Dipôle magnétique nucléaire de l'hydrogène (ou SPIN).

vecteur Moment Magnétique. A l'état naturel, la distribution et la direction des moments sont désordonnés et aléatoires; leur valeur résultante est nulle et le corps humain ne présente donc aucun magnétisme spontanément décelable (fig. 2).



^{*} Jean-Claude CAPELANI, Ingénieur au Centre Jean Perrin.

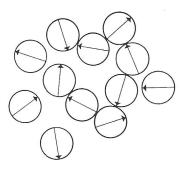


Fig. 2 Distribution aléatoire des dipôles magnétiques (ou SPINS).

2 - Mouvement de précession - Nature du champ magnétique principal.

Lorsque les Spins sont soumis à l'action d'un champ magnétique très puissant Bo, ils s'alignent dans le sens du champ (Sp) ou à contre sens (Sa) (fig. 3). Plus le champ Bo est

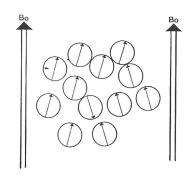


Fig. 3 Organisation des Spins par un champ magnétique externe Bo.

élevé, plus la différence (Sp-Sa) le sera. Le champ Bo, appelé aussi champ principal, est produit par un courant électrique circulant dans un bobinage au centre duquel est placé le patient à examiner (fig. 4). Ce champ est

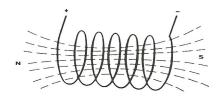
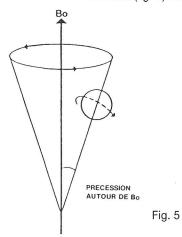


Fig. 4 Champ magnétique induit dans un solénoïde.

homogène, longitudinal et fixe. Habituellement son intensité varie selon le type d'aimant entre 5000 et 15000 Gauss soit 0,5 à 1,5 Tesla (rappelons que le champ magnétique terrestre est de 0,5 Gauss).

En fait, les spins ne s'alignent pas de façon strictement parallèle à l'axe de Bo mais tournent autour de lui avec une vitesse angulaire (et une inclinaison) fixe proportionnelle à Bo. Ce mouvement s'appelle la précession. Au total, les mouvements du noyau s'apparen-

tent à ceux d'une toupie qui tourne à la fois sur elle-même tout en décrivant (fig. 5) une



trajectoire circulaire avec un certain angle autour d'un axe vertical. La vitesse angulaire de précession ω o des spins répond à la relation : ω o = Y Bo.

Y est la constante gyromagnétique caractérisant un type de noyaux (ici, le proton).

On utilise plus souvent la fréquence de rotation : $F = \frac{\omega 0}{2\pi}$ dite fréquence de précession de Larmor.

Pour l'hydrogène elle est de 6,4 mégahertz pour un champ Bo de 0,15 Tesla.

Soulignons que la fréquence de précession est la même pour tous les noyaux d'un même type mais que leurs mouvements sont déphasés (fig. 3).

Du fait de l'alignement des Spins sous l'action de Bo, la valeur résultante de leur sommation n'est plus nulle. On la matérialise par un vecteur M dirigé dans le sens de Bo et tournant autour de lui avec un mouvement de précession identique à celui des Spins.

La direction, les dimensions et la position de M sont déterminées dans l'espace par des coordonnées sur trois axes perpendiculaires Ox, Oy et Oz; par convention, Oz correspond à l'axe de Bo; M a une composante longitudinale Mz selon Oz et une composante transversale Mxy évoluant dans le plan xOy (fig. 6).

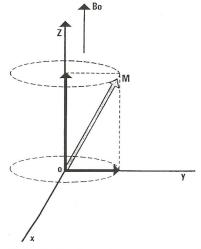


Fig. 6 Matérialisation macroscopique de l'aimantation résultante après alignement des Spins par Bo.

3 - La résonance magnétique

La résonance est un phénomène physique qui consiste à faire interférer deux systèmes pour qu'ils échangent de l'énergie. Les conditions d'interférence sont bien précises. L'échange est maximal lorsque les fréquences des deux systèmes sont accordées. Ce principe est valable pour les Spins.

Si on soumet les Spins ordonnés par Bo à l'influence d'un deuxième champ magnétique B_1 faible, perpendiculaire à Bo et tournant autour de lui on peut obtenir un transfert de l'énergie portée par B_1 aux spins. Ce transfert est maximal si la vitesse ω_1 de rotation du champ est égale à la fréquence de Larmor ω o des protons.

Nature du champ B₁

Le champ secondaire B₁ est donc un champ tournant à une vitesse de l'ordre de plusieurs millions de tours par seconde ; aucun système mécanique ne peut atteindre de telles vitesses. On crée donc le champ magnétique B₁ grâce à une onde radio dont la nature vibratoire sinusoïdale équivaut à deux champs magnétiques tournant en sens inverse l'un de l'autre. L'onde radio est émise dans une bande de fréquence correspondant précisément à la fréquence de Larmor.

Seul celui des deux champs B₁ tournant dans le sens de précession des spins entrera en résonance avec eux.

L'impulsion de radio fréquence (RF) provient d'une antenne émettrice correctement placée.

Influence de B₁ sur les spins (fig. 7)

Nous avons vu l'équivalence du champ magnétique B₁ avec l'onde RF : on peut donc confondre les deux termes.

a) les spins situés dans le plan d'influence de l'onde RF s'écartent de l'axe de Bo et ce d'autant plus que l'impulsion radio est plus longue.

On appelle impulsion $\frac{\pi}{2}$ ou impulsion 90° une onde radio émise à la fréquence de Larmor pendant un temps suffisamment long pour que l'aimentation résultante M se couche de 90° et devienne perpendiculaire à Bo. Une impulsion π ou 180° inverse le sens de M.

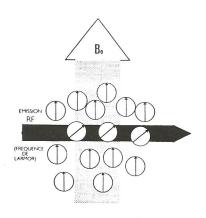


Fig. 7 Influence d'une émission radio fréquence de Larmor sur les spins.

b) La précession des spins se fait en phase; après une impulsion de ce type, la mise en phase et la bascule des spins sont simultanées; pour des raisons didactiques les deux mouvements sont étudiés séparément.

c) L'aimantation résultante M va donc s'écarter de Bo ; la composante longitudinale Mz diminue alors que la composante transversale Mxy augmente (fig. 8).

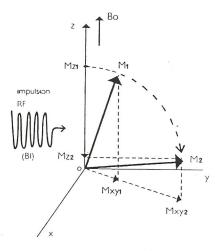


Fig. 8 Influence d'une impulsion radio sur l'aimantation macroscopique résultante.

Influence de l'arrêt de B1: la relaxation

A l'arrêt de l'impulsion RF, la position des spins excités va évoluer ainsi que les coordonnées de M ; les spins couchés et mis en cohérence de phase par le champ B₁ vont revenir à leur état d'équilibre initial et donner un signal, la F.I.D. (Free Induction Decay).

La relaxation dépend de plusieurs facteurs :

a) Le temps de relaxation T1

Les spins basculés à 90° ou 180° selon la durée de l'impulsion RF regagnent leur axe de

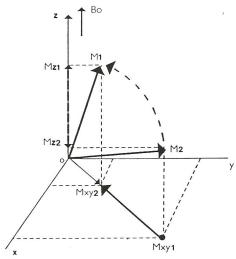


Fig. 9 Variations de position de M et de ses composantes au cours de la relaxa-

précession d'origine selon Bo; c'est la relaxation longitudinale dont la constante de temps est appelée T1; celle-ci est directement sous la dépendance de la structure du tissu de l'échantillon ou réseau d'où son autre nom de temps "Spin-réseau".

Au cours de la relaxation longitudinale on voit M revenir du plan xOy vers l'axe Oz, il s'ensuit une repousse plus ou moins rapide de Mz (fig. 9) qu'on peut matérialiser sur une courbe (fig. 10). Ainsi l'aimantation longitudinale croît en fonction du temps au cours de la relaxation jusqu'à retrouver sa valeur d'origine. T1 est le temps mis par l'aimantation longitudinale pour atteindre 37% de cette valeur.

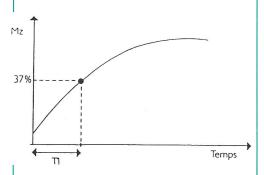


Fig. 10 Courbe de croissance de l'aimantation longitudinale au cours de la relaxation.

b) Le temps de relaxation T2

L'arrêt de l'impulsion radio entraîne la perte progressive de la cohérence de phase des spins ; ce phénomène est lié aux interactions magnétiques des spins entre eux d'où son nom de relaxation "spin-spin".

Cette relaxation influence la composante transversale Mxy de l'aimantation; elle est caractérisée par la constante de temps T2.

La perte de phase correspond à la disposition des aimantations microscopiques unitaires dans le plan xOy soit dans le sens horaire soit dans le sens anti-horaire. L'aimantation transversale tend donc à diminuer avec le temps jusqu'à devenir presque nulle lorsque M a rejoint l'axe Oz (fig. 9). La courbe de décroissance de Mxy en fonction du temps est une exponentielle (fig. 11). T2 représente

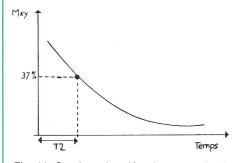


Fig. 11 Courbe de décroissance de la valeur de l'aimantation transversale Mxy au cours de la relaxation.

le temps mis par l'aimantation transversale Mxy pour atteindre 37% de sa valeur d'origine (1/e) au cours de la relaxation après une impulsion de 90°.

c) Apparition du signal RMN

Au cours de la relaxation, les variations de position de M entraînent une fluctuation du champ magnétique suffisante pour induire un courant électrique détectable par une antenne de réception. Ce signal électrique très faible (microvolt) doit être amplifié.

Le signal de relaxation transversale (T2) est induit à chaque passage de M devant l'antenne placée dans un plan parallèle à xOy. Rappelons que pendant la relaxation, M continue ses mouvements de précession et passe donc du plan xOy à l'axe Oz en décrivant une spirale de plus en plus serrée.

A chaque tour de spire, la composante transversale de M diminue un peu, l'antenne enregistre cette décroissance sous forme d'un signal sinusoïdal de plus en plus faible (fig. 12).

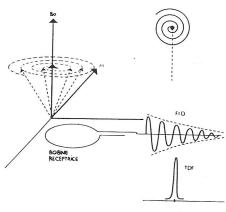


Fig. 12 Création du signal de relaxation et schématisation de sa transformée de Fourier.

Le signal de relaxation longitudinal (T1) ne peut pas être enregistré directement car la fluctuation de Mz sur l'axe Oz est confondue avec Bo qui a le même axe. Pour voir évoluer Mz il faut recourir à un artifice consistant à coucher Mz de 90° par une impulsion radio appropriée pour que ses fluctuations se fassent dans le plan transversal xOy, là où l'antenne peut les enregistrer. Quelle que soit sa provenance, le signal RMN transporte de nombreuses informations, en particulier sur la qualité de protons qui l'ont fourni et sur leur fréquence de résonance. La transformation de Fourier (TDF) du signal engendre un pic spectral centré sur cette fréquence.

4 - Séquences d'impulsions

Pour de multiples raisons, l'impulsion radio génératrice du champ magnétique tournant B₁ est rarement émise en continu mais plus volontiers sous forme d'un train d'ondes pulsées de types 90° ou 180°, en séquences

variables. Selon la séquence choisie, on peut favoriser le recueil de telle ou telle composante de l'aimantation.

Pour simplifier les schémas des coordonnées de M, celles-ci seront désormais données en référentiel tournant.

N.B.: On appelle référentiel tournant un artifice théorique qui consiste à imaginer que l'œil de l'observateur de M est situé selon l'axe oy. Si l'ensemble des coordonnées et de l'observateur tournent dans le sens de M et à la même vitesse que lui, le mouvement de précession de M n'apparaît plus à l'observateur.

a) Séquence de "récupération après saturation" (saturation-recovery)

On réalise une répétition d'impulsion 90° à intervalles réguliers suffisamment espacés pour que la relaxation ait le temps de se faire entre chaque impulsion. On appelle Temps de répétition (TR) l'intervalle de temps séparant chaque impulsion (fig. 13).

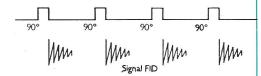


Fig. 13

Dans cette séquence simple, le signal FID récupéré ne dépend ni de T1 ni de T2, mais essentiellement de la densité locale de protons excités.

Ces signaux peuvent être utilisés en imagerie ; on dit alors qu'on a une image en " densité de protons ".

b) Séquence de " récupération après inversion " (inversion-recovery)

Elle permet l'étude préférentielle de la relaxation de la composante Mz longitudinale de l'aimantation avec sa constante de temps T1 (fig. 14).

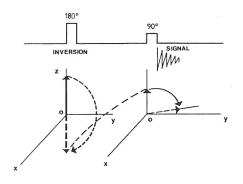
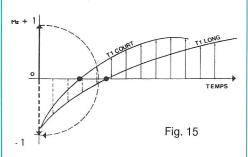


Fig. 14

Avec une première impulsion radio 180° on inverse la direction de M; puis on laisse évoluer le système. M va passer pendant le temps de relaxation d'une valeur négative à une valeur positive en passant par une valeur nulle. La magnétisation longitudinale résiduelle ne sera comptabilisée qu'après un délai d'attente convenable. Son signal RMN est détecté selon l'axe Oy après une impulsion 90°. Les temps de relaxation T1 sont longs pour les liquides biologiques (plus d'une seconde pour le LCR), plus courts pour les tissus (fig. 15).



Il existe des tableaux donnant les temps de relaxation T1 des différents composants des tissus du corps humain déterminés expérimentalement.

c) Séquences d'Echo de Spins (S.E)

Elle permet l'étude préférentielle de la relaxation de la composante transversale Mxy de l'aimantation avec sa constante de temps T2 (fig. 16).

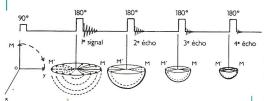


Fig. 16 Séquence d'échos de spins et courbe de décroissance globale de Mxy.

Une séquence S.E. consiste à coucher d'abord M dans le plan transversal xoy par une impulsion 90º puis à laisser évoluer le système dans ce plan. La perte de cohérence de phase des Spins entraîne une décroissance de Mxy qui tend rapidement vers zéro. On peut interrompre momentanément le déphasage par une impulsion 180° d'inversion de phase. La résultante et une aimantation macroscopique en miroir M4 appelée Echo, dont on recueille le signal. On attend quelques millisecondes la nouvelle apparition du déphasage de M' pour refaire une impulsion 180°, le vecteur miroir M sera légèrement plus court que M'; on recueille son signal avant de recommencer la séquence. Une

série d'échos successifs montre que l'évolution de l'aimantation transversale dans le temps dessine une courbe exponentielle décroissante.

5 - Codage du signal RMN. Création de l'image.

Une image numérisée est formée par une multitude de points plus ou moins noirs juxtaposés sur une trame assimilable à une grille ou matrice en trois dimensions dont chaque point s'appelle un voxel.

Faire une image RMN, c'est inscrite dans chaque voxel de la matrice une valeur de gris correspondant aux signaux provenant des microvolumes de l'échantillon examiné, juxtaposés les uns à côté des autres. L'image finale sur écran cathodique est en fait seulement bidimensionnelle : chaque case plane est un pixel.

Les coordonnées spatiales de chaque signal unitaire étant connues, en attribuant à chacun d'entre eux une valeur de gris fonction de son amplitude, on peut dessiner l'image correspondante. Les signaux intenses, de forte amplitude se traduisent par un pixel blanc. En l'absence de signal, un pixel est noir; tous les gris intermédiaires sont possibles. (fig. 17).

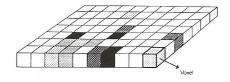


Fig. 17 Matrice 10×7 et ébauche d'image.

Les méthodes de reconstruction d'image étant particulièrement complexes en I.R.M., il n'est possible d'en donner qu'un bref aperçu. Le lecteur pourra consulter avec profit le livre (en français) de Denis Le Bihan: Imagerie, par résonance magnétique Bases Physiques (Masson Ed.).

Méthodes de codage spatial du signal de détermination d'un plan de coupe. Notion de gradient.

Toutes les méthodes utilisent des gradients de champs magnétiques c'est-à-dire des inhomogénéités volontaires introduites au sein du champ principal Bo. Ces gradients sont engendrés par des bobines spéciales, appelées bobines de gradient. Par convention, on nomme Gz le gradient créé dans l'axe oz parallèle à Bo; Gx et Gy sont perpendiculaires à cet axe et perpendiculaires entre eux. (fig. 18).

L'introduction isolée, simultanée ou séquentielle des gradients offre toutes les possibilités d'imagerie, en particulier la sélection des coupes et le codage spatial des protons; c'est grâce à eux qu'on peut obtenir

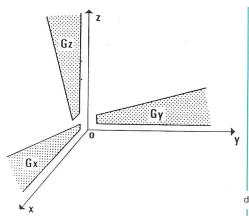


Fig. 18 Position des gradients dans l'espace.

des images frontales, axiales ou sagittales sans avoir à bouger ni le malade ni l'appareil; cette possibilité est un atout majeur de l'IRM.

a) Sélection d'un plan de coupe (fig. 19)

Le choix d'un plan anatomique de travail intervient préalablement au codage des voxels de ce plan. En introduisant le gradient Gz parallèle à Bo on crée une inhomogénéité longitudinale de Bo ; une irradiation perpendiculaire par une onde radio de fréquence adaptée entraîne une mise en résonance des protons de ce plan. En raison du gradient, ceux situés au-dessus et au-dessous de ce plan n'auront pas la même fréquence que l'onde radio et ne résoneront pas. En faisant varier soit la bande passante de l'onde radio, soit la largueur du gradient, on sélectionnera d'autres plans parallèles.

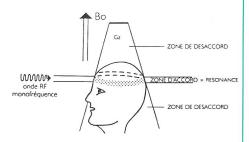


Fig. 19 Principe de sélection d'un plan de coupe.

b) Codage spatial des protons par la fréquence (fig. 20)

L'introduction d'un gradient Gx perpendiculaire à Bo et agissant dans le même axe que l'impulsion radio B₁ entraîne un décalage des fréquences de précession des protons selon la valeur du champ à laquelle ils sont soumis. Cette valeur est naturellement liée à leur situation topographique au sein du gradient; le signal global est un interférogramme complexe associant toutes les informations des fréquences et d'amplitude; le décodage de l'interférogramme par transformation de

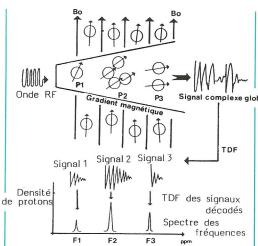


Fig. 20 Schéma du décalage des fréquences de Larmor des protons dans le gradient Gx.

Fourier (TDF) permet de retrouver les fréquences propres de chaque groupe de protons et donc de les situer dans l'espace; l'amplitude des pics de fréquence dépend du nombre de protons qui ont résonné à cette fréquence.

c) codage par la phase

Ce second codage permet le repérage topographique de l'origine du signal dans la seconde direction du plan de coupe sélectionné. Un gradient de champ produit, en plus des variations de fréquence de résonance, un déphasage progressif des spins, qui sera d'autant plus important que le gradient sera élevé. En augmentant, pas à pas pendant l'application d'un gradient fixe Gy dans une direction, la valeur du gradient dans l'autre direction Gx, l'importance du déphasage et donc l'intensité du signal dépendra de la position de chaque point selon l'axe du gradient appliqué.

6 - Méthodes de reconstitution des images

Après avoir sélectionné un plan de coupe par irradiation sélective, il faut déterminer la valeur ponctuelle des signaux RMN de chaque voxel du plan. Il existe plusieurs méthodes de reconstitution des images ; elles sont fonction du type d'appareil d'IRM utilisé et de la manière de se servir des gradients.

Ainsi on peut construire une image point par point, ligne par ligne, plan par plan ou par volume.

a) Imagerie point par point

A l'intersection de trois gradients perpendiculaires entre eux et utilisés simultanément se trouve un seul point, dit sensible, dont la fréquence de Larmor reste toujours accordée à celle de l'onde radio. Seul ce point donnera un signal de résonance (fig. 21).

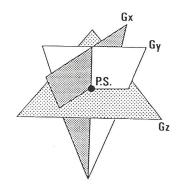


Fig. 21 Détermination du point sensible.

Le déplacement du point sensible par des moyens mécaniques ou électroniques permet la construction de l'image point par point; la méthode est simple mais lente; c'est celle qu'utilisa Damadan pour dessiner les premières images RMN du corps humain en 1977.

b) Imagerie ligne par ligne (deux méthodes)

· Méthode des gradients oscillants :

A l'intersection de deux gradients oscillant à des fréquences lentes et différentes, on sélectionne une "ligne sensible" le long de laquelle la fréquence de précession des protons reste accordée à celle du pulse radio. Dans les zones d'oscillations des gradients, le désaccord est permanent. Le codage spatial des protons le long de la ligne sensible se fait par un gradient fixe (codage par la fréquence) supplémentaire (fig. 22).

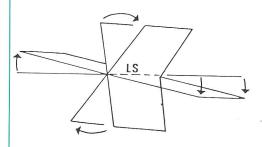


Fig. 22 Ligne sensible déterminée par deux gradients oscillants.

L'image est reconstruite ligne par ligne par déplacement automatique de la zone d'intersection des gradients oscillants.

• Méthode par irradiation sélective d'une ligne (fig. 23)

On sélectionne un plan par le gradient fixe Gz couplé à une impulsion radio perpendiculaire (cf infra sélection d'un plan).

On sélectionne une ligne de ce plan par le gradient Gy couplé à une irradiation perpendiculaire (impulsion 180°).

Le codage spatial le long de la ligne sélectionnée se fait par dispersion des fréquences grâce au troisième gradient Gx couplé à une impulsion de résonance.

BOTANIQUEMINERALOGIEANTHROPOLOGIEGEOMETRIEINFORMATIQUEOPHTALMOLOGIEINFORMATIQUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE GEC ARITHMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE RIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINERIOTECHNOLOGIE PUTO UE STATISTIQUE CHI ELIR CHI EUREALO THERMODYNIAMIOUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE ARCHEOLOGIE CYRERNETIQUEZOOLOGIE ELECTRICITE OPTIQUE GEMECANIQUE PHARMACIETHERMODYNIAMIOUE OPTIQUE CARRONOMIE ARCHEOLOGIE CYRERNETIQUEZOOLOGIE ELECTRICITE OPTIQUE MECANIQUE PHARMACIETHERMODYNIAMIOUE OPTIQUE CARRONOMIE ARCHEOLOGIE CYRERNETIQUEZOOLOGIE ELECTRICITE OPTIQUE MECANIQUE PHARMACIETHERMODYNIAMIOUE PHARMACIETHERMODYNIAMIOU

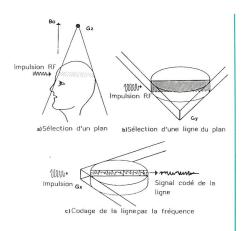


Fig. 23 Schéma de l'irradation sélective en lignes.

c) Imaginerie d'un plan

L'accumulation des données enregistrées successivement point par point ou ligne par ligne finit par aboutir au dessin des constituants d'un plan (méthode " planar " et dérivées). Cependant l'image directe d'un plan peut être obtenue soit par Projection-Reconstruction, soit par Transformée de Fourrier bi-directionnelle.

• Méthode de Projection-Reconstruction (fig. 24)

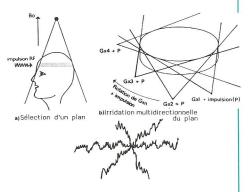


Fig. 24 Schémas de la méthode de prospection-reconstitution.

On sélectionne un plan par le gradient Gz : le codage spatial des éléments du plan se fait par le gradient Gx couplé à une impulsion radio parallèle. En faisant tourner électroniquement l'axe d'application du gradient Gx, on pourra recueillir des signaux codés non seulement selon les axes orthogonaux du plan mais aussi selon toutes ses diagonales. La rétroprojection de ces données numériques permet de reconstruire l'image d'une manière analogue à celle utilisée pour le Scanner à Rayons X. Les entrecroisements multiples des lignes d'irradiation engendrent des effets de "volume partiel" qu'il est nécessaire de filtrer.

 Méthode par Transformée de Fourier selon deux directions (fig. 25)

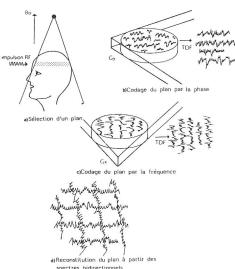


Fig. 25 Schémas de la méthode à deux TDF orthogonales.

On sélectionne un plan par la méthode habituelle.

On code par la phase un axe du plan par le gradient Gy. Une première TDF transforme ces informations spatiales de l'axe Oy en données spectrales.

Puis on fait le troisième gradient Gx pour obtenir un codage en fréquence du plan selon l'axe orthogonal ox, une deuxième TDF transforme ces informations. Les données spectrales bi-dimensionnelles permettent la reconstitution du dessin du plan.

d) Imagerie d'un volume

Le codage spatial selon les trois directions de l'espace avec traitement des données par TDF tridimensionnelles permet une étude globale d'un volume.

7 - Les contrastes en IRM

a) Les contrastes naturels

Ils proviennent non seulement de la densité protonique mais aussi des variations des temps de relaxation des différents composants des tissus vivants, ceci aussi bien en T1 qu'en T2.

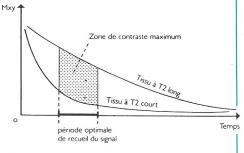


Fig. 26 Constantes en T2.

L'étude des courbes de relaxation montre qu'entre deux tissus à vitesses de relaxation très différentes, la zone de meilleur contraste correspond à un temps de relaxation assez précis ; c'est à ce moment là qu'il faut recueillir le signal FID pour avoir une image de bonne qualité (fig. 26 et 27).

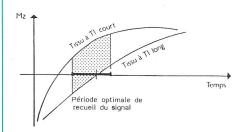


Fig. 27 Constante en T1.

Les contrastes sont nuls ou mauvais en début et en fin de relaxation.

Les temps de relaxation de tous les composants biologiques des tissus ont été étudiés isolément en laboratoire. On sait donc quels sont ceux qui, pour un temps précis de relaxation, donneront un signal faible ou puissant. La qualité des contrastes d'une image peut donc être prévue.

b) Il existe des contrastes artificiels

Ce sont des substances paramagnétiques qui influencent l'environnement électronique des tissus et augmentent la valeur locale du magnétisme (T1); les plus importants sont le fer, le manganèse et une terre rare, le gadolinium. La forte oxygénation des tissus augmente aussi la valeur des signaux RMN. L'utilisation des moyens de contraste artificiels est actuellement au stade d'essais précliniques et cliniques.

8 - Eléments de technologie des aimants

Le champ magnétique principal Bo doit être :

- le plus élevé possible mais cette notion est actuellement discutée,
- le plus homogène possible,
- le plus stable possible dans le temps.

Sa création fait appel à différents types d'appareillage ayant chacun leurs avantages et leurs inconvénients.

a) les aimants permanents

Ce sont des substances ferromagnétiques à mémoire permanentes, à température normale fixe.

Ces appareils sont simples, peu onéreux, ne consomment pas d'électricité et fournissent des champs assez élevés ; en revanche, ils sont très lourds (100 tonnes environ) et encombrants. Le champ Bo fourni est faible

et peu homogène sauf si l'aimant est très long ; les inhomogénéités sont très difficiles à corriger.

La protection vis-à-vis de l'environnement est un gros problème en raison de la permanence du champ.

b) Les électro-aimants

Le champ magnétique est induit par le passage d'un courant électrique dans une bobine cylindrique (solénoïde) ou de forme particulière (bobine plate de Helmholtz) – il est nécessaire d'éliminer la chaleur dégagée par effet Joule pendant la marche de l'appareil – il existe deux types d'électro-aimants.

· à noyau métallique (iron core magnet)

Le bobinage est fait sur une âme métallique de fer doux ou actuellement d'alliages ou de terres rares. Le noyau métallique multiplie les lignes de force magnétiques au niveau de l'entrefer.

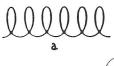
• à bobine à air (Air-cored magnet)

Ce sont les appareils les plus utilisés. Deux types de bobines sont possibles :

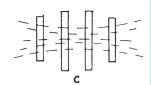
- Les bobines résistives
 - 1) soit en formes solénoïdes (a)
- 2) soit en forme de bobines plates circulaires (b); le diamètre plus petit des bobines d'extrémité compense la divergence des lignes de force du champ Bo (c).

Le réglage très précis de la position des bobines permet la compensation des inhomogénéités éventuelles du champ.

Dans les champs résistifs, le champ obtenu est assez faible (1500 à 2500 Gauss), la consommation électrique importante ainsi que la production de chaleur.







- bobines supra-conductrices

Certains métaux purs ou certains alliages perdent leur résistivité au passage de courant électrique lorsqu'ils sont à température proche du zéro absolu (– 273° C).

Les bobines supra-conductrices sont de construction difficile. Elles sont en forme de solénoïde et baignent dans un dispositif cryogénique complexe associant des enveloppes d'hélium liquide, de vide et d'azote liquide.

En dehors du temps de démarrage, ces bobines ne consomment pratiquement pas d'électricité et ne produisent pas de chaleur. Le champ Bo est puissant (3500 à 15000 G) et stable.

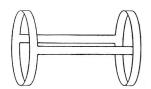
Ces appareils sont plus onéreux à l'achat, consomment beaucoup de liquides cryogéniques chers et réclament une maintenance soigneuse.

9 - Eléments de technologie des bobines et des antennes.

Les deux termes sont équivalents il faut préférer celui de "bobine".

a) Bobine d'émission radio (champ B₁)

C'est une bobine en larges bandes de cuivre dont la forme générale s'inscrit dans un cylindre ou décrit les contours schématiques d'une selle de cheval (fig. 28).



bobine « cylindre »



bobine « selle »

Fig. 28 Bobines émettrices RF.

La bobine émettrice RF est concentrique à l'aimant principal; sa longueur est choisie en fonction de l'importance de la zone anatomique à étudier. Il existe donc des bobines adaptées au crâne, au thorax, au corps entier, au sein, etc...

b) Bobine de réception du signal RMN

La plupart du temps, c'est la bobine d'émission qui devient réceptrice à l'arrêt de l'émission. Plus l'antenne est grande, moins la réception du signal est précise : aussi, lorsqu'on travaille sur des régions de volume modéré (crâne, sein) on préfère utiliser une antenne réceptrice spéciale différente de la bobine émettrice et de taille plus réduite. Pour l'étude de structures anatomiques peu profondes, on emploie aussi des antennes de surfaces posées directement sur la peau. Elles améliorent le rapport signal/bruit.

c) Bobines de gradient

Ce ne sont pas les mêmes pour le gradient Gz longitudinal et pour les gradients transversaux Gx et Gy. • Le gradient Gz est créé grâce à deux bobines plates parallèles, dans lesquelles des courants électriques circulent en sens inverses (paire de Maxwell) entraînant l'induction de deux champs magnétiques de sens opposés et décalés dans l'espace; entre ces deux champs existe une zone linéaire de variation graduelle du magnétisme : c'est le gradient Gz (fig. 29).

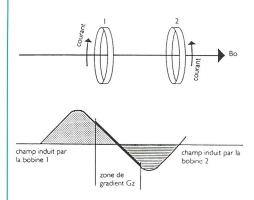


Fig. 29 Création du gradient longitudinal Gz

• Les gradients transversaux Gx et Gy sont créés selon le même principe mais par des bobines à quatre fils disposés en demi cyclindres opposés. Ce montage est dit quadripolaire, le courant circulant en sens opposé dans les quatre fils. (bobine de Golay) (fig. 30).

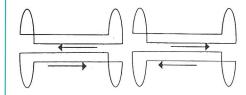


Fig. 30 Bobines quadripolaires.

10 - L'installation

Le local destiné à recevoir un appareillage d'IRM doit être vaste et éloigné de toute masse métallique importante ou d'un générateur électrique de forte puissance. Il doit être entièrement tapissé en tôles très fines formant cage de Faraday, destinée à éliminer les ondes de radio fréquence provenant de l'extérieur.

L'appareil est constitué d'un vaste cylindre (fig. 31) contenant l'aimant principal et les différentes bobines, de gradients de champ magnétique, d'émission RF et de réception du signal ; ce cylindre entoure le lit mobile sur lequel est allongé le malade.

Le signal RMN, après amplification, est converti en données numériques stockées dans la mémoire de l'ordinateur ; le traitement informatique de ces données par un calculateur aboutit à la création de l'image vidéo:

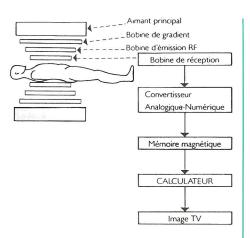


Fig. 31 Schéma général d'une installation d'IRM.

Une caméra reproductrice photographie les images sélectionnées par le médecin ; elles seront ensuite archivées sur bande magnétique ou disque dur.

Une maintenance régulière de l'appareil et un contrôle rigoureux des différents paramètres sont périodiquement nécessaires pour assurer la fiabilité de l'ensemble.

11 - Conduite de l'examen

Etant donné l'innocuité des champs magnétiques, tout au moins dans les gammes de puissances utilisées actuellement en IRM, l'examen ne nécessite ni hospitalisation, ni préparation particulière.

Il existe cependant des contre-indications :

- port de prothèse métallique
- port de pace-maker
- port de prothèse valvulaire cardiaque
- clips opératoires intra-crâniens.

La mise en place du patient dans l'appareil nécessite certaines précautions : celui-ci doit se débarasser de tout objet métallique susceptible de perturber le champ magnétique, donc les images (boucles de ceinture, chaînes, appareils dentaires); les métaux non ferreux (or, argent, plomb) n'influencent pas le champ magnétique : les montres à aiguilles et les cartes magnétiques de crédit sont endommagées et doivent être laissées loin de l'enceinte de détection.

Après introduction du malade au sein de l'aimant, le centrage sur la région à examiner est réalisée à l'aide d'un centreur lumineux ou d'une ligne colorée tracée sur l'antenne, matérialisant le milieu de la bobine.

Bien que l'examen soit long (30mn à 1h environ), la situation à l'intérieur de l'appareil est en général bien supportée, hormis de rares cas de claustrophobie.

L'antenne de détection est choisie en fonction de la région à examiner, sa forme, son volume et son emplacement étant différents pour une exploration abdominale, thoracique ou crânienne.

On dispose d'une antenne particulière pour

le sein ou d'antennes de surface pour des explorations très localisées.

12 - Les résultats

Différentes techniques d'acquisition de l'image sont actuellement utilisées :

- Méthode de " saturation-récupération " qui traduit essentiellement la concentration en protons libres des différents tissus.
- Méthode d'acquisition des "Echos de Spins"; l'image est alors surtout en fonction de T2.
- Méthode "d'Inversion-Récupération" plus rarement employée : l'image dépend surtout de T1.

L'aspect des images de leur intérêt diagnostique sont entièrement fonctions du choix de la méthode d'acquisition ; une même zone anatomique peut fournir des images totalement différentes selon le mode d'acquisition de l'image. Il est donc impératif de connaître les conditions de réalisation de l'examen pour en interpréter les résultats.

L'apport de l'IRM est capital en neurologie; l'anatomie du système nerveux est particulièrement bien reconstituée, y compris la distinction entre substance grise et substance blanche. Les processus dégénératifs (sclérose en plaques), malformatifs (syringomyélie) ou tumoraux sont de diagnostic facile ; l'IRM est très performante dans l'exploration de la fosse postérieure et du canal rachidien.

L'IRM prend une place de plus en plus importante en rhumatologie (processus pathologique articulaires ou osseux).

Les parenchymes des organes pleins de la cavité abdomino-pelvienne sont bien visualisés ; grâce au couplage d'un procédé de synchronication cardiaque ou respiratoire (getting), l'exploration du poumon, du cœur et de de gros vaisseaux devient très intéressante.

L'examen du sein donne des résultats prometteurs.

Avec les antennes de surface, tout type d'examen focalisé peut être envisagé.

CONCLUSION

Si l'on peut entrevoir une optimatisation des images et des temps d'acquisition par l'utilisation de substances para-magnétiques non toxiques qui modifient le magnétisme local et donc le signal obtenu, il n'en demeure pas moins que l'Imagerie par Résonance Magnétique apparaît comme une méthode non invasive, très performante et supérieure au scanner dans certains cas. Les indications diagnostiques se précisant au fur et à mesure de l'expérience acquise par les équipes utili-

Tout le monde a encore en mémoire l'opération Super Scanner animée par le Professeur Molina avec la participation du Rotary-Club de Clermont-Aulnat et le iournal "La Montagne".

La souscription publique organisée à cette occasion permettra de prendre en charge environ 30% du prix total de l'implantation de l'IRM en Auvergne (achat de l'appareil et bâtiment compris).

Un groupe de travail composé de médecins et d'ingénieurs du Centre Jean Perrin et du CHRU de Clermont-Ferrand effectue une étude approfondie de l'implantation de l'appareil qui se situera entre le CHRU et le Centre Jean Perrin.

SYSTEMES SOLAIRES

La seule revue de langue française consacrée aux énergies renouvelables

Tous les mois, les reportages, l'information magazine sur les techniques, les hommes, les installations, l'information pratique, sur les stages, les livres, les brevets...

TROIS NUMEROS SPECIAUX PARUS Juillet 1985 : les énergies renouvelables dans les pays du Tiers monde

Février 1986 : panorama mondial Eolien Novembre 1986 : l'habitat solaire

Bulletin d'abonnement à	retourner à Systèmes Solaires	s, 8 rue de Richelieu 75001 Paris Fra	ance
Nom :	Société :		

Adresse: () S'abonne pour un an à la revue, au tarif préférentiel pour les lecteurs d'Auvergne Sciences de 272 F, au lieu de 320 F.

() Commande un numéro spécial (40 F l'unité)

Chèque à adresser à l'ordre de la S.I.E.R.

UN MONTAGE D'ELECTRONIQUE POUR DEBUTANTS

Comment déceler le passage d'une personne dans un local

par Gérard Depreux*

MATERIEL: il faut d'abord se procurer le matériel suivant $^{(1)}$.

DYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE. IE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATI ZOOLOGIE ELECTRICITE PHARMACIE MECANIQUI

- Une LDR (Light Dependant Resistor) type 03 (ou photorésistance). C'est un résisteur dont la valeur de la résistance dépend de l'intensité lumineuse reçue.
 - En l'absence de lumière la résistance est très élevée (plusieurs centaines de k Ω); en pleine lumière la résistance ne vaut plus que quelques ohms.
- Un transistor de puissance BD 135. C'est un transistor NPN qui supporte un courant de collecteur supérieur à 1 A. Le transistor est passant si U_{BE} = 0,7 V et l'intensité du courant de base I_B très supérieure à 1 mA. Il est bloqué si U_{BE} <0,4 V et I_B <0,1 mA.
- Une diode électroluminescente (LED ou DEL). Cette diode s'illumine lorsque U_{PN} est de l'ordre de 1,8 V. Il faut placer en série un résisteur de protection (nous pendrons ici $R_P = 220 \, \Omega$).
- Un "buzzer". C'est un composant complexe polarisé (bornes + et -) qui émet un son lorsqu'il est soumis à une tension supérieure à 3 V (ne pas dépasser 6 V).
- Une lampe 3,5 V 0,2 A; un circuit imprimé ou un circuit à câbler par fils rigides sur un contreplaqué 10×10 cm; un interrupteur (K) qui peut être réalisé à l'aide d'une languette métallique souple; des résistances radio.

PREMIERE ETAPE:

Commençons par réaliser le montage n° 1 comprenant la lampe 3,5 V, le transistor BD135, le résisteur $R_B=220\,\Omega$ et la LDR qui peut être court-circuitée ou non par l'interrupteur K. Une pile de 4,5 V alimente le circuit.

1º) L'interrupteur K est ouvert.

La LDR n'étant pas éclairée quand on met le circuit sous tension, sa valeur et élevée (de l'ordre de 105 Ω).

$$\begin{split} &U_{XE} = U_{XY} + U_{YB} + U_{BE} \\ &4.5 = 10^5 \, I_B + 220 \, I_B + U_{BE} \end{split}$$

on a donc sensiblement $I_B = \frac{4.5 - U_{BE}}{10^5}$

et I_B est au plus égal à 45 μ A. Le transistor est bloqué.

2º) L'interrupteur est fermé.

On a alors $4,5 = 0 + 220 I_B + U_{BE}$

U_{BE} peut prendre la valeur 0,7 V pour laquelle le transistor est débloqué : la lampe éclaire la LDR dont la résistance tombe à une faible valeur (ce qui n'a aucune conséquence puisqu'elle et court-circuitée).

Le courant I_B vaut 17 mA mais le transistor BD135 peut supporter cette intensité pendant un court instant.

3º) On ouvre alors l'interrupteur K:

Le courant passe dans la LDR (qui a une résistance de 80 Ω par exemple).

Le calcul donne :

$$4,5 = 80 I_B + 220 I_B + U_{BE}$$

Comme $I_B > O$ $U_{BE} \leqslant 4,5$ V, donc U_{BE} peut conserver la valeur 0,7 V. I_B est alors égal à 12 mA, ce qui est suffisant pour que le transistor reste passant : la lampe continue à éclairer.

4º) Etudions ce qui se passe si maintenant on occulte la LRD, à l'aide d'un petit écran, par exemple, placé entre la lampe et la LDR: la LDR est dans l'obscurité et on revient au cas du transistor bloqué et la lampe s'éteint.

Donc nous avons un montage qui commande une lampe :

- en allumage par l'interrupteur K
- en extinction par interception du faisceau lumineux.

DEUXIEME ETAPE:

Complétons le montage précédent en plaçant en dérivation sur CE une LED verte ou rouge (en série avec une résistance de protection $R_P=200\ \Omega$) connectée dans le sens passant, et un buzzer (+ au collecteur, – à la masse) (voir montage n° 2).

On "amorce" la lampe en fermant K pendant un court instant. La lampe éclaire et le transistor est passant. U_{CE} est alors faible, le buzzer n'émet pas de son et la LED reste éteinte

On coupe alors le faisceau lumineux : la lampe s'éteint, le transistor est bloqué et aucun courant ne passe de C vers E.

On a alors le schéma suivant (n° 3) avec $4,5 = 20 \text{ I} + \text{U}_{CZ} + 220 \text{ I}$

(on suppose que la résistance de la lampe est égale à 20 Ω).

$$I = \frac{4,5 - U_{CZ}}{240}$$

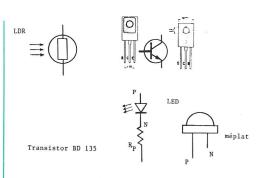
Comme U_{CZ} est au plus égal à 1,8 volt I = 11 mA.

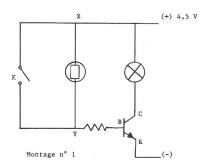
La LED devient lumineuse et la tension aux bornes du buzzer et de 4,3 volts.

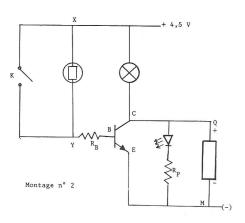
Le buzzer sonne!

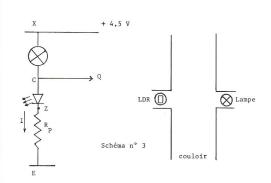
CONCLUSION

On a ainsi conçu une simulation d'alarme. Lorsqu'une personne coupe le faisceau la LED s'allume et l'incident est localisé par le gardien. De plus, une sonnerie d'alarme se déclanche.









- Gérard DEPREUX, Animateur de l'ADASTA et Professeur de Sciences Physiques au Lycée Sidoine-Apollinaire de Clermont-Ferrand.
- On pourra par exemple se procurer ces composants à l'adresse suivante: PSM COMPOSANTS, 29, place du Changil - 63000 Clermont-Fd. L'ADASTA peut fournir ces composants en KIT.

MINERALOGIEANTHROPOLOGIEGEOMETRIENFORMATIQUEOPHTALMOLOGIENFORMATIQUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE GEOLOGIES DE LA COMPANION DEL COMPANION DE LA COMPANION DEL COMPAN

LE PERE MERLE ET LES EXPERIENCES D'ELECTROSTATIQUE

par Roland Jouanisson

Dans un article précédent⁽¹⁾ je vous ai mis en garde contre certaines difficultés qui risquent d'apparaître lorsque vous réalisez des expériences d'électrostatique.

Cependant, contrairement à une opinion très répandue, les expériences "réussissent" toujours! Si vous n'obtenez pas le résultat escompté, et parfois imprudemment annoncé, c'est que les conditions expérimentales dans lesquelles vous opérez ne sont pas celles que vous aviez prévues. D'autre part, il ne faut pas croire qu'il est nécessaire d'avoir des dons particuliers pour réussir les expériences de physique. Les "tours de main" ne sont en réalité, dans la majorité des cas, que l'expression d'une bonne connaissance des phénomènes que vous analysez et qui sont en fait plus complexes que ne le laisse prévoir abusivement une "formule".

Mais revenons à l'électrostatique avec quelques expériences mises au point par le Père Merle.

1. Répulsion entre corps chargés de même signe : l'anneau volant.

De nombreuses expériences peuvent être imaginées. En voici une très spectaculaire et particulièrement simple à réaliser. Procurezvous une bouteille d'eau minérale en plastique, vide, sèche et débarrassée de son étiquette. D'autre part, découpez dans un petit sac en plastique très mince (on trouve couramment des sacs dont l'épaisseur est de l'ordre du 1/100 de mm) un anneau de 15 à 20 mm de large. Frottez la bouteille sur toute sa surface, soit avec la main sèche soit avec un chiffon de laine. Vérifiez que la bouteille est chargée négativement et posez-la sur la table. Frottez de même l'anneau en plastique sur toute sa longueur et vérifiez qu'il est également chargé négativement. Pour le libérer de la main à laquelle il adhère, grâce justement aux forces électrostatiques, donnez un coup sec : il prend alors une forme circulaire (grâce aux forces de répulsions qui s'exercent entre chaque partie de l'anneau). Prenez alors rapidement la bouteille pour le goulot et retournez-là en la placant sous l'anneau. Il est facile de maintenir ainsi l'anneau en lévitation dans l'air à 20 ou 30 cm de la bouteille. Vous pouvez le diriger ainsi dans l'espace mais dès qu'il s'approchera d'un conducteur (par exemple un mur) il se précipitera vers lui.

2. Un électroscope simplifié

Pour étudier l'électrisation d'un corps et mesurer des charges, on utilise un électroscope. Cet appareil comporte une aiguille mobile à l'intérieur d'une enceinte reliée au sol. L'aiguille fait partie d'un conducteur métallique isolé de l'enceinte.

Vous pouvez construire vous-même un appareil de ce type. Voici un modèle simple, peu coûteux et facile à réaliser.

Procurez-vous un tube en PVC (utilisé pour les installations électriques) de 30 à 40 cm de long, un morceau de fil de cuivre, une plaque métallique (un couvercle de boîte, par exemple) et un morceau de papier d'aluminium. Dénudez les extrémités du fil de cuivre où vous suspendez : d'un côté la plaque métallique et, de l'autre, le morceau d'aluminium plié comme l'indique la figure. Le tube de PVC sert de support isolant ; vous pouvez le poser et le caler sur une chaise.

La partie délicate est constituée par les feuilles mobiles. Pour obtenir une bonne sensibilité vous prendrez un rectangle de papier de 10 à 12 cm de long et de 5 à 6 mm de large que vous amincirez avec des ciseaux jusqu'à 2 mm environ au niveau du point de suspension.

3. Comment charger un électroscope

Il faut d'abord vous procurer une source de charges. Quand on frotte avec un lainage une règle en plexiglas on obtient des charges (+), avec du PVC ou du polystyrène on obtient des charges (-).

Quand vous approchez l'isolant chargé de l'électroscope, l'aiguille dévie. Cette déviation cesse quand vous éloignez les charges. Même en établissant le contact entre l'isolant et l'électroscope vous ne pouvez pas le charger ainsi.

Supposons qu'on veuille charger l'électroscope négativement. Prenons alors un bâton de plexiglas porteur de charges (+) et approchons-le lentement de la plaque métallique.

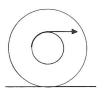
L'ensemble plaque, fil conducteur et feuilles d'aluminium constitue un conducteur unique neutre (on l'a mis au sol au préalable en le touchant du doigt), mais en présence de charges extérieures (+) des électrons (chargés négativement) sont attirés ; il apparaît en même temps un excès de charges (+) à l'autre extrémité, c'est-à-dire sur les feuilles mobiles qui subissent une répulsion mutuelle. On dit que le conducteur est sous "influence ". A ce moment-là établissez le contact entre le conducteur et le sol (en le touchant du doigt par exemple), les charges (+) en profitent pour partir. Cessez alors le contact : vous constatez que les feuilles ne divergent plus ; retirez ensuite le bâton influençant : les charges (-) qui étaient attirées se répartissent sur le conducteur et les feuilles dévient à nouveau : elles portent des charges (-).

Pour charger positivement l'électroscope vous opérez de même en utilisant un tube de PVC ou une plaque de polystyrène.

à suivre R.J.

QUESTIONS-PIEGE de G. Ferrachat

- 1. Un fil est enroulé sur une bobine. Dans quel sens se déplace cette bobine, dans l'expérience 1 puis dans l'expérience 2 ? Vérifiez!
- 2. Pour réaliser l'expérience de la chute libre on dispose de billes de même nature mais de diamètres différents. Si l'on veut que la résistance de l'air soit négligeable par rapport au poids faut-il choisir une grosse ou une petite bille ?





Expérience 1

Expérience 2

(Solutions dans le prochain numéro)

(1) Voir "Auvergne Sciences" nº 1

L'AMPLIFICATEUR **OPERATIONNEL** EN CLASSE DE SECONDE

L'équipe pédagogique de l'ADASTA est dès maintenant à la disposition des collègues physiciens pour leur fournir des informations théoriques et pratiques ainsi que du matériel adapté aux nouveaux programmes de l'électronique en classe de seconde.

PUBLICATIONS DE L'ADASTA

L'équipe pédagogique de l'ADASTA a commencé la publication de fiches techniques destinées aux professeurs de collège et de lycée. Ces fiches ont pour objectif de fournir des informations théoriques et pratiques directement utilisables dans l'enseignement.

Fiche no 1:

Cellule solaire

Fiche technique; description d'expériences possibles.

Fiche nº 2:

Fonctions logiques (I)

Les portes ET, NON-ET, OU et NON-OU utilisant des transistors.

Fiche nº 3:

Fonctions logiques (II)

Les portes ET, NON-ET, OU et NON-OU utilisant les circuits intégrés en LS et en CMOS.

Fiche nº 4:

Les bascules à transistors

- Fonctionnement commandé
- Fonctionnement auto-bascule.

Les fiches 2, 3 et 4 sont conçue pour répondre aux exigences des nouveaux programmes de la classe de 5e.

Vient de paraître :

LA LUMIERE DU LASER M. HENRY Guide d'expériences R. JOUANISSON

Extraordinaire source de lumière, le laser ne saurait laisser indifférents tous ceux que l'optique passionne.

Ce recueil, surtout destiné aux enseignants mais aussi aux étudiants, du collège à l'université, intéressera également les clubs scientifiques voire les simples curieux.

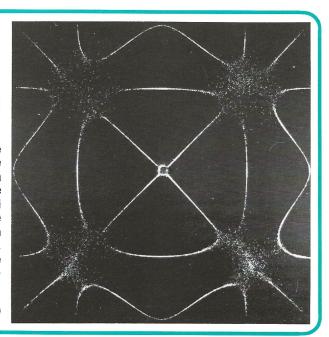
Les expériences décrites permettent de montrer une large variété de comportements de la lumière, des notions fondamentales aux applications sophistiquées. Ces expériences sont plutôt présentées sous forme de démonstrations qualitatives, mais il est aisé de les transformer en manipulations quantitatives.

Pour chacune, les auteurs énumèrent les éléments nécessaires, décrivent leur assemblage, précisent les réglages en insistant sur les points délicats et signalent des variantes ou des compléments. Ils fournissent aussi des indications pratiques afin d'aider l'utilisateur à réaliser, à partir de produits courants, un grand nombre d'accessoires, du simple trou au réseau holographique. (MASSON, éditeur)

IMAGES DE LA **SCIENCE**

Une plaque métallique fixée en son milieu et saupoudrée de sable fin est mise en vibration à l'aide d'un archet. La poudre est chassée des régions qui vibrent fortement et se réfugie dans les zones de repos en dessinant les lignes "nodales". Les figures engendrées par ce procédé sont appelées "Figures de Chladni".

(Photo R. Jouanisson)



UN PROJET D'ACTION EDUCATIVE SUR LA COULEUR

L'ADASTA a participé à l'élaboration d'un Projet d'Action Educative (PAE) sur le thème de la couleur au Lycée d'Enseignement Professionnel des Gravanches à Montferrand.

Le sujet est vaste et riche d'applications. Il est abordé par son côté scientifique :

Décomposition de la lumière blanche par un prisme replacée dans son cadre historique, couleurs complémentaires, couleurs des corps, synthèse des couleurs par une

méthode originale qui fait participer activement les élèves.

Sont traités également les sujets suivants :

- Couleur dans la vie quotidienne (influence des couleurs sur le psychisme ; une couleur : le bleu).
- Couleur dans l'art (couleurs et école impressionniste, couleurs et art contemporain; en poésie: couleur et langage).

En plus de l'exposition imaginée et montée par les élèves de première (section Brevet de Technicien, industrie de l'habillement) un spectacle faisant intervenir toutes les sections de l'établissement a été mis en place sur le thème de la couleur.

NOUVELLES DE L'ANVAR

L'ANVAR a apporté son soutien pour la mise au point de nouveaux films polymères présentant une bonne résistance au rayonnement ultraviolet. Ces films seront utilisés pour le revêtement des canaux d'irrigation, notamment dans le tiers monde. (Laboratoire de Photochimie du Professeur Jacques LEMAIRE de l'Université de Clermont II).

Aides aux projets de l'enseignement supérieur

L'ANVAR participe à la réalisation d'un système de réfrigération solaire à l'IUT de Montluçon.

Création d'un nouveau laboratoire de pharmacie

M^{lle} GARCIN a créé à Clermont-Fd un laboratoire destiné à développer des produits pharmaceutiques nouveaux. Certains de ces produits ont pour origine des travaux menés dans les laboratoires universitaires clermontois.

Accord ANVAR, Société Lyonnaise de Banque

Les projets de recherche dans les laboratoires pourront être cofinancés dans la mesure où les résultats de ces recherches seront susceptibles d'être transférés dans le monde économique. La totalité des frais extérieurs aux laboratoires (surcoût de l'opération) sera pris en charge par l'ANVAR et la Société de Banque.

Projets d'Action Educative (PAE) et Bourses d'Eté Jeunes (BEJ)

Des PAE à caractère scientifique et technique en rapport avec les recherches pasteuriennes pourront bénéficier d'un financement de l'ANVAR (réalisation d'un ensemble documentaire ou d'une exposition, histoire et évolution d'une technique, d'un secteur d'activités,...).

De même des bourses d'été jeunes pourront être offertes à des lycéens qui désirent effectuer, sur les mêmes sujets, un voyage d'étude.

Pour tout renseignement s'adresser à : l'ADASTA ou à la Délégation Régionale de l'ANVAR.

> 12, rue Maurice-Weiss, 63000 Clermont-Ferrand.

EXPOSITIONS - STAGES - CONFERENCES

AUJOURD'HUI L'ENERGIE SOLAIRE

Présentée au CRDP du 2 au 19 mars, cette exposition a connu un grand succès, notamment auprès des scolaires pour lesquels un effort particulier avait été fait. En effet, des animateurs, professeurs de sciences physiques des lycées et collèges de la région, ont accueilli les 72 classes qui ont visité l'exposition et qui venaient parfois de fort loin (Le Puy, Montluçon, St-Anthème, St-Pourçain, Vichy,...). En plus de l'exposition créée par le Palais de la Découverte ont été présentées des maquettes fournies par EDF, l'AFME et des industriels locaux. L'équipe pédagogique de l'ADASTA avait préparé quelques expériences qui ont connu un grand succès.

Le matériel pédagogique remis à chaque classe à cette occasion permettra de reproduire "à la maison" certaines expériences



Au total ce sont plus de 3000 personnes qui ont visité l'exposition. A noter un record difficile à battre : près de 500 élèves du Lycée Jeanne d'Arc de Clermont-Fd ont visité l'exposition sous la conduite de leurs professeurs.

UNIVERSITES D'ETE DE L'ACADEMIE DE CLERMONT-FD

Trois universités d'été auront lieu cette année dans l'Académie de Clermont-Fd :

"PEDAGOGIE ET CREATIVITE EN INFORMATIQUE MUSICALE"

du 3 au 12 juillet, 24, av. des Landais à Aubière. (Responsable pédagogique : M. Naranjo).

Cette université s'adresse aux professeurs d'éducation musicale; elle permettra notamment d'explorer les immenses possibilités de manipulation et de transformation de l'objet sonore par une expérience personnelle de composition, avec cours d'acoustique, d'acousma-

MINES D'AUVERGNE ET DU LIMOUSIN

L'exposition "MINES D'AUVERGNE ET DU LIMOUSIN" créée par le Musée d'Aurillac et la Maison des Volcans, sera présentée à Clermont-Fd du 11 au 30 janvier 1988 à la Maison des Congrès.

L'équipe chargée de cette présentation souhaiterait recueillir des documents complémentaires concernant les activités minières de notre Région et, en particulier sur :

- Les Mines de charbon (Brassac, St-Eloy, Messeix,...).
- Les Mines de la Région de Pontgibaud.

Les documents peuvent avoir trait à l'histoire de la mine, aux conditions d'exploitation, à l'impact économique et social, etc...

D'autre part, des Projets d'Action Educative (PAE) à caractère scientifique et technique en rapport avec le sujet pourront bénéficier d'un financement.

Veuillez nous écrire ou nous téléphoner.

tique, de pédagogie musicale. Des travaux pratiques en composition et pédagogie musicale sur ordinateurs auront également lieu.

"RENOVATION PEDAGOGIQUE EN LYCEES" du 31 août au 5 septembre, au village "La Fonzado" à Confolant.

Cette université organisée à l'initiative de la Mission Académique à la Formation des Personnels de l'Education Nationale (MAFPEN) et de l'Institut de Recherches sur l'Enseignement des Mathématiques.

(Responsable : M. Noirfalise, B.P.45, 63170 Aubière) s'adresse aux enseignants, chefs d'établissements, Inspecteurs et aux Conseillers d'orientation et d'éducation.

"LE LASER DANS L'ENSEIGNEMENT" du 31 août au 5 septembre au Département de

du 31 août au 5 septembre au Département de Physique, les Cézeaux, 24, av. des Landais, 63170 Aubière).

Cette université, créée à l'initiative de l'ADASTA, accueillera 24 stagiaires (dont 12 originaires de l'Académie) choisis parmi les professeurs de sciences physiques.

L'objectif essentiel est de familiariser les utilisateurs avec un outil qui permet de réaliser simplement et efficacement de nombreuses expériences ou travaux pratiques.

Les travaux dirigés expérimentaux concernent les diverses branches de l'optique (optique géométrique, optique physique, traitement de l'information, holographie, optique non linéaire, etc...) ainsi que la réalisation de divers accessoires.

Des conférences traiteront de diverses utilisations du laser dans l'industrie et en médecine. Des visites sont également prévues dans des laboratoires de recherche industriels.

Pour tout renseignement s'adresser à : R. JOUANISSON à l'ADASTA.

CENTENAIRE DE L'INSTITUT PASTEUR

L'Institut Pasteur célèbrera, en octobre 1987, le centième anniversaire de sa création.

L'histoire de l'Institut Pasteur, qui fut fondé par un homme exceptionnel, est riche d'événements scientifiques et de personnalités de premier plan. Cette histoire sera rappelée et célébrée de façon solennelle, notamment à Paris, à partir du 5 octobre. Les manifestations comporteront, en particulier, un colloque scientifique sur la biologie moléculaire et les maladies infectieuses, une exposition pour grand public sur l'Institut Pasteur, l'aménagement de la station de métro Pasteur, la projection d'un film de Frédéric Rossif sur l'Institut Pasteur, l'émission d'un timbreposte et une leçon sur Pasteur dans les collèges et lycées pendant la semaine du centenaire.

L'exposition grand public créée à cette occasion retracera l'histoire de l'Institut Pasteur et présentera les développements actuels des grandes disciplines pasteuriennes, ainsi que le rôle de l'Institut au service de la santé publique. Cette exposition, réalisée avec le concours du Palais de la Découverte, sera présentée au public du 5 octobre au 15 novembre à l'Institut Pasteur. Elle sera ensuite présentée dans diverses villes de France et notamment à <u>Clermont-Ferrand</u> (en mars 1988).

RECHERCHE DE DOCUMENTS

A l'occasion de la venue à Clermont-Ferrand de l'exposition sur l'Institut Pasteur nous recherchons des documents sur le séjour et les travaux de Pasteur en Auvergne et, notamment, à Chamalières en 1871. Nous recherchons également des documents sur les collaborateurs de Pasteur, ainsi que sur les grands "pasteuriens" de l'Institut et en particulier Emile Duclaux qui naquit à Aurillac en 1840 et enseigna à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, ainsi qu'Emile Roux qui fut étudiant à Clermont-Ferrand.

M. Christian BOUTIN Président de l'Université Blaise Pascal.

Le Professeur Christian BOUTIN, Directeur de l'IUT de Montluçon, vient d'être élu Président de l'Université de Clermont II. Il succède au Professeur Jacques FONTAINE qui assurait les fonctions de Président depuis 5 ans.

Lors de sa dernière réunion le Conseil de l'Université a décidé d'autre part que l'Université de Clermont-II porterait désormais le nom de Blaise Pascal.

Après une maîtrise de mathématiques et un séjour à Alger où il a enseigné pendant trois ans dans un lycée, M. Boutin devient stagiaire de recherche dans le laboratoire du professeur R.G. Soulage de l'Université de Clermont-Fd où il effectue des travaux dans le domaine de la météorologie physique. Depuis 1969 M. Boutin enseigne à l'IUT de Montluçon. Il devient successivement Maître Assistant, professeur puis directeur de cet institut.

LA RECHERCHE SUR PROGRAMME A L'UNIVERSITE DE CLERMONT II

La recherche, qu'elle soit "fondamentale" ou "appliquée" (encore qu'il soit difficile de situer la limite entre les deux) est le moteur principal du développement économique, social et culturel d'un pays.

Pour faire connaître les différents aspects des recherches sur programme menées en son sein, l'Université de Clermont II a édité une brochure soignée qui fait la synthèse de ses travaux : Sciences exactes et naturelles, sciences de l'ingénieur, sciences humaines, langues modernes ou anciennes, littératures et art.

Les chercheurs ne sont pas coupés des réalités du monde : ils préparent en fait aujourd'hui le monde de demain, voire d'après demain...

(Pour se procurer la brochure, s'adresser au Secrétariat du Président de l'Université de Clermont II 34, av. Carnot, 63000 Clermont-Fd Tél. 73 92 97 32).

CHRU DE CLERMONT-FD :

Extension de l'Hôpital Saint-Jacques

Un important projet d'extension de l'Hôpital Saint-Jacques a été décidé par le Ministre des Affaires Sociales et de l'Emploi sur proposition du Président du Conseil Régional d'Auvergne. Cette extension était en effet devenue nécessaire, notamment pour améliorer le fonctionnement du service des urgences et de la traumatologie. Les crédits disponibles permettront d'engager très prochainement les études.

LE CONCOURS LEPINE A BRASSAC-LES-MINES

Le Préfet de la Seine, LÉPINE, ne se doutait sans doute pas qu'il passerait à la postérité lorsqu'il créa en 1901 un "Concours d'articles de Paris et de jouets". Il voulait donner aux "petits inventeurs" la possibilité de se faire connaître du public. C'est à de tels "petits inventeurs" qu'on doit par exemple le moteur à deux temps, le changement de vitesse progressif (Fernand FOREST), le roulement à billes, le parachute, le stylo à bille, la machine à laver, le poumon d'acier et les verres de contact!

Tous les ans à la Foire de Paris de nouveaux inventeurs présentent des mécanismes dont certains nous deviendront vite familiers.

Cette année, pour la première fois, une petite ville de province accueillera également le Concours. Cette manifestation aura lieu du 5 au 8 juin dans le cadre de la Foire Exposition de Brassac-Ste-Flörine.

Les organisateurs présentent également deux expositions :

le Concours LEPINE de 1902 à nos jours et les grands inventeurs de l'Auvergne dans les années passées.

L'AUVERGNE:

Futur nœud autoroutier de la France

C'est désormais officiel. Les deux liaisons à caractéristiques autoroutières, au départ de Clermont-Ferrand, l'une vers la Méditerranée, l'autre vers Bordeaux, seront réalisées. Cette décision est d'une importance capitale pour notre Région, car elle fera de l'Auvergne le nœud autoroutier de la France.

LE PARC DES VOLCANS

LE BUDGET 1987 Près de 8 millions de Francs

Le Comité Syndical et le Bureau du Parc Régional des Volcans d'Auvergne réunis en mars ont adopté le budget primitif qui s'élève à 7773000 F. Parmi les décisions prises signalons : l'adhésion du Parc à la conférence permanente des réserves naturelles, des aides pour une opération d'animation concernant la migration des oiseaux au Col de la Pratde-Bouc et sur la montagne de la Serre, une aide pour la réhabilitation des toitures en lauzes...

Le nouveau Bureau du Parc est composé de :

- M. Valery GISCARD D'ESTAING, Président.
- MM Yvon BEC, Claude WOLFF et Roger RIGAUDIERE, Viceprésidents.
- M. Georges GODENECHE, Secrétaire.
- M^{me} FOUILLADE, M. JULHE, M. GAUTHIER, M. VEISSIERE, membres.

UN NUMERO SPECIAL

Le dernier numéro de "La Dépêche du Parc", est consacré, pour l'essentiel, au Cantal.

Le Cantal est confronté à de nombreux problèmes et recherche un nouvel équilibre entre l'agriculture et le tourisme pour assurer sa survie et retenir ses habitants.

Une publication de qualité. (La Dépêche du Parc : Montlosier près Randanne - 63210 Rochefort-Montagne)

LES ELUS REGIONAUX A BRUXELLES

Une mission composée de membres de l'exécutif régional et des parlementaires européens membres du Conseil Régional, s'est rendue à Bruxelles le 6 mars dernier sous la conduite du Vice-Président PRORIOL.

Parmi les résultats de cette mission :

 Le dossier "d'opération intégrée de développement" qui regroupe la plupart des interventions européennes en Auvergne, a de bonnes chances d'être agréé d'ici l'été.

SNCF: un train chasse l'autre...

La SNCF a décidé la fermeture de la ligne Courpière-Arlanc et le transfert sur route du trafic

En revanche, des trains express régionaux (TER) font leur apparition sur Clermont-Thiers et ClermontBrioude. Fruits d'une convention entre la SNCF et le Conseil Régional, ces trains automoteurs au confort amélioré et de couleur verte arboreront le tout nouveau sigle de l'Auvergne : une manière de plus d'affirmer l'existence de la Région.

ADASTA * Une étoile est née

A l'issue de sa conférence sur le transistor optique, le 20 mars dernier, Michel Massaux a présenté l'acte de naissance d'une Amicale des Dégustateurs des Spécialités du Terroir Auvergnat. Afin d'éviter toute confusion avec l'autre ADASTA, il a proposé d'ajouter à ce sigle une étoile (*) dont la signification, au pays du Guide Michelin, n'échappera à personne!

Ce sous-ensemble de l'ADASTA a pour but d'organiser une ou deux fois par an une excursion à caractère culturel (visite de sites, monuments, musées, expositions,...) ou scientifique (visite de mines,barrages, chantiers, usines,...) dans notre région et au delà.

L'expérience (toujours bonne conseillère) prouve que de telles sorties permettent de nouer des amitiés et laissent un bon souvenir, surtout si elles sont agrémentées d'un repas pris en commun autour d'une bonne table ...

La première sortie prévue aura lieu en Limousin dans la première quinzaine d'octobre. En principe le programme conprendra :

- La visite de la Mine d'or du Bourneix, près de Saint-Yrieix-La-Perche
- Un repas à la Roche-l'Abeille
- Une visite à l'Abbaye de Solignac
 Une visite du musée de l'Emaillerie à

Limoges Ce tour se fera en semaine à cause de la visite de la mine.

Les adhérents de l'ADASTA sont membres de droit de l'**ADASTA** *. De plus ils bénéficieront de tarifs préférentiels pour les différentes sorties.

Pour toute suggestion, remarque ou demande d'information, adressez-vous à **Michel Massaux**, Président-Fondateur, soit au Laboratoire de Physique des Matériaux, aux Cézeaux, BP45 - Aubière (Tél.: 73 26 41 10, poste 32 22), soit à son domicile, 2, impasse des Neufs-Soleils - 63000 Clermont-Fd (Tél.: 73 91 23 16).