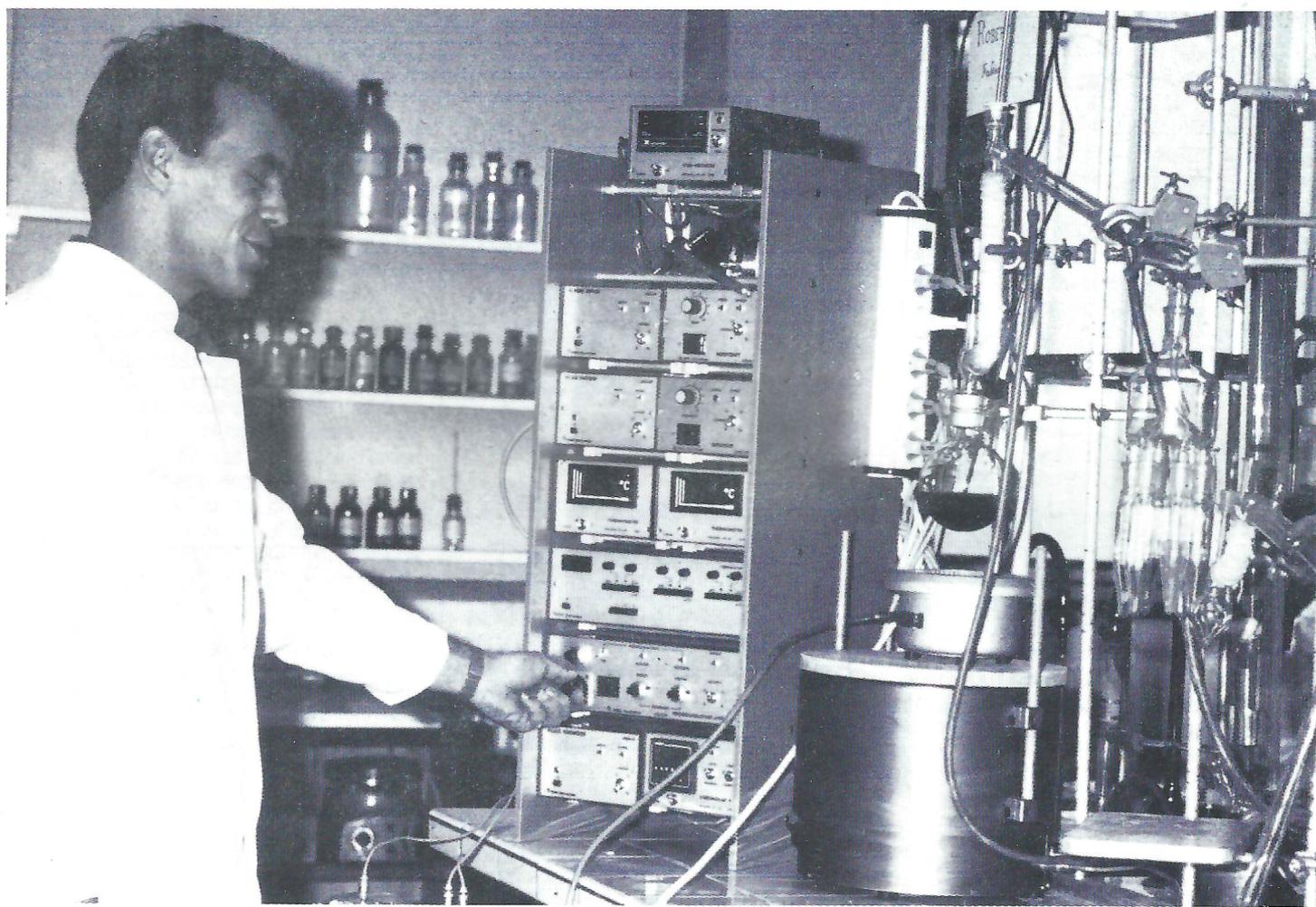


# SCIENCE EN AUVERGNE

## BULLETIN DE L'ADASTA

N° 7-8 Octobre - Novembre - Décembre 1988 20 F



**ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE  
HISTOIRE DE LA LANterne MAGIQUE  
VISITE A LA CENTRALE DE TCHERNOBYL**



ASSOCIATION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ANIMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE EN AUVERGNE

# SOMMAIRE

- **La recherche :**
  - Electricité atmosphérique**  
par Michel Henry ..... 3
- **Histoire des Sciences** ..... 9
  - Histoire de la lanterne magique
- **Enseignement** ..... 15
  - La rentrée 1988 à l'Ecole Nationale supérieure de chimie
  - Mesure du rayon de la terre
- **Expériences pour tous** ..... 16
  - Lames minces et bulles de savon
  - Astronomie : Activités proposées par l'ADASTA
- **Expositions - Stages - Conférences** ..... 18
  - Visite de la Centrale de Tchernobyl
  - Les insectes, mi-merveilles, mi-démons
  - Sortie de l'ADASTA à Aurillac
- **Nouvelles de la Région** ..... 23
  - Un nouveau dispositif de surveillance et d'intervention phytosanitaire en forêt
  - Une université d'été consacrée à l'expérimentation dans l'enseignement des sciences physiques
  - Renouveau du CART
  - Les états généraux de la culture scientifique, technique et industrielle

Directeur de la Publication : Roger VESSIERE  
Rédaction : Roland JOUANISSON

**Bulletin trimestriel - Abonnement : 80 F par an**  
Edité par ADASTA Complexe des Cézeaux  
63170 AUBIERE - Tél. 73 26 41 10 (poste 30 60)

## LE NOUVEAU BUREAU DE L'ADASTA

Le Conseil d'Administration de l'ADASTA s'est réuni le 19 septembre 1988 afin de procéder à l'élection du Bureau qui sera chargé de gérer l'Association pendant les deux prochaines années.

Le nouveau Bureau est ainsi constitué :

**Président** : M. Roger VESSIERE, Professeur à l'Université Blaise-Pascal à Clermont-Fd.

**Vice-Présidents** : M. Michel RONDREUX, Directeur des Affaires Scientifiques et Techniques à la Manufacture Michelin.

M<sup>lle</sup> CHATONIER, Doyen de la Faculté de Pharmacie de Clermont-Fd.

**Secrétaire** : M. J.C. CAPELANI, Ingénieur au Centre Jean-Perrin à Clermont-Fd.

**Trésorier** : M. Rober BON, Maître de Conférences à l'Université Blaise-Pascal.

**Conseiller** : Monsieur le Directeur du Palais de la Découverte à Paris.

Au cours de la même Réunion, le Conseil d'Administration a admis deux nouveaux membres : M<sup>me</sup> GELY, ancien Professeur de Classes préparatoires au Lycée Blaise-Pascal à Clermont-Fd et M. Pierre WATELET, Conservateur adjoint du Musée d'Aurillac.

*Photographie de la couverture :*  
La rentrée à l'Ecole Supérieure de Chimie.

Chers Amis lecteurs,

Voici paru le 7<sup>ème</sup> numéro d'Auvergne-Sciences ; je souhaite que sa lecture vous apporte quelques moments d'agréable détente. R. Jouanisson, Directeur scientifique de l'ADASTA a, cette fois encore, investi beaucoup d'énergie pour la confection de ce nouveau numéro de notre revue, lien véritable pour les adhérents et nombreux amis de notre association.

A côté de nos rubriques maintenant classiques : histoire des Sciences et techniques, expériences pour tous, conférences, expositions, stages, nouvelles de la région, vous découvrirez un important article consacré à l'électricité atmosphérique écrit par un fidèle ami de l'ADASTA, Michel Henry. Dans notre région où les disciplines des Sciences de la terre sont particulièrement développées, ce sujet suscitera certainement beaucoup d'intérêt.

D'importantes décisions viennent d'être prises concernant la création à Clermont-Fd d'une Ecole Nationale Supérieure de mécanique avancée ; nous nous en réjouissons ; cette nouvelle formation d'Ingénieurs contribuera, nous en sommes persuadés, au développement de l'économie de notre région et à l'amélioration de son image de marque, aujourd'hui encore trop modeste. Nous souhaitons que cette nouvelle Ecole s'insère harmonieusement parmi les Etablissements déjà habilités à délivrer le titre d'Ingénieur dans notre Académie : l'ENITA, l'ENSCCF, l'Institut des Sciences et Techniques ; tous ces établissements méritent d'être mieux connus à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de notre Région ; notre Association veut œuvrer dans ce sens, aussi notre revue présente-t-elle dans ce numéro l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie.

La fin d'année approche et avec elle la période des bilans, des projets et des vœux. Tout au long de l'année 1988, l'activité de l'ADASTA s'est manifestée dans de nombreux domaines : expositions (Pasteur), conférences, création de matériels pédagogiques, université d'été, visites d'entreprises. En 1989, nous espérons mener à bien plusieurs projets tout en maintenant nos activités classiques : nous présentons en février 1989 au CRDP, une remarquable exposition sur les insectes créée en 1988 par le Palais de la Découverte et en novembre un ensemble d'expositions sur le thème de l'"image".

Au mois de Septembre prochain, à l'initiative de la Ville de Clermont-Fd et de l'Association "Les Ouvriers", se tiendra la semaine des arts, techniques et culture de l'automobile et de la route (SATCAR) ; l'ADASTA s'efforcera de participer et de contribuer à la réussite de cette vaste opération.

Enfin, l'ADASTA sera présente aux Etats Généraux de la Culture Scientifique, technique et industrielle qui se tiendront les 4, 5 et 6 décembre 1989.

Puisque notre revue vous parviendra au moment des fêtes de fin d'année, je terminerais mon propos en adressant à chacun d'entre vous mes vœux très sincères de bonne et heureuse année 1989 auxquels j'ajouterais des souhaits d'enrichissantes et fructueuses activités pour l'ADASTA.

Roger VESSIERE

Nous venons d'apprendre avec stupeur le décès, à l'âge de 52 ans, de Michel HULIN, Directeur du Palais de la Découverte et Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris. Michel HULIN était membre-fondateur de l'ADASTA. Conseiller attentif, il suivait avec assiduité nos travaux.

Dans notre prochain numéro, nous parlerons de sa vie et de son œuvre. Que Madame Nicole HULIN et ses enfants trouvent ici l'expression émue de notre profonde sympathie.

## PUBLICATIONS DE L'ADASTA

L'équipe pédagogique de l'ADASTA poursuit la publication de fiches destinées essentiellement aux enseignants ayant à faire face aux nouveaux programmes de Sciences Physiques dans les collèges et les lycées :

N°15 : Amplificateur opérationnel : application au repérage des températures et à la mesure des PH (13 pages).

N°16 : Expériences à l'aide d'un laser (13 pages).

N°17 : Etude expérimentale d'une source de tension régulée à partir d'une source de tension sinusoïdale (15 pages).

N°18 : L'amplificateur opérationnel : réalisation d'un générateur de courant et d'une sonde thermométrique (12 pages).

N°19 : Le rétroprojecteur en Sciences Physiques (13 pages).

Une 5<sup>ème</sup> fiche technique a été réalisée à l'occasion de l'Université d'été par l'ADASTA en septembre dernier. Elle a été rédigée par notre ami André Calas du Collège de Savigny/Orge :

N° 5 : Réalisation de divers appareils à partir de bouteilles en plastique ou "qu'importe le flacon..." (9 pages).

Par ailleurs signalons la réédition de 2 séries de diapositives : optique géométrique et optique physique. Une nouvelle série sur la couleur est en préparation.

*La liste complète des documents est adressée sur demande.*

## ELECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

par Michel Henry\*

Lorsqu'il frottait des morceaux d'ambre contre sa tunique, et s'émerveillait de les voir attirer de menus objets, le philosophe grec Thalès de Millet n'imaginait certes pas qu'il tenait dans sa main l'arme suprême, l'arme dont seul le premier des dieux, Zeus, avait l'usage, la foudre.

En fait, il faut attendre le XVIII<sup>ème</sup> siècle pour que l'on songe à attribuer aux manifestations orageuses la même nature physique qu'aux phénomènes électriques observés en laboratoire. Dès le XVII<sup>ème</sup> siècle, Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, plus connu pour ses expériences sur le vide, et l'Anglais Wall avaient bien observé qu'en frottant de l'ambre ou du soufre, on produisait des étincelles et des craquements, mais ils n'avaient pas effectué le rapprochement avec les éclairs et le tonnerre.

C'est Benjamin Franklin, auquel nous sommes redevables du principe de conservation de la charge électrique et de la dénomination en charges positive et négative, entre autres, qui montra en 1752 que les nuages d'orage contenaient la même électricité que les boules de soufre ou d'ambre des laboratoires. Son expérience est célèbre : il dirigea un cerf-volant vers un nuage d'orage, attacha une clef métallique à la corde qui maintenait le cerf-volant et approcha son doigt de la clef. Il vit jaillir des étincelles et ressentit le fameux "choc électrique", preuves indubitables de la présence d'électricité dans le nuage (Fig. 1).

Je déconseille vivement de tenter cette expérience en raison du danger qu'elle présente : pour ne citer que lui, Richmann, qui effectuait une expérience analogue à Saint-Petersbourg, en 1753, fut tué net. D'autres chercheurs prirent le relais de Franklin et tentèrent de percer les mystères de l'électricité atmosphérique. Il est impossible de les citer tous, aussi nous contenterons-nous d'indiquer quelques points de repère. Vers 1900, les mesures montrèrent l'existence, que personne n'avait soupçonnée jusqu'alors, d'électricité dans l'atmosphère, en tout temps, et pas seulement les jours d'orage. Vers la même époque, les travaux sur l'ionisation de l'air montrèrent l'existence d'un courant électrique atmosphérique tendant à faire disparaître l'électricité de l'air. C.-T.-R. Wilson, inventeur de la chambre d'ionisation, proposa en 1927 l'hypothèse, encore admise à l'heure

actuelle, selon laquelle les orages sont les principaux responsables du maintien de cette électricité, s'opposant au courant électrique précédent. Depuis, physiciens de l'atmosphère et météorologues étudient, parallèlement aux autres propriétés de l'atmosphère, ses caractéristiques électriques. Toutefois, ces phénomènes sont complexes, et leur connaissance et leur interprétation sont encore, sur bien des points, peu avancées. Aussi les résultats et les tentatives d'explication que nous indiquons ci-dessous doivent-ils être tenus pour provisoires. En particulier, les valeurs numériques ne sont que des ordres de grandeur, acceptées à l'heure actuelle par la majorité des chercheurs, mais certainement sujettes à révision.

### LA TERRE ET L'ATMOSPHÈRE

Lorsque l'on étudie les propriétés électriques d'un système, quel qu'il soit, il est commode de distinguer les parties bonnes conductrices des parties faiblement ou pas du tout conductrices de l'électricité. De ce point de vue, la Terre et son atmosphère peuvent être divisées en trois régions : la Terre proprement dite, bonne conductrice ; puis la basse et moyenne atmosphère, jusqu'à 50 km d'altitude environ, faiblement conductrice ; enfin, la haute atmosphère, et surtout l'ionosphère, bonne conductrice (Fig. 2). Au-delà de la haute atmosphère, disons à partir de 1000 km d'altitude, pour fixer les idées, la plupart des physiciens du globe s'accordent pour admettre que les propriétés électriques sont plutôt celles de l'espace interplanétaire que celles de l'atmosphère. Une couche isolante comprise entre deux conducteurs : l'ensemble fait immédiatement penser à un condensateur électrique. Et de fait, la Terre se comporte comme un condensateur sphérique, dont les armatures seraient la planète et l'ionosphère. Qui plus est, ce condensateur est chargé, c'est-à-dire que ses armatures portent une charge électrique, qu'il existe entre elles une différence de potentiel, et qu'un champ électrique règne dans l'atmosphère, entre le sol et l'ionosphère.

### LE CHAMP ÉLECTRIQUE TERRESTRE

Il existe donc, dans l'atmosphère, un champ électrique permanent. Ce champ dépend, au voisinage du sol, du relief, et, dans la basse atmosphère, des conditions météorologiques. Toutefois, en calculant des moyennes sur de longues périodes on met en évidence un champ moyen, qui a sensiblement même valeur en tous les points du globe, et ne dépend que de l'altitude. Ce champ moyen est perpendiculaire à la Terre et dirigé vers le sol, ce qui indique que la Terre porte une charge négative (Fig. 3). Au voisinage du sol, son intensité est d'environ 130V/m, ce qui correspond à une densité superficielle de charge, sur la Terre, de  $-1,15 \cdot 10^{-9}$  C/m<sup>2</sup>. La Terre étant conductrice, toute sa charge est superficielle. Un calcul simple montre alors que la charge totale de la Terre est  $-6,4 \cdot 10^{-5}$  C. La haute atmosphère porte bien entendu la même charge, mais de signe contraire, donc positive. Les mesures montrent que le champ électrique décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la Terre, pour s'annuler à une altitude d'environ 50 km, précisément dans les basses couches de l'ionosphère (Fig. 4). Par convention, le potentiel de la Terre est pris comme origine. Le potentiel de l'atmosphère est donc positif et croît avec l'altitude. La différence de potentiel maximale entre l'ionosphère et le sol vaut sensiblement 400 000 volts.

### MESURE DU CHAMP ÉLECTRIQUE

Avant de poursuivre l'étude du champ électrique, il convient de préciser la façon dont on peut le mesurer. Deux procédés sont essentiellement utilisés, avec de nombreuses variantes. On mesure la différence de potentiel entre deux conducteurs séparés par une distance connue. L'un de ces conducteurs peut bien entendu être le sol. Les conducteurs, isolés, tendent à se mettre au même potentiel que l'air environnant. Il est souvent nécessaire d'accélérer la réalisation de l'équilibre, en ionisant localement l'air, de façon à augmenter sa conductibilité électrique, par exemple à l'aide d'un corps radio-actif (Fig. 5a).

\* Michel HENRY, Maître de Conférences, Université Pierre-et-Marie Curie - PARIS.

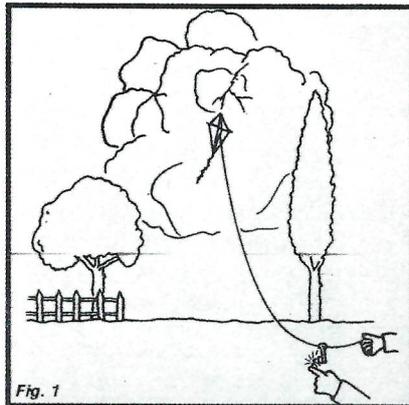


Fig. 1

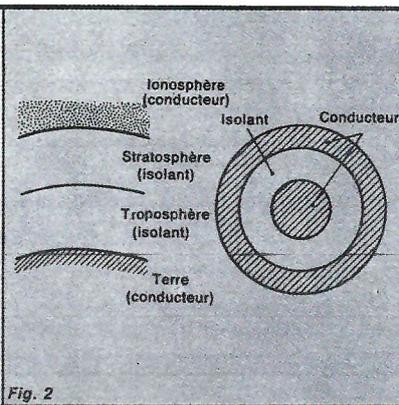


Fig. 2

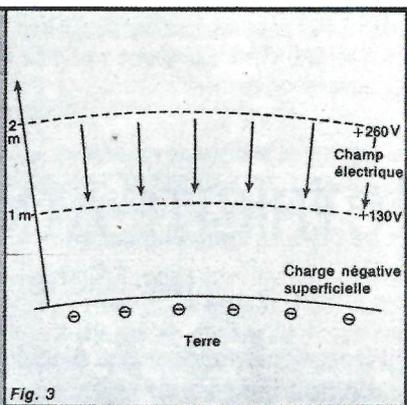


Fig. 3

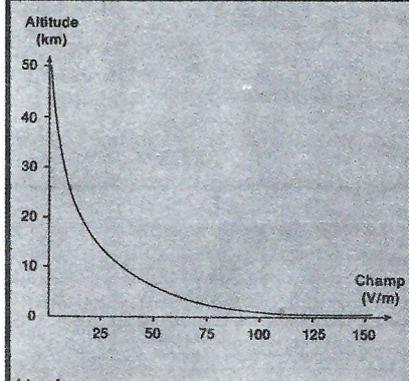


Fig. 4

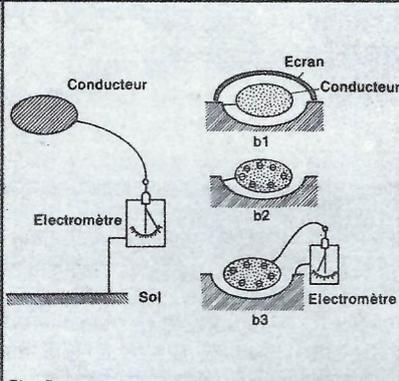


Fig. 5

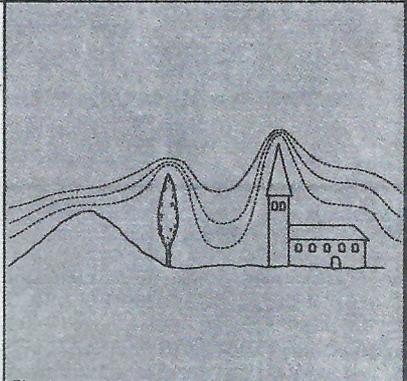


Fig. 6

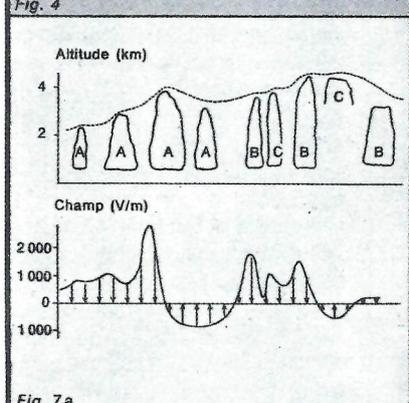


Fig. 7a

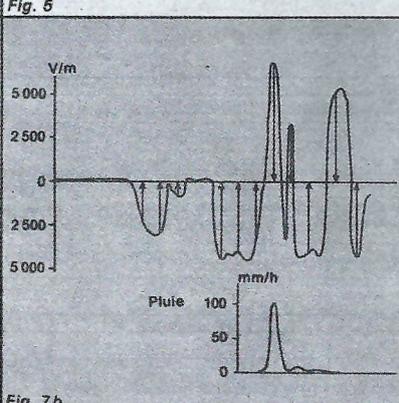


Fig. 7b

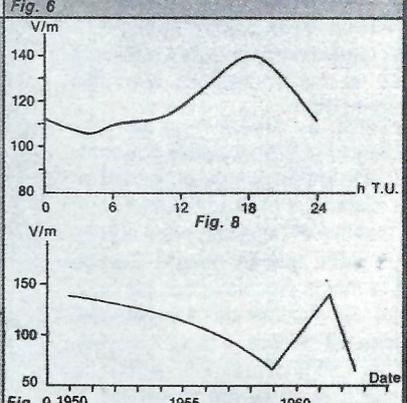


Fig. 8

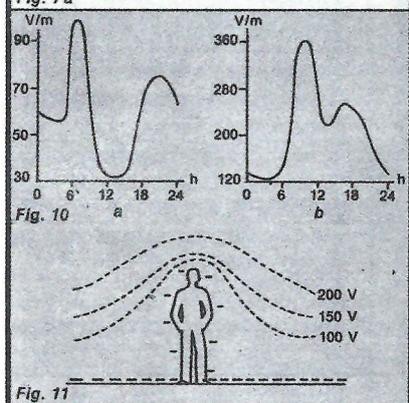


Fig. 9

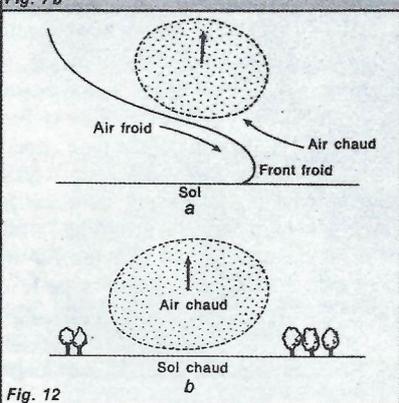


Fig. 10

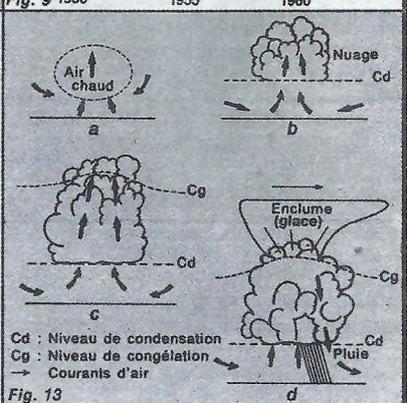


Fig. 11

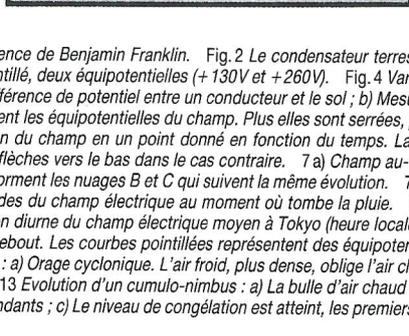


Fig. 12

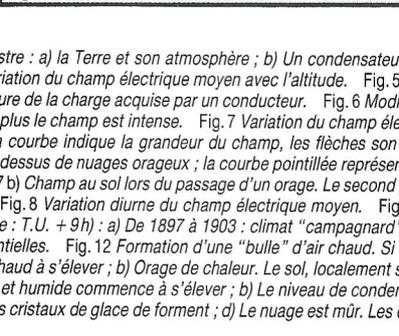


Fig. 13

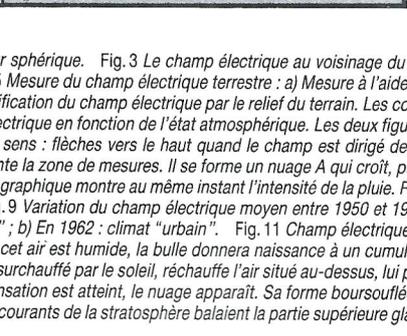


Fig. 14

Fig. 1 L'expérience de Benjamin Franklin. Fig. 2 Le condensateur terrestre : a) la Terre et son atmosphère ; b) Un condensateur sphérique. Fig. 3 Le champ électrique au voisinage du sol, par beau temps. En pointillé, deux équipotentielles (+130V et +260V). Fig. 4 Variation du champ électrique moyen avec l'altitude. Fig. 5 Mesure du champ électrique terrestre : a) Mesure à l'aide d'un électromètre de la différence de potentiel entre un conducteur et le sol ; b) Mesure de la charge acquise par un conducteur. Fig. 6 Modification du champ électrique par le relief du terrain. Les courbes pointillées représentent les équipotentielles du champ. Plus elles sont serrées, plus le champ est intense. Fig. 7 Variation du champ électrique en fonction de l'état atmosphérique. Les deux figures représentent la variation du champ en un point donné en fonction du temps. La courbe indique la grandeur du champ, les flèches son sens : flèches vers le haut quand le champ est dirigé de la Terre vers l'atmosphère, flèches vers le bas dans le cas contraire. 7a) Champ au-dessus de nuages orageux ; la courbe pointillée représente la zone de mesures. Il se forme un nuage A qui croît, puis disparaît ; peu après se forment les nuages B et C qui suivent la même évolution. 7b) Champ au sol lors du passage d'un orage. Le second graphique montre au même instant l'intensité de la pluie. Remarquer les variations rapides du champ électrique au moment où tombe la pluie. Fig. 8 Variation diurne du champ électrique moyen. Fig. 9 Variation du champ électrique moyen entre 1950 et 1963 au Japon. Fig. 10 Variation diurne du champ électrique moyen à Tokyo (heure locale : T.U. + 9h) : a) De 1897 à 1903 : climat "campagnard" ; b) En 1962 : climat "urbain". Fig. 11 Champ électrique au voisinage d'un homme debout. Les courbes pointillées représentent des équipotentielles. Fig. 12 Formation d'une "bulle" d'air chaud. Si cet air est humide, la bulle donnera naissance à un cumulo-nimbus, ou nuage d'orage : a) Orage cyclonique. L'air froid, plus dense, oblige l'air chaud à s'élever ; b) Orage de chaleur. Le sol, localement surchauffé par le soleil, réchauffe l'air situé au-dessus, lui permettant de s'élever. Fig. 13 Evolution d'un cumulo-nimbus : a) La bulle d'air chaud et humide commence à s'élever ; b) Le niveau de condensation est atteint, le nuage apparaît. Sa forme boursouflée est due aux courants ascendants ; c) Le niveau de congélation est atteint, les premiers cristaux de glace se forment ; d) Le nuage est mûr. Les courants de la stratosphère balaient la partie supérieure glacée, formant l'"enclume".

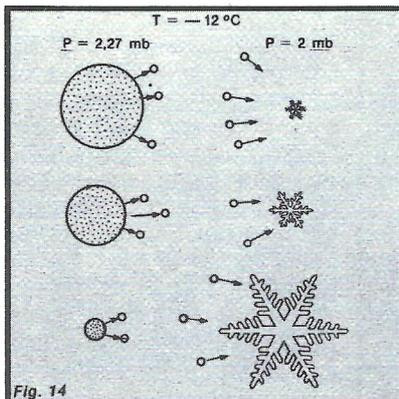


Fig. 14

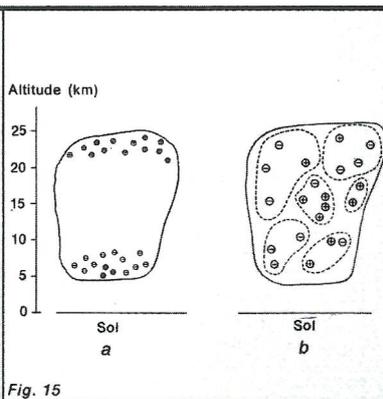


Fig. 15

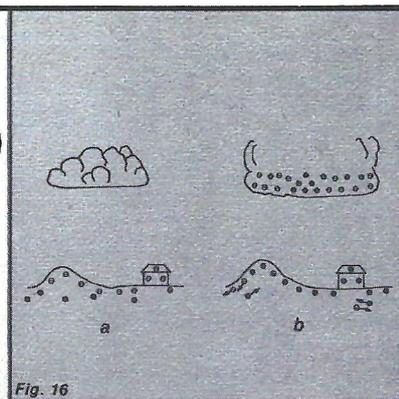


Fig. 16

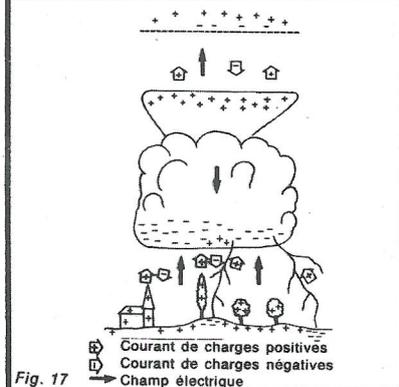


Fig. 17

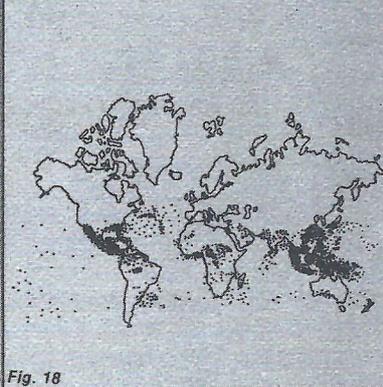


Fig. 18

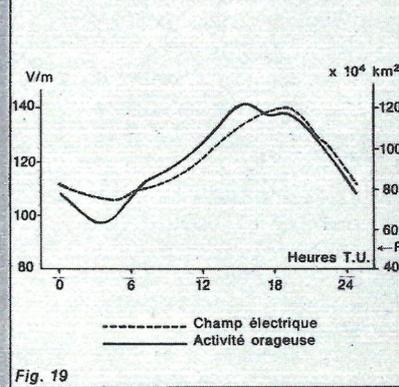


Fig. 19

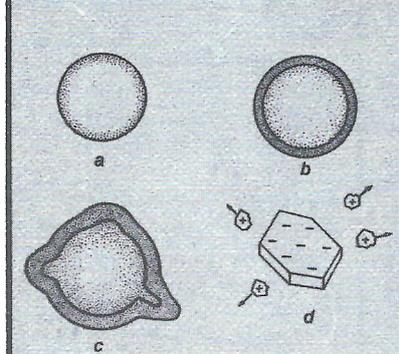


Fig. 20

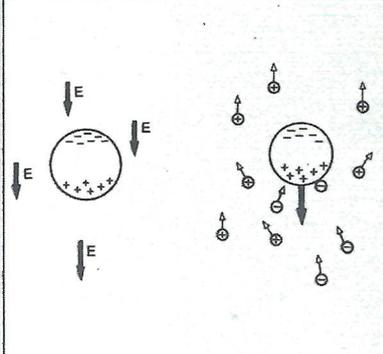


Fig. 21

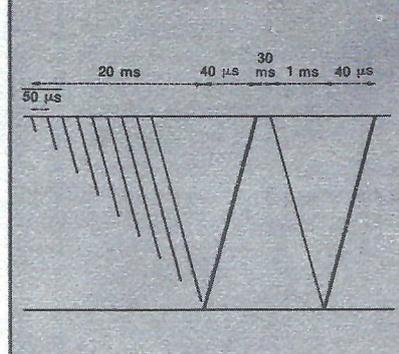


Fig. 22

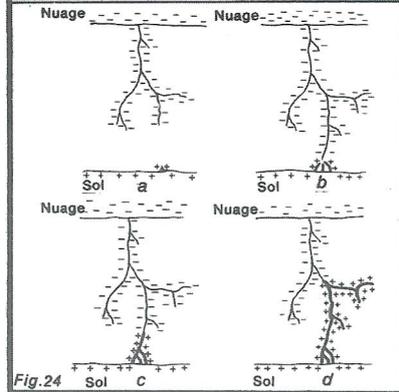


Fig. 24

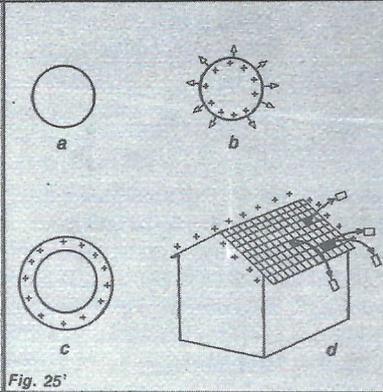


Fig. 25'

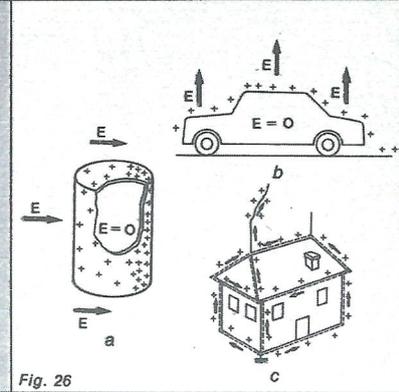


Fig. 26

Fig. 14 Croissance d'un cristal de glace aux dépens d'une goutte d'eau. Les pressions sont données en millibars (mb). Les petits cercles représentent des molécules d'eau, transportées de la goutte vers le cristal par la différence de pression. Fig. 15 Répartition des charges électriques dans un nuage d'orage : a) Modèle simple ; b) Modèle plus complexe formé de cellules diversement chargées. Fig. 16 Modification de la charge du sol sous un nuage d'orage. Par beau temps (a) la charge superficielle est surtout négative. La forte charge négative d'un nuage d'orage attire les charges positives du sol et repousse ses charges négatives (b). Fig. 17 Transfert de charges entre le sol et l'atmosphère au cours d'un orage. Fig. 18 Répartition des orages dans le monde. Données obtenues à partir d'observations effectuées par les satellites OSO2 (en 1965) et OSO5 (en 1969). Chaque point représente une zone orageuse. Noter leur rareté sur les océans et les déserts. Fig. 19 Variations diurnes du champ électrique moyen et de l'activité orageuse, celle-ci étant mesurée par la superficie globale des zones orageuses. La flèche F indique la superficie de la France. Fig. 20 Séparation de charges par congélation d'une goutte d'eau. La congélation s'effectue de l'extérieur vers l'intérieur de la goutte (a, b). La dilatation qui accompagne la congélation provoque la déformation, puis la rupture (c, d) de la pellicule extérieure déjà formée. Les éclats sont chargés positivement, le gros du glaçon garde une charge négative. Fig. 21 Polarisation d'une goutte d'eau sous l'action d'un champ électrique. Fig. 22 Balayage d'ions par une goutte polarisée tombant dans le nuage. Le mouvement des ions positifs les empêche d'être attirés par la charge négative de la goutte. Fig. 23 Structure d'un éclair. Les traits flèches ouvrent progressivement la voie. Le trait de retour (plus épais sur la figure) remonte vers le nuage. A droite, une seconde décharge précédée d'un trait flèche unique. L'échelle des temps est grossièrement déformée. Fig. 24 Descente des traits flèches (a), chargés négativement, et remontée (b, c, d) du trait de retour, chargé positivement. Fig. 25 La pression électrostatique et ses effets. Les charges superficielles d'un conducteur se repoussent mutuellement. Les forces correspondantes peuvent déformer, voire briser le conducteur (a, b, c). Le même phénomène est responsable de certaines destructions dues à la foudre ; ici, les tuiles d'un toit sont chassées au loin. Fig. 26 La cage de Faraday : a) Les charges superficielles d'un conducteur placé dans un champ électrique se répartissent de façon à annuler le champ à l'intérieur, même si le conducteur est creux ; b, c) La carrosserie métallique d'une automobile ou le réseau de conducteurs - figurés ici en pointillés - entourant une maison jouent le même rôle et accroissent la protection contre la foudre.

## LA RECHERCHE

Au lieu de mesurer le potentiel auquel est porté un conducteur, on peut mesurer la charge électrique qu'il acquiert. Il faut d'abord soustraire ce conducteur au champ, pour assurer qu'il ne porte aucune charge. Pour ce faire, on le recouvre d'abord d'un autre conducteur qui fait écran électrique, puis on le découvre. Il se charge alors et l'on mesure la charge acquise soit à l'aide d'un électromètre, soit en la compensant par une charge égale et de signe contraire prélevée dans un condensateur étalonné, donc facilement mesurable. Si l'on couvre et découvre alternativement le conducteur, sa charge varie périodiquement, et donc aussi son potentiel. Il est possible alors d'amplifier puis d'enregistrer ces variations. Cette variante permet de placer l'appareil dans un ballon, ou à l'extérieur d'un avion, ce qui facilite les mesures en altitude (Fig. 5 b).

Ces mesures sont essentiellement de type électrostatique, et il n'est pas toujours facile d'éliminer, ou de tenir compte des influences perturbatrices. Un gros effort est effectué dans ce domaine, pour obtenir des résultats suffisamment fiables et utilisables.

### VARIATIONS DU CHAMP ÉLECTRIQUE

Les caractéristiques précédentes sont celles du champ électrique moyen, que l'on peut effectivement mesurer par beau temps, au voisinage d'un sol plat. Hormis ces circonstances particulières, le champ électrique est sensible au relief du sol : son intensité croît au-dessus des reliefs, qu'ils soient naturels ou artificiels, et ceci d'autant plus que le relief est plus accentué ou que l'objet est plus pointu. Ainsi, pics, clochers, pylones..., sont entourés d'un champ relativement intense (Fig. 6). Le champ électrique est également très sensible à l'état de l'atmosphère et, en particulier, à la présence de nuages. Sur et sous les nuages d'orage, il n'est pas rare de mesurer des champs élevés, de 10 000 V/m à 20 000 V/m, ainsi que des champs inversés, c'est-à-dire dirigés de la Terre vers l'atmosphère (Fig. 7).

Il arrive que ces modifications électriques précèdent la perturbation atmosphérique qui leur donne naissance, et permettent de la prévoir : on a ainsi mis au point une méthode de prévision des brouillards. Des variations plus lentes, diurnes, annuelles, ou à plus longs termes, apparaissent à l'aide de moyennes convenablement choisies. La variation diurne est particulièrement intéressante : elle s'obtient en effectuant la moyenne des observations, heure par heure. On constate alors un maximum vers 18 h T.U. et un minimum vers 6 h T.U., et ceci en tous les points du monde (Fig. 8). C'est un phénomène particulièrement remarquable, sur lequel nous reviendrons. Des variations à long terme ont été observées un peu partout dans le monde, et certaines d'entre elles sont attribuées à l'activité humaine. Celle-ci, en créant localement des charges électriques libres, modifie le champ électrique. Nous citerons

simplement, à titre d'exemple, deux observations japonaises. La première (Fig. 9) est attribuée aux expériences nucléaires ; la seconde (Fig. 10), plus banalement, à la transformation du climat de Tokyo d'un climat "campagnard" en un climat "urbain" et industriel.

### LE COURANT ÉLECTRIQUE ATMOSPHÉRIQUE

Nous avons déjà signalé que l'air, entre l'ionosphère et la terre, est faiblement conducteur. Les responsables en sont des ions, particules chargées présentes dans l'atmosphère, naturellement ou artificiellement. On distingue communément les gros ions, formés à partir de poussières, grains de pollen, fumées..., et les petits ions, formés à partir des molécules des gaz constituant l'atmosphère. Les principaux agents ionisants sont, au voisinage du sol, la radio-activité, naturelle ou provoquée, et, en altitude, les rayonnements solaire et cosmique. On peut noter, à ce propos, que la découverte des rayons cosmiques a pour origine l'étude de l'ionisation atmosphérique.

Sous l'action du champ électrique, ces ions se déplacent. En d'autres termes, il existe un courant électrique, normalement dirigé de l'ionosphère vers la Terre. Les petits ions se déplaçant plus vite que les gros, ce sont eux qui transportent la quasi-totalité de ce courant électrique. Les mesures de concentration et de vitesse des ions permettent d'estimer la densité de courant à  $3.10^{-12}$  A/m<sup>2</sup>, soit un courant global de 1,5 A au-dessus de la France, et de 1 800 A pour le globe. A titre de comparaison, la densité de courant dans un conducteur domestique, alimentant par exemple un radiateur de 2 kW sous 220 V est d'environ  $2.10^6$  A/m<sup>2</sup>. La faible valeur de cette densité de courant explique, conjointement avec le fait que le corps humain est bon conducteur, ce qui modifie le potentiel à son voisinage, que nous puissions vivre dans le champ électrique atmosphérique sans être électrocutés (Fig. 11).

### DÉCHARGE ET RECHARGE DU CONDENSATEUR TERRESTRE

La Terre est chargée négativement, et l'ionosphère positivement. Le courant électrique précédent apporte des charges positives vers le sol et des charges négatives vers l'ionosphère, donc décharge le condensateur terrestre. On calcule, avec les valeurs précédentes, que cette décharge serait pratiquement complète au bout d'une heure. Comme de toute évidence ce n'est pas le cas, nous devons admettre l'existence d'au moins un processus capable d'assurer un transfert de charges en sens inverse, charges positives vers l'ionosphère et charges négatives vers la Terre, de façon à recharger le condensateur terrestre au fur et à mesure qu'il se décharge. Il apparaît en fait qu'il existe plusieurs mécanismes, mais le plus actif est l'activité orageuse.

### LES ORAGES

Il n'est pas inutile, à ce stade, de décrire

brèvement la formation et la structure d'un orage, en fait d'un nuage d'orage, ou cumulonimbus. Tout commence par l'ascension d'une masse d'air chaud et humide soit sous l'action d'une masse d'air froid (front froid) pour les orages cycloniques, soit sous l'effet d'un réchauffement local du sol pour les orages de chaleur. L'air transmet très mal la chaleur, si bien que la "bulle" d'air qui s'élève est pratiquement isolée thermiquement de l'air environnant. Au fur et à mesure que l'air s'élève, sa pression diminue, et il se refroidit. Lorsque sa température est suffisamment basse, la vapeur d'eau qu'il contient se condense en gouttelettes liquides, et le nuage devient visible. On atteint alors le niveau de condensation, d'altitude voisine de 3 km. C'est le même phénomène qui rend visible l'haleine par temps froid, qui provoque les traces d'avion à haute altitude, ou les traces de particules dans les chambres d'ionisation. Cette condensation libère de l'énergie, environ 2 500 J par gramme d'eau, soit  $3.5.10^{14}$  J ou  $10^8$  kWh pour un nuage moyen, soit aussi, pour fixer les idées, la consommation quotidienne d'énergie en France. Cette énergie ralentit le refroidissement du nuage, qui reste plus chaud que l'air environnant et continue à s'élever, restant moins dense. Le refroidissement se poursuit, et, vers 10 km ou 15 km, on atteint le niveau de congélation où les gouttes d'eau se congèlent sous forme de cristaux de neige ou de grésil, ce qui libère à nouveau de l'énergie, environ 300 J par gramme, et permet à l'ascension de se poursuivre. La condensation et la congélation demandent toutefois pour se produire des noyaux de condensation ou de congélation, qui sont des particules de sable, de pollen, de cristaux de sel..., en bref, les gros ions de l'atmosphère. La condensation qui se produit la première absorbe la majeure partie de ces noyaux. Le reste est insuffisant pour permettre à toutes les gouttes d'eau de se solidifier en même temps. Il existe donc en présence les uns des autres des cristaux de glace et des gouttes d'eau dite surfondue, c'est-à-dire liquide à une température inférieure à 0° C. La pression de vapeur saturante au voisinage des glaçons étant plus faible qu'au voisinage de l'eau surfondue, les glaçons croissent aux dépens des gouttes d'eau, ce qui leur permet de grossir, puis de tomber quand leur poids est suffisant (Fig. 14).

L'ascension du nuage se poursuit jusqu'à ce que l'équilibre de densité soit atteint avec l'air environnant, vers 20 km d'altitude. A ce niveau, la stratosphère est atteinte, et les violents courants horizontaux qui y règnent balaient le sommet du nuage, lui donnant sa forme caractéristique, dite "en enclume".

Au courant ascendant d'air chaud se superpose bientôt un courant descendant d'air froid entraîné par les glaçons suffisamment lourds pour tomber malgré le courant ascendant. Cet air se réchauffe en descendant, mais moins vite que l'air environnant, la fusion de la glace et la vaporisation de l'eau absor-

bant cette fois de la chaleur. Dans les deux cas, la présence d'eau entretient et accélère les courants qui sont très violents : des vitesses de l'ordre de 100 km/h sont courantes, et des vitesses supérieures ont été mesurées ; on conçoit aisément que les aviateurs évitent autant que possible de traverser ces nuages.

Parallèlement, on observe une séparation des charges électriques : la base du nuage se charge négativement, le sommet positivement. Des structures plus complexes ont été envisagées, mais nous nous en tiendrons à ce modèle simple.

Les estimations de ces charges sont assez variables : les mesures au sol conduisent à des valeurs d'environ 20C, tant pour la charge positive que pour la charge négative ; d'autres estimations, basées sur la fréquence des éclairs donnent +50C pour la charge positive et -350C pour la charge négative.

On observe aussi souvent une zone centrale, dans la base du nuage, chargée positivement. On a constaté qu'elle correspondait à la pluie intense, mais aucune explication satisfaisante de son rôle ou de sa présence n'a encore pu être donnée.

La forte charge négative portée par la base du nuage attire par induction les charges positives du sol, ce qui inverse le sens du champ électrique entre le nuage et le sol. De même, la forte charge positive du sommet inverse le champ électrique au-dessus de lui. Le champ dans le nuage est dirigé vers la Terre, mais la condensation et la congélation ayant éliminé les gros ions, et une partie des petits, le courant électrique correspondant est négligeable. Les charges étant en place et les champs convenablement orientés, à l'extérieur du nuage, il ne reste plus qu'à transférer les charges (Fig. 16).

Au sommet du nuage, l'air est suffisamment conducteur pour que ce transfert ne pose pas de problème majeur. A la base, ou plutôt entre le nuage et le sol, deux moyens prédominent. Le premier est l'"effet de pointe". La présence d'un conducteur pointu accroît, avons-nous dit, le champ électrique, qui devient suffisamment intense pour ioniser l'air et provoquer un courant électrique efficace (Fig. 17). Ces conducteurs sont les clochers, antennes, paratonnerres, et aussi les arbres ou, à défaut, de simples brins d'herbe. L'ionisation s'accompagne souvent d'effets lumineux : feux St-Elme, terreur des anciens marins, ou "aigrettes" que les alpinistes voient jaillir de leurs piolets. Le second est l'éclair. L'air est encore ionisé, mais tout au long d'un "canal" joignant la base du nuage et le sol. Par ce canal monte du sol une charge positive, laissant le sol chargé négativement. Il semble bien, à l'heure actuelle, que les éclairs soient le mécanisme prépondérant de recharge du condensateur terrestre. On estime qu'à tout instant, dans le monde, de 2000 à 5000 orages sont en cours, produisant chaque seconde une centaine de coups de foudre, dont le tiers environ frappe la

Terre. Chaque coup de foudre transporte environ 20C, ce qui donne pour l'ensemble du globe un courant de recharge de 1000 à 2000A, comparable au courant de décharge (Fig. 18). Si nous rapprochons ces chiffres, nous pouvons calculer que la machine électrique terrestre fournit une puissance totale d'environ 700MW, comparable à celle d'un grand barrage : celui de Donzère-Mondragon, par exemple, fournit 300MW. Par ailleurs, différentes estimations montrent que l'activité orageuse est maximale, partout dans le monde, vers 18h T.U. Ceci, lié à la forte conductivité électrique de l'ionosphère, explique la variation diurne du champ électrique : lorsque l'activité orageuse diminue, le champ électrique diminue également, les variations locales du potentiel étant rapidement transmises par l'ionosphère. Il en est de même, mais en sens inverse, lorsque l'activité orageuse croît : le transfert de charges qu'elle provoque entraîne l'augmentation de l'intensité du champ électrique. On observe ainsi une étroite corrélation entre les variations du champ électrique et celles de l'activité orageuse (Fig. 19).

Avant d'étudier de plus près la foudre, nous allons donner quelques indications sur un point laissé dans l'ombre : la séparation des charges électriques dans les nuages d'orage. Ce problème est, en fait, double : l'ionisation, puis le transfert sélectif des charges positives vers le sommet du nuage, et des charges négatives vers la base. Ce transfert, en sens contraire du champ qui règne dans le nuage, doit être rendu possible par l'apparition de porteurs de charge différents, et être associé d'une façon ou d'une autre aux courants à l'intérieur du nuage. L'hypothèse la plus simple et qu'il apparaît des particules légères, chargées positivement, que les courants ascendants entraînent vers le sommet du nuage, et des particules lourdes, chargées négativement, qui tombent sous l'action de leur poids ou des courants descendants. Un indice en faveur de cette hypothèse est la corrélation entre la formation de grosses gouttes dans le nuage, détectables au radar, et l'apparition des premiers éclairs, celles-là précédant toujours ceux-ci. Une autre indication est fournie par le fait que beaucoup de pluies d'orage sont électriquement chargées, et que cette charge semble plus souvent négative que positive.

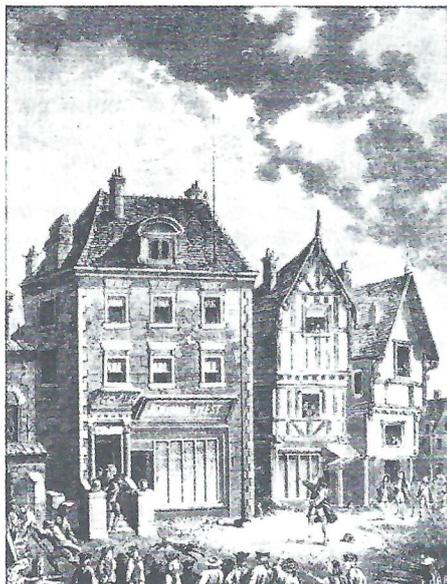
Un certain nombre de théories ont été proposées, plus ou moins corroborées par des expériences de laboratoire, ou des observations de phénomènes naturels. L'un d'eux est lié aux transformations des gouttes d'eau en cristaux de glace : la congélation d'une goutte commence par l'extérieur. Quand l'intérieur se solidifie à son tour, il se dilate et fait éclater la pellicule extérieure de glace. Les petits éclats sont chargés positivement, alors que le gros du glaçon garde une charge négative (Fig. 20). Ce phénomène a été observé en laboratoire et lors de tempêtes de neige (blizzard).

Un second, imaginé par Wilson, tient compte de l'auto-entretien du processus : une goutte d'eau, placée dans un champ électrique se polarise (Fig. 21). Il apparaît à la face inférieure de la goutte une charge positive, et à sa face supérieure une charge négative. En tombant, cette charge balaye les ions légers chargés négativement et repousse les ions chargés positivement. Ceux-ci ne peuvent être attirés par la charge négative supérieure en raison de leur mouvement et de celui de la goutte (Fig. 22). Bien d'autres processus ont été invoqués, qu'il ne nous est possible de détailler ici : effet photo-électrique des rayons solaires sur la glace, effet thermo-électrique lors du choc de glaçons à des températures différentes, chocs de poussières ou de cendres pour expliquer les éclairs observés lors de tempêtes de sable ou d'éruptions volcaniques. En fait, aucune de ces théories ne rend parfaitement compte des faits observés. Comme l'indique le professeur Chalmers : "...Nous nous trouvons en face d'un choix de théories, dont aucune ne semble réellement satisfaisante".

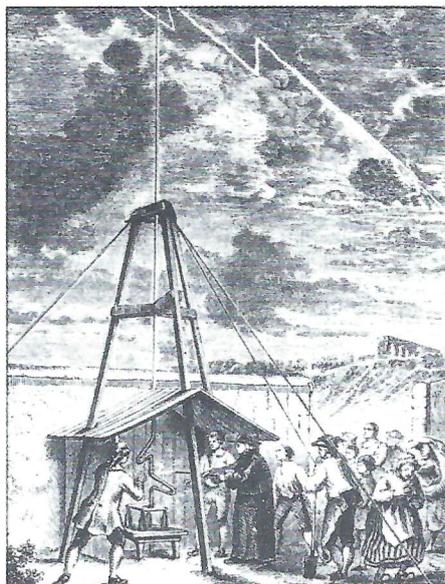
## LA Foudre ET L'ÉCLAIR

Mieux connu est le coup de foudre. Les éclairs jaillissent dans l'air, entre un nuage et le sol, ou entre deux nuages ou à l'intérieur d'un nuage, quand le champ électrique atteint 200 à 300 kV/m. Nous nous limiterons ici aux éclairs entre nuage et sol, les mieux connus et les plus intéressants de notre point de vue, puisqu'ils contribuent à la recharge du condensateur terrestre. Leur structure est étudiée à l'aide d'un appareil photographique particulier, dit chambre de Boys, dans lequel la pellicule défile rapidement devant l'objectif, ce qui étale les phénomènes dans le temps. Une variante de ce procédé est utilisée pour enregistrer les arrivées de courses, notamment hippiques. Du nuage part un trait flèche, constitué d'électrons rapide (leur vitesse est de l'ordre de 1 000 km/s) qui ionisent l'air sur leur passage. Après un parcours de quelques dizaines de mètres, les électrons ont épuisé leur énergie, et le trait disparaît. Après un temps mort de 50 à 100  $\mu$ s, un second trait flèche jaillit, emprunte le chemin tracé par le premier et ouvre une nouvelle partie de la voie, également sur quelques dizaines de mètres. La distance entre la base du nuage et le sol est d'environ 3 km, si bien qu'il faut une quarantaine de traits flèches successifs pour tracer la voie tout du long. La recombinaison partielle des ions formés s'accompagne de phénomènes lumineux qui rendent les traits flèches photographiables, sinon visibles (Fig. 23). Lorsque le canal ionisé est parvenu à proximité du sol, un trait de retour jaillit et remonte vers le nuage, en suivant le chemin tracé par les traits flèches (Fig. 24). Il arrive que des traits flèches ouvrent des voies secondaires, dans lesquelles s'engage aussi le trait de retour, ce qui donne à l'éclair un aspect arborescent. Le trait de retour, qui se propage très vite (de 20 000 à 100 000 km/s), transporte la quasi-totalité de la charge élec-

## LA RECHERCHE



Une imagerie plus naïve que véridique dans les détails s'est efforcée peu après les premières expériences sur l'électricité atmosphérique d'en illustrer les principaux épisodes. Une des images représente le célèbre paratonnerre établi par Franklin à Philadelphie, sur la maison de Benjamin West, alors qu'il est frappé par le "feu du ciel". L'autre image rappelle l'expérience faite le 10 mai 1752 par Dalibard à Marly, première démonstration, dans une atmosphère quelque peu mystique, de la présence de l'électricité dans les nuages orageux.



trique et de l'énergie correspondante. On observe communément plusieurs décharges successives dans le même canal, à intervalles de 30 ms, chacune étant précédée de la descente d'un trait flèche unique. Le nombre le plus fréquent est 4 ou 5 mais peut s'élever à 30 ou 40 dans certains cas. L'ensemble de ces décharges dure en moyenne une demi-seconde, ce qui laisse l'impression d'un éclair unique, d'autant plus que seuls les traits de retour, très lumineux, sont visibles à l'œil nu. Il est possible, toutefois, avec un peu d'attention, de voir le "clignotement" dû à la succession des décharges. Le départ du trait de retour est facilité si l'air est déjà ionisé au voisinage du sol. Les objets pointus et élevés, antennes, clochers, pylônes, favorisent cette ionisation par effet de pointe, ce qui explique que la foudre les frappe de préférence.

### LES EFFETS DE LA Foudre

Chaque éclair transporte une charge d'environ 20C, ce qui correspond à une intensité d'environ 100000A par trait de retour. Sous l'effet de ce courant, l'air atteint une température voisine de 25000°C et devient lumineux : c'est l'éclair proprement dit. Sa pression augmente rapidement, et il naît une onde de choc sonore, le tonnerre. Divers composés chimiques se forment à partir des gaz composant l'air, laissant une "odeur de poudre". Il se développe un champ magnétique intense, capable d'aimer des objets en fer ou d'inverser les pôles des boussoles ; cet effet était bien connu des marins. La recombinaison des ions, après le passage de l'éclair, donne naissance à un spectre étendu d'ondes électromagnétiques, se manifestant par des parasites qui brouillent la réception de la radio ou de la télévision. Toutefois, ces ondes, les atmosphériques, four-

nissent de précieux renseignements sur l'éclair et leur propagation.

La foudre produit ainsi des effets mécaniques et calorifiques sur les objets qu'elle touche : des rochers sont brisés et des murs percés ; des arbres sont déchiétés, par volatilisation de leur sève ; le sable fond et se transforme en verre sur le trajet de la foudre, donnant des fulgurites ; les métaux sont fondus ou volatilisés. Certains effets sont curieux : on a rapporté le cas d'un soldat américain qui s'est retrouvé enfermé dans son sac de couchage, la foudre ayant fondu la fermeture éclair. La foudre peut également allumer des incendies, en particulier des incendies de forêt ; certains anthropologues pensent que les premiers hommes ont trouvé là leurs premiers foyers.

Outre ces effets, liés directement au courant électrique, il en est d'autres, dus à la pression électrostatique. Un conducteur porté à un potentiel élevé se charge superficiellement. Ces charges, toutes de même signe, tendent à se repousser... et à entraîner avec elles les parties superficielles du conducteur. Si la charge est importante et la surface peu résistante, le conducteur va exploser en quelque sorte. La pression électrostatique due à la foudre produit de tels effets, souvent spectaculaires : personnes déshabillées, arbres défoliés, toitures soufflées (Fig. 25).

### LA PROTECTION CONTRE LA Foudre

Chacun sait que la protection contre la foudre commence par l'installation d'un paratonnerre. Contrairement à une opinion assez répandue, le rôle d'un paratonnerre n'est pas d'éloigner la foudre, mais, bien au contraire, de l'attirer et l'empêcher ainsi de tomber ailleurs. En fait, les observations montrent que

le champ d'action d'un paratonnerre est assez réduit, et la plupart des documents officiels recommandent d'en installer plusieurs, de deux pour une villa moyenne à 15 pour une ferme selon les normes américaines. La foudre étant tombée sur le paratonnerre doit être conduite vers le sol. C'est là le point majeur de la protection : un paratonnerre non relié au sol est infiniment plus dangereux que pas de paratonnerre du tout. Les conducteurs de liaison sont avantageusement disposés en réseau, de façon à réaliser une cage de Faraday et à augmenter l'efficacité de la protection (Fig. 26). La cage de Faraday utilise la propriété, que nous avons déjà signalée, des conducteurs de se charger en surface lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. Cette charge se dispose de façon à annuler le champ à l'intérieur. Ceci explique que la foudre puisse tomber sur un avion métallique ou sur une automobile sans dommage pour les passagers, à condition toutefois qu'il n'existe pas d'antenne : isolée de la carrosserie ou de la carlingue, elle est une porte grande ouverte à la foudre.

### UNE ÉNIGME

En guise de conclusion, je voudrais soumettre aux lecteurs une petite énigme à laquelle j'avoue ne pas avoir trouvé de réponse : toutes les représentations artistiques et certaines descriptions littéraires montrent un éclair en zigzag (toutes celles que j'ai vues, au moins). A l'appui des secondes, je citerai Jules Verne, pourtant fidèle observateur : "... Un éclair n'attendait pas l'autre. Leurs zigzags se croisaient au-dessus du donjon, qui les attirait par sa situation isolée à une grande hauteur..." (Mathias Sandorf). "... Vers huit heures et demie, un éclair en zigzag, à angles très aigus, déchira la masse sombre sur une longueur de deux mille cinq cents à trois mille mètres..." (La maison à vapeur).

Or, toutes les photographies et toutes les observations visuelles montrent que l'éclair n'est pas "en zigzag", encore moins à "angles très aigus". La question est celle-ci : pourquoi attribuer à l'éclair une forme qu'il ne possède pas ?

### BIBLIOGRAPHIE

- Louis AUBERGER (1964). "Atmosphères et météorés" - (Fayard, Paris).  
 D.C. BLANCHARD (1970). "Des gouttes de pluie aux volcans" - (Dunod, Paris).  
 R. CLAUSSE - L. FACY (1965), "Les nuages" - (Seuil, Paris)  
 Charles MAURAIN (1948).  
 "La foudre". - (Armand Colin, Paris).  
 Ph. THOMPSON - R. O'BRIEN (1970).  
 "Le climat" - (Laffond, Paris).  
 R.A.R Tricker (1970).  
 "The science of the clouds" - (Elsevier New York) et deux ouvrages de niveau élevé :  
 J. BRICARD (1953). "Physique des nuages" (Presses Universitaires de France).  
 S.C. CORONITI (1965). "Problems of atmospheric and space electricity" - (Elsevier New York).  
 L.H. RUHNKE. "Atmospheric Electricity" - Deepak (1983)

## L'HISTOIRE DE LA LANTERNE MAGIQUE

par Michel Henry\*

Des fantômes aux "étranges lucarnes".

Avec la conquête du feu, la reproduction d'objets – la création d'images – est l'une des étapes majeures de l'éveil de l'humanité. Nous ignorerons sans doute toujours comment et pourquoi naquit cette idée, mais si l'on en juge par notre époque ce fut incontestablement une idée de génie. C'est un lieu commun de dire que nous vivons dans un océan d'images.

Parallèlement aux efforts des peintres et des sculpteurs, d'autres créateurs : mages, magiciens, thaumaturges, astrologues et autres charlatans mettent à profit – à leur profit je veux dire – les ressources d'une technologie encore balbutiante pour créer de toutes pièces divinités et démons : avoir accès à ce que les autres ne peuvent concevoir et mieux encore le leur faire voir, quel fascinant et terrifiant pouvoir !

Si loin que nous remontions dans l'histoire de l'humanité, nous trouvons mention d'images – au sens large du terme – animées, fabriquées dans le but avoué de frapper l'imagination des foules. Toutes les ressources de ce qui deviendra plus tard l'"art de l'ingénieur" sont mises à profit : mécanique, bien sûr, mais aussi acoustique, chaleur, peut-être électricité et, ce qui nous intéresse plus particulièrement ici, optique.

Qui s'avisa qu'un miroir concave peut former une image agrandie, réelle, et donc susceptible d'être recueillie sur un écran de tissu ou de fumée ? Qui, plus tard, se rendit compte que les lentilles jusqu'alors réservées aux besicles peuvent, mieux que les miroirs, former aussi une image réelle et agrandie ? Nous devons dans tous les cas avouer notre ignorance.

Toujours est-il que de ces observations est née la lanterne magique. Du 15<sup>ème</sup> siècle – voire plus tôt – au début du 20<sup>ème</sup> siècle, elle constitue la récréation majeure des grands puis des enfants. Elle n'est détrônée que par le cinéma puis par les "étranges lucarnes" (la télévision) mais subsiste sous les formes évoluées du projecteur de cinéma ou de diapositives, et... du rétroprojecteur.

### Les ancêtres de la lanterne magique.

L'origine de la lanterne magique se trouve probablement dans la nécromancie, l'art de faire parler les morts et plus encore de les faire revenir dans ce bas monde.

Pline l'ancien (ca. 50), dans son histoire naturelle, parle d'Hercule "[qui], surgissant sous forme de géant parmi les flammes et l'encens dans son temple de Tyre, servait de bonne façon aux âmes impu-

res". Damascius (ca 450 a.c.) raconte qu'Osiris et Adonis naissaient brusquement sous l'aspect d'une masse de lumière projetée sur le mur du temple (c'est moi qui souligne) : "... il parut sur le mur du temple une masse de lumière qui d'abord sembla très éloignée ; elle se transforma en approchant en une figure évidemment divine et surnaturelle, d'un aspect sévère, tempéré par la douceur, et d'une beauté parfaite...".

Plus près de nous, Benvenuto Cellini (ca. 1550) dans un récit savoureux dont nous ne pouvons malheureusement citer que quelques extraits, raconte une séance de nécromancie dans le Colisée de Rome :

"... il arriva, par une suite d'incidents, que je fis connaissance d'un prêtre sicilien, homme de génie... [il] me répondit qu'il fallait être d'un caractère résolu et entreprenant pour étudier cet art [la nécromancie]. ... Nous nous rassemblâmes alors au Colisée, et le prêtre, suivant l'usage des nécromanciens, commença à décrire des cercles sur la terre, avec les cérémonies les plus imposantes ; il ordonna à l'autre nécromancien, son compère, de jeter les parfums dans le feu au moment convenable... Cette cérémonie durait depuis une heure et demie, quand apparurent plusieurs légions de démons, en si grand nombre que l'amphithéâtre en fut entièrement rempli... L'enfant [un compagnon de Cellini] avait une terrible frayeur, disant qu'il y avait sur place un million d'hommes féroces, qui s'efforçaient de nous exterminer ; et que quatre géants armés, d'une énorme stature, s'efforçaient de rompre notre cercle... Pendant que nous retourillions chez nous... l'enfant nous dit que deux des démons que nous avions vus dans l'amphithéâtre allaient devant nous, sautant et gambadant, quelquefois courant sur le toit des maisons, et quelquefois sur la terre".

Pour nous aider à soulever un coin du voile, citons Euclide (ca. 300 a.c.) : "Il est possible de construire un miroir tel que plusieurs figures y apparaissent : les unes plus grandes, les autres plus petites, les unes plus rapprochées, les autres plus éloignées..." et montre comment construire un tel miroir en combinant les miroirs plans, concaves et convexes.

De même, Héron d'Alexandrie (ca. 50) : "C'est par la catoptrique [la partie de l'optique consacrée aux phénomènes de réflexion, la dioptrique concernant la réfraction] que l'on



Gravure du XVI<sup>e</sup> s. illustrant le traité d'optique de Witelo.

apprend à former des miroirs où la droite paraît droite et la gauche paraît gauche, de sorte que la ressemblance est parfaite et que les images s'accordent avec la réalité. On peut construire des miroirs où l'on se voit par derrière, renversé la tête en bas, avec trois yeux et deux nez, ou bien le visage décomposé par une immense douleur... N'est-il pas merveilleux de ne voir dans un miroir ni son visage ni celui d'autres personnes, mais seulement ce que d'autres voudront !"

Roger Bacon (1214-1294) précise : "Ont peut disposer des miroirs de telle sorte que les images peuvent apparaître à volonté, soit à l'intérieur d'une maison, soit dans la rue... Tous les spectateurs accourent à l'endroit où les objets semblent être véritablement, mais ne trouveront rien, sinon l'illusion des objets".

Ceci montre que la formation des images, tant virtuelles que réelles, par des miroirs était bien connue depuis la plus haute antiquité et sans aucun doute utilisée pour provoquer des apparitions du genre de celles décrites par Pline ou Cellini. Un autre usage, dont la description brave l'honnêteté, est décrit par Sénèque (ca. 50) (Questions naturelles, I, XVI) et repris par Della Porta (1540-1615) dans sa *Magia Naturalis*... Elle révèle en tous cas que cette technique était assez répandue pour passer dans le domaine public, si j'ose dire, dès l'empire romain.

Nous pouvons à présent interpréter la séance de nécromancie décrite par Cellini :

– les spectateurs sont "enfermés" dans un cercle tracé sur le sol, pour les mettre en bonne place et aussi, sans doute, les empêcher d'aller fouiner dans l'envers du décor.

– Les parfums et "miasmes infects" ont un double rôle : créer un nuage de fumée à usage d'écran, aussi bien pour recueillir des images que pour masquer les acolytes du nécromancien mais aussi endormir l'esprit critique des spectateurs en provoquant chez eux une sorte d'ivresse (ce second rôle est d'ailleurs une constante de tous les rituels de ce type, rôle dont l'usage de l'encens au cours de certaines cérémonies religieuses est un reflet très atténué).

– Les spectateurs ainsi mis en condition, il suffit de quelques miroirs plans ou convexes judicieusement répartis selon le principe du Palais des Glaces pour faire apparaître "plu-

\* Michel HENRY, Maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris.

seurs légions de démons” ou “des géants d’une énorme stature”.

Plus intéressante est la dernière observation de l’enfant : deux démons sautant et gambadant sur le toit des maisons ou sur la terre. Comment ne pas penser à une lanterne de projection restée allumée et portée à bout de bras ?

Nous devons pour être complet préciser que Cellini, non sans avoir été fortement impressionné : “la vérité est que je me regardais comme un homme perdu ne semble pas avoir été complètement dupe du magicien : “Je lui dis [à l’enfant]... que ce qu’il voyait n’était que de la fumée et de l’ombre”.

Autre composant des projections lumineuses, la lentille. Des allusions, à vrai dire peu claires, existent dès le haut moyen âge, par exemple dans le traité d’Ibn al Haytham (ca. 1000) (mais nous n’en connaissons qu’une traduction latine publiée en 1572). Toutefois, ce traité était connu de tous les physiciens du moyen âge, au point que l’on y trouve une allusion dans le Roman de la Rose (ca. 1250) : “Alhazen [c’est l’autre nom d’Ibn al Haytham], qui n’était pas... un sot, composa le Traité des Regards ; le clerc naturaliste... doit consulter ce livre”.

Robert Grosseteste (1168-1253), puis son disciple Roger Bacon, déjà cité, étudient les propriétés des lentilles, mais ne réussissent pas à établir clairement le mode de formation des images, qui ne sera élucidé que quatre siècles plus tard par Képler.

L’origine elle-même des lentilles nous est inconnue. Selon toute probabilité, elles sont dues à des artisans verriers italiens. Ceux-ci fabriquaient des disques de verre transparents, à faces convexes, et en parsemaient les vitres des fenêtres, pour satisfaire à la mode du temps. L’un deux, sans doute âgé et presbyte, s’aperçut que de tels disques amélioraient sa vision. Dans leur simplicité et leur ignorance du grec ils baptisèrent lentilles ces verres, par analogie de forme avec le légume bien connu. Comme le note Vasco Ronchi, “Jamais à l’époque un scientifique n’aurait donné le nom d’un légume à une de ses découvertes”.

Très vite, se développa une véritable industrie des besicles, les verres concaves (divergents) ayant été mis au point un peu plus tard. Nous pouvons sans trop de risques d’erreur dater de la même époque les premières projections lumineuses : une fois connues les lentilles, il est facile d’imaginer qu’un touche à tout observa la formation d’une image réelle puis imagina d’en faire un spectacle.

De quelle époque au fait ? Vasco Ronchi indique 1280-1285, ce qui nous semble diablement précis ; Bernard Maitte, lui, remonte au XI<sup>ème</sup>, ce qui semble confirmer les études de Grosseteste ; Pierre Germa, enfin, plus prudent, n’exclut pas l’hypothèse d’une origine extérieure, non précisée d’ailleurs ; Daguin (en 1868) parle de “la découverte d’une espèce de lanterne magique dans les ruines d’Herculanum” et d’ “une lentille de verre trouvée dans un très ancien tombeau romain” mais cette piste semble abandonnée par les historiens modernes.

Quoi qu’il en soit, dès le XIII<sup>ème</sup> siècle, toutes les composantes de la lanterne magique sont réunies : de la lumière, des dessins peints sur

des plaques de verre, une lentille pour en projeter l’image sur un écran. Il n’est pas impossible qu’Ibn al Haytham ou Roger Bacon aient réalisés les premières projections, mais nous n’avons aucune certitude à ce sujet.

Toujours est-il que la lanterne magique, comme la quasi-totalité des appareils scientifiques disparaît pendant les deux “siècles noirs” (XIV<sup>ème</sup> et XV<sup>ème</sup> siècles) où l’Europe, ravagée par la guerre et par la peste noire, est bien près d’être rayée de la carte du monde : rappelons simplement que la peste à elle seule fit périr entre le tiers et la moitié des européens...

### Les premières lanternes magiques.

Disparue, mais non oubliée, la lanterne magique réapparaît dès la Renaissance et passe entre les mains des “monteurs d’images”. Le Journal d’un bourgeois de Paris sous François 1<sup>er</sup> raconte la mésaventure d’un certain Cruche. Celui-ci, auteur, producteur et metteur en scène, comme souvent à l’époque, possédait “une lanterne par laquelle voyait toute chose”. Invité par des gentilhommes de la maison du Roi (incognito) à donner une représentation, il eut le malheur de présenter une satire assez vive et se retrouva, roué de coups, à la rue avant d’avoir bien compris la situation.

Nous ne savons pas comment était construite la lanterne de Cruche, mais il est probable qu’elle ne différait pas beaucoup de celles qui seront décrites avec force détails par la suite : une boîte en fer blanc ou en bois contenait une lampe à huile, un miroir concave réfléchissait la lumière, une lentille plan-convexe servant de condenseur (dont l’invention est attribuée à Léonard de Vinci), une seconde lentille jouant le rôle d’objectif, et un passe-vue recevant les plaques de verre peintes de couleurs transparentes. Peu de différences en somme, avec nos modernes projecteurs de diapositives. Il fallait certainement toute la stupéfaction et l’admiration des spectateurs pour faire passer les imperfections techniques, mais, après tout, c’est le propre des nouveautés : de nos jours, les spectacles laser et les hologrammes font courir les foules...

Le point le plus curieux de cette histoire est qu’aucune description de lanterne magique ne nous soit encore parvenue : son existence est inférée par des récits ou des contes, mais aucun détail technique n’apparaît.

Pouvons nous hasarder quelques explications ?

Il ne s’agissait pas vraiment d’un appareil scientifique, et le secret devait jouer un grand rôle dans son succès : nous retrouverons ce point avec le fantasmagorie de Robertson.

D’autre part, les notions d’antériorité et de propriété artistiques étaient encore très floues si bien que la plus extrême discrétion était de rigueur : Léonard de Vinci, pour ne citer que lui, écrivait “à l’envers”, en s’aidant d’un miroir, pour éviter le pillage de ses découvertes ; Nicolas Flamel, réputé à tort ou à raison comme l’un des plus célèbres alchimistes, venait tout juste de disparaître, et Nostradamus régnait encore sur l’esprit de Catherine de Médicis.

Enfin, nous ne devons pas exclure la disparition de documents qui étaient plutôt des recueils de recettes techniques et dont la

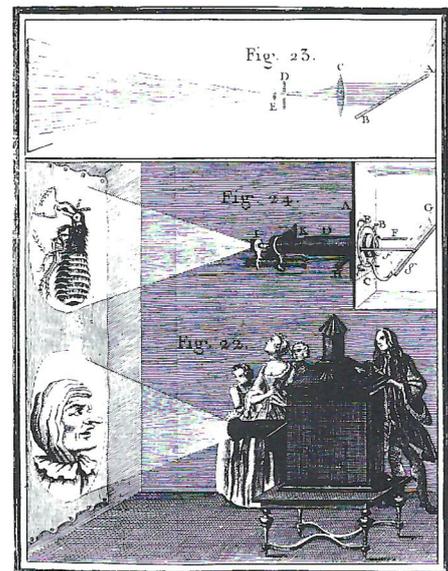
conservation à l’usage des générations futures n’était sans doute pas le souci majeur des auteurs et des utilisateurs : de nos jours encore, tant parmi les professeurs que parmi les élèves, qui se préoccupe vraiment de préserver des notes de cours ?

Nous laissons le lecteur juge et constatons que le premier ouvrage traitant de la lanterne magique est celui du père Athanase Kircher (1602-1680), *Ars Magna Lucis et Umbræ*, paru en 1646. De ce fait, le père Kircher passa longtemps pour l’inventeur de la lanterne magique, bien qu’il soit le premier à reconnaître le contraire : “Ego sane me meminisse ea et methodo Christi D.N. crucifixionem exacte in obscuro loco repræsentatam vidisse” (Je me souviens bien avoir vu représenter très exactement dans un lieu obscur par cette méthode [la lanterne magique] la crucifixion de N.S. J.-Christ).

Il semble bien que ce soit lui qui l’ait baptisée “magique” après qu’elle ait été successivement appelée catadioptrique, thaumaturgique et mégalographique, tous noms qui sentent d’une lieue leur physicien...

Dans son traité, le père Kircher donne une description aussi savoureuse qu’imprécise de la façon de réaliser une lanterne magique : “Faites une boîte en bois... et pratiquez une ouverture par où pourra passer la fumée de la lampe. [Celle-ci] est placée au milieu... En dedans de cette boîte est un tube de la longueur d’une palme. Un verre lenticulaire de la meilleure espèce est fixé à l’extrémité du tube ; à l’autre bout... se place une lame de verre bien transparente. Sur ce verre sera peint avec des couleurs transparentes tout ce que bon vous semblera... Il faut que la lumière de la lampe soit très intense, et en posant derrière la flamme un miroir concave en acier, la lumière est surprenante”.

Grâce à Kircher et à ses élèves, la lanterne magique est lancée dans le monde. Un peu partout en Europe, et en particulier à la cour de Louis XIV, les personnes du meilleur monde se font donner des représentations où l’on voit “des palais somptueux, des scènes de danse et de combat, qui provoquèrent une vive impression sur l’assistance”.



Microscope solaire (23-24) et lanterne magique (25). (d’après l’abbé Nollet).

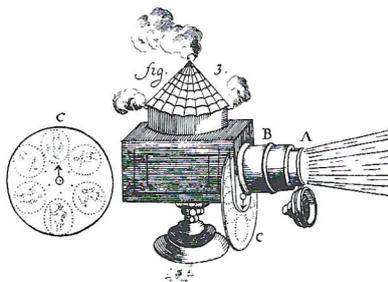
Cette vogue ne se démentira pas et bon nombre de savants emboîtent le pas à Kircher : ainsi Milliet de Chasles (1674), Johannes Zahn (1685) et surtout l'abbé Nollet.

L'abbé Nollet (1700-1770) reste sans conteste l'un des plus grands vulgarisateurs de la science, et ses leçons de Physique Expérimentale un modèle du genre. Il voit immédiatement tout le parti qu'il pourrait tirer de la lanterne magique pour illustrer ses exposés, à commencer par la description de son fonctionnement : "La lanterne magique est un de ces instruments qu'une trop grande célébrité à presque rendu ridicule aux yeux de bien des gens. On la promène dans les rues, on en divertit les enfants et le peuple ; cela prouve, avec le nom qu'elle porte, que ses effets sont curieux et surprenants : et parce que les trois quarts de ceux qui les voient ne sont pas en état d'en comprendre les causes... est-ce une raison pour se dispenser d'en instruire les personnes qui peuvent les entendre ?".

Notons en passant que l'abbé Nollet, comme Sigaud de la Fond et les autres physiciens du temps attribue la paternité de la lanterne magique à Kircher.

Johannes Zahn a l'idée de remplacer les traditionnelles plaques droites par un disque fixé au corps de la lanterne et portant six vues. Est-ce une simple commodité de projection, ou bien une des premières tentatives de restitution du mouvement ? Nous en sommes réduits à des hypothèses. Toutefois, c'est de cette époque que datent les vues animées, sans doutes mises au point vers 1735 par Van Musschenbroek (1692-1761), plus connu comme l'inventeur de la bouteille de Leyde.

Le principe en était assez simple : la figure à animer est divisée en deux parties peintes sur des plaques de verre différentes. La partie mobile est mise en mouvement par une tirette ou un cordon. Il est ainsi possible de faire tourner les ailes d'un moulin, de faire faire une révérence à une dame, de simuler une tempête, etc... Là encore, l'abbé Nollet fait œuvre de vul-



Lanterne de Zahn à six vues sur un disque. (d'après Remise).

garisateur et décrit avec force détails la façon de procéder.

Signalons, bien que ce soit un peu hors de notre propos, deux inventions de la même époque et jouant le rôle très voisin de celui de la lanterne magique : le microscope solaire dû à Lieberkühn vers 1740 et le mégascope dont l'auteur est inconnu, encore qu'il soit attribué à Charles.

Le microscope solaire est une lanterne éclairée par le Soleil et munie d'un objectif de courte focale, permettant donc un assez fort grossissement. Il permet d'observer de petits objets et surtout de petits animaux. Citons là encore l'abbé Nollet : "... un puce... se voit grosse comme un mouton, ... un cheveu paraît gros comme un manche à balai (sic) ; et les plus petits insectes qu'on puisse saisir avec la pointe d'une aiguille dans les eaux croupies se présentent avec des formes et des variétés qu'on ne se laisse point d'admirer".

Le mégascope également éclairé par le Soleil, seule source assez intense, permet de projeter l'image d'un petit objet opaque : feuille de papier, statuette... Il s'agit en fait de l'ancêtre de notre épidiroscope, et semble avoir eu pour principale utilisation l'aide au dessin, comme son aïeule la chambre noire.

Avant de quitter l'abbé Nollet, nous ne voudrions pas laisser l'impression que la lanterne magique était la seule préoccupation tant des physiciens que des amateurs de science. En fait, toute l'optique géométrique était à la mode, et les recueils de "récréations scientifiques" fourmillent d'expériences variées destinées au moins autant à illustrer les lois fondamentales qu'à créer des illusions plaisantes ou étonnantes.

La lanterne magique a désormais pris sa forme définitive, et ne subira au fil des temps que des améliorations de détail, portant sur l'éclairage et l'optique. Avant que les industriels ne s'en emparent, au XIX<sup>ème</sup> siècle, admirons le spectacle offert, comme le bouquet d'un feu d'artifice, par l'un des derniers touche à tout de génie qui ont fait la gloire du Siècle des Lumières, le physicien aéronaute Robertson.

### La fantasmagorie de Robertson.

Nous sommes en 1798. Après la Terreur (1792 : massacres de Septembre, 1793 : Comité de Salut Public, 1794 : chute de Robespierre, 1795 : Terreur blanche), Paris veut s'amuser. C'est l'époque des Muscadins et des Merveilleuses, des bals et des fêtes. Au Pavillon de l'Echiquier, à deux pas de la Porte Saint-Denis, puis au Couvent des Capucines (désaffecté), place Vendôme, un spectacle fait courir les fou-

les (riches : la place est à 6 F de l'époque, soit très approximativement 500 F actuels).

À côté des expériences "classiques" de mécanique, d'acoustique, d'électrostatique, "modernes" de galvanisme, basées sur les travaux tout récents de Galvani et de Volta, le clou du spectacle est constitué par des démonstrations d'optique et par un spectacle de lanterne magique, vite rebaptisé fantasmagorie par Robertson, qui joignait à d'autres qualités un sens très aigu de la publicité.

Qui donc était Robertson ?

De son vrai nom Etienne Gaspard Robert, il est le fils d'un riche directeur liégeois de mines de charbon. Après des études à Liège puis à l'Université de Louvain, il s'oriente vers la peinture tout en étudiant les sciences à ses moments perdus. A la suite, semble-t-il, d'un différend avec son père, il décide de partir à Paris en 1790 où il suit les cours de Brisson, neveu de l'abbé Nollet, puis ceux de Jacques Alexandre Charles, tout en peignant pour assurer son existence matérielle.



Montreurs de lanterne magique au XVIII<sup>e</sup> s. et orgue de Barbarie. (d'après Massin).

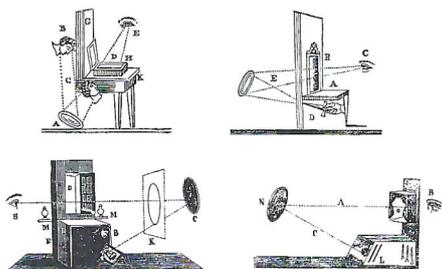
C'est lors de ce séjour que se situe un épisode qui montre jusqu'où pouvait aller la passion de Robertson pour l'optique. La seule source de lumière assez intense, à l'époque, était le Soleil, lorsqu'il voulait bien paraître. Pour l'introduire dans son laboratoire, Robertson n'avait pas hésité à percer les portes de son appartement. Au moment du départ, le propriétaire, apparemment peu sensible aux exigences de la science, le menaça "d'un de ces procès bizarres qui égalent les audiences des juges de paix". L'affaire s'arrangea sans doute puisque le procès n'eut pas lieu.

Il en repart en 1794, tant pour des raisons de santé, que, peut-être, pour mettre quelque distance entre lui et le Comité de Salut Public. Il revient en 1796, retourne à Liège comme professeur de physique à l'Ecole Centrale du Département de l'Ourthe. A l'incitation de Chappe, il démissionne en 1798 et revient s'installer à Paris qu'il ne quittera pratiquement plus jusqu'à sa mort en 1835.



Séance de lanterne magique. Noter à droite le joueur d'orgue de Barbarie. Gravure du XVIII<sup>e</sup> s. (d'après Remise).

# HISTOIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

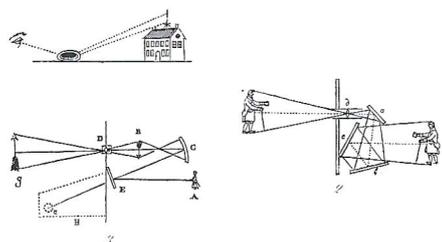


Trucages à l'aide de miroirs utilisés pour provoquer des apparitions. Les premières nécromancies devaient reposer sur ce principe. (d'après Robertson).

Réduite à son "noyau dur", la fantasmagorie n'est qu'une projection d'images, quelquefois animées – nous dirions un diaporama. Tout l'art de Robertson réside dans la façon de procéder, et dans le mystère qui accompagne chaque séance.

Premier point, la salle de spectacle. Contrairement à l'usage adopté jusqu'alors, elle est partagée en deux par un écran translucide, "en percale enduite d'un vernis d'amidon et de gomme arabique". Les spectateurs sont placés d'un côté de l'écran et le projectionniste de l'autre, ce qui élimine toute lumière parasite, entre autres celle de la lanterne elle-même. Cette disposition permet de maintenir les spectateurs dans l'obscurité complète et les prive ainsi de tout point de repère.

Second point, la lanterne. Elle est montée sur des roues, rendues silencieuses par du drap épais, et est guidée par des rails, ce qui permet de l'approcher ou de l'éloigner de l'écran, de 9 à 10 pouces (25cm environ) jusqu'à 15 ou 18 pieds (5 à 6m). Un ingénieux dispositif, imaginé par Robertson, couple le déplacement de l'objectif à celui de la lanterne et maintient la netteté de l'image.



1- Vérification de la qualité d'un miroir.  
 2-3 Redressement d'une image par un jeu de miroirs. (d'après Robertson).

L'objectif, l'un des meilleurs pour son temps, provient de chez Dollond à Londres. C'est ce Dollond qui avait réalisé en 1757 la correction des aberrations chromatiques, d'après la théorie d'Euler, et à l'encontre des conclusions de Newton.

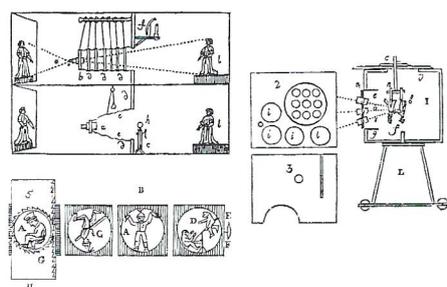
La source de lumière est toujours une lampe à huile d'olive, mais du modèle imaginé par Argand en 1783 et popularisé par Quinquet à la même époque. La mèche, cylindrique, est placée dans une cheminée de verre, qui assure un meilleur tirage et une combustion plus régulière, donc une flamme plus lumineuse. L'alimentation en huile est régulière par un dispositif à niveau constant basé sur le principe du vase de Mariotte.

Un diaphragme "en œil de chat", également commandé par une came, règle la luminosité de

l'image, des verres colorés facilitant la création d'ambiances particulières (clair de lune, incendie...). Il est ainsi possible de faire grandir une apparition tout en augmentant sa luminosité, ce qui donne l'illusion au spectateur qu'elle se précipite sur lui.

Les vues, dont certaines sont animées par les procédés dont nous avons déjà parlé, sont peintes sur fond opaque, ce qui en accroît l'effet.

Ajoutons à cela le bruitage, la musique, les commentaires de Robertson, la présence parmi les spectateurs d'aides munis de lanternes portatives qui leur permettaient de projeter çà et là des fantômes supplémentaires, des "spectres de fumée", mouvantes images aériennes formées dans la salle même sur de la fumée d'encens ou d'autres aromates, et l'on comprendra aisément



Divers appareils de Robertson. En bas, mécanisme d'animation de vues. (d'après Robertson).

l'enthousiasme du citoyen Poulitier : "Robertson appelle les fantômes, commande aux spectres, et fait repasser aux ombres qu'il évoque le fleuve de l'Achéron", ainsi que les réserves d'un certain citoyen Molin : "... ce spectacle ne devrait accorder l'entrée à aucune femme enceinte. La foudre... frappe ses sens délicats avec un éclat si terrible et si prompt qu'elle se croit terrassée... la mort... se montrant avec toutes ses horreurs, la trop sensible spectatrice ne paiera-t-elle pas aux dépens de son fruit son imprudente curiosité ?"

Si Robertson reconnaît que "plusieurs femmes avaient ordinairement besoin de recourir aux sels", il se défend d'avoir eu aucun incident plus sérieux.

Pour terminer, voici, toujours d'après Robertson, les descriptions sommaires de deux des scènes proposées.

**Young enterrant sa fille.** Young, portant le corps inanimé de sa fille, entre dans un souterrain où l'on découvre une suite de riches tombeaux. Young frappe sur le premier ; un squelette paraît, il s'enfuit.

**Diogène avec son tonneau.** Alexandre et Diogène. Diogène sort de son tonneau avec une lanterne et cherche un homme.

Malheureusement pour Robertson, une partie de ses trucages fut dévoilée au cours d'un procès contre un de ses anciens collaborateurs devenu concurrent. Le mystère dissipé, le public s'évanouit et Robertson doit fermer boutique.

## L'ère industrielle.

Après Robertson la lanterne magique subit une éclipse et disparaît pratiquement durant l'Empire et la Restauration. Sans doute les

tumultueux événements politiques de cette période y étaient-ils pour beaucoup. Signalons toutefois qu'une gravure de 1815 fait encore figurer le montreur de lanterne parmi les petits métiers de Paris (Massin).

Vers 1830, toutefois, elle réapparaît et la mode des projections à domicile se répand en ville. Le montreur de lanterne, en général accompagné d'un joueur d'orgue, parcourt les rues aux cris de "Lanterne magique ! Pièce curieuse à voir ! Monsieur le Soleil, madame la Lune, la création du monde et le jugement dernier !" Il suffit d'appeler l'homme de l'art, qui installe son matériel, et la représentation peut commencer.

Ce petit métier, sur lequel les auvergnats et les savoyards exerçaient un monopole de fait, disparut vers 1860, vaincu comme beaucoup d'autres par l'industrialisation.

Vers 1840, un ferblantier d'origine normande mais installé à Paris, décide de fabriquer des lanternes magiques, pour lui et ses amis d'abord, pour les marchands de jouets ensuite.

Les premiers modèles, très simples et très bon marché étaient destinés aux enfants : un corps de fer blanc, deux lentilles demi-boule servant de condensateur et d'objectif, une chandelle ou une lampe à huile, quelques plaques peintes à la main et le tour était joué : pour quelques francs (or !) tout un chacun pouvait organiser sa séance de projections.

Jusqu'à la fin du siècle, la maison Lapiere eut l'exclusivité mondiale de la production de lanternes magiques. Après Auguste, Edouard son fils, puis René, son petits-fils, développèrent l'entreprise qui déménagea plusieurs fois, à Paris d'abord, à Lagny (en Seine-et-Marne) enfin.

Après 1875, la concurrence étrangère naquit et devint rapidement pressante : allemande d'abord, anglaise puis américaine ensuite, amenant la société Lapiere à se diversifier.

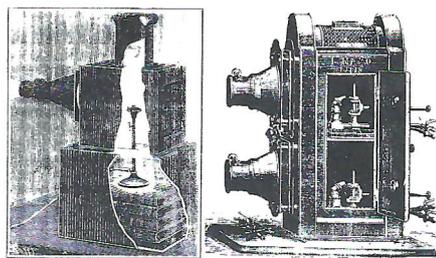
Parallèlement se développe une clientèle adulte, plus riche mais aussi plus exigeante : c'est à la même époque que naissent les premières photographies sur plaque de verre, donc projectables, et que la lanterne magique évolue vers l'accessoire indispensable de toute conférence éducative ou scientifique.

Cette évolution est aidée par, en même temps qu'elle commande, le progrès technique, selon le processus classique de rétroaction que nous observons de nos jours pour les micro-ordinateurs entre autres.

Ce progrès bénéficie aux éléments essentiels de la lanterne : l'éclairage et l'optique.

La bonne vieille lampe à huile (d'olive !) fumeuse et peu éclairante malgré les progrès apportés par Argand et Quinquet va être supplantée par trois nouveaux venus : le pétrole, l'éclairage Drumont et l'électricité. Le gaz d'éclairage, malgré quelques essais, ne fut jamais vraiment utilisé, sa flamme étant trop grande pour une projection de bonne qualité.

Le pétrole était connu depuis la plus haute antiquité, des affleurements naturels existant au Moyen Orient, mais il faut attendre les premiers forages (Drake 1858) et surtout les progrès de la chimie pour obtenir un liquide peu



A gauche, lanterne équipée d'un bec Auer à gaz. A droite lanterne double pour fondus enchaînés ou pour superposition d'une image et d'un commentaire. Noter l'éclairage de Drumont : un chalumeau porte à l'incandescence un bâton de craie.

onéreux. D'après Dérivière, l'éclairage au pétrole revenait en 1863 à peu près dix fois moins cher que celui aux bougies de cire. Le premier perfectionnement apporté à la lanterne magique vient de là : au lieu d'exiger une lampe spéciale, elle s'adapte à la lampe familiale ce qui en facilite l'usage.

L'éclairage de Drumont, du nom de son inventeur, est mis au point dès 1804 mais ne devient opérationnel qu'en 1865. Son principe est assez simple : un chalumeau oxyhydrique ou oxyacétylénique porte à l'incandescence un morceau de craie ou de magnésie. La source de lumière ainsi obtenue est stable, très intense, et de petites dimensions. Elle ne présente qu'un défaut, mais de taille, et qui est à l'origine de son abandon : elle exige une installation compliquée et onéreuse de production d'oxygène. De fait, elle est pratiquement réservée aux professionnels et cède très vite le pas devant l'électricité.

Celle-ci est née à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle. Dès 1808, Davy imagine de faire jaillir un arc entre deux baguettes de charbon. Toutefois l'éclairage électrique n'est vraiment utilisé qu'à partir de 1840, lorsque les piles sont assez puissantes, et que Foucault met au point un régulateur compensant l'usure des charbons. Là encore, le coût de l'installation et du fonctionnement réservent l'usage de l'arc électrique aux professionnels qui le conserveront d'ailleurs jusqu'à une date avancée.

À la même époque naît l'éclairage par incandescence, l'ampoule électrique, puisqu'il faut l'appeler par son nom. Dès l'invention de l'électricité, des essais ont lieu, parallèlement à ceux de l'arc électrique. Nous retrouvons Davy, puis une pléiade de physiciens, parmi lesquels se glisse un magicien : Robert Houdin. Nous n'aurons garde d'oublier Edison, qui reste l'inventeur de la lampe utilisable car fonctionnant plus de quelques minutes. Est-il nécessaire d'ajouter que l'ampoule électrique, récemment devenue "lampe halogène" a de nos jours supplanté toutes les autres sources de lumière ?

L'optique, sans subir de révolution comparable à celle de l'éclairage, a naturellement évolué au fur et à mesure des progrès de la technique.

Le miroir, dont le rôle est simplement de renvoyer vers l'avant une partie de la lumière, est longtemps resté identique à ce qu'il était au tout début. Les seules modifications notables, encore que récentes, sont l'incorporation à l'ampoule et le remplacement du métal par un empilement de couches diélectriques réfléchissant la lumière mais laissant passer l'infra-rouge (miroirs froids).

Le condensateur, d'abord simple lentille convergente, devient plus complexe au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle. Duboscq imagine d'associer deux lentilles biconvexes, puis Herschel améliore encore la situation à l'aide d'une lentille concavo-convexe (un ménisque). Pendant des décennies, le condensateur le plus utilisé est à double lentille plan convexe, ce qui assure la meilleure compensation des aberrations. Il n'a cédé que depuis peu la place aux lentilles asphériques et, pour les rétroprojecteurs, aux lentilles à échelons de Fresnel.

L'objectif est certainement la partie la plus importante du système optique. Si Kircher se contente d'un "verre lenticulaire de la meilleure espèce", l'abbé Nollet préconise déjà un système à deux lentilles. Par la suite, profitant des recherches sur l'objectif photographique, celui de la lanterne magique devient de plus en plus complexe, et atteint de nos jours six ou sept lentilles, la formule la plus courante étant dérivée de celle mise au point par Petzval en 1840.

Désormais, le sort de la lanterne magique est scellé. En tant qu'instrument de distraction populaire et familiale, elle connaît son chant du cygne à la fin du siècle. Vers 1900 les vues sont réalisées par décalcomanie, ce qui en réduit considérablement le prix. En même temps, un système de location est mis en place, analogue à celui des films "d'amateur" et, plus récemment, des vidéocassettes. Des livres ou des revues accompagnent les séries de vues, précisant le commentaire d'accompagnement. D'autres indiquent des trucs et tours de main, en particulier pour réaliser le bruitage : une tôle imite le tonnerre, du sable la pluie... Assez curieusement, nous retrouverons une situation voisine entre 1950 et 1970 avec le développement puis l'extinction du cinéma d'amateur et du "diaporama".

Quelques années plus tard, la lanterne magique n'est plus qu'un jouet d'enfant, avant de disparaître tout à fait. La parole est à présent aux gens sérieux : professeurs, conférenciers. Oserons nous dire que la poésie y perd ce que l'efficacité y gagne ?

## Conclusion

Modernes Pygmalions, nous avons vu naître et grandir la lanterne magique. Il ne lui manque plus que le geste et la parole. Ce sera chose faite avec le Théâtre Optique d'Emile Raynaud et le cinématographe des frères Lumière, puis avec le cinéma parlant des "années folles". Un peu plus tard, il y a tout juste cinquante ans, la télévision réalisera les rêves les plus fous de Jules Verne et de Robida. Les étranges lucarnes apportent à domicile le rêve et la réalité, et leurs images bien léchées, que l'on nous promet d'améliorer encore, nous feraient paraître bien ternes les projections tremblotantes de Kircher ou de Robertson.

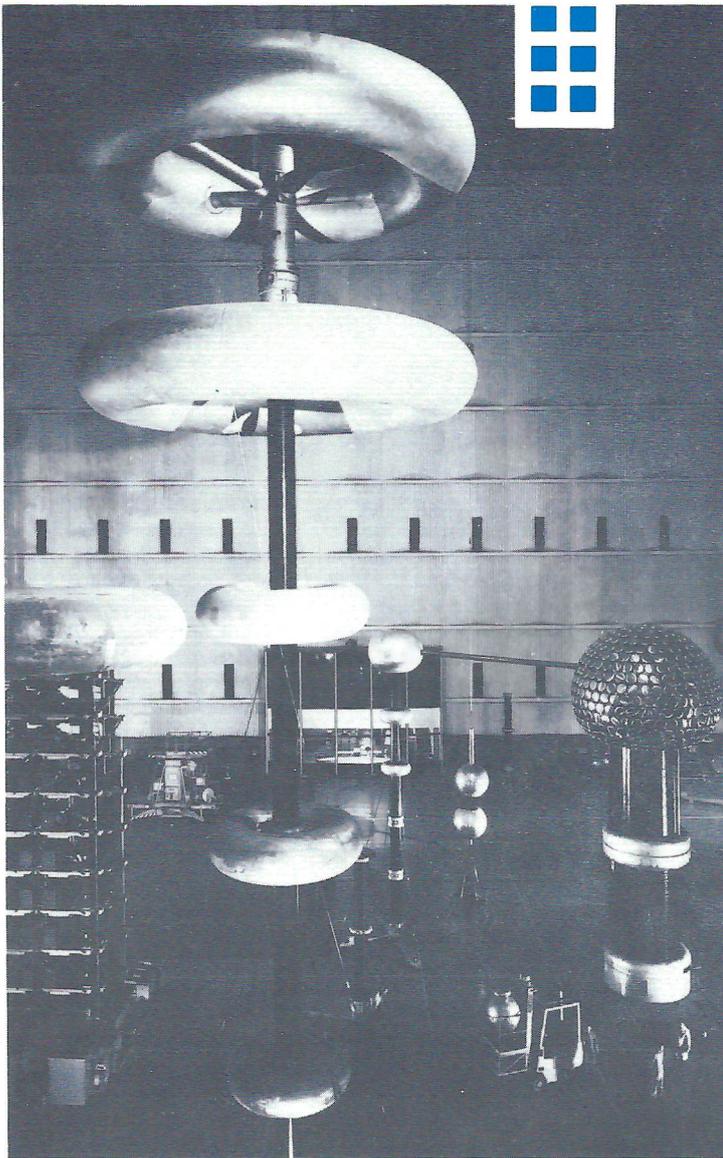
Tout au long de cette aventure, nous avons écouté les balbutiements d'une science, l'optique ; nous avons vu surgir et s'évanouir une foule d'inventions et d'expériences hétéroclites, de phénomènes curieux, d'instruments bizarres. Tout au long de cette histoire, nous avons rencontré des hommes, des savants, des prêtres, des magiciens, sincères ou fabulateurs, astucieux ou naïfs, géniaux le plus souvent mais toujours confrontés à un monde imaginaire différent du nôtre. Peut-être les savants, les bateleurs, les artistes qui ont su fasciner, effrayer et faire rire des générations d'enfants et d'adultes ont-ils réussi à vous étonner et à vous émouvoir un instant ? Si oui, vous aurez alors ressenti la fascination de la magie lumineuse.

Et nunc plaudite cives, acta est fabula.

## BIBLIOGRAPHIE

- M. BREWSTER  
 "Magie naturelle et amusante" - Roret, Paris 1839.
- A. DAGUIN  
 "Traité de Physique théorique et expérimentale", (t. IV) - Lagrave, Paris 1868.
- Jean-Baptiste DELLA PORTA.  
 "Magiae Naturalis" - Elisée Weyerstraten, Amsterdam 1664.
- Maurice et Paulette DERIBERE.  
 "Préhistoire et histoire de la lumière". France Empire, Paris 1979.
- EUCLIDE.  
 "L'optique et la Catoptrique" (Réédition). Blanchard, Paris 1959.
- Pierre GERMA.  
 "Depuis quand ? Les origines des choses de la vie quotidienne" - Berger Levrault, Paris 1979.
- Michel HENRY.  
 "La Formation des images" - La Recherche, Mai 1983, p. 572.  
 "Les Images Insolites" - La Recherche, Mai 1983, p. 614.
- W. HOOPER.  
 "Rational Recreations", (t. II) - Davis Londres 1787.
- Robert HOUDIN.  
 "Magie et Physique amusante". Camann-Levy, Paris 1898.
- P. LEURECHON.  
 "Récréations mathématiques" - Claude Prost, Lyon 1642.
- Bernard MAITTE.  
 "La Lumière" - Seuil, Paris 1981.

- F. MARION.  
 "L'Optique" - Hachette, Paris 1867.
- MASSIN.  
 "Les Cris de la Ville" - Gallimard, Paris 1978.
- Henri MICHEL.  
 "Images des Sciences" - Albert de Visscher Rhode-St-Genèse 1977.
- Abbé NOLLET.  
 "Leçons de Physique Expérimentale", (t. V) - Guérin, Paris 1755.  
 "L'Art des Expériences", (t. III) - Durand, Paris 1770.
- OZANAM.  
 "Récréations mathématiques et Physiques", (t. III) - Jombert, Paris 1723.
- Jac REMISE, Pascale REMISE, Régis VAN DE WALLE  
 "Magie Lumineuse" - Balland, Paris 1989.
- E.G. ROBERTSON.  
 "Mémoires récréatifs, scientifiques et anecdotiques" Clima, Langres 1985 (réédition).
- SENEQUE.  
 "Questions Naturelles" - Les Belles Lettres, Paris 1961 (réédition).
- SIGAUD de la FOND.  
 "Description et usage d'un cabinet de Physique Expérimentale", (t. II) - Gueffier, Paris 1784.
- Jean TORLAIS.  
 "Un Physicien au Siècle des Lumières : l'abbé Nollet", Jonas, Arqueil 1987.



Sodel conseil



Les applications de plus en plus larges de l'électricité exigent des recherches poussées. Améliorer les techniques existantes, mettre au point des procédés nouveaux, mais aussi être à l'écoute des utilisateurs pour adapter ces techniques nouvelles aux entreprises, c'est la vie quotidienne des chercheurs à Electricité de France.



***À EDF, DEMAIN  
COMMENCE AUJOURD'HUI***

**ELECTRICITE DE FRANCE** 

## LA RENTRÉE 1988 A L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE CHIMIE DE CLERMONT-FD

### ENSEIGNEMENT :

L'École Nationale Supérieure de Chimie de Clermont-Fd (ENSCCF), Etablissement autonome, rattaché à l'Université Blaise-Pascal, appartient au groupe des ENSI (Ecoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs) françaises spécialisées en Physique, Chimie, Génie Chimique et informatique. A ce titre son recrutement principal s'effectue par la voie de concours ENSI pour les élèves des Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles. Pour cette année la totalité des places offertes à ce concours (33) a été pourvue, confirmant à la fois l'intérêt manifesté actuellement pour la Chimie et la bonne place de l'ENSCCF dans le contexte national. Le recrutement parallèle (concours DEUG et concours sur titres pour les DUT) a été également qualitativement et quantitativement bon. Au total, c'est une promotion de 52 élèves (pour la grande majorité venant de l'extérieur de l'Auvergne) qui s'ajoute aux promotions de seconde année (52 élèves) et de 3<sup>ème</sup> année (48 élèves) amenant l'effectif de l'ENSCCF à un niveau record (152 élèves). Il n'est pas inutile de souligner l'effort considérable de l'Etablissement dont l'effectif global était de 69 élèves en 1978 et de 107 élèves en 1983. Compte-tenu des locaux, équipements et personnels de l'ENSCCF, cet effectif d'environ 150 élèves ne pourrait être dépassé sans difficultés. Il est comparable aux effectifs des autres ENSI de Chimie françaises.

Cet accroissement des effectifs s'est accompagné d'une profonde rénovation pédagogique, portant sur l'ensemble des enseignements et réalisée entre 1986 et 1988. Particulièrement, trois options ont été créées en 3<sup>ème</sup> année : Chimie Organique Fine et Industrielle, Matériaux Inorganiques et Matériaux Organiques. Ces options s'appuient sur le potentiel des laboratoires de recherche de l'ENSCCF et de l'Université Blaise-Pascal et correspondent à des secteurs économiques porteurs d'avenir. C'est pourquoi la part

prise par les industriels dans l'enseignement est importante, sous la forme de projets, de stages en Entreprise, de cours et de séminaires.

Les moyens mis à la disposition des élèves-ingénieurs ont été parallèlement accrus et améliorés. On peut souligner l'importance accordée aux sciences pour l'Ingénieur en indiquant qu'en 1988-1989, l'équipement informatique destiné à l'enseignement sera entièrement renouvelé. Cette année verra également le renforcement de l'enseignement de génie chimique avec l'arrivée d'un professeur supplémentaire.

Les débouchés actuels procurés par l'industrie sont tout-à-fait satisfaisants et les observateurs économiques s'accordent pour penser que le volume important d'offres d'emplois s'adressant aux ingénieurs-chimistes devrait se maintenir durant la prochaine décennie.

### RECHERCHE ET TRANSFERTS DE TECHNOLOGIE :

L'ENSCCF possède un groupe de laboratoires de recherche, associés au CNRS ou recommandés par le Ministère de l'Éducation Nationale : Laboratoire de Photochimie (professeur J. Lemaire), Laboratoire de Chimie des Solides (Professeur J.C. Cousseins), Laboratoire de Synthèse Organique (Professeur R. Vessière) et Laboratoire de Chimie et Biochimie des Glucides (Professeur J. Gelas). Les élèves de 3<sup>ème</sup> année ont la possibilité d'effectuer un DEA puis une thèse de Doctorat dans l'un de ces laboratoires ou dans l'un des laboratoires de Chimie de l'UFR de Recherche de l'Université Blaise-Pascal.

Au titre des transferts de technologie, soulignons la liaison du laboratoire de Photochimie avec le Centre National

d'Évaluation de Photoprotection, Société anonyme récemment créée sur le Campus des Cèzeaux, ainsi que celle du Laboratoire de Chimie des Solides avec le CRITT matériaux. Signalons qu'en 1989, une action du Fonds d'innovation Technologique sera pilotée par l'ENSCCF, conjointement avec le Pôle Technologique Régional.

Un reproche souvent formulé à l'égard des Grandes Ecoles est de ne pas faire suffisamment de recherche. On ne sait sans doute pas assez que ce reproche n'est pas fondé pour les ENSI de Chimie qui ont toujours eu des activités importantes dans la recherche, en particulier en raison des liens étroits maintenus avec les Universités de rattachement. Ceci se traduit notamment par le nombre important d'ingénieurs-chimistes formés par la recherche et l'ENSCCF ne fait pas exception sur le plan national, puisque 27 % de la promotion de 3<sup>ème</sup> année suit également les enseignements du DEA et que 25 à 30 % des élèves diplômés en 1986 et 1987 sont actuellement en cours de thèse à Clermont-Fd ou dans des laboratoires de la France entière (bourses CNRS ou contrats industriels).

On peut donc considérer qu'actuellement l'ENSCCF est en bonne santé, avec un recrutement et un placement satisfaisants. L'activité de recherche et de transfert technologique de l'Etablissement, bien perçue par les instances nationales, complète harmonieusement les activités pédagogiques de l'École.

La participation de l'ENSCCF à l'organisation des Olympiques de la Chimie sera cette année encore la manifestation du souci de cette École d'Ingénieurs de susciter des vocations de chimistes parmi les lycéens de notre Région.

*Ce bulletin est le dernier de l'année 1988. Adressez-nous sans tarder votre bulletin d'adhésion pour 1989.*

## MESURE DU RAYON DE LA TERRE

• Erathostène, bibliothécaire d'Alexandrie vers 230 avant J.-C. avait remarqué que le jour du solstice d'été, le soleil éclairait le fond d'un puits à Syène en Egypte (près de la ville actuelle d'Assouan). Le même jour, à midi, il mesura l'ombre d'un obélisque à Alexandrie et, après avoir évalué la distance Syène-Alexandrie, il en déduisit le rayon de la Terre.

Je me suis inspiré de cette méthode, en l'adaptant à nos latitudes et à un moment quelconque de l'année, pour évaluer le rayon de la Terre avec des élèves de Collège.

En coopération avec des élèves de 3<sup>ème</sup> d'un Collège de Lille en 1983 puis de Saint-Quentin en 1985 (villes situées sur le même méridien que Clermont-Ferrand) nous avons obtenu une précision de 1,5 % sur l'évaluation de ce rayon, ceci en mesurant l'ombre d'un bâtiment le même jour au moment où le soleil passe au méridien.

Cette expérience, aux résultats très intéressants, a passionné les élèves. Un compte-rendu détaillé est en préparation. Nous envisageons de refaire cette expérience cette année (niveau 3<sup>ème</sup> et au-delà). Les enseignants intéressés peuvent se faire connaître dès maintenant.

J. CHAPELLE.



## MATÉRIEL PÉDAGOGIQUE

adapté aux programmes de la 6<sup>e</sup> aux classes préparatoires



Application Développement  
 Electronique Vorezien  
 B.P.1 - Route du Puy

43800 VOREY-SUR-ARZON  
 Tél. 71 03 73 16

Télex : 392562 - Télécopie : 71 03 74 45

Référence	Désignation
87 011	Platine Logique ADASTA (Programme 5 <sup>e</sup> ).
87 012	Platine Ampli-Op ADASTA (avec l'équipement pour le programme de seconde).
88 020	Alimentation continue stabilisée 6V, 1A.
88 021	Alimentation continue stabilisée réglable (-15V, +15V).
88 049	Boîtier alimentation 6V, 1A.
88 050	Plaquette circuit redresseur.
88 050 A	Ensemble 88 049 et 88 050 permettant l'étude d'une alimentation stabilisée (4 <sup>e</sup> et 1 <sup>e</sup> ).
88 051	Adaptation pour la platine logique (5 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> ) comprenant divers montages utilisant LED, LDR, CTN, FET.
88 052	Plaquette permettant l'étude d'un générateur de courant ainsi que la charge et la décharge d'un condensateur (adaptable sur la platine Ampli-Op 87 012).
88 053	Lot de 2 composants pour l'étude des circuits intégrateur et différentiateur (adaptables sur la platine 87 012).
88 054	Sonde thermométrique (adaptable sur 87 012).
88 055	Jeu de 5 cavaliers et 10 bornes (en kit) pour d'autres équipements de la platine ADASTA 87 012.

ENVOI DU CATALOGUE AVEC PRIX SUR DEMANDE

## LAMES MINCES ET BULLES DE SAVON (2<sup>ème</sup> partie)

Dans un article précédent (voir Auvergne Sciences n° 6), j'ai décrit quelques expériences très faciles à réaliser et très démonstratives qui mettent en évidence les forces de tension superficielle.

Ce sont ces forces qui permettent d'expliquer la forme des gouttes de liquide. Quand on forme des gouttes d'eau à l'aide d'une seringue on peut constater que plus les gouttes sont petites plus elles se rapprochent de la forme sphérique. En effet, les forces de pesanteur diminuent plus vite que les forces de tension superficielle. Lorsque le poids de la goutte est négligeable devant cette tension, la goutte prend la forme qui lui donne le minimum d'aire pour un volume donné, c'est-à-dire justement la forme sphérique.

Ces forces permettent également d'expliquer pourquoi les poils d'un pinceau se rassemblent lorsqu'on le sort de l'eau ; elles permettent de comprendre le rôle du buvard, de la mèche d'une bougie ou d'une lampe à huile, etc...

Disons encore quelques mots sur l'ascension capillaire, c'est-à-dire la propriété qu'ont les liquides, grâce aux forces de tension superficielle, de s'élever dans des tubes de faible section.

### Ascension dans les tubes capillaires

A défaut d'un tube mince, chacun pourra réaliser l'expérience suivante (Fig. 8) : à l'aide de

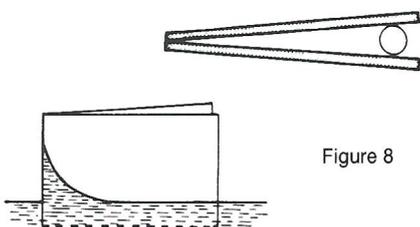


Figure 8

deux petites plaques de verre rectangulaires et bien propres (morceau de verre) dont les dimensions sont par exemple  $10 \times 8 \text{ cm}^2$ , on réalise un coin d'air en plaçant une cale (une aiguille) sur un côté. Les deux plaques sont maintenues par des pinces à linge ou un élastique. On place le dispositif verticalement sur un récipient contenant de l'eau (il suffit de poser le dispositif sur une plaque de verre et d'ajouter quelques gouttes d'eau). On constate que le liquide monte entre les deux plaques et d'autant plus que l'épaisseur du coin est plus faible. Dans le cas présent la surface de l'eau du coin est une hyperbole équilatère. On rendra le phénomène plus facilement observable en colorant l'eau avec un peu d'encre.

La tension superficielle de l'eau est grande, ce qui explique qu'il soit difficile d'obtenir des

lames d'eau minces (l'eau a tendance à se rassembler en gouttes). En revanche, si l'on ajoute du teepol, ces lames sont très faciles à obtenir. Plongeons les bords d'un verre dans une telle solution : on retire le verre fermé par une lame mince qui s'anime rapidement de vives couleurs.

### II - LAMES MINCES ET BULLES DE SAVON

#### Préparation d'un liquide pour lames minces et bulles

Les lames minces qu'on obtient par la méthode précédente ne durent pas très longtemps, car l'eau s'évapore vite, surtout si on opère en atmosphère sèche. On obtient des lames qui persistent beaucoup plus longtemps en ajoutant de la glycérine.

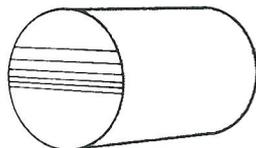


Figure 9

Chacun pourra chercher la meilleure formule "glycérique". Signalons qu'on obtient en général de bons résultats en mélangeant un volume d'eau, un volume de teepol et un volume de glycérine (achetée en pharmacie). Avec les différents détergents utilisés pour la vaisselle on fera des essais avant de fixer son choix. Une lame sur un verre doit durer plusieurs minutes. Il faudra préparer environ un demi-litre de liquide glycérique.

On a intérêt à réaliser les différentes expériences suivantes dans un local où l'atmosphère est humide et où on ne craint pas trop les taches de liquide dues aux bulles vagabondes...

#### Couleurs de lames minces

A l'aide d'un verre trempé dans le liquide glycérique, formons une lame mince et plaçons le verre de manière que la lame soit dans un plan vertical (Fig. 9). Cette lame constitue un miroir dans lequel nous pouvons regarder une source étendue de lumière (la fenêtre, ou mieux le ciel).

En haut de la lame apparaissent très vite des bandes colorées horizontales, avec des couleurs de plus en plus vives. On peut compter 6 ou 7 franges où dominent les roses et les verts. Au-dessus des bandes colorées on observe une teinte grise puis noire. La lame noire a une

épaisseur extrêmement faible, elle ne va pas tarder à disparaître !

L'explication de ce phénomène fait appel à la théorie des interférences lumineuses.

Une partie de la lumière est réfléchiée par la première face de la lame et interfère avec la lumière réfléchiée par la deuxième face. Or l'état d'interférence dépend de l'épaisseur de la lame. Si par exemple pour une certaine épaisseur  $e$ , la différence de chemin entre les rayons lumineux notés (1) et (2) est telle que l'on ait l'obscurité

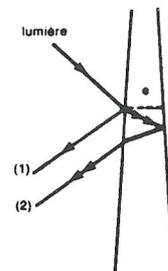


Figure 10

pour le jaune, cette radiation va manquer et on observera en ce point la couleur complémentaire, c'est-à-dire une couleur bleue. A chaque couleur observée correspond une épaisseur donnée. La lame étant disposée verticalement, son épaisseur augmente vers le bas sous l'action de son propre poids. Tous les points d'une même ligne horizontale ont même épaisseur et c'est pourquoi on observe des bandes colorées horizontales.

L'épaisseur de la lame qui correspond à une teinte vive est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière, c'est-à-dire inférieure à 1  $\mu\text{m}$  (micromètre ou millième de millimètre). Les teintes vertes et roses du bas de la lame correspondent à des épaisseurs de quelques  $\mu\text{m}$ .

En réalité une bonne stratification des couleurs est fragile car la moindre perturbation de l'air détruit l'édifice. D'autres causes, liées au mélange glycérique, peuvent intervenir également.

Si l'on veut obtenir des lames très minces (mais très fragiles) on prendra un mélange glycérique contenant très peu de teepol et de glycérine. Les photographes convenablement équipés pourront trouver là un sujet d'une grande richesse.

#### Réalisation des bulles

Lorsque la pression est la même des deux côtés d'une lame, celle-ci est plane, sinon la lame devient courbe. Commençons par réaliser des bulles sphériques. Pour cela il faut se procurer des tubes, en verre ou en matière plastique. Un bon moyen pour obtenir de grosses bulles est d'utiliser un petit entonnoir (Fig. 11).

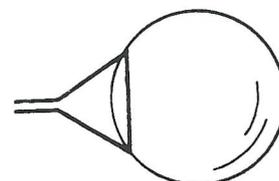


Figure 11

# POUR TOUS

On prélève une lame de liquide sur le bord large et on souffle avec précaution dans le tube. Si la bulle ne se détache pas seule on donne un petit coup sec qui éloigne l'entonnoir de la bulle.

On peut également obtenir des bulles avec un anneau sur lequel on a formé une lame : en produisant un déplacement brusque de l'anneau, par exemple vers la gauche, la résistance de l'air exerce une force vers la droite qui déforme la lame en créant une poche qui se détache pour donner une sphère. (Fig. 12).

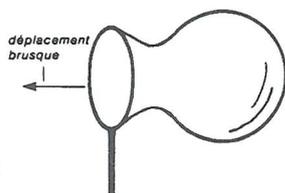


Figure 12

Les bulles obtenues sont bien sphériques. En effet leur poids est très petit devant les forces de tension superficielle qui ont tendance, nous le savons, à donner à l'air la plus faible possible.

Normalement on n'aura aucune difficulté à réaliser des bulles de 10 cm de diamètre.

Les bulles gonflées avec du méthane montent car ce gaz est beaucoup moins dense que l'air.

## Quelques propriétés des bulles

On peut toucher une bulle et la déformer à l'aide d'un objet mouillé mais si on la touche avec un objet sec elle crève en général aussitôt. Si l'on veut crever une bulle ou une lame dans un assemblage on la touchera avec un petit tortillon de papier filtre qui absorbe l'eau.

Pour réaliser des expériences sur une bulle on aura intérêt à la poser sur un anneau métallique mouillé maintenu dans un plan horizontal. On pourra, par exemple, introduire dans la bulle un tube de verre (une pipette) contenant un peu de liquide glycérique et souffler une 2<sup>ème</sup> bulle à l'intérieur de la 1<sup>ère</sup> (Fig. 13).

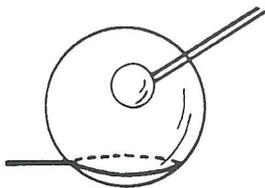


Figure 13

Deux bulles qui se rencontrent peuvent rebondir l'une contre l'autre comme 2 balles élastiques mais le plus souvent elles s'associent et sont alors séparées par une lame sphérique.

Il est intéressant d'observer le comportement des bulles qui tombent sur la surface d'un liquide (ou, ce qui est souvent plus commode à observer, sur une plaque de verre mouillée). On verra parfois des bulles rouler sur la surface avant d'adhérer au liquide. Dès qu'une bulle adhère, elle s'affaisse et prend la forme d'un hémisphère, ce que l'on pourra vérifier en plaçant l'œil près du niveau de la plaque de verre.

On verra l'image de la demi-bulle dans le miroir que constitue la plaque. Cette image forme bien avec la demi-bulle une sphère. Il en est de même pour toutes les demi-bulles adhérentes, quelles que soient leurs dimensions. Cette expérience est très spectaculaire si on la projette à l'aide d'un rétroprojecteur : on observe de belles circonférences sombres sur un fond clair. (Fig. 14).

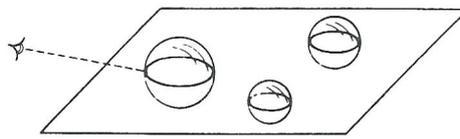


Figure 14

On a vu que les bulles sont extrêmement légères (de l'ordre du mg). Il est donc normal de les voir attirées par un champ électrique.

Une règle en plexiglas est chargée d'électricité par frottement à l'aide d'un lainage : des bulles qui passent dans le voisinage sont vivement attirées par la règle et celles qui ne crèvent pas dans le choc sont ensuite repoussées, car elles ont été chargées d'électricité de même signe.

## La pression dans les bulles

Il est facile de montrer qu'il existe à l'intérieur d'une bulle, une surpression par rapport à la pression extérieure. Par exemple, si on l'a formée à l'aide d'un entonnoir, une bulle se dégon-

fle spontanément par l'intermédiaire du tube et le courant d'air qui en résulte est capable de souffler la flamme d'une bougie (Fig. 15).

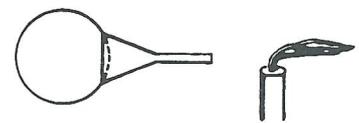


Figure 15

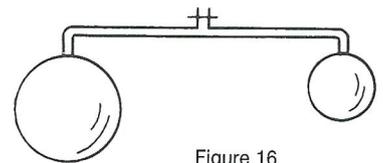


Figure 16

Plus la bulle est grosse plus la surpression est faible et cette propriété permet d'expliquer une expérience surprenante à première vue. A l'aide du dispositif de la figure 16, on souffle deux bulles de diamètres différents ; lorsqu'on les met en communication, on constate que la petite bulle se dégonfle au profit de la grosse !

R.J. (à suivre)

# ASTRONOMIE ACTIVITÉS PROPOSÉES PAR L'ADASTA AVEC LE SOUTIEN DE LA MAFFEN AU COURS DE L'ANNÉE 88-89

*Animateur* : M. Jean Chapelle, professeur au Collège G. Philippe à Clermont-Ferrand, et Président de l'Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne.

## 1. Projection commentée d'un diaporama dans les établissements scolaires : "Connaissances de l'Univers"

Ce document comprend les meilleures photographies réalisées par la NASA au cours des différentes missions spatiales (Apollo sur la Lune, Viking sur Mars, Voyager près de Jupiter et Saturne) et par l'Observatoire du Mont Palomar (Nébuleuses, Amas d'étoiles et Galaxies). Durée conseillée : 2 heures, (durée réduite : 1 heure).

## 2. Installation d'un planétarium dans les établissements scolaires.

Il s'agit d'un planétarium GOTO EX3, remarquable instrument pédagogique qui permet :

- de reproduire sur une coupole de 3,50 m de diamètre (pouvant accueillir 25 élèves à la fois) la vision du ciel nocturne et de réaliser les mouvements apparents des étoiles, du soleil, de la lune, des planètes,...
- de justifier les saisons.
- de mettre en évidence les conditions d'observation de ces autres et de visionner ces phénomènes sous d'autres latitudes.

*M. Chapelle ne pouvant assurer personnellement la mise en place et l'animation en cas de demandes trop nombreuses, organise un stage de formation le mercredi 16 novembre (voir plus loin).*

*Toute personne ayant participé à ce stage sera en mesure d'utiliser le planétarium dans son établissement (durée du prêt : une ou deux semaines).*

## 3. Observations astronomiques à l'observatoire de l'Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne.

L'observatoire de l'AAAA est situé sur le plateau des Cézeaux, dans le complexe universitaire. Il est équipé d'un télescope très performant et de tout le matériel nécessaire pour l'observation et la réalisation de photographies astronomiques.

Des soirées d'observation sont organisées à l'intention des enseignants, des élèves et de leurs parents.

## 4. Aide aux Projets d'Action Educatif (PAE).

L'ADASTA peut apporter une aide aux PAE ayant pour thème l'astronomie.

## 5. Actions de Formation.

Tous les enseignants intéressés peuvent participer aux stages suivants (après inscription préalable) qui se dérouleront au Département de Physique, Complexe des Cézeaux, 24, avenue des Landais à Aubière.

- a) MERCREDI 16 NOVEMBRE 1988 (de 14 à 18 heures). Utilisation du planétarium GOTO EX3 (voir plus haut).
- b) MERCREDI 14 DECEMBRE 1988 (de 14 à 18 heures). Activités réalisables en Astronomie avec des élèves des Lycées et Collèges.
- c) MERCREDI 18 JANVIER 1989 (de 14 à 18 heures). Principe de la lunette astronomique et du télescope : réalisation d'une lunette simple et d'un petit télescope.
- d) MERCREDI 15 MARS 1989 (de 14 à 18 heures). La photographie astronomique à la portée de tous : comment réaliser simplement des photographies en astronomie.

## VISITE A LA CENTRALE DE TCHERNOBYL

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

### CONFÉRENCE DU 10 FÉVRIER 1988

C'est le 10 février 1988 que le Groupe Régional Auvergne de la SFEN, à l'occasion de son Assemblée Générale, a invité M. Vignon, chef du Service Etudes et Projets Nucléaires d'EDF, à faire une conférence au CRDP sur Tchernobyl.

Ce sujet brûlant, qui a secoué l'Europe entière, a attiré plus de 250 personnes. Le conférencier a fait un brillant exposé accompagné d'un film tourné sur les lieux de la catastrophe quelques heures après l'événement (le cameraman est décédé quelques semaines plus tard, victime de sa mission).

Voici le compte-rendu de la visite faite à la centrale de Tchernobyl par M. Vignon lui-même, dans le cadre d'une mission scientifique et qu'il a bien voulu nous communiquer.

Qu'il soit remercié pour cet authentique témoignage.

On trouvera ci-après un compte-rendu factuel de la visite dirigée par M. Jacques Leclercq à la Centrale de Tchernobyl le 6 juin 1987. Elle s'est située dans le cadre plus général d'une mission consacrée à la coopération scientifique et technique dans le domaine de l'exploitation des réacteurs qui s'est déroulée du 1<sup>er</sup> au 7 juin à la suite de l'accord donné par M. Y.K. Semenov<sup>(1)</sup>.

Ce compte-rendu est tout entier fondé sur les informations données par les personnalités rencontrées et sur les observations faites au cours de la visite<sup>(2)</sup>, qui ont été regroupées selon les thèmes suivants<sup>(3)</sup> : l'accident et ses conséquences, l'organisation ultérieure pour l'exploitation des tranches et la décontamination de la région ; les travaux de "liquidation" des conséquences de l'accident. On doit souligner la qualité de l'accueil réservé à notre mission (la première à notre connaissance de "spécialistes" occidentaux), et la détermination et l'enthousiasme dont font preuve les autorités en place à Tchernobyl pour parvenir le plus tôt possible à des conditions d'environnement plus satisfaisantes.

Avant de rentrer dans la présentation des faits, on ne peut cependant se retenir d'évoquer une impression générale : Tchernobyl, c'est une zone contrôlée d'environ 30 km, que tous ses

habitants ont quitté. Les terres ne sont plus cultivées, les maisons sont abandonnées de même que les villes. Bien que les travaux sur les tranches 5 et 6 aient été arrêtés, une intense activité humaine s'y poursuit, toute entière consacrée à exploiter les tranches 1 et 2, rendre à l'exploitation la tranche 3, éviter par tous les moyens la contamination des eaux du Dniepr. Les engins militaires croisent en permanence les véhicules civils à l'extérieur même du site, des camps de toile militaires, localisés à la périphérie de la zone sont visibles sur les anciennes prairies. Les routes sont élargies et surélevées pour être mieux à l'abri de la contamination. Les alentours de la centrale sont un immense chantier de travaux publics : déboisement, terrassements, construction d'une voie ferrée... Ce gigantesque effort, mené dans un environnement particulièrement difficile a déjà donné des résultats appréciables.

### 1 - L'ACCIDENT ET SES CONSÉQUENCES SUR L'EXPLOITATION

Parmi les exploitants rencontrés<sup>(4)</sup> un seul appartenait à l'état major de la centrale avant l'accident (M. G. Borodhvkov, Ingénieur Automatismes et Instrumentation avant l'accident, et maintenant Secrétaire de la cellule du parti de la centrale). Le nouveau directeur de la centrale, M. Oumanets était précédemment directeur de la centrale de Léninegrad.

Le procès des principaux responsables, plusieurs fois annoncé dans la presse soviétique, aurait lieu au début de juillet à Kiev. "De nombreux témoins sont susceptibles de rejoindre les accusés pendant le procès".

#### A - L'essai

L'essai qui fut à l'origine de l'accident avait, semble-t-il, déjà été proposé à trois autres centrales qui avaient refusé de le faire ; nos interlocuteurs attribuent à l'orgueil le fait que les responsables de Tchernobyl aient accepté de l'exécuter. Pendant cet essai, l'Adjoint au Directeur Technique de la Centrale était présent en salle de commande, et c'est lui qui aurait pris toutes les décisions. Une présence de ce niveau est requise dans les centrales RBMK chaque fois qu'il y a un changement de réactivité, pour nos interlocuteurs, la responsabilité de l'ingénieur électricien plus spécifiquement en charge de l'essai, et dont la présence est confirmée, n'est en aucune manière engagée...

#### B - L'Accident

La mise en service des circuits de refroidissement de secours de la tranche accidentée se serait poursuivie plusieurs jours, puis arrêtée du fait de l'inondation de la tranche 3 (arrêt au bout de quelques heures selon les informations données à l'A.I.E.A.). Cette injection aurait limité le dégagement d'activité, contribuant à la faible irradiation des habitants évacués les plus tôt (notamment ceux de Pripjat).

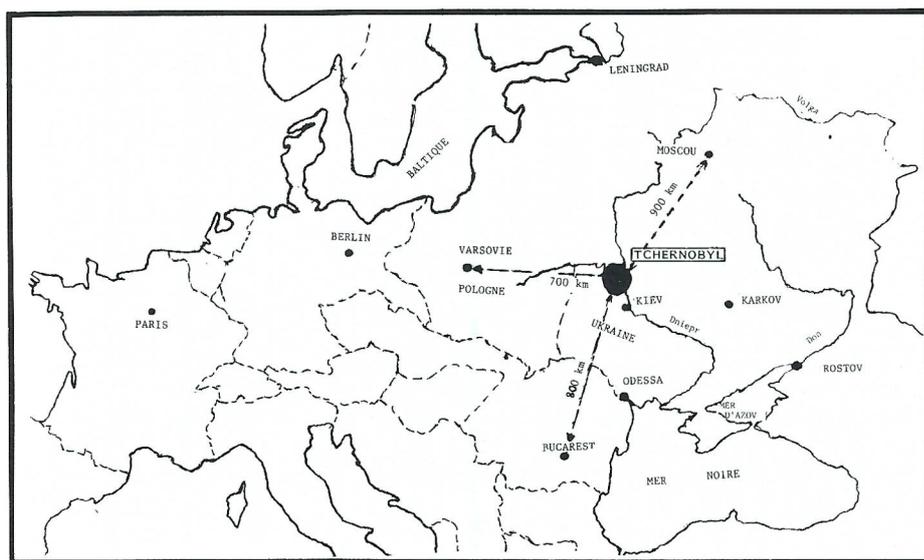
(1) M. SEMENOV est vice-président pour l'Electricité et le Charbon utilisé pour l'électricité du Bureau du Complexe des Combustibles et de l'Energie. Ce bureau coordonne l'activité des divers ministères intervenant dans le secteur énergétique. Il est présidé par M. Tchchebina qui a rang de vice-premier ministre.

(2) Cependant, aucun document écrit ne nous a été remis.

(3) On n'a pas repris les informations déjà publiées, notamment par les soviétiques à l'A.I.E.A.

(4) Le Chef de Centrale, le Directeur Technique, l'Adjoint au Directeur Technique.

*Nous avons également échangé quelques mots avec le Chef de Quart de la tranche 1 pendant notre visite ; il avait pris le premier quart suivant l'accident, sur cette même tranche.*



Le tunnel creusé sous la tranche 4 a servi uniquement à conforter la tenue de son radier et à installer des capteurs de température. Aucune injection d'azote liquide dans le sol n'a été effectuée.

L'évacuation des personnes habitant dans la zone des 30 km a nécessité une intense mobilisation de moyens : environ 1200 cars dont 800 de Kiev. Une partie des moyens de transport sont considérés comme non décontaminables et sont stockés dans la ville de Pripjat. Une autre partie a été décontaminée mais n'est utilisée que dans la zone des 30 km ; les sièges sont recouverts de housses plastiques et l'intérieur est régulièrement décontaminé au jet. Une autre enfin a été restituée à un usage normal. Il en est de même des véhicules particuliers des habitants de la zone.

Les habitants de Pripjat, ville de 45000 habitants et dont l'architecture est celle d'une grande ville des années cinquante-soixante, ont été évacués facilement et rapidement (dose moyenne 3,3 rem). L'évacuation des 90000 autres personnes habitant dans la zone des 30 km a pris près de cinq jours. La présence aux fenêtres de nombreuses isbas, y compris hors de la zone de 30 km, de feuille de vinyl atteste les mesures de confinement, la dose moyenne reçue par les 24000 habitants de la zone 3 à 15 km (hors Pripjat) a été de 43 rem.

### C - La situation actuelle des tranches

La salle de commande de la tranche 3 n'a jamais posé de problème d'ambiance, rendant ainsi plus facile la surveillance de cette tranche à l'arrêt. En revanche, d'autres locaux de cette tranche sont difficilement accessibles ; les travaux de décontamination s'y poursuivent. Le cœur de ce réacteur "n'a pas souffert", et "sauf imprévu, la tranche serait remise en service à la fin de l'année". La tranche 2 vient d'achever son arrêt annuel pour maintenance ; la dose collective directement liée à cet arrêt n'a pas été supérieure à celle des arrêts annuels antérieurs. Bien entendu, il faut y ajouter la dose reçue en dehors de la tranche.

(Débit de dose en salle des machines lors de notre présence : 0,3 mrad/h) ; de ce fait, le personnel d'exploitation recevra en moyenne une dose individuelle d'environ 3 rem/an. (A comparer à 0,2 - 0,3 pour les REP français).

Actuellement les tranches 1 et 2 sont exploitées normalement. Elles ont à ce jour produit 6 TWh depuis l'accident. Les travaux des tranches 5 et 6 sont suspendus (mais la décision d'arrêt définitif n'est pas officiellement prise contrairement à certaines informations parues en occident). Cette décision est cependant fort vraisemblable (selon certains de nos interlocuteurs).

Des modifications ont été réalisées et sont en service en tranches 1 et 2 (remplacement d'assemblages combustibles par des absorbants, mise en place d'un dispositif rapide de chutes de barres, adjonction d'un indicateur donnant la marge d'antiréactivité et de plusieurs alarmes). Les procédures de conduite ont été modifiées pour intégrer ces modifications, mais n'ont pas été modifiées quant à leur présentation ou organisation (notes techniques de

plusieurs dizaines de pages classées dans une armoire dont la clef est détenue par le Chef de quart).

### D - La situation actuelle de l'environnement

La zone d'exclusion de trente kilomètres autour de la centrale est maintenue et aucune activité n'a lieu dans cette zone, hormis celle directement liée à la centrale et à l'accident. Un contrôle sanitaire est régulièrement effectué sur les cultures dans un rayon de 100 km autour de la centrale ; il serait depuis longtemps toujours en-dessous des "normes internationales". Il y aurait six points d'entrées dans la zone ; entre Kiev et le point entrée le plus proche de cette ville, il y a deux contrôles d'activité de véhicules.

Toute personne rentrant dans la zone des 30 km se fait notifier les prescriptions et directives ci-après : fermer les fenêtres des véhicules, ne pas aller sur les bas côtés, ne pas se promener, ne pas utiliser l'eau des sources naturelles, porter des lunettes de soleil quand il fait beau, éviter de fumer. A titre d'exemple de l'irradiation, on peut indiquer qu'à Pripjat, à 7 km environ au nord de la centrale, la dose ambiante est de 0,3 mrad/h et de 3 mrad/h au contact du sol. Tous les animaux errants ont été abattus (nous avons cependant aperçu un chien).

Douze villages dans la zone de 30 km ont été réoccupés, deux en Ukraine et dix en Biélorussie (c'est-à-dire plus loin au nord du site). L'activité agricole est menée selon les recommandations du ministère de l'agriculture ; les cultures effectuées sont normales (pommes-de-terre, blé) mais des prescriptions sont données sur les façons culturales (les procédés qui entraînent des poussières sont prohibés, les tracteurs sont équipés de cabines fermées...). Dans ces villages, les maisons ont été décontaminées, mais les sols n'ont pas fait l'objet de traitements particuliers. Il n'est pas programmé la réinstallation dans d'autres villages.

## 2 - L'ORGANISATION MISE EN PLACE POUR RECOUVRER UNE SITUATION ACCEPTABLE.

### A - L'organisation

Il a été mis en place en 1986 une Commission d'Etat dépendant directement du Conseil des Ministres, et "chargée de la liquidation des conséquences de l'accident de Tchernobyl". Elle dépend de M. Chtcherbina qui tient périodiquement les réunions de coordination sur le site ; elle comprend un "groupe opérationnel" qui a une représentation permanente dans la zone (seul bâtiment neuf préfabriqué construit à Tchernobyl, à 15 km de la Centrale). Elle assure la coordination entre les divers ministères et en particulier entre les civils et les militaires.

Dans la zone des 30 km, les activités civiles sont regroupées au sein d'un Combinat de 10000 personnes (dont 4000 sont l'effectif normal de la Centrale) et 6000 participent aux travaux de "liquidation des conséquences". Ces 6000 personnes sont affectées à des activités de soutien (transport, alimentation, communication) et des activités opérationnelles (décontamination permanente des routes par aspersion d'eau, travaux spécifiques...).

Nous n'avons pas eu d'information sur les effectifs militaires (apparemment au moins aussi nombreux que les effectifs civils) dont le commandement serait assuré par un Général de Division.

### B - Les conditions de vie

Les militaires résident dans les camps de toile à la périphérie de la zone ; sont présents les appelés, qui interviennent environ un mois dans des zones fortement contaminées jusqu'à recevoir une irradiation d'environ 4 rem, puis dans des zones moins contaminées ; et les réservistes de 30-35 ans au moins convoqués pour des périodes de un mois. En aucun cas, la dose reçue ne dépasse 5 rem.

Les civils, non exploitants, sont hébergés à Tchernobyl où des précautions spécifiques leur sont demandées (fréquents nettoyages à l'eau des chambres ; fréquents lavages des vêtements, draps, etc...); de la terre est raménée devant quelques édifices publics (restaurant...) pour y faire pousser des fleurs. La plupart des autres civils et notamment le personnel d'exploitation habitent dans une cité préfabriquée sur le bord du Dniepr à 40 km de la Centrale (lieu-dit de Cap Vert). Au tout début, des bateaux servant à la circulation des personnes sur le Dniepr (sortes d'autobus du Dniepr) avaient été amenés à cet endroit pour l'hébergement. Les personnels d'exploitation sont amenés quotidiennement à la Centrale où ils effectuent un quart de 12 heures ; ils travaillent un total de 150 heures puis retournent auprès de leurs familles pour une durée équivalente. Il n'y a pratiquement pas eu de travail en "sous-marin". Au début, les personnels venaient du Cap Vert en véhicules blindés jusqu'à la centrale ; depuis longtemps, ils viennent en cars.

A terme, une nouvelle ville d'environ 70000 habitants va être construite à Slavoutich, à 60 km du site, qui pourra accueillir les personnels d'exploitation et leurs familles.

Les personnels civils bénéficient d'avantages salariaux (salaire actuellement doublé, mais il semble que cela ait été au-delà). Nos interlocuteurs font part d'un intense mouvement de solidarité, et d'un important volontariat.

La dosimétrie est également contrôlée et la limite des 5 rem est stricte ; il nous a semblé cependant qu'elle était fondée sur des évaluations par postes de travail plus que sur l'utilisation de dosimètres individuels. Environ 10% du personnel d'exploitation a atteint 5 rem et a dû être renouvelé ; dans les quatre premiers mois, 80% du personnel d'exploitation de 1987 est en-dessous de 1 rem.

## 3 - LES TRAVAUX DE "LIQUIDATION DE L'AVARIE"

Outre l'exploitation des tranches 1 et 2 et la construction du "sarcophage", les travaux sont orientés vers la récupération de la tranche 3, la restauration de conditions d'environnement satisfaisantes pour le personnel d'exploitation, et la limitation des conséquences de la pollution des eaux.

## CONFÉRENCES

### A - Les travaux aux alentours immédiats de la Centrale.

Un progrès très important a été accompli avec la construction du sarcophage de la tranche accidentée, achevé avant l'hiver dernier. Les débris les plus actifs y ont été rassemblés ; des grands panneaux préfabriqués en acier ont ainsi permis de constituer une pyramide pleine et bourrée de béton ; 300 000 m<sup>3</sup> de béton de 10 000 t d'acier ont été mis en œuvre dans un délai de l'ordre de 3 mois.

Les moyens mis en œuvre ont été considérables, et en hommes, et en engins (au moins 1000 d'après une estimation très approximative). Sans avoir directement vu ces matériels, il est clair que les engins de travaux publics ont été aménagés avec cabines étanches protégées pour la conduite et que nombre d'entre eux ont été télécommandés.

Aux alentours immédiats de la tranche accidentée, le sol a été gratté sur un mètre, et rassemblé en tas recouverts de blocs de béton préfabriqué pour limiter l'irradiation (sol sableux : dose initiale à environ 300 m de la centrale : plusieurs milliers de rad/h ; actuellement 16 mrad/h).

A une distance proche (500 m - 1 km), une forêt de pins a été abattue et enfouie, les troncs recouverts de terre. Elle est appelée "la forêt rousse". Trente hectares ont déjà été traités ainsi ; cinquante autres devraient l'être l'hiver prochain. Il semble qu'outre l'esthétique, la contamination alpha de cette forêt est gênante.

Les toits et murs des immeubles de la ville de Pripjat ont été décontaminés, sans doute pour éviter un retour de la contamination par voie aérienne vers la Centrale. Il semble peu vraisemblable que cette ville soit récupérée.

Pour le reste, les soviétiques s'attachent à "fixer la contamination", par projection de produits qui favorisent sa diffusion vers le sol. Aucune information sur les produits utilisés, les surfaces traitées... n'a été donnée au cours de cette visite.

Aux alentours immédiats de la Centrale circulent de gros camions aspirateurs, munis de filtres, qui aspirent à environ un mètre du sol afin de limiter la contamination par les poussières.

### B - La production des eaux

Une paroi moulée discontinue de 45 m a été construite à proximité des tranches. Des puits de pompage ont été prévus ; ils ne sont pas utilisés compte tenu d'un niveau de contamination jugé acceptable.

Des travaux très importants ont été faits pour empêcher le transport de la contamination des eaux de surface vers le Dniepr : 136 barrages en matériaux poreux (terre, zéolite, etc...) avec des fosses en amont, retiennent les limons qui fixent l'essentiel de la contamination. En outre, à l'entrée du réservoir de Kiev, un piège à limon a été constitué (large et profonde tranchée transversale au fond du fleuve Pripjat).

Les soviétiques sont très satisfaits des résultats obtenus (10<sup>-11</sup> Ci/h là où antérieurement à l'accident, il y avait 10<sup>-12</sup> Ci/h ; nous ne connaissons cependant pas la localisation précise du point de prélèvement. Ils pensent à posteriori que ces précautions ont été excessives, mais les crues à la suite de la fonte des neiges, ont été moins importantes que prévues.

### C - Récupération des cultures

Il n'y a pas de perspectives calendaires de réinstallations (cf § 1.D) ; certaines terres seront

reboisées. Des serres, préexistantes à l'accident sont en service à Pripjat pour des cultures expérimentales. Ces cultures ont lieu sur un sol environ 10 fois moins contaminé que celui de la ville de Pripjat correspondant à l'état naturel des terres à 20 km du site. Il nous a été indiqué que d'autres cultures avaient lieu, et qu'un vaste programme était en cours.

### CONCLUSION

Actuellement les soviétiques ont visiblement mis en place une organisation puissante et efficace décidée à revenir à une situation plus normale vers la fin 88, et qui a de grandes chances d'y parvenir. Ils travaillent avec une volonté évidente d'assurer la radioprotection des très importantes effectifs d'intervention et poursuivent trois objectifs prioritaires :

- remettre en service la tranche 3 vers la fin de l'année.
- retrouver des conditions d'environnement plus satisfaisantes autour de la centrale ; le personnel d'exploitation sera cependant à terme logé dans une nouvelle ville à 60 km du site.
- bloquer la dissémination de la contamination vers les eaux du Dniepr.

La réoccupation complète de la zone des 30 km et le retour à sa vocation initiale, comme la reprise des travaux sur les tranches 5 et 6, semblent un objectif plus lointain et aléatoire.

#### EXPOSITION AU CENTRE ATHANOR A MONTLUÇON

Du 1<sup>er</sup> au 28 avril 1989 sera présentée, au Centre Athanor à Montluçon, l'exposition itinérante, créée par la Maison des Volcans à Aurillac et ayant pour thème : "Les Volcans de France".



Centre de Recherche de Riom (Puy-de-Dôme)

# LES INSECTES, MI-MERVEILLES MI-DÉMONS

L'ADASTA présentera, du 20 février au 22 mars 1989, au CRDP de Clermont-Ferrand, la grande exposition créée par le Palais de la Découverte et ayant pour titre : "Les insectes, mi-merveilles, mi-démons".

On rencontre des insectes partout, dans l'eau et sur la terre, sur les plantes et les animaux, se déplaçant sur le sol, creusant des galeries ou volant dans l'air. Ils sont universellement répartis là où la vie animale est possible. Généralement le nombre et la diversité des espèces d'insectes diminuent de l'Équateur vers les pôles et de la plaine vers les manteaux neigeux des montagnes. Ils deviennent très nombreux, revêtent des couleurs plus variées, plus éclatantes et sont plus gigantesques lorsqu'ils habitent près de l'équateur.

Un insecte répond au signallement suivant : corps articulé, divisé en 3 parties : tête, thorax, abdomen et toujours 6 pattes.

L'entomologie (de entomon : insecte et logos : étude) est la partie de la zoologie qui traite des insectes. L'entomologie est l'apanage des entomologistes, professionnels ou amateurs.

A la fois mi-merveilles et mi-démons, les insectes se présentent sous les formes les plus étranges ; ils miment leur environnement à la perfection et sont capables de telles adaptations que l'homme a parfois du mal à lutter pour améliorer son bien être (agriculture, santé,...).

Le but de l'exposition est de présenter les 2 thèmes fondamentaux suivants :

- 1) - Considérations générales : morphologie, anatomie, physiologie, moléculaire, virologie, analyses génétiques, systématiques, etc... ;
- 2) - Les grands traits de la recherche entomologique d'aujourd'hui : concepts, techniques et programmes utilisés pour la compréhension de la biologie afin de concilier leur mode de vie avec celui de l'homme.

L'exposition est constituée d'environ 70 panneaux, traitant les 7 points principaux qui sont :

## 1) - La présentation générale de l'insecte :

Expliquant sa structure, ses caractéristiques adaptatives, son écologie ; évoquant son histoire depuis ses origines jusqu'à nos jours sans oublier les relations avec les hommes. Un éclat géant et animé d'Acridien matérialise son organisation générale.

## 2) - Les insectes et la génétique :

La Mouche du Vinaigre ou Drosophile, Super-Star. Elle est devenue, par la facilité d'élevage, la forte fécondité et la grande variabilité génétique, un matériel de laboratoire très performant pour les généticiens. Les études entreprises sur cette petite mouche de 5 mm de longueur, ont permis l'analyse des mutations affectant ses différents comportements. Des manipulations vous seront présentées dans le cadre des ateliers qui viendront en complément de l'exposition.

## 3) - Les insectes sociaux :

Evoquent le plus extraordinaire des exemples sur le comportement collectif chez les animaux. Les termites, les fourmis, les abeilles, sollicitent les sens de l'olfaction, du toucher, du goût et de la vision pour communiquer dans une sphère où grouillent des centaines de milliers d'individus. Certaines sociétés d'insectes atteignent un haut degré d'organisation caractérisé par la spécialisation des castes. Un élevage de fourmis champignonistes d'origine tropicale illustre le niveau de sociabilité du groupe des ouvriers dans la confection du nid "nourricier" indispensable à leur alimentation.

## 4) - Les insectes du sol et des arbres :

Le sol est une véritable zone de contact entre l'air, l'eau et le sous-sol. Il est parmi les écosystèmes l'un des plus riches en organismes de la biosphère ; abritant des espèces hypogées possédant des caractères primitifs (Collembolles, Protoures, Diploures). Ils sont à l'origine de la décomposition et du recyclage de la matière organique morte.

Les arbres ne sont pas épargnés : feuilles, branches, écorce, aubier sont gâtés par les capricornes, les cétoines, les scolytes,... C'est l'état physiologique de l'arbre qui conditionne les attaques.

Les cigales illustreront le sol et l'arbre. Une reconnaissance des espèces de cigales par le chant sera présentée à l'aide d'un film vidéo.

## 5) - Les insectes de "l'Arc-en-ciel" :

Ceux qui viennent à l'esprit sont les papillons, mais bien d'autres tels que buprestes, chryso-mèles, scarabées et carabes, se parent de couleurs vives et chatoyantes. Les écailles moirées et rutilantes frappent et charment les personnes même les moins sensibles aux beautés naturelles. Elles exercent un pouvoir d'attraction évident sur tous ceux qui voient avec ravissement passer devant eux au soleil un papillon aux ailes brillamment colorées. En fait, les couleurs et les dessins qui ornent les ailes des papillons sont constitués par des mosaïques composées de minuscules écailles (0,1 mm x 0,05 mm) imbriquées les unes sur les autres à la manière des tuiles sur un toit. Ainsi aux 120000 espèces recensées par les lépidoptéristes (spécialistes des papillons) correspondent autant de motifs différents. Au sein de l'exposition une vidéo présentera la physique et la chimie des couleurs des ailes de papillons.

## 6) - Les insectes nuisibles à l'agriculture :

Les atteintes portées par les insectes aux cultures de toutes sortes dans le monde entier sont très importantes, voire dramatiques dans certains pays, aussi bien en plein champ que dans les aires de stockage. N'oublions pas que la nourriture de l'homme est sensiblement iden-

tique à celle des insectes. Il vous sera facile d'évaluer la vitesse des dégâts que peuvent occasionner une colonie de charançons (coléoptères granivores) à travers la paroi de verre d'une colonne remplie de grains de céréales.

Dans un champ de céréale existe une faune entomologique importante et très diversifiée. La pullulation des insectes engendrée par l'apport de nourriture qu'est la culture elle-même, est relativement facile à maîtriser au moyen d'insecticides de synthèse, mais l'environnement est parfois touché. Simultanément, nous détruisons les indésirables et les prédateurs présents, auxiliaires de l'agriculteur ! En raison de cette technique paradoxale, diverses méthodes de lutte ont été mises au point pour limiter les ravageurs et épargner les auxiliaires.

Les théories de la recherche sur la lutte biologique et la lutte intégrée sont illustrées par divers exemples : colonies de pucerons, larves et adultes des teignes, des céréales, des bruches, des charançons,...

## 7) - Les insectes nuisibles à la santé :

Incontestablement nous pensons aux moustiques, aux mouches et aux moucheron. Si les insectes européens occasionnent au pire des allergies, même parfois graves, les insectes des régions tropicales sont les vecteurs d'êtres unicellulaires et de virus à l'origine de nombreuses épidémies graves et même mortelles chez les hommes et les animaux : Paludisme (Protozoaire) ; Filariose (Vers Nématodes) ; Arboviroses (virus), etc... Chez les moustiques, seules les espèces sont agressives. Une femelle porteuse ne se représente pas les symptômes graves qu'elle peut engendrer à la suite d'une simple piqûre qui lui assure sa pérennité ! Et elles sont des centaines à utiliser ce repas de sang pour la fécondation des œufs. La mouche tsé-tsé, parmi d'autres est présente dans les terrariums de l'exposition et anime les panneaux traitant de leur tumultueuse vie.

J.J. BIGNON

## P.S.M. COMPOSANTS

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



29, place du Changil  
 63000 CLERMONT-FERRAND  
 Tél. 73 31 13 76



## UN NOUVEAU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE ET D'INTERVENTION PHYTOSANITAIRE EN FORÊT

Les problèmes phytosanitaires sont vécus par les forestiers qui y sont confrontés comme angoissants : chacun se sent désarmé, insuffisamment formé mais parfaitement conscient qu'il n'existe pas de solutions miraculeuses. Il apparaît une demande explicite et exigeante d'un service de surveillance et d'intervention sanitaire dans l'espace forestier, très présent sur le terrain et à la disposition des propriétaires et des gestionnaires pour les assister dans leurs prises de décisions. Ce besoin n'était qu'en partie satisfait par le recours aux spécialistes du CEMAGREF, de l'INRA ou même parfois du service de la protection des végétaux.

Au début de 1984, à la demande de M. Rinville, alors directeur des forêts, et sur les conseils de M. Lacaze, responsable des départements forestiers de l'INRA et du CEMAGREF, une réflexion informelle a été entamée, au travers de contacts bilatéraux entre les divers organismes concernés (DF, ONF, INRA, CEMAGREF, PV,...) et de réunions de spécialistes.

Des propositions ont été mises en consultation, au printemps 1987, sur proposition de M. Coulbois, directeur de l'espace rural et de la forêt, le ministre de l'agriculture a décidé la création d'un réseau de surveillance sanitaire et de conseil à l'intervention, géré sur le plan technique par un département de la santé des forêts. La circulaire du 10 mai 1988 a précisé la nouvelle organisation qui privilégie délibérément la collaboration de tous les organismes intéressés.

### 1. LES OBJECTIFS

• Les forestiers ont perdu toute illusion sur la possibilité qu'aurait un service sanitaire forestier à fonctionner efficacement sur un modèle médical : intervention d'un spécialiste lorsque le problème devient gênant, et délivrance d'une ordonnance pharmaceutique qu'il suffirait de respecter pour avoir toutes les chances de guérison. Les sylviculteurs, tant privés que publics, souhaitent raisonner en

terme d'analyse de risque et réclament l'intervention de forestiers formés aux problèmes phytosanitaires et connaissent bien les contraintes de la gestion forestière pour les assister dans leur prise de décision, au terme d'un dialogue.

Ce spécialiste, dont on n'attend pas de vérité infaillible mais une assistance pour examiner toutes les solutions possibles (dont celles de ne rien faire ou de se donner une échéance pour revoir le problème) et les risques qui leur sont liés, doit pouvoir conseiller les décideurs dans la mise en œuvre des interventions arrêtées à titre individuel ou collectif.

• Compte-tenu de la faiblesse des moyens dont dispose le forestier pour intervenir, un consensus fort se dégage pour réclamer la mise en place d'un réseau d'alerte, permettant de repérer les problèmes le plus tôt possible afin de conserver le maximum de chances d'agir efficacement. Cela veut dire qu'un spécialiste doit avoir accès aux résultats de toutes les observations, tant positives que négatives, afin de les analyser, les synthétiser, et mobiliser à bon escient les partenaires forestiers pour circonscrire en intensité et en superficie les dangers identifiés.

### 2. LA NOUVELLE ORGANISATION A COMPTER DU 1<sup>er</sup> JANVIER 1989.

Au service technique des partenaires de la forêt privée et de la forêt publique, le département de la santé des forêts de la DERF n'exerce aucune mission réglementaire de police ou de financement. Les attributions des DRAF (SRFB et SRPV) demeurent inchangées.

Sous la responsabilité technique d'un échelon central, le nouveau dispositif de surveillance et d'intervention phytosanitaire en forêt est organisé de la façon suivante :

#### a) Un réseau structuré d'observateurs, ciblé sur les principaux dangers locaux.

Le schéma retenu repose sur le principe de la constitution d'équipes de techniciens forestiers (pour l'essentiel), volontaires, formés aux principaux problèmes locaux, et fonctionnant en réseau structuré d'observateurs.

Pour la forêt privée, les services chargés de la forêt dans les DRAF et les DDAF et les organisations de la forêt privée (CRPF, coopératives, CETEF...) peuvent être parties prenantes de ce réseau, sur la base du volontariat et suivant des modalités contractuelles clairement définies.

Leur participation prend alors la forme d'une contribution importante, dans la limite des moyens disponibles, par la désignation d'un ou plusieurs agents, motivés par les questions phytosanitaires, pour exercer les fonctions de correspondants observateurs. Ces agents remplissent leur mission sous l'autorité de leur supérieur hiérarchique, dans la limite d'un certain nombre de jours ouvrables (une trentaine en règle générale, répartis dans l'année en fonction de la biologie des ravageurs et agents pathogènes surveillés. Un modèle de convention-cadre entre la DERF et les CRPF a été mis au point conjointement avec l'ANCRPF. La DERF indemnise, sur une base forfaitaire, les organismes partie prenante des surcoûts engagés.

#### b) Un niveau interrégional d'alerte et de conseil au sylviculteur

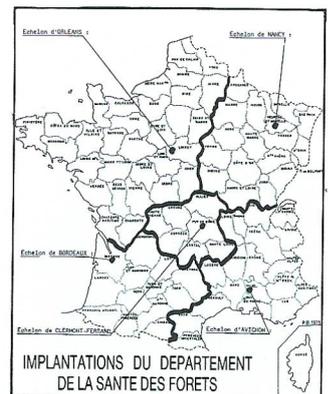
Dans chacune des cinq interrégions (carte ci-jointe) une équipe composée d'un ingénieur des travaux des eaux et forêts et d'un technicien assume les missions suivantes :

- mise en place et fonctionnement des réseaux de surveillance et d'alerte, analyse et synthèse des informations recueillies concernant la santé des forêts (fiches d'observation, informations ponctuelles, échantillons adressés pour diagnostics, données climatiques, etc...); diffusion de l'in-

formation synthétisée auprès des organisations professionnelles.

- assistance aux sylviculteurs, via leurs organisations pour répondre à leur besoin en matière phytosanitaire.
- assistance aux services régionaux de la forêt et du bois (SRFB) des DRAF et leurs partenaires locaux pour organiser les interventions sylvicoles, chimiques ou biologiques sur un problème identifié.
- participation avec l'assistance méthodologique des services régionaux de la protection des végétaux à certaines expérimentations de terrain (essais dans le cadre des procédures d'homologation de produits phytosanitaires en forêt,...) sur la base d'un programme annuel arrêté par le directeur de l'espace rural et de la forêt.

Les échelons techniques sont implantés auprès des services régionaux de la protection des végétaux (SRPV) et placés sous autorité administrative du DRAF de la région d'accueil. Ils sont placés sous l'autorité technique du chef du département de la santé des forêts de la DERF.



### LISTE DES SIGLES UTILISÉS

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.  
 CEMAGREF : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts.  
 DF : Direction des Forêts.  
 ONF : Office National des Forêts.  
 PV : Protection des Végétaux.  
 DRAF : Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt.  
 SRFB : Service Régional de la Forêt et du Bois.

SRPV : Service Régional de la Protection des Végétaux.  
 DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.  
 CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière.  
 CETEF : Centre d'Etudes Techniques Forestières.  
 DERF : Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.  
 ANCRPF : Association Nationale des CRPF.

L'échelon de Clermont-Fd est implanté à Marmilhat. Pour tout renseignement, s'adresser à M. LEGRAND ou M. BOUTTE, Département de la Santé des Forêts, B.P.45 Marmilhat, 63370 Lempdes - Tél. 73924250

## UNE UNIVERSITÉ D'ÉTÉ CONSACRÉE A L'EXPÉRIMENTATION DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES



Les stagiaires lors de la conférence de M. Hulin.

Pour la deuxième année consécutive l'ADASTA a organisé, en liaison avec le Département de Physique de l'Université Blaise Pascal et la Mission Académique à la formation des Maîtres, une Université d'été portant sur l'enseignement expérimental de la physique.

22 professeurs des lycées et collèges provenant des diverses Académies de France, ainsi que deux professeurs originaires d'Algérie et de Madagascar s'étaient donné rendez-vous aux Cézéaux pour réfléchir sur les méthodes d'enseignement les mieux adaptées à la transmission des connaissances scientifiques.

Tout le monde sait que notre enseignement scientifique est en crise. D'abord, crise de recrutement des Maîtres qui sont peu nombreux, et malgré la situation actuelle de l'emploi, à vouloir s'engager dans une profession difficile où les conditions matérielles sont peu encourageantes. Conséquence directe de cette situation : difficulté à assurer un enseignement de qualité susceptible d'attirer de nombreux jeunes vers les carrières scientifiques dont le pays a besoin.

La physique est une science expérimentale et son enseignement doit nécessairement tenir compte de cette évidence en profitant des possibilités nouvelles qui s'offrent régulièrement : techniques et matériaux nouveaux, appareils plus performants... Ainsi tout professeur de physique devrait avoir désormais à sa disposition un rétroprojecteur grâce auquel de nombreuses expériences deviennent très spectaculaires ; il n'est plus possible à notre époque d'enseigner l'optique sans le secours du laser qui donne à la démonstration expérimentale une clarté insoupçonnée jusque-là. Mais le Maître doit toujours montrer le lien qui existe entre notre environnement

quotidien et son enseignement, rendre l'expérience aussi simple, aussi démonstrative, aussi belle que possible pour entraîner l'adhésion de son auditoire exigeant...

Le programme de l'Université d'été a été composé de manière à attirer l'attention des stagiaires sur divers points importants de la technique expérimentale : conférences de M. Henry (histoire de la lanterne magique), de M. Hulin, Directeur du Palais de la Découverte, sur les problèmes de l'expérimentation dans un grand Musée scientifique, de MM. Calas, Bon, Depreux et Jouanisson sur divers sujets d'optique, de mécanique, d'électronique. Dans cette dernière discipline, notamment, les stagiaires ont pu réaliser techniquement toutes les étapes de la construction d'une plaquette permettant l'étude d'une alimentation stabilisée. Et chacun n'était pas peu fier de repartir dans son lycée avec "sa" réalisation !

Les stagiaires ont pu également visiter les laboratoires de recherche de la manufacture Michelin et admirer les possibilités d'une technique comme la microscopie électronique associée à un traitement des images.

Une visite de l'usine MSD Chibret à Riom figurait également au programme ainsi qu'une ascension du Puy-de-Dôme au cours de laquelle on a pu refaire la célèbre expérience imaginée par Pascal pour mettre en évidence la pesanteur de l'air.

Au cours de cette Université d'été plusieurs personnalités nous ont fait l'honneur d'une visite pendant les travaux des stagiaires : outre M. Hulin, déjà cité, nous avons reçu M. le Recteur J.P. Chaudet, M. le Doyen A. Saison, M. l'Inspecteur Général Gié ainsi que M. Irigaray, Chef de la Mission Académique.

## RENOUVELLEMENT DU CART

Le nouveau Comité Auvergne pour la Recherche et la Technologie (C.A.R.T.) s'est réuni le 26 octobre dans la salle des Assemblées du Centre Delleille à Clermont-Fd afin de procéder à l'élection de son bureau.

Après le discours d'introduction de M. Robert Couvau, Conseiller Régional, qui représentait M. Giscard d'Estaing, Président du Conseil Régional d'Auvergne, il fut procédé à l'élection à l'unanimité du Président du CART, M. Bernard LeBuanec, qui se succède à lui-même.

5 commissions ont été constituées :

- Développement industriel (Président : M. Francey.
- Agronomie et Santé (Présid. : MM. Dastugue et Geay)
- Sciences Physiques (Président : M. Coutière).
- Informatique et Télécommunications (Présid. : M. Schneider).
- Sciences humaines et diffusion de la Culture Scientifique et Technique (Présid. : M. J.P. Diry)

M. B. Dastugue assurera les fonctions de premier Vice-Président.

Rappelons que le CART, créé par décret du mois de décembre 1983 est un organisme consultatif qui a pour objectif de conseiller la Région en matière de recherche et de développement technologique. Il comprend 55 membres, issus des différents secteurs publics ou privés

de recherche existant dans la Région, des organisations syndicales représentatives des salariés et des employeurs ainsi que de personnalités choisies en raison de leur participation à l'expansion de la Région.

Signalons qu'au titre de l'année 1988, les interventions du Conseil Régional d'Auvergne en faveur de la Recherche et de l'Innovation Technologique s'élèvent à 9800000F répartis comme suit :

- Recherche et innovation technologique ..... 5 100 000 F
- Coopération en matière de recherche et de développement ..... 600 000 F
- Pôle Technologique 1 200 000 F
- Recherche thermique 500 000 F
- Effort en faveur de l'enseignement supérieur et de la recherche .... 1 400 000 F
- Aide à l'équipement des laboratoires (IRM) ..... 1 000 000 F

Les dossiers qui seront soumis au CART seront examinés selon les critères suivants :

- 1 - Qualité du projet.
- 2 - Priorités économiques de la Région. Les pôles retenus concernent la nutrition (programmes sur la viande, les semences,...); les matériaux polymères.
- 3 - Aide aux jeunes équipes.

## LES ÉTATS GÉNÉRAUX DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET INDUSTRIELLE

Les Ministères de la Recherche et de la Technologie, de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports ainsi que le Ministère de la Culture ont uni leurs efforts pour organiser en 1989 les Etats Généraux de la Culture scientifique et technique.

Dans chaque région un coordinateur a pour mission de regrouper les partenaires et les initiatives afin d'organiser les colloques régionaux et des semaines d'animation scientifique. En Auvergne, la coordination est assurée par M. Parizet, Délégué Régional à la recherche et à la technologie.

Le but de cette opération, à caractère médiatique, est de faire prendre conscience de l'importance de la diffusion de l'information scientifique auprès du grand public, notamment dans la perspective du marché européen de 1992. Il s'agit également d'attirer l'attention des "décideurs" et en particulier des élus sur l'intérêt économique, pas toujours bien compris, que représente le développement de la Culture scientifique et technique.

Des informations peuvent être obtenues auprès de la Délégation régionale à la recherche et à la technologie, 43, rue de Wailly, 63038 Clermont-Fd Cedex, ou après de l'ADASTA.