

SCIENCE

BULLETIN DE L'ADASTA

N° 18

Avril - Mai - Juin 1991

20 F



AUVERGNE

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

SOMMAIRE

- Interview de
M. V. Giscard D'Estaing 3 et 4
- La Recherche :
Ce que chacun de nous peut faire
contre le cancer :
par le Pr. Pierre Lataix 5 et 6
- Dossier :
Propriétés optiques des verres
par Michel Massaux 7 à 16
- Conférence :
Michel-Eugène Chevreul
par Josette et Paul Fournier 17
- Expo - Stages - Conférences
Images de la physique
Les petits débrouillards 22
- Données nouvelles sur la chaîne
des Puys
Les Confins de l'Univers 23
- Informations Régionales :
Institut National de la Propriété
Industrielle
Musée Crozatier 24

L'ADASTA a célébré, avec quelques semaines d'avance, son 5^{ème} anniversaire, qui coïncidait avec la mise en place d'une nouvelle équipe désormais présidée par le Pr. SOLE.

Pendant ces cinq années il nous a fallu nous imposer, faire la preuve de l'utilité de notre action, créer des activités qui correspondent à des besoins réels du public et notamment des jeunes.

Car c'est d'abord vers les jeunes que sont dirigés nos efforts. Pour cela nous avons privilégié la formation des maîtres, créé des outils pédagogiques, organisé des stages, des expositions, des conférences, des visites d'entreprises et de Centres de recherche, etc...

Notre rôle est de venir en aide à ceux qui ont en charge la formation des jeunes dans les domaines scientifique et technique, c'est à dire essentiellement les professeurs de l'enseignement secondaire. Venir en aide aussi aux diverses associations qui se proposent d'initier les enfants à la démarche scientifique et qui n'ont, généralement, pas les compétences scientifiques suffisantes pour atteindre leur objectif.

Pour poursuivre notre tâche nous disposons heureusement de subventions de l'Etat (et notamment de la Délégation à l'Information scientifique et technique du Ministère de la Recherche et de la Technologie) et de la Région. Nous disposons aussi -et surtout- d'une équipe de scientifiques expérimentés qui entendent poursuivre une action en profondeur au bénéfice de notre Région.

R.J

L'ADASTA a reçu en 1990 le soutien financier

- du Ministère de la Recherche et de la Technologie (Délégation à l'Information Scientifique et Technique)
- du Ministère de l'Education Nationale (Mission Académique à la Formation des Personnels de l'Education Nationale et Mission d'Action culturelle)
- du Ministère de la Culture et de la Communication (DRAC Auvergne)
- du Conseil Régional d'Auvergne
- de la ville de Clermont-Ferrand

Auvergne-Sciences : publication trimestrielle

Adhésions et Abonnements :

Adhésion à titre individuel	100 F
Adhésion à titre collectif	500 F
Membre bienfaiteur	1000 F (au moins)

L'adhésion donne droit au service gratuit du bulletin et à des réductions sur les différents services rendus par l'Association (publications, stages, visites,...).

Adressez le courrier à ADASTA, UFR Sciences, 63177 Aubière Cedex - Tél. 73 40 72 26

Directeur de la Publication : Pierre SOLÉ
Rédacteur en chef : Roland JOUANISSON

Bulletin trimestriel - Abonnement : 100F par an
Edité par ADASTA Complexe des Cézeaux
63177 AUBIERE CEDEX - Tél. 73 40 72 26
Minitel : 73 40 76 58

Photographie de la couverture :

Espace de prévention du Centre Jean Perrin,
(Dessin assisté par Ordinateur de M. Navarre)

INTERVIEW DE MONSIEUR V. GISCARD D'ESTAING

Président du Conseil Régional d'Auvergne

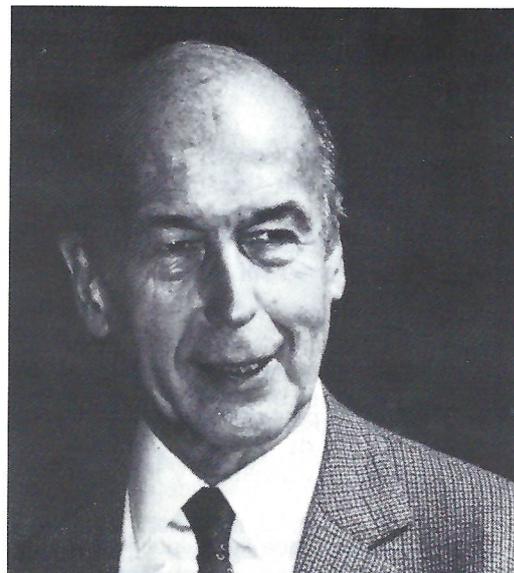
La recherche

La recherche est une fois de plus à l'ordre du jour : l'Etat vient de demander, dans chaque région, la rédaction d'un « livre blanc » qui devra inspirer la politique future en matière de recherche.

Nous avons demandé à Monsieur le Président du Conseil Régional de bien vouloir s'exprimer sur ce problème capital pour l'avenir de notre Région au moment où elle se trouve confrontée à de graves difficultés.

Nous remercions M. V. Giscard d'Estaing d'avoir répondu avec précision à nos questions.

R.J.



Monsieur le Président, il y a un an vous aviez bien voulu répondre à nos questions au sujet de l'effort du Conseil Régional en faveur de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur. A cette occasion, vous aviez rappelé que vous étiez partisan du transfert des compétences de l'Etat aux Régions dans ces domaines.

La réflexion au niveau de l'Etat évolue-t-elle, selon vous, de manière favorable à ces idées ?

Comme la quasi-totalité des Présidents de Région, je suis toujours partisan de confier aux Conseils Régionaux la responsabilité des investissements dans l'Enseignement Supérieur, comme nous l'exerçons pour les Lycées.

Les Régions pourraient agir plus vite et plus efficacement que l'Etat pour faire les travaux, moderniser les locaux et les équipements.

Songez que nous avons mis deux ans et demi pour construire le nouveau Lycée La Fayette de Clermont-Ferrand et qu'il a fallu cinq ans uniquement pour obtenir la construction de l'I.F.M.A., dont le chantier va enfin démarrer.

Les Régions ont bien sûr mis une condition à cette nouvelle décentralisa-

tion : l'Etat doit transférer des ressources nouvelles aux Régions, soit par une dotation globale soit par un transfert d'impôt de l'Etat.

Aussi les propositions actuelles du Gouvernement, qui consistent à demander aux Régions de participer au financement des constructions universitaires, sans véritable décentralisation des responsabilités et des procédures, ne correspondent pas aux besoins.

Les aides des Régions ne doivent pas avoir pour but de compenser les difficultés financières de l'Etat.

Tous les grands pays modernes ont un Enseignement Supérieur largement décentralisé, qui donne son vrai sens à l'autonomie des Universités.

Bien entendu, les diplômés et la gestion des personnels doivent rester nationaux.

Dans l'hypothèse où le rôle des Régions serait renforcé, quelles seraient, selon vous, les grandes orientations qu'il conviendrait de privilégier en Auvergne ?

Comment concilier cette situation avec le fait que la Recherche est, par essence, universelle ?

L'Auvergne dispose d'un important potentiel de recherche scientifique et universitaire.

L'I.N.R.A., l'Ecole de Chimie, le C.U.S.T., les facultés des deux Universités ont des laboratoires actifs en sciences techniques et humaines.

Le nombre de chercheurs est relativement important par rapport aux autres Régions.

Notre priorité devrait être l'amélioration des locaux et la modernisation des équipements.

Par contre, je ne pense pas qu'il appartienne aux Régions de définir des axes de recherche.

Il faut laisser la liberté à la communauté universitaire, qui a ses propres procédures de gestion et d'évaluation.

Par exemple, en Auvergne, le C.A.R.T.** est l'un de ceux qui fonctionnent le mieux en France. Le Conseil Régional suit toujours ses avis pour l'attribution de ses aides et je crois que c'est une bonne procédure.

Les élus ou les fonctionnaires n'ont pas les compétences pour intervenir dans la définition des programmes de recherche.

Il faut faire confiance à la communauté universitaire.

Une région de la taille de l'Auvergne aura du mal à garder son identité dans un contexte européen. Comment voyez-vous l'avenir pour notre région d'ici à quelques années ?

* la nouvelle Ecole d'Ingénieurs de Mécanique qui sera construite aux Cézéaux

** Le Comité Auvergne Recherche et Technologie est un Comité consultatif.

Ne serons-nous pas contraints à nous rattacher à une région plus puissante, et laquelle ?

Ma réponse est tout à fait claire : je suis totalement hostile au rattachement de l'Auvergne à une autre Région.

Ce serait la mort de l'Auvergne et d'abord celle de Clermont-Ferrand d'où partiraient très vite les centres de décision.

Par contre, je ne suis pas hostile à un redécoupage territorial des régions françaises. S'il doit intervenir, je suis partisan d'une grande région Massif Central ayant Clermont-Ferrand pour capitale.

Le projet ARVERNIA a pour but d'organiser au centre de la France une métropole de taille européenne.

Cette métropole peut exister : de Gannat à Issoire et de Vichy à Thiers, 400.000 habitants y vivent et y travaillent.

Mais, cela implique une politique active d'aménagement du territoire : TGV, accélération des programmes autoroutiers, renforcement des structures universitaires, décentralisation en Auvergne de services publics implantés à Paris,...

Cela dit, le transfert de responsabilités nouvelles aux Régions me paraît prioritaire avant même un redécoupage géographique.

Après tout, la population de l'Auvergne est trois fois plus importante que celle du Luxembourg et est équivalente au quart de celle du Danemark.

La décentralisation passe d'abord par un renforcement des responsabilités des Régions.

Il faut décentraliser au niveau régional, par exemple, les constructions universitaires, la protection de l'Environnement, la Culture dont les actions restent trop parisiennes...

L'Etat vient de décider la création d'un comité de réflexion destiné à faire un bilan de la Recherche dans les régions. Cette réflexion doit déboucher sur la rédaction d'un «Livre Blanc» dans lequel seront consignées les recommandations des rapporteurs.

Que pensez-vous, Monsieur le Président, de cette initiative ? et que peut-on en attendre pour notre Région ?

Le conseil Régional a décidé de participer à la rédaction du Livre Blanc sur la Recherche.

On aurait peut-être pu consulter les Régions sur cette initiative avant de la lancer, mais nous en suivons volontiers les travaux et nous serons attentifs aux propositions.

Il faut souhaiter que ce Livre Blanc encourage l'effort de l'Etat en faveur de la Recherche en Auvergne, notamment par des moyens matériels accrus pour nos chercheurs publics et privés.

La recherche, pour le public en général, est synonyme de grands laboratoires qui s'intéressent à la physique, à la biologie, à la médecine,... Mais la Recherche concerne aussi d'autres activités humaines : littéraires, artistiques...

Comment voyez-vous l'avenir dans ce domaine et comment envisagez-vous, au niveau régional, d'encourager certaines initiatives.

Le Conseil Régional accorde annuellement 5 ou 6 Millions de francs pour des investissements dans la Recherche.

Depuis le début, nous soutenons le projet de Centre de Nutrition Humaine.

Nous avons demandé que l'Institut Français de Mécanique Avancée ait un pôle de recherche.

Par l'intermédiaire du C.A.R.T. qui nous donne ses avis, nous répondons aux demandes des Universités et de l'I.N.R.A. en particulier.

Depuis deux ans, nous avons lancé des pôles d'excellence pour le lait, la nutrition, la viande...

Nous aidons la diffusion de la culture scientifique et les grandes manifestations à caractère universitaire.

Nous faisons cela dans le même temps où nous consacrons, comme vous le savez, un effort considérable pour nos Lycées : la moitié du Budget de la Région va aux Lycées et à la Formation Professionnelle.

Je me permettrai pour terminer, Monsieur le Président, une dernière question qui concerne de près notre association. L'ADASTA, qui regroupe des chercheurs, enseignants et industriels, s'est fixée pour objectif de favoriser la diffusion de ce que l'on appelle un peu pompeusement la «Culture Scientifique et Technique».

En particulier, nous privilégions la recherche pédagogique qui consiste à améliorer par tous les moyens, et notamment la formation des professeurs, l'enseignement des Sciences dans nos Lycées et Collèges.

Que pensez-vous de cette activité et envisagez-vous de l'encourager à l'avenir par des actions spécifiques sur le plan régional ?

Le remarquable travail de l'ADASTA reçoit depuis plusieurs années le soutien et l'appui du Conseil Régional.

Nous allons recourir à l'ADASTA, notamment en lui confiant une mission originale pour la gestion et la recherche en matière d'équipements pédagogiques scientifiques dans les Lycées.

Je pense que nous parviendrons à mettre au point un dispositif pour la fin de l'année.

L'ADASTA aurait une mission de centre régional de ressources et de recherche en matière d'équipements scientifiques et de formation des enseignants et des agents techniques de laboratoires.

Nous aurons l'occasion d'en reparler !

LIVRE BLANC SUR LA RECHERCHE

Une cellule de réflexion, sous l'autorité du Préfet de Région, a été créée afin de dresser un bilan de la recherche dans notre région et de proposer des axes de recherche susceptibles d'être développés dans l'avenir. Un «Livre blanc» sera rédigé à l'issue de cette réflexion. Huit commissions se sont mises en place :

- Sciences de la Vie (M. le Doyen Meyniel)
- Sciences de l'Univers (M. le Pr. Boutin, Président de l'Université Blaise Pascal)
- Sciences exactes et Matériaux (M. le Pr Montret)
- Sciences de l'Ingénieur (M. le Pr. Demangeot)
- Sciences humaines (M. le Pr. Diry)
- Transfert de technologie (M. le Pr Pariset)
- Culture Scientifique et Technique (Mme Hugon)

M. Montret est rapporteur général du livre blanc.

LA RECHERCHE

CE QUE CHACUN DE NOUS PEUT FAIRE CONTRE LE CANCER

par le Professeur Pierre Lataix*



Au cours des dernières décennies la lutte contre le cancer a enregistré d'importants progrès : Aujourd'hui, on guérit 50 % de l'ensemble des malades.

Mais le cancer est toujours là et entraîne la mort de 138 000 français par an, soit plus d'un décès sur 4. Nous sommes tous concernés par cette maladie.

QUE PEUT-ON FAIRE ?

Il faut évidemment renforcer la recherche qui, seule, peut apporter de nouveaux progrès dans le domaine de la compréhension de la cellule cancéreuse, de la détection et du traitement des tumeurs.

Les cancérologues ont la certitude que, même sans nouvelles découvertes, **on pourrait diminuer considérablement la mortalité par le dépistage et la prévention.**

Découvrir plus tôt les cancers, c'est augmenter les chances de guérison. Les prévenir, c'est en diminuer le nombre.

Les cancers ne sont pas toujours une fatalité. Certains sont évitables.

Nous sommes responsables de notre santé et chacun de nous peut faire quelque chose contre le cancer.

C'est dans ce but que vient d'être créée, à Clermont-Ferrand, une unité «**PRÉVENTION ET DÉPISTAGE DES CANCERS**».

Cette unité a été voulue, réalisée et financée conjointement par le Comité du Puy-de-Dôme de la Ligue Nationale Contre le Cancer et par le Centre Jean Perrin.

Le bâtiment, construit à l'arrière du Centre Jean Perrin, a été inauguré le 14 mai 1990.

Au rez-de-chaussée, «l'Espace de Prévention» est totalement équipé et fonctionne. Il a pour objectif de sensibiliser et d'informer le public.

L'ESPACE DE PRÉVENTION

Il comprend un service d'information et un laboratoire de biologie moléculaire orienté vers la prévention et le dépistage⁽¹⁾

LE SERVICE D'INFORMATION offre :

- une exposition permanente,

- des moyens audio-visuels : cassettes vidéo, vidéo-disques, projections,
- une documentation : brochures, dépliants, édités par la Ligue Contre le Cancer et distribués gratuitement,
- une salle de conférences.

Ce service d'information est financé et animé par le Comité du Puy-de-Dôme de la Ligue Contre le Cancer.

A qui s'adresse-t-il ?

- à tous, jeunes et adultes,
- aux groupes : associations, clubs, comités d'entreprise...
- aux **scolaires**, cibles de choix car la prévention comporte une hygiène de vie dès le jeune âge.

Avec l'appui du Rectorat des classes de 30 à 35 élèves y sont accueillies, conduites par leur professeur (de biologie notamment) et, éventuellement, par leur infirmière scolaire. Une conférence d'une heure, accessible à tous, illustrée de diapositives, est suivie de la visite de l'exposition.

Ce service d'information permet d'apprendre comment nous pouvons prévenir certains cancers et pour d'autres en favoriser la découverte précoce.

LA PRÉVENTION

Elle s'attaque aux causes des cancers. **70% à 80% des cancers seraient dus à l'environnement.**

Sous ce terme on comprend 3 types de facteurs :

- des facteurs collectifs,
- des facteurs professionnels,
- des facteurs personnels liés au mode de vie.

Les facteurs collectifs, tels que la pollution atmosphérique, ne dépendent pas de nous.

Les facteurs professionnels représentent 4 à 8 % des cancers selon les estimations. Ils sont de mieux en mieux connus et se prêtent de façon optimale à un effort de prévention.

C'est dire le rôle éminent du médecin du travail et l'importance du respect, par les intéressés, des consignes de sécurité.

Les facteurs personnels, liés à notre mode de vie, sont de la plus haute importance.

L'information doit mettre le public en garde contre ces facteurs sans l'affoler à propos de dangers qui ne sont pas prouvés. Il ne faut pas nous faire mourir de peur pour nous protéger du cancer !

En revanche on ne dira jamais assez que **les 2 cancérigènes les plus importants sont le TABAC et l'ALCOOL**, à l'origine de 45 % des cancers.

Le **tabac**, à lui seul, est responsable d'un cancer sur 3. Le cancer du poumon, presque toujours dû au tabac, est le cancer le plus fréquent du sexe masculin. C'est un des cancers les plus graves tant sa croissance est rapide mais c'est aussi le plus évitable.

Le tabac favorise aussi les maladies cardiovasculaires. Un infarctus sur 3 est dû au tabac.

Le tabac peut être considéré comme une drogue puisqu'il entraîne des phénomènes de dépendance. C'est la drogue la moins chère, celle que l'on se procure le plus facilement et celle qui entraîne le plus de morts en France (54 000 par an).

L'**alcool** potentialise les risques du tabac. Les deux tiers des cancers des voies aérodigestives peuvent être évités par la prévention.

L'abus du **soleil** peut être cancérigène. Depuis la «bronzomanie» on observe 20 fois plus de cancer de la peau qu'au début du siècle quand la mode était au teint clair. Ces cancers sont en général facilement curables. En revanche, le mélanome malin est d'une haute gravité.

Au soleil il faut être raisonnable et savoir surveiller nos grains de beauté.

L'**alimentation** doit être choisie. Certaines denrées alimentaires peuvent être cancérigènes: Elles ne sont pas toutes connues. Il est conseillé d'avoir une alimentation bien équilibrée, de préférer les graisses végétales aux

* Pr LATAIX : Professeur honoraire à la Faculté de Médecine de Clermont-Fd. Administrateur de la Ligue Nationale Contre le Cancer. Président du Comité du Puy-de-Dôme de la Ligue.

(1) Voir addendum à la fin de l'article.

LA RECHERCHE

graisses animales, de consommer fréquemment des fruits, des légumes frais et des aliments riches en fibres végétales (qui protègeraient la muqueuse du colon contre le cancer) et d'éviter l'excès de poids.

Tels sont les conseils de prévention généralement admis aujourd'hui pour éviter certains cancers.

LE DÉPISTAGE

Que pouvons-nous faire pour qu'un cancer soit découvert le plus tôt possible ?

- choisir un généraliste qui prenne le temps de vous examiner complètement une fois par an et ne lui rien cacher,
- devant un symptôme anormal, ne pas être négligent, ne pas pratiquer la politique de l'autruche et consulter sans tarder.

La ligue attire l'attention sur 7 signes d'alerte :

1. Modification apparente d'un grain de beauté.
2. Changement de fonctions des intestins ou de la vessie.
3. Persistance d'une voix enrouée ou de toux.
4. Troubles permanents de la déglutition.
5. Une blessure qui ne guérit pas. Une enflure qui ne disparaît pas.
6. Hémorragie ou pertes par un orifice du corps. Pertes de sang en dehors des règles.
7. Nodule palpable ou induration, en particulier dans le sein.

La plupart du temps, ces symptômes n'ont rien à voir avec un cancer ; mais s'ils persistent, même sans douleur, il ne faut pas hésiter à consulter le médecin.

LE CANCER DU SEIN est le cancer le plus fréquent chez la femme. Il atteint, en France, une femme sur douze. Ce qui veut dire que la femme :

- doit consulter sans retard devant toute grosseur anormale,
- demander à son médecin d'examiner ses seins une fois par an,
- chaque mois, pratiquer l'auto-examen.

La mammographie, aujourd'hui sans danger, est le procédé le meilleur de dépistage. Elle découvre même des cancers trop petits pour être palpables et doit être pratiquée :

- au moindre doute,
- tous les 3 ans après 40 ans,
- tous les 2 ans dès 35 ans lorsqu'il y a un facteur familial.

LE CANCER DU COL DE L'UTERUS :

Comme le cancer du sein il peut être découvert très précocément grâce au **frottis vaginal**.

Le dépistage par frottis vaginal est la meilleure arme contre le cancer du col. C'est un procédé indolore, sans danger, peu coûteux.

Il doit être pratiqué dès les 1^{ers} rapports, puis tous les 2 ans, même après 50 ans. Il permet de découvrir précocément des cancers et d'obtenir 90 % de guérisons. Il permet encore de déceler des états précancéreux dont le traitement non mutilant préviendra la survenue d'un cancer.

LES CANCERS DU CÔLON ET DU RECTUM

sont les plus fréquents chez l'homme après le cancer du poumon et chez la femme après celui du sein. C'est dire l'importance de leur détection.

La présence de sang dans les selles ne doit jamais être négligée. Un saignement inapparent peut être découvert par l'Hemocult.

La coloscopie, à la recherche de polypes - lésions pré-cancéreuses - doit être pratiquée au moindre doute, surtout s'il existe une prédisposition familiale.

LE CANCER DE LA PROSTATE, si fréquent chez l'homme âgé, est trop souvent découvert tardivement. Un toucher rectal annuel après 50 ans est conseillé.

Voilà, brièvement exposés, les moyens non négligeables dont chacun de nous dispose pour la prévention et le dépistage des principaux cancers.

Venez visiter le service d'information de
l'ESPACE DE PRÉVENTION,
 place Henri-Dunant
 (à l'arrière du Centre Jean-Perrin).

Permanences : mardi et jeudi, de 14 h à 17 h.

Visites de groupes, sur rendez-vous en téléphonant au 73 27 80 87 ou 73 34 14 74 (Ligue Contre le Cancer).

LE LABORATOIRE DE BIOLOGIE MOLECULAIRE

Il constitue l'un des atouts essentiels de l'Espace de prévention.

On sait que le cancer n'est pas héréditaire, sauf quelques rares exceptions. Cependant certains cancers, **parmi les plus fréquents, peuvent être favorisés par un facteur familial.** C'est notamment le cas des cancers du sein et du côlon.

Les progrès de la génétique et de la biologie moléculaire ont montré que des altérations génétiques prédisposent à certains cancers. La connaissance de ces anomalies devrait permettre, par un examen de sang, d'identifier les sujets qui présentent un risque réel dû à leur patrimoine génétique. (Voir *Auvergne-Sciences n° 10* «Prévention et génétique du cancer» par le Dr Yves-Jean BIGNON).

LE LABORATOIRE D'ONCOLOGIE MOLECULAIRE, **appliqué à la prévention et au dépistage**, est orienté vers la mise en évidence des facteurs génétiques déjà connus mais aussi **vers la recherche.**

Une consultation de génétique oncologique y est associée pour déterminer les familles dans lesquelles existe une prédisposition héréditaire.

Les équipements de ce laboratoire de pointe ont été financés par la Ligue Nationale Contre le Cancer, le Comité du Puy-de-Dôme et les Comités départementaux de la Région Auvergne : Allier - Cantal et Haute-Loire.

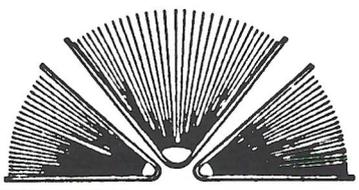


P.S.M. COMPOSANTS

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

◆

22, rue St Adjutor
 63000 CLERMONT-FERRAND
 Tél : 73 31 13 76
 Fax : 73 31 09 34



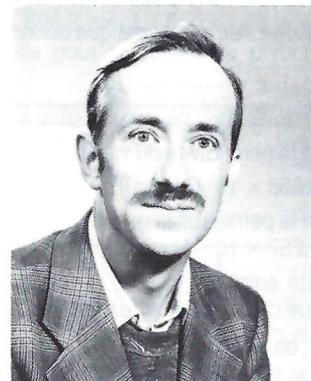
librairie papeterie

**les
volcans
d'auvergne**

PROPRIETES OPTIQUES DES VERRERES

par Michel Massaux

L'optique n'a pas cessé d'élargir son domaine d'intervention. Limitée, à l'origine, à l'étude des propriétés de la lumière visible, elle s'étend maintenant à tous les rayonnements électromagnétiques, des micro-ondes aux rayons X. Ses applications, réduites initialement à la réalisation d'instruments d'observation des objets inaccessibles à l'œil, vont maintenant de la production d'énergie concentrée, dans les lasers, à la recherche analytique, avec les spectromètres dans l'infrarouge ou l'ultraviolet, en passant par les télécommunications, les applications biologiques ou médicales, l'éclairage, l'informatique...



C'est ce qui explique la course vers les nouveaux matériaux que l'on constate depuis une vingtaine d'années. La connaissance de plus en plus fine de la structure de la matière permet de prévoir les applications potentielles des composés de synthèse parmi eux, les verres occupent une place de choix, par leur **isotropie** d'une part, et leur facilité de subir des **modifications continues de composition**, d'autre part. Nous nous proposons d'examiner leurs propriétés optiques.

L'EVOLUTION DES IDEES

L'optique offre un exemple remarquable d'unification de théories apparemment inconciliables, qui mérite d'être rappelé.

Les premiers constats scientifiques concernant la lumière (propagation en ligne droite, réflexion, réfraction) avaient amené NEWTON (1642-1727) à proposer, à la fin du XVII^e siècle, une théorie corpusculaire : « Toute source lumineuse émet des particules matérielles de masses négligeable se déplaçant en ligne droite avec une grande vitesse. La réflexion provient du rebondissement des particules sur la surface, selon la loi des chocs élastiques; la réfraction résulte d'une modification de la vitesse des particules lors du changement de milieu ». Newton expliquait ainsi les lois de SNELL-DESCARTES.

Presque au même moment, HUYGENS (1629-1695) avait développé une théorie ondulatoire entièrement différente. Il supposait que la lumière résultait d'une propagation d'ondes comparables aux ondes acoustiques. La propagation de la lumière dans le vide, contrairement au son, créait une difficulté, artificiellement surmontée par l'hypothèse de l'« éther ». C'est sans doute ce point faible qui explique qu'au cours du XVIII^e siècle, la théorie corpusculaire prévalut.

Les premières expériences d'interférences lumineuses, réalisées en 1801 par YOUNG (1773-1827), suivies par les recherches systé-

matiques de FRESNEL (1788-1827) sur les phénomènes de diffraction donnèrent un net avantage à la théorie ondulatoire. Cette interprétation présentait la lumière comme une propagation d'énergie mécanique, à très grande vitesse, dans le vide comme dans les milieux matériels. La recherche de cette vitesse, d'abord estimée à partir de constatactions astronomiques (Bradley, 1728), puis mesurée en laboratoire (Fizeau, 1849; Foucault, 1850) conduisit à une valeur étonnante, très proche de 300.000 km.s⁻¹.

Dans le même temps, d'autres domaines de la physique progressaient rapidement; la découverte des lois de l'électromagnétisme, à la suite des travaux d'Ampère et de Faraday, permit à MAXWELL (1791-1867) de présenter une théorie de la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide, puis dans les milieux matériels. Il put en particulier exprimer la vitesse de ces ondes dans le vide, et trouva une valeur quasi-identique à celle des mesures directes de FIZEAU et FOUCAULT.

En remplaçant la vibration mécanique d'HUYGENS-FRESNEL par une vibration électromagnétique ne nécessitant pas de support matériel, MAXWELL réussissait une première unification fondamentale en physique : la lumière s'intégrait tout naturellement dans la large gamme des ondes électromagnétiques.

Quelques années plus tard, la vieille hypothèse de NEWTON sortait de l'oubli, lorsqu'en 1905, EINSTEIN suggéra l'existence de grains d'énergie rayonnante, assimilables à des particules en mouvement, les **photons**. Cette hypothèse n'est pas en contradiction avec la théorie électromagnétique; elle suppose seulement que, dans son interaction avec la matière, une onde ne peut échanger d'énergie que par valeurs discrètes, les **quanta**. L'extrême petitesse de ces entités entraîne qu'à notre échelle, la théorie électromagnétique permet, par effet de moyenne, une description satisfaisante des phénomènes de propagation, d'absorption,... Mais à l'échelle atomique, il faut impérative-

ment faire appel à la théorie quantique. Son succès est attesté par l'interprétation très précise et très satisfaisante de la structure de la matière, la détermination des niveaux d'énergie dans l'atome, ou l'analyse des interactions entre les rayonnements et la matière. Elle conduisit par exemple, vers 1960, à la découverte des lasers; les densités d'énergie lumineuse produites par ces sources sont capables de créer des phénomènes nouveaux : optique non linéaire, interactions photoniques (fusion, fission), dont le développement révolutionnaire est particulièrement prometteur; dans ces domaines neufs, la science des matériaux jouera sans nul doute encore un rôle essentiel.

ASPECTS THEORIQUES

Les propriétés optiques des matériaux font appel à des caractéristiques résultant de phénomènes fondamentaux tels qu'absorption, réfraction, dispersion,...

Rappelons leurs caractéristiques globales, telles qu'elles résultent de la théorie électromagnétique. Nous savons que la lumière est une onde **transversale**, formée d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B} , orthogonaux, qui vibrent en phase. La période T , et son inverse la fréquence ν , sont les premières grandeurs à définir. L'ensemble des ondes électromagnétiques permet, en théorie, des valeurs de ν comprises entre 0 et l'infini. Mais les très faibles fréquences ont des effets inobservables, et, en pratique, on commence à s'intéresser aux ondes électromagnétiques lorsque ν atteint 10⁵ Hz (100 kHz, ondes hertziennes).

Une autre grandeur fondamentale est la vitesse de propagation des ondes. Si l'on considère le cas simple d'une onde plane, tous les points du plan déterminé par les champs \vec{E} et \vec{B} sont dans le même état vibratoire à un moment donné. L'onde progresse selon la perpendiculaire à ce plan, qui représente le rayon lumineux, à une vitesse qui dépend du milieu : dans le vide, on l'appelle

* Michel MASSAUX, Maître de Conférence à l'Université Blaise-Pascal

LE DOSSIER

célérité, notée c . Sa détermination expérimentale conduit à $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. C'est une constante universelle.

La théorie électromagnétique donne

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}, \text{ où}$$

ϵ_0 est la permittivité du vide
 ($\epsilon_0 = 8,858 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$)

μ_0 est la perméabilité du vide
 ($\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ H.m}^{-1}$).

L'identité entre les valeurs expérimentale et théorique de c est remarquable.

Dans un milieu matériel dont la permittivité ϵ peut être mise sous la forme $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ($\epsilon_r \geq 1$, sans dimension, est la permittivité relative), et la perméabilité $\mu = \mu_r \mu_0$ ($\mu_r \geq 1$, sans dimension, perméabilité relative), la vitesse de propagation est alors :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \epsilon_0 \mu_0}}$$

On voit que :
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

La plupart des milieux utilisés en optique sont des diélectriques sans propriétés magnétiques. Dans ces conditions, $\mu_r = 1$ et

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Or le passage de l'onde électromagnétique d'un premier milieu (où la vitesse est v_1) à un second (où la vitesse est v_2), séparés par une surface ϵ , laisse invariante la quantité $n \sin i$; i est l'angle du rayon lumineux avec la normale à ϵ et $n = \frac{c}{v}$ est l'**indice de réfraction** du milieu.

$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ est l'une des lois de SNELL-DESCARTES.

On peut remarquer que, si c ne dépend pas de la fréquence de l'onde, v peut en dépendre, ce qui entraîne que l'indice varie avec la fréquence. C'est la **dispersion**.

On appelle **longueur d'onde** dans le vide d'un rayonnement la grandeur

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

c étant constant, λ est caractéristique du rayonnement. De plus, c'est une grandeur accessible par l'expérience, au moyen de **spectromètres** (la mesure se fait dans l'air, mais la vitesse de propagation dans ce milieu est très voisine de c).

Conventionnellement, on retiendra pour l'optique le domaine de longueurs d'onde compris entre 0,1 mm et 10^{-8} m (10 nanomètres). De 0,1 mm à $0,78 \mu\text{m}$, on trouve le rayonnement **infrarouge**; entre 0,78 et $0,40 \mu\text{m}$, c'est le domaine **visible**; de $0,40 \mu\text{m}$ à 10 nm s'étend l'**ultraviolet**. Pour la lumière visible, à chaque fréquence (donc à chaque longueur d'onde) correspond une **couleur**;

Si $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$, l'œil perçoit du violet; quand λ augmente, on voit défiler les couleurs de l'arc-en-ciel : indigo, bleu, vert, jaune, orangé; et la rétine perd progressivement sa sensibilité aux alentours de $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$, avec une couleur rouge de plus en plus foncée.

On remarquera l'étroitesse du domaine pour lequel nous possédons un détecteur naturel, par ailleurs très sensible. Pour les autres rayonnements envisagés ci-dessus, il a fallu créer et mettre au point des détecteurs spécifiques. Les plus modernes sont des convertisseurs photoélectroniques : photodiodes, cellules photoémissives ou photconductrices, photomultiplicateurs... Mais l'émulsion photographique peut aussi rendre de grands services. Moyennant des adaptations techniques, elle couvre presque tout le domaine optique conventionnel : de plus, c'est un enregistreur bidimensionnel, qui mémorise l'information.

On appelle SPECTRE la figure obtenue par étalement des différentes longueurs d'onde d'un rayonnement quelconque. On distingue les spectres des raies (formés de longueurs d'onde discrètes) et les spectres de bandes (formés de raies groupées en paquets). L'analyse des spectres permet une étude des sources lumineuses. La spectroscopie a été à l'origine de la théorie des quanta, en montrant que les corps simples émettent des raies caractéristiques de la structure électronique des atomes; il en résulte des applications analytiques fondamentales, étendues à l'absorption ou l'émission de rayonnements par les molécules. La spectrométrie moléculaire est un outil particulièrement efficace dans la détermination structurale des composés organiques : chaque fonction possède un spectre caractéristique permettant son identification.

Le comportement d'un milieu matériel, plus ou moins condensé, soumis à une onde électromagnétique, est la résultante de plusieurs interactions. L'onde contient **deux** champs, et les atomes du milieu **deux** types de charges : électrons et noyaux. Les valeurs numériques montrent que l'effet du champ électrique domine largement celui du champ magnétique, que nous négligerons. C'est donc le comportement **électrique** du matériau qui commande ses propriétés optiques. Or, il existe deux grands types de matériaux en électricité :

Les **isolants**, ou **diélectriques**, qui ne contiennent pas de charges libres;

Les **conducteurs**, qui présentent des charges libres, le plus souvent des électrons (métaux).

Examinons d'abord le cas des diélectriques. Sous l'effet du champ électrique de l'onde, leurs charges positives et négatives sont attirées dans des directions opposées : on dit qu'ils se **polarisent**. (Il existe divers processus de polarisation : création de dipôles, orientation préférentielle de dipôles permanents naturellement désordonnés,...). Le champ de l'onde étant alternatif, il provoque des moments dipolaires oscillants. Nous sup-

posons le milieu **linéaire** et **isotrope** : les moments induits sont proportionnels au champ électrique et alignés avec lui. L'accélération des charges oscillantes crée à son tour un champ de rayonnement diffusé. Ce champ secondaire interfère avec le champ primitif, ce qui équivaut à créer un retard de phase sur l'onde incidente. Tout se passe comme si l'on avait, dans le matériau, une vitesse de phase différente, v , nécessairement inférieure à celle du vide. C'est ce qui explique l'origine de l'indice de réfraction $n = \frac{c}{v}$ supérieur à 1.

Mais des phénomènes supplémentaires peuvent résulter de cette hypothèse. D'abord, la mise en vibration des dipôles n'a pas la même efficacité à toutes les fréquences : il existe des valeurs particulières de celles-ci, appelées **fréquences de résonance**, pour lesquelles les oscillateurs peuvent atteindre des amplitudes extrêmes, ce qui provoque des discontinuités dans le comportement optique du matériau. En outre, l'indice de réfraction va dépendre de λ (dispersion).

D'autre part, toute mise en vibration d'oscillateurs nécessite une certaine énergie : dans notre exemple, elle est puisée à l'onde incidente. Cette énergie, dissipée par le système, entraîne la diminution progressive de l'intensité de l'onde incidente.

Dans la traversée d'une épaisseur infiniment petite dx de matériau, l'intensité élémentaire dissipée est dI ; elle est négative et proportionnelle à l'intensité du faisceau et à l'épaisseur dx . On pose $dI = -K I dx$

$$\text{soit } \frac{dI}{I} = -K dx$$

Si I_0 était l'intensité à l'entrée du matériau, cette équation différentielle s'intègre selon

$$I_x = I_0 \exp(-Kx)$$

Cette décroissance exponentielle est bien vérifiée par l'expérience. Elle est caractérisée par K , coefficient d'absorption, qui dépend de la longueur d'onde du rayonnement utilisé.

Le cas des conducteurs est un cas limite. Prenons comme exemple le cas d'un métal, dans lequel certains électrons ne sont pas liés à un atome donné, mais peuvent migrer librement dans le volume du conducteur.

L'absence de force de rappel agissant sur les électrons supprime toute possibilité de résonance individuelle; mais il existe toujours une résistance au mouvement, sorte de « frottement » des électrons, dû à leur environnement; et il y aura encore dissipation d'énergie, par effet JOULE, dans le métal. Cette fois, cette absorption sera si intense que le faisceau incident disparaîtra complètement sur une profondeur de pénétration de quelques micromètres. D'autre part, le coefficient d'absorption dépend grandement de la fréquence, et l'expérience montre qu'au dessus d'une certaine valeur, appelée « fréquence de plasma », un conducteur devient transparent. Pour les métaux alcalins, cette fréquence se situe dans l'ultraviolet; on met à profit cette propriété d'absorption sélective pour éliminer certains rayonnements. Ainsi,

les ouvriers travaillant à proximité de fours à haute température se protègent à l'aide d'écrans de verre sur lequel on a déposé, par évaporation sous vide, une couche très mince d'or (moins de $1\mu\text{m}$ d'épaisseur). La lumière transmise contient des longueurs d'onde visibles (en particulier du vert), mais l'infrarouge est fortement absorbé, ce qui atténue grandement l'effet calorifique du rayonnement.

En résumé, la théorie électromagnétique rend compte de l'essentiel :

- Opacité à la lumière des matériaux conducteurs;
- Transparence (avec absorption sélective) des diélectriques;
- Indice de réfraction variable avec la longueur d'onde;
- Présence de discontinuité d'absorption et de réfraction.

Que peut apporter de nouveau l'optique quantique?

Sa première contribution est de permettre une identification facile des responsables de pics d'absorption, dus à des transitions énergétiques caractéristiques. On utilise là les mêmes principes que dans les applications analytiques de la spectroscopie. Inversement, on peut déterminer avec précision l'absorption d'un matériau dont la composition est connue.

La théorie électromagnétique avait permis de prévoir que les électrons, particules légères, provoquaient des raies d'absorption situées dans l'ultraviolet, alors que les ions plus lourds, tels que les ions métalliques, seraient responsables de dissipations d'énergie localisées dans le rouge et l'infrarouge : la quantification des échanges d'énergie pour des états liés assure - en théorie au moins - une grande précision dans cette détermination.

Il faut, en toute rigueur, tenir compte de l'environnement des atomes concernés; ainsi les perturbations créées par les atomes voisins élargissent les niveaux d'énergie des électrons, et ce phénomène est d'autant plus perceptible que ces électrons appartiennent à des couches plus externes.

Les niveaux profonds donnent des raies fines : c'est ce que l'on observe avec les atomes de terres rares; dispersés dans du verre, ces éléments servent souvent de référence spectrométrique. (Verre au néodyme).

Aux variations d'énergie **électronique** des atomes peuvent se superposer des variations d'énergie de **vibration** elles aussi quantifiées de ces atomes. Ce phénomène prend une importance capitale dans les milieux à structure périodique, comme les cristaux. Selon les méthodes de la mécanique quantique, il est bien décrit par l'interaction de particules fictives appelées **excitons** dans le premier cas, **phonons** dans le second. Dans les verres, l'absence de périodicité en réduit les effets.

L'interaction entre les photons et les électrons peut d'ailleurs s'exprimer en termes de chocs de particules. S'il est parfaitement

élastique, ce choc entraîne seulement un changement de direction du photon, sans perte d'énergie, donc sans changement de longueur d'onde : c'est la diffusion RAY-LEIGH. Mais on peut imaginer un processus dans lequel le photon incident transmet une partie de son énergie à l'électron, et donc à l'atome auquel il appartient. L'atome est alors porté à un état d'énergie supérieur, appelé **état excité**. Le photon ayant perdu une partie de son énergie correspond à un rayonnement diffusé, de longueur d'onde supérieure. L'écart entre les fréquences du rayonnement incident et du rayonnement diffusé prend des valeurs parfaitement définies par les niveaux d'énergie de l'atome cible. On observera donc dans le faisceau diffusé des raies caractéristiques, dites raies STOKES. Il est possible aussi - avec une probabilité moindre - que le choc du photon s'accompagne d'un gain d'énergie, prélevée à l'atome qui passe à un niveau inférieur. Le rayonnement diffusé, de longueur d'onde inférieure, comporte là encore des raies caractéristiques appelées raies anti-STOKES. L'ensemble de ces phénomènes représente la diffusion RAMAN, avec changement de longueur d'onde découverte, pour les transitions moléculaires, en 1930.

A ce processus facile à interpréter, il convient d'associer des phénomènes plus complexes, englobés sous le nom de **photoluminescence** : fluorescence, phosphorescence..., dans lesquels des impuretés actives jouent un rôle capital.

L'excitation des atomes, suivie d'émission lumineuse, est encore réalisée par chocs de particules matérielles : électrons, ions, noyaux,... convenablement accélérées.

Enfin, la théorie quantique peut s'enorgueillir d'avoir mis en valeur le processus d'émission **stimulée**. Au processus naturel d'émission spontanée par désactivation aléatoire d'états excités, EINSTEIN a montré qu'il convenait d'associer un autre mode de désactivation, amorcé par la présence du rayonnement ayant la fréquence susceptible d'être émise. Alors que l'émission spontanée est incohérente, et se produit dans toutes les directions, l'émission stimulée est en phase avec l'onde excitatrice, et provoque un rayonnement très directif. On peut dire que l'onde excitatrice est amplifiée en désactivant d'un coup tous les états excités, à partir d'un seuil de densité d'énergie localisée. C'est le processus de base exploité dans les **lasers**.

Donnons comme exemple le schéma énergétique du premier laser réalisé, à partir d'ions Cr^{3+} dispersés dans un rubis synthétique, Al_2O_3 (Fig.1). Les niveaux d'énergie de ces ions sont définis par 3 valeurs W_1, W_2, W_3 ; au moyen d'une lampe «flash» intense, on provoque l'excitation des ions Cr^{3+} dans le niveau W_3 (pompage optique). La bande d'absorption est large, située dans la partie verte du spectre. Après une première transition non radiative (émission de phonons), les

ions se trouvent sur le W_2 , qui est plus peuplé que W_1 : un retour à l'équilibre se fait, par émission stimulée, entre W_2 et W_1 , de la radiation $\lambda = 694,3 \text{ nm}$. La finesse de la raie est essentielle pour la qualité du rayonnement émis.

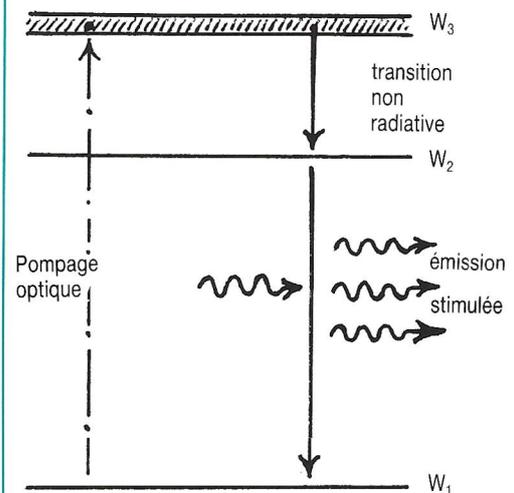


Figure 1 : Schéma énergétique de la transition laser dans un rubis dopé au chrome.

DONNÉES EXPERIMENTALES

Absorption de la lumière. Lorsque le verre sert à transmettre la lumière, toute absorption est nuisible; s'il s'agit en revanche de réaliser des filtres ou des atténuateurs, on pourra profiter du caractère sélectif du phénomène pour obtenir le résultat voulu.

Examinons d'abord comment on peut étudier expérimentalement les caractéristiques d'absorption d'un verre. Pour déterminer les pertes subies par un faisceau lumineux monochromatique (λ) au cours de la traversée d'une épaisseur connue de matériau, supposé homogène et isotrope, on utilise une lame à faces parallèles, F_1 et F_2 , distantes de d , que la lumière traverse sous incidence normale.

- Soient I_1 l'intensité incidente tombant sur F_1 ;
- Soient I'_1 l'intensité réfléchie par F_1 ;
- Soient I_0 l'intensité entrant, par F_1 , dans la lame;
- Soient I_2 l'intensité arrivant sur F_2 après traversée de la lame;
- Soient I'_2 l'intensité réfléchie dans la lame par F_2 ;
- Soient I_3 l'intensité sortant de la lame par F_2 .

Appelons R_1 le facteur de réflexion sur F_1 , R_2 sur F_2 . La théorie électromagnétique montre que

$$R_1 = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2, \quad R_2 = \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2;$$

n est l'indice de réfraction du verre par rapport à l'air.

On voit que $R_1 = R_2$. Notons-le R .

$$\begin{aligned} \text{On a } I'_1 &= RI_1 & I'_2 &= RI_2 \\ I_0 &= I_1 - I'_1 = (1-R)I_1 \\ I_3 &= I_2 - I'_2 = (1-R)I_2 \end{aligned}$$

Nous avons vu que, pour une épaisseur x traversée, on a

$$I(x) = I_0 \exp(-Kx)$$

Pour $x = d$, on trouve

$$I_2 = I_0 \exp(-Kd)$$

K est le coefficient d'absorption, pour la longueur d'onde λ . La **transmittance** T est le facteur de transmission interne du matériau.

On a

$$T = \frac{I_2}{I_0} = \exp(-Kd)$$

En pratique, on mesure la **transmission** τ , **facteur de transmission externe**, défini par

$$\tau = \frac{I_3}{I_1}$$

$$\tau = \frac{(1-R) I_2}{I_1} = (1-R)^2 \frac{I_2}{I_0} = (1-R)^2 T$$

On a donc

$$T = \frac{\tau}{(1-R)^2}$$

$$1-R = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{n^2+2n+1-n^2+2n-1}{(n+1)^2}$$

$$1-R = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

Ce qui donne

$$T = \frac{(n+1)^4}{16 n^2} \tau$$

On pose généralement $T = 10^{-Xd}$;

X est l'indice d'extinction, Xd la densité optique D . Comme $T = \exp(-Kd) = 10^{-Xd}$, on obtient, en prenant le logarithme népérien des deux membres

$$-Kd = -Xd \ln(10)$$

Or $\ln(10) = 2,3026$. On a

$$K = 2,3026 X$$

Toutes les grandeurs utilisées ici dépendent de la longueur d'onde λ du rayonnement utilisé. Elles doivent donc être mesurées en utilisant un faisceau monochromatique.

Lorsque les épaisseurs traversées d atteignent des valeurs élevées (plusieurs dizaines de km, comme dans le cas des fibres optiques), on doit caractériser l'affaiblissement du faisceau sur un parcours standard, par exemple un kilomètre. On définit pour cela l'atténuation, après $d_1 = 1$ km de parcours, par la densité optique

$$D_1 = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_2} \right) = X d_1$$

On a pris l'habitude de l'exprimer en BEL par km. Multiplié par 10, c'est, en décibel par km, le critère classique de transparence des fibres optiques. Pour une fibre en silice, l'ordre de grandeur de D_1 est de 5 à 50 dB/km.

Dans l'analyse des fondements théoriques de la propagation de la lumière à travers les milieux matériels, nous avons présenté les trois phénomènes qui atténuent l'intensité en absorbant de l'énergie. Ce sont l'absorption

électronique, la diffusion et l'absorption vibrationnelle. Ces phénomènes coexistent toujours, dans tous les milieux matériels, mais leur importance relative dépend du matériau et du rayonnement transmis (figure 2).

L'absorption électronique traduit la perte d'énergie du faisceau incident par l'excitation des électrons du milieu traversé. On sait que le phénomène est quantifié, mais les états énergétiques des électrons d'un solide sont si variés qu'en pratique, le spectre d'absorption peut être quasi-continu. Les calculs montrent que les fréquences propres d'excitation s'étendent du visible, pour les électrons les moins liés, au domaine X pour ceux des couches profondes. En optique, le domaine privilégié de ce type d'absorption est l'**ultraviolet**. On conçoit que cette absorption soit impossible à éviter; on peut seulement déplacer son maximum vers des zones de moindre intérêt pour l'utilisateur, par un choix convenable des constituants du matériau. Pour minimiser ce phénomène, la seule idée générale à suivre est que moins il y aura d'électrons excitables dans le milieu traversé, moins l'absorption sera forte : on choisira donc des combinaisons d'atomes de numéros atomiques Z faibles (atomes légers). Et, pour repousser les raies d'absorption vers les courtes longueurs d'onde (UV lointain), les énergies de liaison, qui conditionnent les niveaux d'énergie des électrons de valence, devront être choisies aussi grandes que possible (liaisons ioniques ou covalentes fortes).

La diffusion RAYLEIGH est une perte d'énergie d'origine structurale. Dans un verre, elle est essentiellement due aux inhomogénéités physico-chimiques : variations de composition locale, de densité, de structure... Ces irrégularités se traduisent par des modifications locales de la vitesse de propagation de la lumière, donc de l'indice de réfraction. Les calculs montrent que l'intensité de la diffusion RAYLEIGH est inversement propor-

tionnelle à λ^4 : elle est donc plus marquée pour les courtes longueurs d'onde (UV).

L'expérience montre que cette absorption est quasi-nulle dans les cristaux, milieux **ordonnés**. Un verre ne peut pas atteindre cet état, sous peine de perdre son identité. Mais, au cours de son élaboration, on devra éviter toute cause d'inhomogénéité : en particulier, on refroidira très lentement et très régulièrement la masse vitreuse. Pour que les mouvements d'atomes à l'intérieur de la matière puissent se faire dans les meilleures conditions, on recherchera les matériaux dont la température T_g de transition vitreuse soit la plus faible possible : on sait en effet voir «Auvergne-Sciences», n° 14) que la structure d'un verre n'est complètement figée qu'en dessous de cette température. L'évolution spontanée d'un verre, maintenu au dessus de T_g pendant longtemps, montre une atténuation lente, mais continue, de la diffusion RAYLEIGH.

L'absorption vibrationnelle est celle que l'on peut le mieux maîtriser, car elle dépend essentiellement du matériau. C'est un phénomène complexe, à caractère quantique, qui fait intervenir la charge, la masse, l'environnement de chaque atome ou ion constituant le verre. Deux atomes liés se comportent comme deux masses ponctuelles reliées par un ressort très raide; soumis à des actions extérieures, ce système vibre continuellement en absorbant de l'énergie. L'amplitude de la vibration passe par un maximum pour certaines fréquences : c'est la **résonance**.

On peut prévoir, qualitativement au moins, que l'efficacité de l'interaction rayonnement/résonateur est directement liée à la charge électrique soumise au champ excitateur, et que la fréquence de résonance dépend des masses en jeu et de la «force» de la liaison.

Pour des ions de masse faible, fortement liés, cette fréquence sera élevée; la longueur

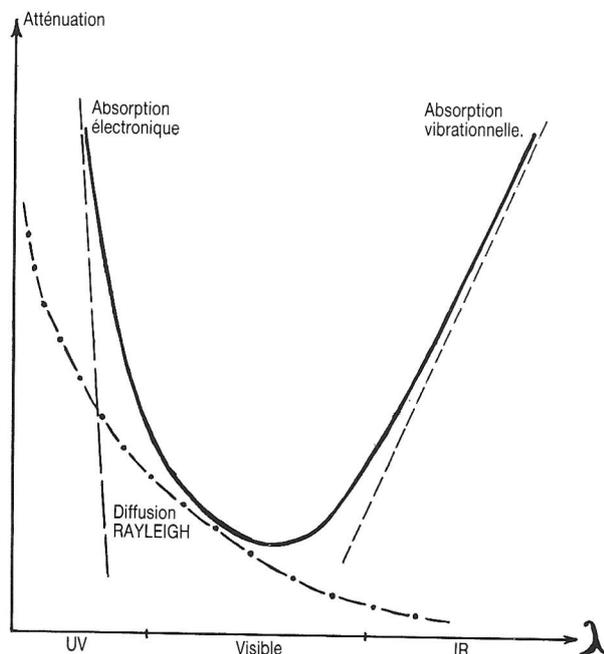


Figure 2 : Importance relative, en fonction de la longueur d'onde, des phénomènes d'absorption électronique, de diffusion RAYLEIGH et d'absorption vibrationnelle.

d'onde du maximum d'absorption se trouve alors dans l'infrarouge proche; on pourra, en choisissant des ions lourds faiblement liés, la déplacer vers des longueurs d'onde situées dans un domaine sans intérêt pratique (30 à 50 μm).

Les matériaux cristallisés présentent des raies de résonance bien définies; dans un verre, le désordre structural entraîne un étalement en longueur d'onde du phénomène. Mais les idées générales restent applicables sans restriction. A ces causes fondamentales d'absorption, dites INTRINSEQUES, il faut toujours associer les conséquences, inévitables, de défauts de la fabrication des verres, qui provoquent des pertes EXTRINSEQUES. La propagation de la lumière est notamment perturbée par les impuretés, les inclusions, les bulles, les fissures, les rayures ou les salissures de surface, etc... qu'il convient bien entendu d'éliminer radicalement dans les verres d'optique, et surtout les fibres.

A la lumière de ces constatations, examinons les matériaux les plus aptes à la transmission optique, dans les trois domaines conventionnels de longueur d'onde : visible, ultraviolet, infrarouge.

1 - TRANSMISSION DANS LE SPECTRE VISIBLE

D'après les remarques précédentes, c'est le domaine spectral le plus avantageux, car il est encadré par les deux causes d'absorption d'origine atomique. Il existe néanmoins des possibilités d'absorption qu'il convient d'éliminer radicalement : elles sont créées par les ions d'éléments de transition, ceux-là même qui permettent la coloration du verre : en particulier Fe, Co, Ni, Cr, Cu, V, ... La concentration atomique maximale admissible de ces éléments doit impérativement être inférieure à 10^{-6} (une partie par million, en abrégé 1 ppm). Pour un verre destiné à la fabrication de fibres optiques, elle ne doit pas dépasser la dizaine de ppb... (1 ppb = une partie par milliard, soit 10^{-9})... A ce propos, on peut dire que si le verre à vitres était d'aussi grande qualité on verrait parfaitement à travers des vitres de 100 km d'épaisseur !

Dans le domaine visible et ses confins immédiats, le matériau optique de référence est la silice fondue, SiO_2 , transparente. Si on l'obtient à partir de quartz fondu, on observe la courbe (1) de la figure 3 qui représente la transmission τ d'une lame à face parallèles de 10 mm d'épaisseur. (L'indice de réfraction moyen est $\bar{n} = 1,46$; il intervient dans le coefficient de réflexion R). On remarque que la transmission est médiocre en dessous de 250 nm, puis elle atteint 95 % entre 300 nm et $1\mu\text{m}$; au delà, on remarque trois accidents importants à 1,40, 2,22 et surtout $2,73\mu\text{m}$. Il s'agit de bandes d'absorption attribuables aux ions OH^- dont il est impossible de débarrasser la silice d'origine naturelle. Sur la

Les propriétés optiques de la silice .

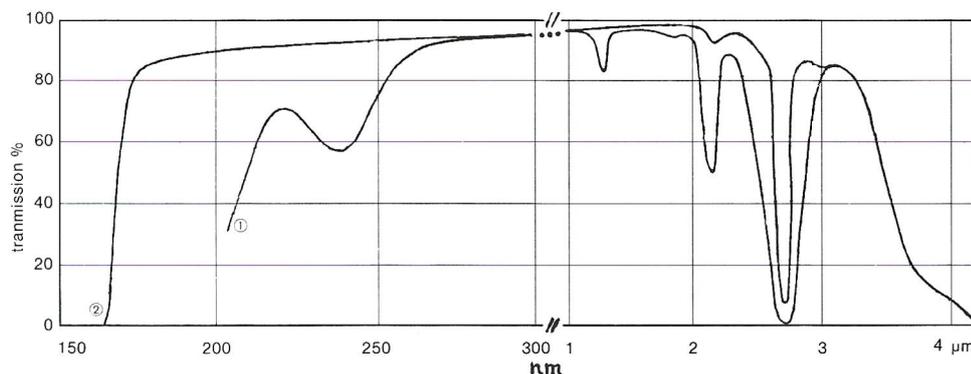


Figure 3 : Transmission d'une lame de silice SiO_2 de 10 mm d'épaisseur, en fonction de la longueur d'onde λ .
 Courbe 1 : quartz fondu au four électrique.
 Courbe 2 : silice pure de synthèse.

même figure, on trouvera la transmission d'une lame de géométrie identique, mais faite de silice synthétique (courbe 2). Les performances de ce matériau sont meilleures; Sa transparence est supérieure dans l'ultraviolet en dessous de 270 nm, et les pics d'absorption dus à OH^- sont atténués. Mais le comportement est le même au delà de $3\mu\text{m}$, car l'absorption, dans cette partie du spectre infrarouge, provient de la mise en résonance des groupements Si-O de la charpente vitreuse.

Dans les mêmes conditions, un verre à vitres ordinaire montrerait une succession de pics d'absorption, attribuables à des impuretés : nombreux du côté ultraviolet, (rendant la transmission négligeable en dessous de 320 nm), ils seraient encore présents dans le visible à cause de traces d'ions de transition; et l'abondance des ions OH^- rendrait la transmission négligeable dans l'infrarouge dès $1,5\mu\text{m}$.

2 - TRANSMISSION DANS L'ULTRAVIOLET

Si l'on souhaite transmettre un rayonnement ultraviolet, on doit chercher des matériaux respectant au mieux les critères définis en tête de ce paragraphe :

- Atomes aussi légers que possible (bore, fluor, lithium)
- Liaisons fortes, ioniques ou covalentes;
- Faible valeur de la température de transition vitreuse T_g ;
- Diffusion RAYLEIGH aussi réduite que possible.

La silice de synthèse donne, comme nous l'avons vu, des résultats satisfaisants jusqu'à 180 nm environ. La transmission est meilleure avec les monocristaux, car la diffusion RAYLEIGH y est réduite; On remplace la silice par le quartz, ou des fluorures sous forme de monocristaux synthétiques : fluorures de

magnésium MgF_2 , de baryum BaF_2 jusqu'à 150 nm; fluorure, CaF_2 , qui permet de descendre à 123 nm; au delà, on doit recourir au fluorure de lithium LiF . Sa limite ultime d'utilisation est proche de 100 nm. Il faut d'ailleurs remarquer que l'oxygène de l'air absorbe l'ultraviolet à partir de 195 nm : il faut impérativement opérer sous vide pour transmettre ce rayonnement.

3 - TRANSMISSION DANS L'INFRAROUGE

C'est dans ce domaine spectral que la science des matériaux a recueilli, ces dernières années, les succès les plus spectaculaires. La spectrométrie d'absorption infrarouge, moyen d'investigation privilégié en chimie, a exigé la recherche de matériaux à haute transparence dans cette région du spectre. Le verre ordinaire devient opaque vers $2,5\mu\text{m}$, le quartz vers $4\mu\text{m}$; au delà, on doit utiliser la fluorine jusqu'à $10\mu\text{m}$, le sel gemme CaNa jusqu'à $20\mu\text{m}$ et la sylvine KCl son homologue KBr ou mieux CsBr , jusqu'à $25\mu\text{m}$. Mais les performances de ces matériaux monocristallins sont très affectées par leur fragilité et leur vulnérabilité (ils sont hygroscopiques). De plus, leur fabrication est très coûteuse. Ils sont exclusivement réservés aux recherches en laboratoire. Devant l'intérêt présenté, dans des domaines d'avenir comme les télécommunications ou les applications techniques des faisceaux laser, par le rayonnement infrarouge, l'industrie a recherché de nouveaux matériaux présentant de bonnes transparences et une grande stabilité physico-chimique, en particulier en vue de la production de fibres. Des monocristaux de silicium, de germanium donnent de bons résultats, mais sont très onéreux. On a d'abord testé - en appliquant au mieux les critères déduits de constatations théoriques - des substances polycristallines comme les halogénures de thallium ou d'argent. Mais la difficulté d'éliminer totalement les impuretés

LE DOSSIER

n'a pas permis d'obtenir les résultats escomptés.

On a alors examiné les **verres de chalcogénures** (à base de soufre, sélénium, tellure). Parmi eux, As_2S_3 et As_2Se_3 sont avantageux. (On envisage aussi d'utiliser GeS_2 et Ga_2S_3). L'absorption électronique de ces matériaux est forte dans le visible : ces verres sont presque opaques à la lumière naturelle (As_2S_3 est rouge, As_2Se_3 noir, par transmission, en lame mince). Les indices de réfraction sont élevés (proches de 2,5).

La transition vitreuse se produit à basse température (entre 150 et 180°C) : la diffusion RAYLEIGH est réduite.

La transmission de As_2S_3 est bonne (85 %) jusqu'à 10 μm ; celle de As_2Se_3 reste correcte jusqu'à 14 μm . Il importe d'éviter la contamination par l'eau ou les petites molécules hydrogénées. Les séléniures de zinc ou de cadmium ($ZnSe$, $CdSe$) à l'état polycristallin sont également performants, mais la transmission optimale reste limitée à 70 %.

Il existe enfin une autre classe de matériaux très prometteurs, les **verres fluorés**. Développés à l'Université de Rennes depuis 1974, ces composés ont des performances remarquables.

À l'origine de leur découverte, il y a une remarque simple : l'ion F^- a une masse très voisine de celle de O^{2-} , mais il est deux fois moins chargé : la liaison métal-fluor M-F est donc - en principe - deux fois moins forte que la liaison M-O. De ce fait, sa fréquence propre de vibration est déplacée vers les grandes longueurs d'onde, surtout si M est un atome lourd, ce que confirme l'expérience. On a retenu en particulier ZrF_4 et ThF_4 , qu'il faut associer à ZnF_2 pour stabiliser le verre.

La transmission de ces verres, comparée à celle de SiO_2 , est présentée sur la figure 4. Le résultat est éloquent. De plus, les fluorures ont des températures de transition vitreuse modérées (inférieures à 300°C), ce qui limite

les effets de la diffusion RAYLEIGH. Un autre avantage est dû au fait que les ions fluor, très électronégatifs, font un écran efficace aux impuretés métalliques : la purification exigée des composants est moindre qu'avec les oxydes. Enfin, les verres fluorés, composés saturés, sont d'une remarquable stabilité chimique, bien supérieure à celle des sulfures ou séléniures cités plus haut. Ce seront, très vraisemblablement, les constituants des fibres optiques destinées à transmettre à longue distance des signaux dans la gamme future de 3 à 5 μm . On peut espérer des atténuations meilleures que 10^{-2} dB/km, résultat imbattable actuellement avec d'autres matériaux; mais il faut, bien entendu, éviter la présence d'ions OH^- , dans la fibre comme aux connexions : on a calculé qu'à la teneur de 1 ppm, l'atténuation correspondante serait de l'ordre de 10.000 dB/km !

LES FILTRES OPTIQUES PAR ABSORPTION

Ils exploitent l'absorption sélective du rayonnement par les éléments ou combinaisons d'éléments qu'ils contiennent. On distingue les filtres passe-haut, passe-bas, passe bande, comme en électronique.

Dans le domaine visible, par exemple, on peut réaliser de tels filtres en introduisant dans le verre des ions de métaux lourds ou de terres rares. Leur absorption est sélective, et dépend de la nature et de la concentration des ions, du degré d'oxydation dans la matrice vitreuse et du traitement thermique subi par le verre. On conçoit, au vu de toutes ces variables, qu'on puisse obtenir autant de types de filtres qu'on le désire. Toutefois, lorsqu'on exige une absorption limitée à un domaine très étroit de longueur d'onde, on devra utiliser des filtres interférentiels, dont le principe est différent.

L'absorption des filtres peut être liée à un changement du degré d'ionisation d'un ion :

par exemple Fe^{2+} absorbe des longueurs d'onde comprises entre 0,9 et 1,2 μm tandis que Fe^{3+} absorbe l'ultraviolet et le bleu; ou l'effet du rayonnement UV, l'ion europium Eu^{2+} dispersé dans un verre de silice passe à l'état de Eu^{3+} , en développant une coloration améthyste dans le verre, initialement peu absorbant dans le visible; la transformation est réversible.

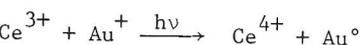
De même, la dispersion de micro-cristaux d'halogénures d'argent dans un verre d'optique donne lieu, sous un rayonnement convenable, et pour une dimension optimale des grains, obtenue par recuit, à la réaction photochimique réversible



Dans ces deux derniers cas, le verre s'assombrit sous l'effet de l'éclairement. On a ainsi constitué des verres **photochromes** fort utiles contre l'éblouissement : Ils servent par exemple pour les lunettes de soleil.

En dopant un verre phosphaté avec Fe^{2+} , on obtient un filtre absorbant l'infrarouge et transmettant le visible. Ce verre protège par exemple les diapositives, pendant une projection, du rayonnement infrarouge intense de la lampe à filament de tungstène placée à proximité (Verre anticalorique).

On peut aussi faire apparaître ou disparaître des colorations dans le verre par des réactions électroniques à l'état solide. Ainsi l'échange ionique



fait apparaître une coloration rouge caractéristique de la dispersion d'or métallique dans la matrice vitreuse, modulable en fonction du rayonnement reçu, ce qui donne la possibilité de produire des images à l'intérieur du verre.

Signalons enfin que l'application locale d'un champ électrique intense peut provoquer des modifications de comportement des ions, entraînant des variations d'absorption optique : par ce moyen, on réalise des verres **électrochromes**, par exemple à base d'oxyde de tungstène WO_3 .

D'autres phénomènes physiques : température, pression, contrainte mécanique locale, impact de particules, etc... sont susceptibles de modifier les conditions d'absorption des matériaux vitreux. On peut mettre à profit ces propriétés dans la conception de capteurs physiques et d'appareils de mesure.

Au lieu d'incorporer des ions dans le verre, on peut aussi y introduire des chalcogénures, en particulier CdS et $CdSe$. À partir d'une matrice siliceuse comportant une petite quantité d'oxyde de zinc, l'introduction de sulfure et de séléniure de cadmium, suivie d'un traitement thermique précis, permet d'obtenir un verre absorbant totalement l'ultraviolet et une partie du spectre visible jusqu'à un seuil au delà duquel l'absorption diminue fortement. Ce seuil dépend du rap-

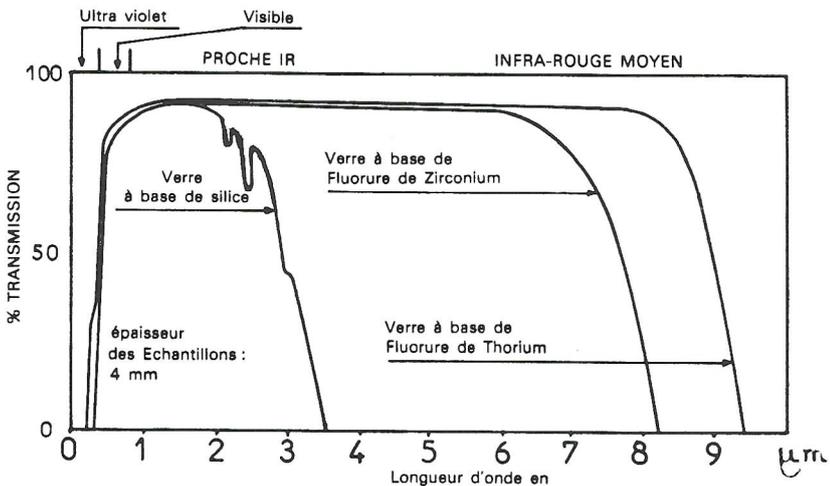


Figure 4 : Transmission comparée de SiO_2 , ZrF_4 et ThF_4 dans les domaines ultraviolet, visible, infrarouge proche et moyen.

port CdS/CdSe, ainsi que la durée du traitement thermique effectué.

Une application pratique de l'absorption sélective des rayonnements par les matériaux vitreux est la mise au point de vitrages favorisant l'effet de serre. On sait en effet que le rayonnement solaire parvenant à la surface terrestre présente un maximum d'intensité dans le bleu et le proche ultraviolet; le rayonnement infrarouge produit par le corps noir, aux températures courantes (de 0 à 50° C) a un maximum vers 10 μm. Il faut donc réaliser des vitrages laissant bien passer le visible et le proche ultraviolet, mais réfléchissant l'infrarouge lointain. On obtient de bons résultats avec des couches minces (environ 1 μm) d'oxyde d'étain SnO₂, ou un dépôt très mince (20 nm) d'argent métallique entre 2 couches protectrices d'oxyde de titane, TiO₂.

La fabrication industrielle, sur de grandes surfaces, de tels films, dont l'épaisseur doit être constante, pour éviter les irisations, est encore trop délicate pour permettre une application courante de ce procédé. Mais les résultats sont très prometteurs.

APPLICATIONS EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

Une application annexe du verre, dans le domaine de l'absorption, est son aptitude à servir d'écran de protection en physique nucléaire. On sait que les laboratoires ou ateliers dans lesquels on manipule des substances radioactives doivent être blindés par des matériaux contenant des atomes lourds (béton baryté, plomb...). Lorsqu'on veut observer les opérations menées dans ces conditions, il faut utiliser des hublots laissant passer la lumière, mais pas les rayonnements dangereux. On utilise toujours du **verre au plomb**. On le caractérise par son équivalence avec une plaque de plomb qui aurait les mêmes effets d'absorption que la lame de verre formant le hublot. Si, par exemple, on dispose d'un verre protecteur dont l'équivalence au plomb est 0,27, un hublot de 10 cm d'épaisseur offrira la même protection qu'une plaque de plomb de 10 × 0,27 = 2,7 cm d'épaisseur.

On réalise des verres dont l'équivalence au plomb (toujours < 1) peut aller jusqu'à 0,6. (En toute rigueur, ce coefficient dépend du rayonnement à arrêter : les mesures sont faites à partir de sources radioactives de référence : Co⁶⁰, Cs¹³⁷...). La densité de ces verres est élevée (de 2,5 à 5,2). L'absorption porte sur les trois rayonnements fondamentaux : α, β, γ. Les deux premiers, formés de particules, sont les plus faciles à arrêter. Le rayonnement γ, de type électromagnétique, à très courte longueur d'onde, interagit avec les atomes du verre, par ionisation et émission secondaire, de plus faible énergie.

L'ionisation se traduit par l'apparition de charges électriques dans le verre du côté «chaud». Si les doses reçues dépassent un

certain seuil, une décharge locale peut se produire et endommager le hublot par fissuration. Pour limiter ce phénomène, on introduit dans le verre des éléments capables de fixer ou transmettre les électrons libres. On observe en même temps un brunissement du verre irradié, avec diminution notable de sa transparence. On combat ce phénomène en introduisant dans la composition une petite quantité d'oxyde de cérium CeO₂ (moins de 2,5 %). L'irradiation a créé des **centres colorés** : le cérium, qui possède plusieurs états de valence, capte les électrons libres, fait disparaître les centres colorés et stabilise le comportement du verre.

La coloration d'un verre sous l'effet de rayonnements radioactifs peut être exploitée en dosimétrie; de même la formation de centres colorés est mise à profit dans les scintillateurs.

Il existe enfin une importante application du verre en technologie nucléaire : c'est le **stockage des déchets radioactifs**. Dans ce cas, on souhaite rendre inoffensifs les éléments dont l'activité décroît très lentement dans le temps. Il s'agit à la fois d'absorber le rayonnement d'éviter toute réaction en chaîne; or celle-ci est activée par un flux de neutrons qu'il convient d'éliminer. Le bore est, parmi les éléments courants, le meilleur absorbant, selon la réaction



Le bore 10 est présent à raison de 19 % dans le bore naturel, qui contient par ailleurs du bore 11, moins efficace. Il suffit de quelques % de bore 10 dans un verre pour atténuer très fortement un faisceau de neutrons. Or il se trouve que le bore, par une particularité de sa sphère de coordination, forme, à l'état d'oxyde B₂O₃, en présence de SiO₂ et Na₂O, des composés vitreux à coefficient de dilatation très faible : il s'agit comme dans les vitro-céramiques de micro-domaines quasi-cristallins de borate alcalin dispersés dans une matrice de silice pure. Ce matériau est très résistant du point de vue mécanique et thermique (c'est le PYREX), ce qui convient bien aux applications évoquées ci-dessus. En y ajoutant des éléments lourds comme le plomb ou le baryum, on obtient du même coup l'absorption complète de tous les rayonnements radioactifs, ce qui permet un stockage en chambres souterraines des déchets à longue durée de vie.

REFRACTION ET DISPERSION

La plupart des applications du verre en optique reposent sur les lois de la réfraction : la formation d'images nécessite le passage, réel ou virtuel, des rayons lumineux par des foyers, grâce à des lentilles ou, plus généralement, des systèmes centrés réfringents. Les concepteurs d'instruments d'optique doivent choisir, parmi les différents verres dont ils disposent, ceux qui formeront les meilleures combinaisons.

Les calculs habituels ne sont rigoureux que dans les **conditions de GAUSS** : faisceaux de faible ouverture, rayons proches de l'axe de révolution du système, traversant presque orthogonalement les dioptries successifs; lumière monochromatique.

Dans la réalité, ces conditions ne sont jamais satisfaites : ainsi un objectif de microscope travaille à grande ouverture (près de 150°), avec de la lumière blanche.

Les systèmes optiques travaillant hors des conditions de GAUSS présentent des défauts, appelés **ABERRATIONS**. Celles qui sont dues à la complexité de la lumière sont dites **aberrations chromatiques**; celles qui subsistent en lumière monochromatique portent le nom d'**aberrations géométriques**.

La correction des aberrations est l'une des premières exigences à résoudre. Mais ce n'est pas la seule; les instruments d'optique doivent transmettre le plus de lumière possible (critère de luminosité); présenter le plus fort grossissement et permettre l'observation de détails aussi fins que possible (pouvoir séparateur) dans le cas des lunettes ou des microscopes; donner des images de netteté optimale bien contrastées, dans le cas des objectifs photographiques; ne pas être trop encombrants, trop lourds, trop fragiles, etc... et, bien entendu, coûter le moins cher possible!

C'est donc toujours un compromis qu'il s'agit de rechercher. L'informatique a apporté aux concepteurs de systèmes optiques une aide considérable, et a fait faire aux instruments des progrès décisifs; mais la science des matériaux a également eu une contribution significative. Sans entrer dans les détails de ces études, rappelons quelques étapes fondamentales dans cette progression.

L'utilisation d'une seule lentille ne permet que peu de correction; toutefois, on peut diminuer la courbure des faces, génératrice de distorsions géométriques, en choisissant un **verre d'indice élevé**; pour réduire les aberrations chromatiques, on choisira en plus un **verre peu dispersif**.

Ce schéma est simpliste; on sait depuis longtemps que, pour corriger dans de bonnes conditions les différentes aberrations, il faut combiner plusieurs lentilles de formes et de natures différentes. Ainsi, au XVIII^e siècle, on savait déjà réduire l'auréole colorée des images en associant une lentille en flint (verre très dispersif) avec une lentille en crown (verre peu dispersif). En jouant d'autre part avec la géométrie des lentilles, on obtient un **achromat**, qui corrige les aberrations chromatiques au 1^{er} ordre. Avec 3 lentilles ou plus, on peut faire mieux : le système optique est alors dit **apochromatique**. Dans le même temps, il faut bien entendu réaliser la correction des aberrations géométriques, selon des procédures trop complexes pour être décrites ici : elles reposent sur une optimisation des surfaces de séparation entre les lentilles successives, qui ne sont plus sphériques.

LE DOSSIER

Aujourd'hui, les objectifs photographiques de grande ouverture comportent jusqu'à dix lentilles; les «zooms» des caméras de télévision peuvent en avoir jusqu'à trente! on conçoit la complexité des calculs à faire pour tracer, dans le détail, la marche d'un rayon lumineux d'orientation quelconque à travers le système.

Sur de tels assemblages, à performances identiques, la réduction du poids devient un critère important. On verra un peu plus loin que les verres très réfringents (flint) contiennent traditionnellement une forte proportion d'oxyde de plomb. D'où l'intérêt de créer de nouveaux verres, conservant un indice élevé, mais contenant des oxydes plus légers.

D'ailleurs, la composition chimique d'un verre détermine des critères qu'il faut prendre en compte; ainsi, le flint est très vulnérable aux rayures ou aux chocs; c'est un verre tendre, fragile. Ces caractéristiques jouent un rôle important en cours de fabrication. Il faut souvent recouvrir les surfaces de ces lentilles avec des couches protectrices, sans perdre les caractéristiques optiques. D'ailleurs, cette procédure permet parfois des améliorations purement optiques, comme par exemple les **couches anti-reflets**.

La qualité des corrections apportées n'est réaliste que si les verres sont homogènes; dans un milieu donné, l'indice doit rester constant, dans tout le volume de la lentille, à la cinquième ou même la sixième décimale près. La présence de «bulles», de granularités, de stries (variations locales d'indice) est tout à fait rédhibitoire. Ce sont les conditions de fabrication, de fusion et de refroidissement du matériau qui sont en jeu; le refroidissement, en particulier, doit être très lent et très régulier (moins de 1° à l'heure)!

Une tendance d'avenir se fait jour, et nous l'avons déjà signalée (Auvergne Sciences n° 14 p. 7). C'est la fabrication de composants optiques dont la composition chimique, et donc l'indice de réfraction, varieront de façon continue, connue.

Pour fabriquer de tels composants il y a deux solutions :

- soit fabriquer des blocs, le plus souvent cylindriques, de verre que l'on plonge dans un sel fondu contenant des ions adéquats, alcalins par exemple; les ions pénètrent dans le verre, où se produit un échange d'autant plus important que l'opération s'effectue près du bord (par exemple, des ions sodium du verre sont remplacés par des ions potassium). En taillant des lames convenablement orientées dans ces blocs, on peut obtenir des composants optiques équivalents à des lentilles, mais sans faces courbes.

- soit plus simplement modifier localement la composition du verre, à la surface de lentilles déjà ébauchées, pour faire varier l'indice superficiel. On peut ainsi réduire le nombre de lentilles des objectifs, ou obtenir des états de surface plus favorables à l'utilisation. Voyons maintenant les caractéristi-

ques des verres actuellement utilisés.

L'indice n dépend de la composition d'un verre et de la longueur d'onde du rayonnement réfracté. L'histoire de la fabrication des verres d'optique est marquée par des jalons qui correspondent à des découvertes significatives. Au XIX^e siècle, on ne connaissait que les verres sodocalciques ordinaires, appelés CROWN, ($n = 1,52$) ou les verres au plomb, appelée FLINT ($n = 1,62$). Les recherches du physicien allemand ABBE (1840-1905) montrèrent l'utilité de caractéristiques différentes, qu'il fit réaliser par un chimiste spécialiste des verres, SCHOTT (1851-1935). Deux critères apparurent déterminants : l'indice moyen n , et la constringence

$$v = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$

Les indices d, F, C caractérisent des longueurs d'onde de référence :

d est la raie d'émission de l'hélium à $\lambda_d = 587,56 \text{ nm}$

F est la raie d'émission de l'hydrogène $\lambda_F = 486,13 \text{ nm}$

C est la raie d'émission de l'hydrogène $\lambda_C = 656,27 \text{ nm}$

Un crown ordinaire a une constringence comprise entre $v = 45$ et $v = 60$. Un flint, selon sa teneur en plomb, voit v varier de 35 à 45.

Les travaux de SCHOTT aboutirent, en 1880, à la mise au point de nouveaux verres exclusivement destinés à l'optique :

- des crowns allégés avec B_2O_3 (borosilicate crown) ($n = 1,51, v \approx 65$)
- des crowns à l'oxyde de baryum BaO (baryum-crown) ($n = 1,59, v \approx 60$)
- des flints à l'oxyde de baryum (baryum-flint) ($n = 1,59, v \approx 45$)

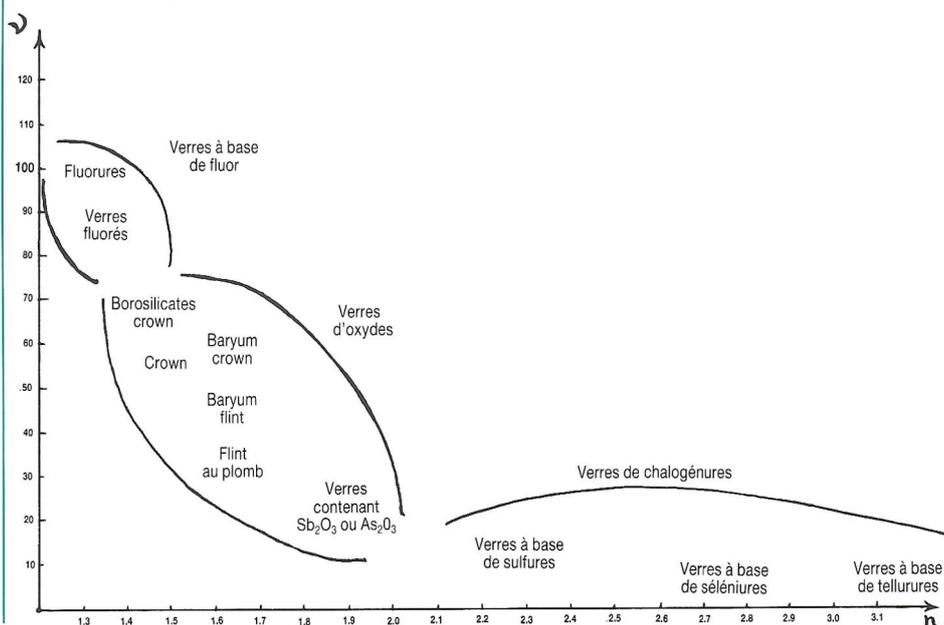
Ces matériaux firent faire des progrès déterminants à l'optique instrumentale. Il faut alors attendre 1934 pour voir la technologie franchir une nouvelle étape, avec l'introduction, dans le verre, de fluorures ou de phosphates.

Les premières donnent des indices faibles ($n \approx 1,45$) et de fortes constringences ($v \approx 60-70$); les seconds ont des propriétés qui dépendent du cation engagé, donnant un élargissement remarquable à la gamme de possibilités.

Les caractéristiques offertes par les verres se diversifièrent encore lorsqu'à partir de 1947, on fit appel à de nouveaux oxydes : $Sb_2O_3, As_2O_3, La_2O_3, \dots$, ou à de nouveaux fluorures : MgF_2, TiF_4, \dots . Une règle empirique se dégagait de ces essais : les oxydes d'éléments lourds augmentent n et diminuent v : ainsi, avec un mélange convenable de Sb_2O_3 et As_2O_3 , on pourra par exemple obtenir $n = 2,1$ et $v = 17$. Un verre à base de fluorures pourra au contraire présenter un indice faible (par exemple $n = 1,35$) et une constringence élevée ($v = 100$).

Les verres de chalcogénures (sulfures, séléniures, tellurures) ne sont pas encore très développés. La plupart ne sont pas transparents dans le domaine visible, mais leurs applications sont intéressantes, comme nous l'avons vu, dans l'infrarouge. Leur indice est, dans ce cas, particulièrement élevé (de 2 à 4); en revanche, leur constringence paraît généralement très faible (< 10). C'est un domaine d'avenir encore mal connu.

Actuellement les catalogues des fournisseurs de verre d'optique contiennent moins de 100 variétés, contre 200 en 1960. Et pourtant, les performances se sont considérablement élargies. Les calculs très précis des combinaisons optiques ont conduit à une standardisation des choix et une optimisation des produits. La figure 5 résume la classification des différentes espèces.



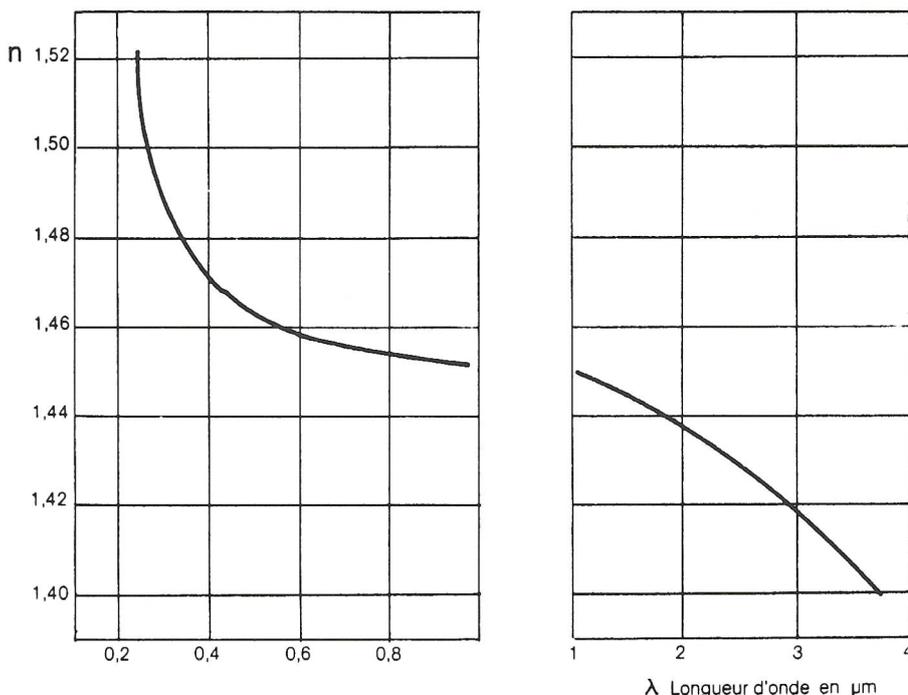


Figure 6 : Courbe de dispersion de la silice pure, préparée par synthèse, entre 0,2 et 4,0 μm .

Insistons sur le fait que la composition d'un verre n'est pas seule responsable de ses propriétés optiques. La configuration structurale joue aussi un rôle fondamental. Or le verre n'a pas la périodicité rigoureuse du milieu cristallin, et cette configuration dépend dans une large mesure de la manière dont a été conduit le refroidissement. En particulier, l'indice de réfraction dépend, de façon significative, de la vitesse de solidification. Les modifications portent sur la 4^e, ou même la 3^e décimale; entre le cœur et la surface d'un bloc de verre optique refroidi sans précautions particulières, on peut observer un écart $\Delta n = 6 \times 10^{-3}$ pour un baryum crown, 3×10^{-3} pour un flint ordinaire. Il va sans dire que ces inhomogénéités sont rigoureusement incompatibles avec les exigences des instruments d'optique modernes (mieux que 10^{-5} pour un objectif photographique, 10^{-6} pour les appareils scientifiques comme les spectromètres).

Le verre étant mauvais conducteur de la chaleur, les gradients thermiques doivent être combattus systématiquement, par un refroidissement extrêmement lent et parfaitement contrôlé, associé à un recuit. On évite ainsi en même temps les tensions résiduelles qui provoquent des biréfringences locales, génératrices de flou dans les images, et nuisant à la qualité des faisceaux transmis.

Dans la construction des instruments d'optique, on doit encore tenir compte du coefficient de dilatation volumique du verre, qui peut varier d'un type à l'autre. Il est compris entre 4×10^{-6} et 10^{-5} K^{-1} . L'indice est lui même fonction de la température : le gradient

$\frac{\Delta n}{\Delta t}$ est compris entre 2×10^{-6} et $1,5 \times 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$ au voisinage de l'ambiante.

A titre d'exemple, voici les caractéristiques de la silice pure transparente, matériau de référence, mesurées à 20° C :

$$\begin{aligned} n_F &= 1,463126 & n_d - 1 &= 0,458464 \\ n_d &= 1,458464 & n_F - n_C &= 0,006759 \\ n_C &= 1,456367 \end{aligned}$$

$$v = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} = 67,83$$

Biréfringence résiduelle maximale : $\Delta n \leq 10^{-6}$
 Coefficient de température de l'indice de réfraction : $\frac{\Delta n}{\Delta t} \leq 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$ pour $\lambda = 587,6 \text{ nm}$

La dispersion de la silice $n = f(\lambda)$ est représenté sur la courbe de la figure 6.

Ajoutons pour finir quelques remarques à caractère général. Lorsqu'un matériau comporte une raie d'absorption λ_1 , et que l'on examine l'indice de réfraction de part et d'autre de λ_1 , on constate que le graphe donnant $n = f(\lambda)$ a l'allure suivante (figure 7). SELLMEIER a proposé une expression empirique de la dispersion, donnant n^2 en fonction de λ , sous forme

$$n^2 = a^2 + \lambda^2 \frac{b^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2}$$

a et b sont deux constantes caractéristiques du matériau. Pour une longueur d'onde $\lambda \gg \lambda_1$, on peut écrire, sous forme d'un développement limité :

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \dots$$

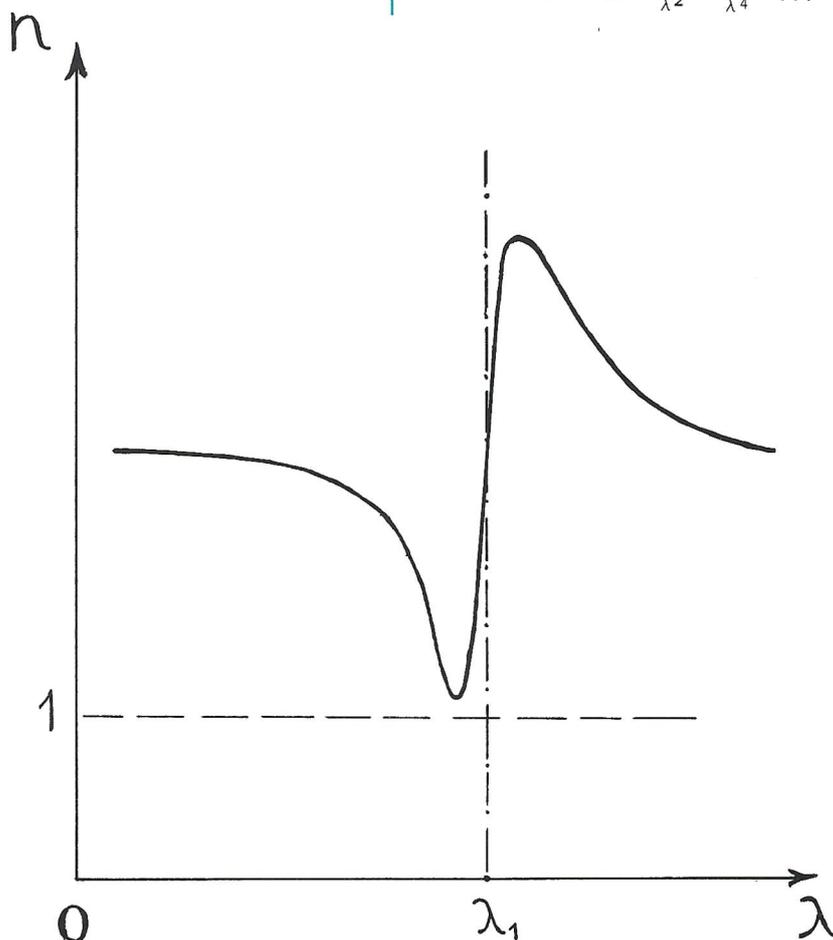


Figure 7 : Allure de la dispersion de l'indice de réfraction au voisinage d'une raie d'absorption, en fonction de la longueur d'onde λ , (λ_1 est la longueur d'onde de la raie d'absorption).

LE DOSSIER

C'est la dispersion normale (formule de CAUCHY). Si au contraire on prend $\lambda \ll \lambda_1$, on a

$$n^2 = a^2 + A' \lambda^{-2} - B' \lambda^{-4} \dots$$

C'est la formule de BRIOT.

On généralise sans difficulté au cas d'un matériau présentant plusieurs raies ou bandes d'absorption. Ces résultats peuvent être justifiés par la théorie électromagnétique de la propagation de la lumière. Ils montrent les liens étroits entre l'absorption, la réfraction et la dispersion des radiations lumineuses. Ils incitent à utiliser très prudemment la relation

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

La valeur ϵ_r à utiliser est celle que présente le matériau à la fréquence du rayonnement étudié; elle est souvent très différente de celle qu'on peut mesurer par méthode statique.

Le cas le plus typique est celui de l'eau pure : la valeur statique de ϵ_r est 81; on devrait trouver $n = 9$! Avec la lumière visible, l'expérience donne 1,33; l'explication de ce désaccord est la suivante : la molécule d'eau est polaire; dans un champ électrique, le liquide subit une polarisation par orientation; si le champ est oscillant les molécules suivent plus ou moins facilement cette oscillation; en haute fréquence, elles n'y parviennent plus, et la polarisation réelle ne correspond pas du tout à ce qu'elle pourrait être sans cette inertie. On peut vérifier qu'à des fréquences très inférieures à celles de la lumière visible, l'indice de réfraction de l'eau se rapproche de 9 : par exemple, pour $\lambda = 10$ cm, $n = 8,3$. A cette fréquence, les molécules d'eau subissent une polarisation d'orientation correspondant aux valeurs statiques, c'est à dire qu'il n'y a pas de retard à la réaction instantanée du milieu.

Indiquons pour terminer le principe de la détermination expérimentale des caractéristiques optiques d'un verre.

- La mesure de l'indice de réfraction n se fait, simplement, avec un prisme utilisé au minimum de déviation. Pour un prisme d'angle A , donnant une déviation minimale D_m , on a

$$n = \frac{\sin \frac{A + D_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

- La mesure de la constringence utilise un prisme de petit angle A , inférieur à un dixième de radian. La déviation du rayon s'écrit alors $D = (n - 1) A$.

Formons d'abord sur un écran l'image S' d'une source ponctuelle S au moyen d'une lentille achromatique : (figure 8a). Glissons ensuite, contre la lentille, le prisme P , de petit angle. L'image de S se déplace : le prisme dévie en effet les rayons vers sa base (figure 8b).

Utilisons pour faire l'expérience les 3 radiations caractéristiques employés pour définir ν : λ_d , λ_F et λ_C . On obtient 3 déviations légèrement différentes : (figure 8b).

$$D_d = (n_d - 1) A$$

$$D_F = (n_F - 1) A$$

$$D_C = (n_C - 1) A$$

Calculons, dans les 3 cas, les déplacements subis par l'image de S lorsqu'on place le prisme contre la lentille.

Soit L la distance du prisme à l'écran.

$$\text{On a } \overline{S'S'_d} = L \cdot D_d = L \cdot (n_d - 1) A$$

$$\text{Calculons } \overline{S'_C S'_F}$$

$$\text{On trouve } \overline{S'_C S'_F} = \overline{S'_C S'_d} - \overline{S'_C S'_F}$$

$$\text{or } \overline{S'_C S'_d} = L \cdot (n_C - 1) A$$

$$\text{et } \overline{S'_C S'_F} = L \cdot (n_C - 1) A$$

d'où

$$\overline{S'_C S'_F} = L \cdot A \cdot [(n_F - 1) - (n_C - 1)] = L \cdot A \cdot (n_F - n_C)$$

$$\text{On a } \overline{S'_C S'_d} = L \cdot (n_d - 1) A.$$

$$\nu \text{ est donné par } \frac{\overline{S'_C S'_d}}{\overline{S'_C S'_F}} = \frac{L \cdot A \cdot (n_d - 1)}{L \cdot A \cdot (n_F - n_C)}$$

L'influence de ν apparaît clairement sur la convergence d'une lentille mince, donnée par

$$\phi = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\phi = (n - 1) \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}$$

Calculons $\Delta\phi$ pour les radiations λ_C et λ_F :

$$\phi_F - \phi_C = [n_F - 1 - (n_C - 1)] \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}$$

$$= (n_F - n_C) \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}$$

$$\text{On a } \frac{\phi_F - \phi_C}{\phi_d} = \frac{n_F - n_C}{n_d - 1} = \frac{1}{\nu}$$

$\frac{1}{\nu}$ est le pouvoir dispersif du verre utilisé.

CONCLUSION

L'étude des propriétés du verre prouve de façon éclatante la très grande variété de ses comportements. A l'évidence, cette diversité est liée au caractère amorphe du matériau : l'absence d'ordre à moyenne et grande distance est un facteur déterminant. Un chapitre essentiel de la science verrière est l'étude des conditions physico-chimiques qui s'opposent à la mise en ordre spontanée de la structure. Actuellement, la physique moderne s'intéresse beaucoup au désordre : des modèles sont élaborés, des théories sont proposées, et il faut s'attendre à une rapide évolution de la connaissance détaillée des matériaux vitreux; sur le plan expérimental, les techniques modernes d'investigation en structure de la matière offrent de leur côté d'immenses perspectives en recherche appliquée.

Nous reviendrons plus tard sur un aspect d'avenir : l'utilisation des fibres optiques en télécommunications, que nous associerons aux sources laser. Le verre joue là encore un rôle essentiel, qu'il convient de mettre en valeur.

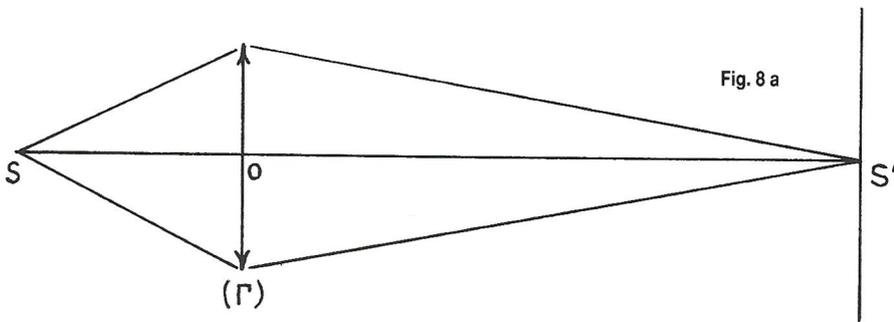
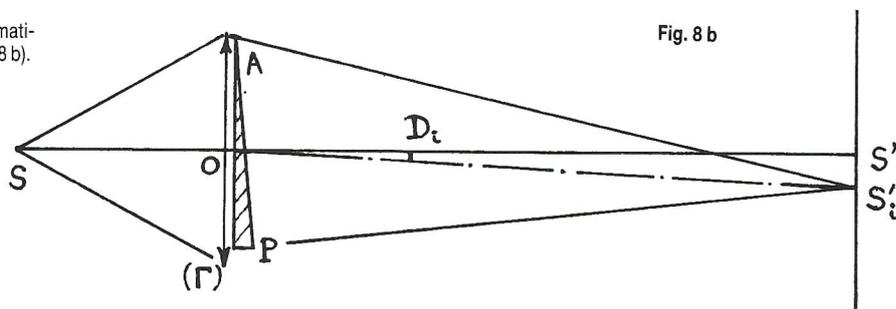


Figure 8 : Images d'une source ponctuelle par une lentille achromatique Γ (8 a), puis par un prisme P accolé à la lentille Γ (8 b).



Michel Eugène CHEVREUL (1786-1889)

par Josette Fournier* et Paul Fournier**

L'Association Française pour l'Étude des Corps Gras lui consacre chaque année des Journées. Il est l'un des premiers à avoir défini rigoureusement l'espèce chimique par ses constantes physiques. Théoricien de la chimie organique, il fut aussi teinturier, agronome et coloriste. Il était fasciné par les interactions de la matière inanimée et du vivant. Des recherches engagées à l'occasion du centième anniversaire de sa disparition viennent de révéler qu'il a participé à la découverte expérimentale de la RADIOACTIVITÉ 40 ans avant Henri Becquerel.

DEPUIS BUFFON JUSQU'A EINSTEIN

Il était né à Angers 3 ans avant la Prise de la Bastille, le 31 août 1786, et il est mort à 103 ans quelques jours après l'inauguration de la Tour Eiffel, le 9 avril 1889.

Centenaire, Chevreul allait presque chaque jour au Champ de Mars pour y voir les travaux préparatoires de l'Exposition Universelle et la construction de la Tour. C'est dire combien cet homme nourrissait d'intérêt pour les événements technologiques de son temps. On fit à Chevreul des funérailles nationales le 13 avril 1889. Regrettant le peu d'intérêt que l'enseignement scientifique attache à ses origines, avec plusieurs établissements, scolaires et universitaires d'Angers, nous avons voulu réaliser une exposition sur «l'héritage scientifique et industriel» de Chevreul. Les recherches que nous avons engagées pour cette manifestation nous ont conduits à une découverte inattendue. Chevreul était né dans une famille angevine d'une lignée de chirurgiens, ouverte aux idées nouvelles, à la veille de la Révolution. Son père était un bourgeois éclairé, auteur d'un traité d'obstétrique et fondateur de la première école de sage-femmes. Le milieu médical a nourri beaucoup de chimistes, Macquer, Fourcroy, Berthollet, Chaptal étaient médecins. Le père de Chevreul fut «un patriote de 89» selon l'expression que le fils appliquera plus tard à Nicéphore Niepce, l'inventeur de la photographie. Il les distinguait des «fanatiques de 1793». Le père de Chevreul lui communiqua une «foi» obstinée dans la formation et le progrès par la science. Entre 14 et 17 ans, Chevreul fut formé dans une Ecole Centrale. Créées par la Convention, dans chaque département, en réponse aux Cahiers de Doléances de 1789, les Ecoles Centrales se situaient dans le mouvement hérité des Lumières en faveur du développement et de la diffusion

des connaissances scientifiques et techniques. On y associait l'enseignement des Humanités, le latin, le grec, les Belles Lettres, l'Histoire, la Grammaire, à celui des Sciences Physiques et Naturelles, du Droit, du Dessin, à l'Agriculture, l'Hygiène et les Arts de Métiers. Les cours étaient facultatifs. Chaque Ecole devait avoir une bibliothèque publique, des cabinets (laboratoires) d'Histoire Naturelle, de Physique et de Chimie, ainsi qu'un Jardin Botanique. A Angers, le Conservateur de la Bibliothèque enseignait aussi la Théologie. Le corps professoral, souvent d'anciens clercs, était de qualité. Les Ecoles Centrales ont formé la plupart des Savants de la première moitié du XIX^e siècle. Elles seront remplacées à partir de 1806 par les lycées. Chevreul monte à Paris en 1803, et se présente à Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829), muni d'une lettre de recommandation d'un ami de sa famille, probablement Joachim Proust (1751-1819). Ce pharmacien-chimiste était le frère de Joseph-Louis (1754-1826), auteur de la loi des proportions définies. Joachim Proust avait été chargé de la récolte du salpêtre pour les besoins des armées révolutionnaires et Vauquelin avait eu la même fonction dans la région voisine de Chinon. Chevreul apprend la chimie au contact de Vauquelin, ce très grand «maître» a aussi formé le baron Thénard, et Liebig, et il était connu pour ses travaux sur le chrome et le béryllium (glucine). Avec Fourcroy (1755-1809), cofondateur de l'Ecole Polytechnique et de l'Institut, et avec Deserres qui avait été Professeur de l'Ecole Centrale de Clermont-Ferrand, Vauquelin avait fondé une usine de produits chimiques. L'usine comprenait des laboratoires et un amphithéâtre où Vauquelin donnait des cours. Chevreul suivra Vauquelin, nommé au Muséum d'Histoire Naturelle en 1804, il sera son préparateur en 1810, avant de lui succéder en 1830. Il sera élu 7 fois Directeur du Muséum pour un an à partir de 1836, puis nommé Directeur à trois reprises par le ministre quand la fonction aura été portée à 5 ans en 1864. Il est resté 79 ans au Muséum.



Reproduction agrandie d'une caricature (Bibliothèque de l'Institut) - PARIS - Manuscrit 4200

CHEVREUL par Horace VERNET

Ce dessin inédit, exécuté au début des années 40, montre Chevreul quinquagénaire, ce qui est rare. L'œuvre fait partie d'une collection de «portraits-charge» dus à Horace Vernet (1789-1863), directeur de l'Académie de France à Rome (villa Médicis) de 1828 à 1835, professeur à l'Ecole des Beaux-Arts (1835-1863). Le grand peintre romantique, familier de Louis-Philippe, peintre officiel de la conquête de l'Algérie, élu à l'Académie des Beaux-Arts en 1826, l'année où Chevreul entra à l'Académie des Sciences, aimait à croquer ses confrères.

On sait que Chevreul eut de nombreux contacts avec les artistes et les historiens d'art de son temps, du fait de ses fonctions aux Gobelins (art de la tapisserie), de ses travaux sur les couleurs et de diverses recherches chimiques (désiccation des peintures à l'huile, etc...).

En 1845, Chevreul fut appelé à présider la Commission pour la restauration des vitraux de la Sainte-Chapelle. Il demanda au ministre que le peintre Paul Delaroche, gendre d'Horace Vernet, en fasse partie.

Si l'on en croit Berthelot, le chimiste donnait à Madame Vernet des conseils sur l'art, chez les femmes, d'assortir les couleurs de leurs chapeaux à celles de leur peau et de leurs cheveux.

* Josette FOURNIER, Professeur de Chimie Organique à l'Université d'Angers.

** Paul FOURNIER, Professeur d'Histoire à l'ENNA de Nantes.

CONFÉRENCE

Sa première publication aux Annales de Chimie, porte sur l'analyse d'os fossiles trouvés dans le Maine et Loire. La France, sous le Blocus de l'Angleterre manque de colorants pour teindre les draps militaires ; en 1806 la Grande Armée porte des uniformes blancs. Onze notes ou mémoires de Chevreul (sur 27) parus entre 1807 et 1813, portent sur des matières colorantes végétales, l'indigo, le pastel, le tournesol, le bois de Campêche (noir), le bois du Brésil. Par relation, il échappe à la conscription et reste à Paris comme page du Roi de Rome. De 1813 à 1828, il est en même temps professeur agrégé de sciences physiques au lycée Charlemagne. Juste avant la mort de Louis XVIII, le 9 septembre 1824, il avait été nommé Directeur des Teintures à la manufacture des Gobelins. Il y reste 59 ans. Sans doute est-il nommé à cette fonction pour ses travaux sur les colorants, mais peut-être aussi parce que la famille de Chevreul connaissait des proches du roi ; avant 1789 la ville d'Angers avait été l'appanage du futur Louis XVIII, Comte de Provence et Duc d'Anjou, et le père de Chevreul était Médecin de Monsieur pour son château d'Angers. En 1808, Chevreul est à la Société philomatique. Après la suppression de l'Académie Royale des Sciences en 1793, c'est là que les savants se font part de leurs travaux. Chevreul n'entrera pas dans un autre cénacle : la Société d'Arcueil. De 1801 à 1817, Berthollet et Laplace accueillent chez eux des scientifiques, la société d'Arcueil recrée les séances de Lavoisier à l'Arsenal auxquelles les deux savants avaient participé. Berthollet (1748-1822) fut pourtant le Rapporteur des travaux de Chevreul sur les Corps Gras à l'Académie entre 1812 et 1816, il appuiera sa théorie des Affinités Chimiques sur des travaux de Chevreul, et c'est lui qui présente la candidature de Chevreul à l'Académie en 1816. Chevreul est élu, mais il se démet pour laisser le fauteuil à son compatriote Joseph-Louis Proust : ce dernier, vieux et malade, vivait sans ressources en Mayenne après le saccage par les troupes de l'Empire, du brillant laboratoire qu'il avait établi à Madrid. Chevreul lui succédera à l'Académie en 1826. La Société d'Arcueil comptait de jeunes polytechniciens, comme Arago et Gay-Lussac de la génération de Chevreul, et aussi des savants confirmés comme Chaptal : Chevreul entretenait avec lui un conflit à propos de sulfures depuis 1806. Autre trait de caractère, Chevreul était rancunier : il nourrit d'autres mécontentes mémorables, avec Haüy dont il avait pourtant suivi l'enseignement de minéralogie, avec Biot (qui travailla au Muséum avec Antoine et Edmond Becquerel), et avec Arago. Chaptal et Arago étaient des méridionaux, prompts à s'enthousiasmer, entreprenants, engagés politiquement, très différents de l'angevin Chevreul. Chevreul entretient aussi des relations amicales et fidèles avec de nombreux scientifiques, Gay-Lussac avec lequel il prend un brevet en 1824 sur la bougie pour l'exploitation de l'acide stéarique, le Suédois Berzélius,

le Danois Oersted, Ampère, Frédéric Cuvier, Claude Bernard dont la Méthode Expérimentale devrait beaucoup aux idées développées par Chevreul au cours de leurs longs entretiens. Le 27 juillet 1818 Chevreul épouse Sophie Davalet, fille d'un receveur général des Contributions de la Seine et Conseiller du Roi ; il eut un fils, Henri (1819-1889), dont on lui cacha le décès quelques jours avant le sien.

En 1822, il devient examinateur de sortie à l'X, jusqu'en 1840, il en était fier et n'omettait pas de le signaler dans son curriculum vitae. A la même époque, il commence à collaborer au Journal des Savants. Il fut chevalier de la Légion d'Honneur en 1825, et Grand-Croix en 1875. Les faits marquants de la carrière de Chevreul sont :

- la localisation dans un seul quartier de Paris, pendant plus de 80 ans,
- le cumul d'une activité «manufacturière» dans la teinture, avec une activité d'enseignement et de recherche,
- son déroulement en marge de l'Université,
- une présence académique au sein de la communauté scientifique. Il siège 63 ans à l'Académie des Sciences assiduellement et activement. Il est élu à la Société Royale d'Agriculture en 1832, il en sera Président et vice-président un an sur deux de 1849 à 1886. Il est membre associé de l'Académie de Médecine depuis 1823. Il est aussi correspondant de Sociétés Industrielles comme la Société de Mulhouse et celle d'Angers. Il fait partie des jurys des expositions nationales et internationales et de nombreuses commissions. En 1860, il est membre de 26 académies étrangères, et à sa mort il est membre de toutes les Académies existantes.

A cette longévité exceptionnelle, il allie une mémoire unique des faits dont il a été acteur ou témoin. Chevreul a couvert trois générations de Savants. C'est d'ailleurs l'étendue de la tranche de temps à étudier, et la variété des sujets qu'il a travaillés qui font la difficulté de sa biographie pour des historiens, et pour les chimistes. Ne pouvant imaginer embrasser un domaine aussi vaste de connaissances, on se contente d'énumérer ses travaux, comme autant de centres d'intérêt successifs : les corps gras, les savons, l'analyse immédiate organique, la couleur, la teinture et la peinture, la photographie, l'histoire de la chimie, jusqu'aux tables tournantes et à la restauration des vitraux. Lors des fêtes en l'honneur de son Centenaire, le Comité fit éditer un volume qui signale 547 ouvrages, mémoires ou articles publiés par Chevreul ; ce n'était pas exceptionnel : J.-B. Dumas (1800-1884) en aligne 913.

L'ŒUVRE MAÎTRESSE : LA CHIMIE DES CORPS GRAS

Au début de la vie professionnelle de Chevreul, l'industrie textile était le moteur de l'innovation scientifique et technologique en chimie. Trois grandes fabrications lui sont associées :

- celle de l'acide sulfurique par le procédé des chambres de plomb. L'acide sulfurique fut d'abord utilisé dans la teinture puis pour produire le chlore et la soude.

- la fabrication des cristaux de soude par le procédé Leblanc, à l'usage des savonneries et teintureries et pour le dégraissage et le lessivage.

- la fabrication du chlore et de l'eau de javel.

Les chimistes proches de Chevreul analysaient des substances naturelles : poils, humeurs, en particulier lorsqu'un animal meurt au zoo du Muséum on analyse toutes les pièces de sa dépouille.

Dans ce contexte, Chevreul eut à analyser en 1809 un savon mou employé pour le foulage des draps, obtenu par chauffage d'un mélange de graisse de porc et de «potasse» (carbonate de potassium). Chevreul observa la présence de cristaux nacrés qui s'étaient séparés d'une solution aqueuse diluée de ce savon. Ces cristaux lui firent penser au sel. Il imagina donc qu'il pouvait s'agir d'une combinaison chimique entre la potasse et un acide. Pour libérer l'acide et vérifier son hypothèse, il traite ces cristaux par un acide fort (HCl), il en retire une nouvelle substance nacrée. A sa démarche érigée en système, qui consiste à concevoir une expérience pour fonder une hypothèse, il donnera le nom de «Méthode expérimentale a posteriori». Cette substance possède les propriétés des acides, mais il l'appelle d'abord «margarine» (1813) (blanc de perle) : l'existence d'un acide organique insoluble dans l'eau était surprenante pour les connaissances de l'époque. Il ne l'appellera acide margarique qu'en 1816. Frémy qui l'a isolé plus tard de l'huile de palme l'appellera acide palmitique. Chevreul venait de démontrer que le savon (utilisé depuis fort longtemps) est un sel alcalin d'acide gras. Comme un résultat isolé ne constitue pas une découverte scientifique, Chevreul entreprend l'analyse d'autres graisses, de mouton, de bœuf, d'homme, d'oie, de jaguar, de cachalot, il les saponifie par d'autres bases : la soude, la baryte, la strontiane, la chaux, le protoxyde de plomb et l'oxyde de zinc. Au cours de ce travail il fait œuvre de théoricien en admettant que les corps purs se distinguent les uns des autres par leurs constantes physiques : points de fusion, solubilités. A ce moment de l'histoire de la chimie, c'est une idée nouvelle. Finalement il extrait trois acides : stéarique (tF 70°C), margarique (62°C) et oléique (5 à 7°C). L'éclairage était un autre problème d'actualité.

Poussé par Gay-Lussac qui deviendra son collègue au Muséum en 1832, Chevreul prend avec lui un brevet pour l'exploitation de la bougie stéarique. Il faudra d'autres innovations pour aboutir. Chevreul n'en retirera aucun bénéfice si ce n'est, 26 ans plus tard, le prix du Marquis d'Argenteuil en 1851 (12 000 F) décerné par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. La production atteindra 30 000 tonnes en 1872. C'est à cette date la principale industrie française. La bougie stéari-

que avait remplacé la chandelle malodorante des pauvres et la bougie de cire des riches. Ce fut une révolution dans l'histoire de l'éclairage. C'est à la bougie que Chevreul devra sa popularité. C'est en hommage à Chevreul que Sainte-Claire Deville présentera et annotera l'édition française de «l'Histoire d'une chandelle» de Faraday. A Marseille, l'industrie des savons se perfectionne et se modifie pour utiliser l'acide oléique, résidu de fabrication de l'acide stéarique. La bougie est un bel exemple des deux logiques selon lesquelles se développe la chimie du XIX^e siècle : fournir en quantité et à bon marché des produits d'intérêt quotidien, ou nécessaires à d'autres secteurs industriels en expansion, et valoriser les sous-produits de sa propre industrie.

Dans les produits de saponification des graisses, Chevreul identifie la glycérine. En 1818, du beurre de vache il extrait des acides gras volatils, plus proches des acides organiques connus comme l'acide du vinaigre que les acides stéarique et margarique. Il fait alors le rapprochement entre les graisses et l'acétate d'éthyle ; les graisses pourraient être des esters. La glycérine jouerait alors le rôle de l'alcool. Pérouze et Berthelot confirmeront cette hypothèse.

Du blanc de baleine, Chevreul extrait encore l'alcool cétylique, et de calculs biliaires il extrait le cholestérol. Ces travaux avaient pris dix ans ; ils sont la base sur laquelle vont se construire la chimie organique et la biochimie, pour ce qui est de la science, et la lipochimie, pour ce qui est de l'industrie.

Pour analyser ses produits Chevreul avait inventé la dissolution sélective : «La préparation de la butyrine et de la phocénine est fondée sur ce que l'alcool froid à 0,822 dissout ces substances en toutes proportions tandis qu'il ne dissout que très peu d'oléine». Il distingue certains acides en les transformant d'abord en sels de solubilités différentes. Ces travaux sont le fondement de l'analyse immédiate qui permet de séparer les corps purs dans un mélange. Pionnier de la chimie organique, Chevreul est aussi le pionnier de la chimie analytique : une chimie du contrôle et de la qualité.

Il a contribué à doter la chimie d'un langage. Justifiant ses choix par l'étymologie ou la phonétique il fait œuvre de néologiste scientifique, il crée notamment margarine, cholestérine, acide oléique, glycérine, et en 1824, le terme «organoleptiques» pour désigner les propriétés des corps chimiques en contact avec nos organes : il est le père de l'analyse sensorielle et de la pharmacologie.

ET LA COULEUR

Des Gobelins, à partir de 1824, Chevreul se constitue en agent désintéressé du progrès industriel. Il a le souci constant d'organiser ou de participer à un enseignement technique professionnel, dans le sillage des Saint-Simoniens. Ceux-ci reprenaient à leur compte le projet de tous les grands chimistes teinturiers

qui avaient précédé Chevreul aux Gobelins : Du Fay, Hellot, Macquer, Berthollet, Chaptal. En effet, la teinturerie textile et la production de colorants en rapide évolution technologique réclamaient une main d'œuvre spécialisée et continuellement recyclée. 1825 marque un tournant dans la chimie des colorants et dans l'histoire des sciences : d'académique et parisienne la chimie qui se développe autour des colorants de synthèse devient alsacienne et industrielle. Chevreul reprend ses travaux sur les colorants végétaux et minéraux : l'indigo, le curcuma, la gaude, les bois tinctoriaux, le bleu de Prusse. Il cherche de nouvelles sources naturelles de colorants. Il étudie le rôle des mordants, des apprêts, de l'oxygène et de la lumière dans les procédés de teinture. Les recherches qui l'occuperont le plus se rapportent à la psychophysique des couleurs. «Presque au début de ses fonctions de directeur des teintures, il avait reçu des plaintes sur la qualité de certaines couleurs sorties de son atelier». A cela deux raisons : un défaut de stabilité à la lumière pour les unes, un mauvais contraste pour les autres. Lorsqu'on juxtapose deux objets colorés, chacun modifie la perception qu'a l'œil de la couleur de l'autre. Chevreul établit les lois du contraste simultané et successif des couleurs, la loi du mélange des couleurs, et leur classement sous forme de cercles chromatiques. En 1842, à la demande du Ministre du commerce, il fait un cours aux Soyeux Lyonnais sur la couleur. La soie vient en tête de nos exportations. Ces recherches parurent secondaires à bon nombre de chercheurs préoccupés des procédés de teinture, mais les industriels du textile ne passèrent pas à côté de leur exploitation économique et culturelle. «Il fut en France le seul membre du haut enseignement attentif aux recherches industrielles». Certains aspects de la production teinturière d'articles de luxe en soie, en laine ou coton, relèvent des beaux-arts. Chevreul a de nombreux contacts avec des artistes et des historiens d'art. Il préside, par exemple, la commission de restauration des vitraux de la Sainte-Chapelle. Il s'occupe aussi des vitraux de Chartres et de Bourges. Il démontre que la dessiccation de la peinture à l'huile est une réaction d'oxydation. Ses travaux sur la couleur seront l'objet d'études pour les néo-impressionnistes : Seurat, Signac, puis Robert Delaunay.

Enfin, le Directeur des teintures aux Gobelins ne pouvait manquer de s'intéresser à la photographie comme un nouveau moyen de gravure et d'impression.

La culture de Chevreul dérange. En 1889, un article de journal qui présentait des manifestations en hommage à Chevreul le qualifiait de «génie touche-à-tout» ! En dehors du thème majeur (les corps gras), les autres travaux de Chevreul seraient considérés jusqu'ici ses écrits sur la photographie : ils s'échelonnent pourtant sur une longue période de sa vie, entre 61 et 87 ans, soit 26 ans, de 1847 à 1873, et ils se

rapportent à une grande préoccupation de l'époque. Ils sont presque toujours associés à la présentation par Chevreul, à l'Académie des Sciences, des recherches d'Abel Niepce de Saint-Victor.

LA PHOTOGRAPHIE

Il y a 150 ans, François Arago dévoilait avec mise en scène le procédé photographique de Daguerre à l'Académie des Sciences, Chevreul présidait la séance. Fin 1842, Directeur des Teintures aux Gobelins, il préside une commission du Ministère des Armées chargée d'examiner un procédé de teinture des uniformes que propose un lieutenant en garnison à Montauban : Abel Niepce de Saint-Victor. C'est un parent de Nicéphore Niepce, l'inventeur de la photographie disparu en 1833, et l'associé de Daguerre. Par la suite, Abel Niepce, passionné d'expérimentation scientifique, obtiendra une mutation à Paris. Conseillé par Chevreul, il se livre à des recherches continuant celles de son «oncle». Il invente plusieurs procédés, dont le plus connu est le négatif sur verre.

Chevreul le met en relation au Muséum avec des chercheurs, Niepce y rencontre ainsi Edmond Becquerel (1820-1891) qui assiste son père, Antoine (1788-1878), professeur de Physique. Chevreul suggère à Niepce des expériences : «J'en ai fait faire l'expérience aux Gobelins par Niepce de Saint-Victor. ... Cette expérience a été contrôlée rigoureusement». Il présente à l'Académie tous les travaux de Niepce de 1846 à la mort de ce dernier, en 1870.

SAVANTS PROFESSIONNELS ET SAVANTS D'INVENTION

Chevreul se définit comme un «savant professionnel», à côté de «savants d'invention» dans lesquels il place Niepce. Des Gobelins, il accompagne les recherches empiriques d'industriels de la teinture, de peintres et de photographes. Il met à la disposition de Niepce de Saint-Victor le laboratoire des Gobelins, ses produits, son préparateur, ses moyens techniques d'expérimentation et sa culture. Ayant, lui-même, appris la chimie comme au XVIII^e siècle, en l'exerçant au laboratoire de Vauquelin. Il n'a aucun mépris pour les travaux d'autodidactes qui se placent «au point de vue de l'application». «Des faits de ce genre sont précieux à plus d'un titre ; souvent reproduits et observés sur des quantités de matières considérables, il arrive une époque où ils viennent, indépendamment de toute théorie, enrichir la science ; tant qu'ils restent inexplicables, ils témoignent des lacunes qui restent à combler et sont là pour éveiller l'attention des savants et devenir ainsi l'occasion de recherches qui, sans cette circonstance, n'auraient point été entreprises, ou qui ne l'auraient été que beaucoup plus tard». Comme dans ses travaux sur la teinture et la couleur Chevreul ne s'intéresse pas à la photographie en esthète. Il ne s'attache pas à mettre au point de nouveaux procédés. Ceux-

CONFÉRENCE

ci ne l'intéressent qu'en ce qu'ils constituent un corps d'observations pour le chimiste. Il s'attache aux applications de la photographie à des fins scientifiques, l'archéologie, l'histoire, la conservation des collections. Il s'intéresse surtout aux questions de doctrine chimique que posent les travaux des savants d'invention.

Le premier mémoire de Niepce de Saint-Victor, présenté le 25 octobre 1847, est un déballage d'expériences curieuses. Chevreul en extrait ce qui peut intéresser des savants professionnels. A son contact Niepce évolue, il cherche à expliquer ses observations ; ses premiers mémoires portent des titres de procédés, les suivants posent des questions fondamentales «sur une nouvelle action de la lumière dans les actions moléculaires».

LA DÉCOUVERTE DE LA RADIOACTIVITÉ

Cherchant à obtenir des images colorées, Niepce est en relation au Muséum avec Edmond Becquerel qui a trouvé le moyen en 1848 d'obtenir une image colorée du spectre solaire sans avoir réussi à la fixer. A cette époque Becquerel s'intéresse à la phosphorescence de sulfures alcalinoterreux. Certains sulfures solides sont rendus lumineux pendant un court instant après avoir subi une insolation.

Entre le 16 novembre 1857 et le 20 décembre 1858, Chevreul présente une série de mémoires de Niepce «sur une nouvelle action de la lumière». Le premier commence par ces mots : «Un corps, après avoir été frappé par la lumière ou soumis à l'insolation, conserve-t-il dans l'obscurité quelque impression de cette lumière ?». Chevreul et Niepce connaissent les travaux de Stokes sur la fluorescence et ceux d'Edmond Becquerel : «la phosphorescence et la fluorescence des corps sont connues ; mais on n'a jamais fait, que je sache, avant moi les expériences que je vais décrire». Pour ces expériences, «Une substance de ce genre très efficace est une solution aqueuse d'azotate d'urane» ; Niepce écrit : «La feuille de papier doit être imprégnée de sel d'urane en assez grande quantité pour que sa teinte soit d'un jaune paille sensible ; on la fait sécher, et on la garde dans l'obscurité. Quand on veut expérimenter, on la recouvre d'un cliché ; on l'expose au soleil environ un quart d'heure ; on la ramène dans l'obscurité ; on la traite par une solution d'azotate d'argent, et l'on voit instantanément apparaître une image...». C'est ce que Chevreul appelle «photographie par absorption». Le procédé sera exploité par de grands photographes. «Un dessin tracé sur une feuille de carton avec une solution d'azotate d'urane ou d'acide tartrique, exposé à la lumière ou insolé, et appliqué sur une feuille de papier sensible, imprime son image... Si le dessin fait sur le carton avec la solution d'urane ou d'acide tartrique est tracé à gros traits, il se reproduira à distance sur le papier sensible...». «J'expose à la lumière solaire une feuille de carton très fortement imprégnée de deux ou trois couches d'une solution

d'acide tartrique ou d'un sel d'urane ; après l'insolation, je tapisse avec le carton l'intérieur d'un tube de fer blanc assez long et d'un diamètre étroit, je ferme le tube hermétiquement, et je constate qu'après un très long laps de temps, comme le premier jour, le carton impressionne le papier sensible...». Il sait que «les sels d'urane sont très fluorescents, comme M. Stokes l'a découvert, et l'azotate d'urane cristallisé est de plus très phosphorescent par percussion...», mais il assure : «Ce n'est donc pas à la phosphorescence ou à la fluorescence seule qu'on peut attribuer la propriété remarquable que possèdent les solutions d'urane et d'acide tartrique de se saturer en quelque sorte de lumière». Le phénomène dure ici trop longtemps. «Il m'est permis je crois, dit-il, d'espérer que ma nouvelle manière de mettre en évidence des propriétés de la lumière à peine soupçonnées, ou imparfaitement constatées jusqu'ici, excitera l'attention des physiciens et amènera d'importantes recherches». Il «constate que le carton insolé, conservé à l'obscurité dans un cylindre de fer blanc, est encore actif six mois après son insolation». «Cette activité agit à distance, dans l'obscurité par exemple...» ; «Cette activité persistante ne peut même pas être de la phosphorescence car elle ne durerait pas si longtemps». C'est le principal argument de Niepce et de Chevreul en faveur de la nouveauté du phénomène. «J'ai démontré que les effets de la lumière ne sont point dus à la phosphorescence, mais je n'ai pas dit d'où provenait cette activité...». «Il est probable

que c'est un rayonnement invisible à nos yeux, comme le croit M. Léon Foucault...». Dans le quatrième mémoire (20 décembre 1858), il a traité une étoffe par une solution à 20 % de nitrate d'urane et constaté sa rapide altération : «Si on conserve cette portion dans l'obscurité et à l'air libre, on voit l'altération continuer et augmenter de jour en jour..., mais si on la place dans une atmosphère confinée, elle finit par être complètement carbonisée».

LE RÔLE DE CHEVREUL

Pour ses recherches sur la photographie, Niepce a utilisé l'amidon, l'albumine, les gélatines. Ce sont des substances utilisées comme épaississants dans l'impression des tissus. Dès le premier mémoire «sur une nouvelle action de la lumière», les matières qu'expérimente Niepce, sont «des étoffes de fil, de soie, de laine...», des colorants, des mordants, il les trouve au laboratoire de Chevreul ; «Monsieur Chevreul, en communiquant les faits précédents à l'Académie au nom de l'auteur, M. Niepce de Saint-Victor, prie le bureau d'ouvrir le paquet renfermant ces résultats, que M. Niepce avait déposé à l'Académie, le 31 août dernier (1857). M. Chevreul ajoute que l'auteur, avant cette époque, l'avait rendu témoin des faits principaux consignés dans ses mémoires». Niepce cite Monsieur Cloez, et Arnaudon «chimiste de Turin», préparateurs de Chevreul au Muséum et aux Gobelins. Dès 1829, Chevreul avait eu l'idée d'utiliser les sels d'urane en teinture.



On se souvient des circonstances de la découverte de la radioactivité, par Henri Becquerel, fils d'Edmond, 40 ans après ces expériences de Niepce et de Chevreul, publiées dans les Mémoires de l'Académie des Sciences. Le 20 janvier 1896 Poincaré vient de présenter la découverte des rayons X par Röntgen, et il montre une radiographie de la main, on parle de photographie de l'invisible. Les rayons X proviennent du verre du tube de Crookes frappé par les rayons cathodiques. Au point d'impact, le verre est fluorescent. Beaucoup de physiciens se mettent à chercher si des rayons X capables d'impressionner une plaque sensible à travers un corps opaque ne seraient pas produits par tous les corps qui fluorescent ou phosphorescent après une exposition à la lumière. Henri Becquerel relit l'ouvrage de son père sur la lumière, celui même où Edmond relatait les curieuses expériences de Niepce. Sur une plaque sensible enveloppée dans du papier noir, Henri Becquerel expose au soleil des lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium. Le développement révèle que la plaque a été impressionnée à travers le papier noir. Le sulfate d'uranium est phosphorescent ; celui qu'utilise Henri Becquerel se trouve dans le laboratoire du Muséum où il a succédé à son père en 1891. Il provient des expériences d'Edmond qui avait succédé à Antoine en 1878. Au Muséum, les Becquerel sont une dynastie. Les 27 et 28 février 1896, le soleil manque pour insoler ses lamelles ; Henri met le tout dans un tiroir. Reprenant ses expériences le dimanche 1^{er} mars, alors qu'il n'y a pas plus de soleil à Paris que les jours précédents comme des historiens en feront la remarque, il aurait PAR HASARD développé la plaque restée à côté des lamelles dans le tiroir, et découvert (redécouvert) que l'impression se produit même à l'obscurité. Utilisant un langage proche de celui de Niepce, il parle de «radiations actives» ou d'«activité radiante». C'est bien Niepce de Saint-Victor qui a découvert la radioactivité, 40 ans avant Henri Becquerel. Quand Henri Becquerel «découvre» le rayonnement de l'uranium en 1896, plusieurs scientifiques, qui connaissaient les travaux de Niepce font un rapprochement. Les rappels viennent de physiciens qui s'intéressent à la photographie. Les travaux de Niepce n'étaient pas oubliés : dans «l'encyclopédie chimique» publiée sous la direction de Frémy, A. Ditte avaient rappelé ces «curieuses expériences» en 1884. Le livre de Jamin, professeur de l'X et premier beau-père du polytechnicien Henri Becquerel, leur consacre plusieurs pages. Henri Becquerel ne pouvait pas les ignorer. En 1901, P. De Heen, professeur de Physique expérimentale à l'Université de Liège, publie une brochure : «Quel est l'auteur de la Découverte des Phénomènes dits radioactifs ?». Mais quand Henri Becquerel partage avec les Curie le prix Nobel de Physique, la communauté scientifique oublie. Malgré les rappels, Henri Becquerel attendra sept ans pour mentionner les observations faites par Niepce du

temps de son grand-père, sous le regard de Chevreul, il fait cette objection : «L'uranium est en quantité tellement faible sur ces papiers, que... M. Niepce n'a donc pas pu observer le rayonnement de l'uranium». Nous avons déjà noté, pourtant, l'insistance de Niepce à signaler la forte imprégnation qu'il faisait subir à ses papiers. D'autre part, il préparait la solution de nitrate «en traitant l'oxyde d'urane par l'acide azotique dilué», il l'enrichit d'«oxyde jaune d'urane» ; c'est la recette donnée par Chevreul en 1829, il utilise la pechblende, que M. Curie trouvera quatre fois plus active que l'uranium, et dont elle extraira le polonium et le radium. Personne n'a jamais parlé jusqu'ici du rôle de Chevreul. Il eut été plus difficile pour Henri Becquerel de contester l'antériorité de la découverte au savant mondialement connu et disparu depuis peu qu'à un modeste militaire décédé depuis 26 ans. Jean Becquerel, successeur au Muséum de son père, de son grand-père, et de son arrière grand-père, a relaté la découverte de son père : «... cette découverte avait été préparée par la continuité des travaux accomplis de père en fils dans le même laboratoire», et pour Henri Becquerel : «La découverte devait être faite dans le laboratoire du Muséum», celui de son père et de son grand-père. Elle ne pouvait pas avoir été faite dans l'environnement du laboratoire voisin, celui de Chevreul, spécialiste de la couleur, contemporain, et comme il arrive dans les milieux scientifiques, rival de son grand-père Antoine, spécialiste de la lumière. Les rappels viennent de physiciens, qui n'ont pas retenu le rôle de Chevreul. Et les chimistes, les coloristes et les agronomes qui se souviennent de lui ont négligé jusqu'à présent de s'intéresser à ses travaux sur la photographie.

C'EST NOUVEAU

Chevreul fait suivre le mémoire de Niepce du 20 décembre 1858 de considérations : «Les faits consignés dans le dernier mémoire de M. Niepce sont importants non seulement par leur liaison avec les questions qui se rattachent à la connaissance des phénomènes chimiques produits par l'action seule de la lumière ou avec son concours, mais encore et c'est là ce qu'ils ont de nouveau surtout, en ce qu'ils concernent son action même, sa puissance dynamique. C'est une découverte capitale que la démonstration du fait qu'un corps isolé, tel qu'un cylindre de carton blanc, agit dans l'obscurité, à distance, sur certains corps, à l'instar de la lumière même, émanée directement du soleil» ; «M. Niepce vient de constater que le carton isolé, conservé à l'obscurité dans un cylindre de fer blanc, est encore actif six mois après son insolation». Il a cette intuition formidable : «Il reste à savoir qu'il n'y aurait pas à distinguer : 1^o) Une activité qui serait propre à un corps fixe inorganique qui n'éprouverait aucune action chimique pendant qu'il conserverait son activité dans l'obscurité». On peut donc affirmer que l'importance du phénomène ne

lui a pas échappé, il est intéressant de comparer ces écrits de Chevreul, à ceux d'Edmond Becquerel à la même époque. Signalant les observations de Niepce dans son ouvrage «La lumière. Ses causes et ses effets», celui-ci ne retient de l'action des sels d'urane ni leur activité à distance, ni la longue persistance de cette activité à l'obscurité : «... une action calorique ou des effets chimiques peuvent rendre compte de la plupart d'entre eux». On pourrait citer ici Soddy, qui avec Rutherford proposera une théorie de la radioactivité : «Le conservatisme naturel et la haine de l'innovation se rencontrent dans le monde savant plus fortement que beaucoup de gens se l'imaginent». Néanmoins, Chevreul ne réussit pas à ordonner toutes les observations de Niepce : celui-ci écrit : «J'ai enduit des morceaux de carton de beaucoup de substances différentes, et j'ai obtenu des résultats très variables» ; il est probable que tous les matériaux de Niepce étaient contaminés par les sels d'uranium employés sans précaution. On ne connaît encore ni l'électron (Stoney, 1874 ; Thomson, 1897), ni les rayons X (Röntgen, 1895). C'est bien Henri Becquerel qui, dans le contexte scientifique de 1896, parlera d'«une nouvelle propriété de la matière», et l'attribuera à l'uranium. C'est lui qui comprendra qu'une insolation préalable est inutile ; c'est lui qui mettra en évidence l'effet ionisant du rayonnement ; mais c'est Rutherford qui distinguera les deux types de rayonnement alpha et bêta, et ce sont Rutherford et Soddy, en 1903, qui proposeront une interprétation.

UN MAILLON DANS L'HISTOIRE DES SCIENCES

Le souvenir des expériences de Niepce de Saint-Victor explique les premières erreurs d'Henri Becquerel, comme lui il a commencé par croire que l'excitation par la lumière était nécessaire pour provoquer l'activité. Le lien entre Niepce de Saint-Victor, découvreur du phénomène expérimental, et Chevreul, professeur de Chimie appliquée aux Corps Organiques, dévoile une continuité jusque-là ignorée dans l'histoire des Sciences, de la chimie des teintures à la radioactivité par la photographie. C'est la même aptitude à relever une observation insolite qui avait conduit Chevreul à découvrir la nature des corps gras, au début de sa carrière de chercheur. La découverte que nous révélons souligne la place exceptionnelle qu'il a tenue à la fois dans la naissance des sciences de la matière et dans celle des sciences de la vie. A la fin de sa vie, Chevreul aimait se donner le titre de «Doyen des étudiants».

Les auteurs remercient toutes les personnes qui les ont aidés dans la constitution des sources, et l'accès aux manuscrits, tout particulièrement M^{me} Ducreux, Conservateur de la Bibliothèque Centrale du Muséum, ainsi que les archivistes de l'Académie des Sciences, et des Bibliothèques Municipales de Nantes et d'Angers.

EXPOSITIONS-STAGES-CONFÉRENCES

IMAGES DE LA PHYSIQUE

En même temps que l'exposition : «La danse de l'Univers», créée par le Palais de la Découverte, l'ADASTA a présenté au Centre Municipal Pierre Laporte, du 23 avril au 18 mai, «Images de la Physique».

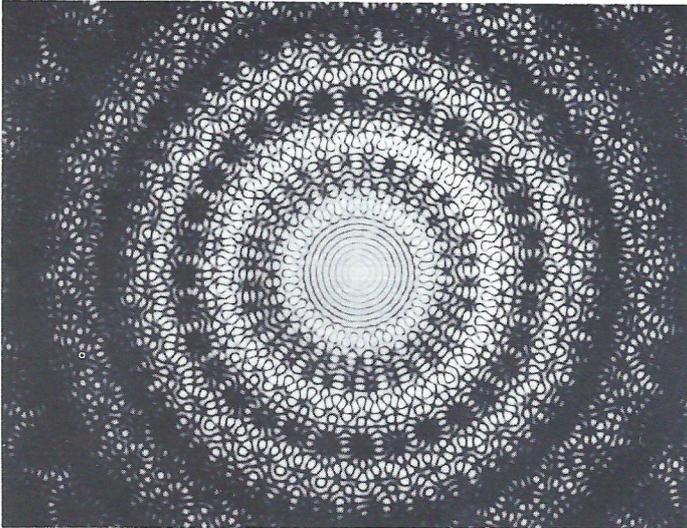


Figure obtenue par interférence de la lumière provenant de 32 sources laser réparties sur une circonférence

cette exposition de photographies a été centrée sur deux thèmes : «la couleur» et les «images laser». La décomposition et la recombinaison de la lumière blanche fournissent souvent des images fascinantes comme avec les couleurs des lames de savon.

Deux expériences ont permis au public de comprendre le mécanisme de la création des couleurs par synthèse additive : l'une utilise trois sources colorées qui éclairent des solides comportant de nombreuses facettes; l'autre a pour cadre l'écran d'un microordinateur.

Le laser permet d'obtenir des figures de diffraction particulièrement pures et les images prennent parfois un aspect insolite : phénomènes d'interférences multiples, caustiques dues à des accidents de parcours pour la lumière. Une simple goutte d'eau crée un univers de lignes qui s'entrelacent.

Les deux expositions ont été inaugurées le 23 avril 1991 en présence de M. le Recteur d'Académie et des représentants du maire de Clermont-Ferrand, du Président du Conseil Régional, du Préfet de Région, du Délégué Régional à la Recherche et la Technologie.

Le 10 mai, j'ai eu l'occasion, pendant cinq minutes, de présenter l'exposition «images de la physique» aux auditeurs de Radio-France Puy-de-Dôme et de souligner, en particulier, les rapports qui existent entre l'art et la science. Il serait souhaitable que l'ensemble des médias (et notamment la télévision) facilitent nos efforts en vue de diffuser les connaissances scientifiques et techniques. A noter que «La Montagne» ainsi que «Le Mois à Clermont» ont publié chacun un des documents exposés au Centre Jaude.

R.J.

LES PETITS DÉBROUILLARDS

Plusieurs séances d'initiation scientifique ont eu lieu les mercredis matins de 9 h à 11 h avec une dizaine d'enfants de 7 à 12 ans. Ceux-ci ont appris avec enthousiasme quelques «recettes scientifiques».

Voici d'abord les commentaires des questions posées dans le n° 17 d'Auvergne-Sciences.

1^{ère} question :

En soulevant le ballon on fait tomber le bicarbonate dans le vinaigre : la réaction chimique produit un dégagement de gaz carbonique et le ballon se gonfle de façon spectaculaire. On retire alors le ballon du goulot avec précaution et on vide le gaz qu'il contient dans un bocal. Quand on renverse ce bocal sur une bougie allumée, elle s'éteint.

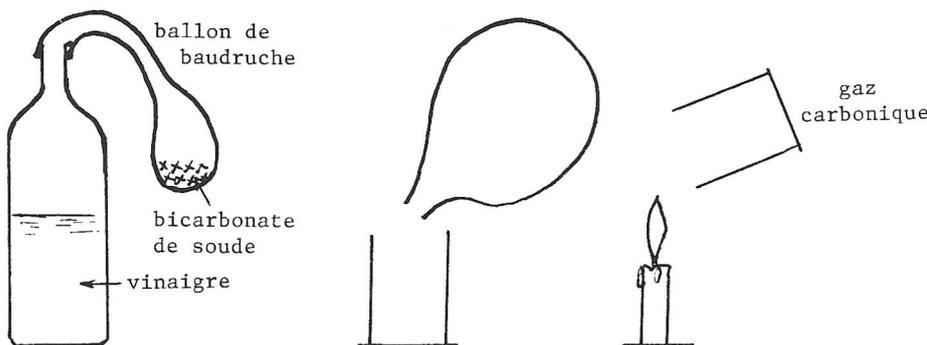
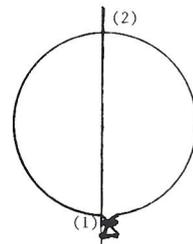


Schéma 1^{ère} question

2^{ème} question :

Un ballon de baudruche gonflé peut être traversé par une aiguille à tricoter sans éclater à condition d'introduire l'aiguille à la base en (1) et de percer le sommet en (2).



Et voici maintenant deux nouvelles questions :

- Comment retirer une pièce de monnaie placées dans l'eau d'une soucoupe sans se mouiller les doigts ?

- Comment, avec une feuille de papier 21 x 29,7 faire un orifice assez grand pour que les 10 enfants du club passent la tête (et les épaules !) en même temps ? (Voir l'histoire de la reine Didon qui débarqua à Carthage vers 814 av. J.C. et obtint un royaume qui pouvait être délimité par une peau de vache...).

DONNÉES NOUVELLES SUR LA CHAÎNE DES PUYs

Le 16 avril, au CRDP de Clermont-Fd, Guy CAMUS, Maître de Conférence à l'Observatoire de Physique du Globe, a fait le point sur différents problèmes nouveaux concernant la Chaîne des Puys. 150 personnes environ, vivement intéressées, ont assisté à cette conférence au cours de laquelle ont été développés les points suivants :

Les panaches volcaniques. Dans certaines conditions (éruptions à gros débit, hydrovolcanisme), l'activité peut engendrer un panache convectif important (hauteur 15-40 km).

La dynamique des particules dans le panache peut être modélisée; les données de terrain, par comparaison avec le modèle, autorisent à remonter aux conditions de l'éruption (débit, durée, hauteur du panache, vitesse du vent, etc...). On étudie successivement le cas des puys de la Vache et de Lassolas, et du Pariou.

Les produits du Pariou ont recouvert la cuvette Clermontoise de 0,5 à 2 m de cendres et scories il y a 8.000 ans; ils sont localement surmontés par un dépôt volcanique très riche en blocs de marnes de Limagne qui autorise à soupçonner une phase explosive très récente sur le site de Clermont-Ferrand.

Les particules plus fines (tailles infra-millimétrique) peuvent être entraînées au loin par les vents, et leur présence dans la haute atmosphère a des effets variés : baisse de la température du globe (cas de l'été 1816 après l'éruption du Tambora), ciel crépusculaire vivement coloré (en 1883-84 après l'éruption du Krakatau), dommages aux avions (Galunggung, 1983; Redoubt 1989, etc.). Dans les tourbières du Massif Central Français, on retrouve par forages des témoins (dépôts de retombée) de tels panaches jusqu'à 100 km de leur point d'émission; la superposition de ces dépôts permet de préciser la chronologie des

événements éruptifs; leur extension remet en cause les estimations antérieures, de volume des produits émis.

Les mélanges de magmas : Dans la série de la Chaîne des Puys, on distingue quatre termes pétrographiques : basaltes, trachybasaltes, trachyandésites et trachytes, de plus en plus riches en silice; on attribue classiquement cette évolution à un mécanisme de « cristallisation fractionnée » : la formation de cristaux relativement pauvres en silice augmente la concentration de cet élément dans le liquide résiduel. On montre en fait que la « pierre de Volvic » (trachyandésite) est le produit d'un mélange entre un basalte et un trachyte. C'est l'injection du basalte (t° env. 1200°C) dans le réservoir trachytique en cours d'évolution qui a déclenché l'éruption.

En fait tous les trachytes de la Chaîne des puys contiennent des globules de lave basaltique, et on peut soupçonner que des injections mineures de basalte ont aidé les trachytes, très visqueux, à monter vers la surface. Tous les dômes trachytiques actuellement datés ont fait éruption dans une fourchette de temps réduite (11.500 - 8.000 ans b.p., en même temps que des édifices tels que les puys de la vache et Lassolas, Pariou, Côme, etc.; on met ainsi en évidence une phase éruptive importante, sans doute liée à une reprise de l'alimentation d'origine profonde, qui clôture (provisoirement ?) le cycle d'activité dans le secteur.

«LES CONFINS DE L'UNIVERS»

Le 6 mai dernier, au CRDP de Clermont-Fd, Mme COLLIN a présenté une conférence ayant pour sujet : « Les confins de l'univers ». Mme COLLIN, Directeur de Recherche à l'Institut astrophysique de Paris, est spécialiste de cosmologie.

La cosmologie moderne a pris naissance au début du vingtième siècle, quand, pour la première fois, les bornes de l'Univers ont été repoussées au delà de notre Galaxie sur la base de véritables arguments scientifiques. La découverte, par Hubble, de l'expansion de l'Univers, à laquelle la relativité a donné une assise physique, a constitué la deuxième étape de cette élaboration. Enfin, au début des années soixante, la découverte du rayonnement cosmologique a confirmé l'existence d'un Univers évolutif et non statique possédant une véritable histoire qu'il est possible de retracer et dont il sera bientôt possible, sans doute, de prédire l'évolution future.

Après une introduction destinée à replacer les auditeurs dans le contexte historique de la cosmologie et à les habituer aux notions d'espace et de temps qui sont indissolublement liées dans ce problème, Mme COLLIN a montré comment l'observation des objets très lointains permet de remonter dans le passé de l'Univers, et comment elle permettra - on l'espère - de donner une réponse aux grandes questions qui préoccupent les cosmologistes : comment se sont formées les

galaxies et le «filet cosmique» dont les télescopes nous ont récemment révélé l'existence? l'Univers est-il fermé ou ouvert, aura-t-il une expansion indéfinie ou subira-t-il une contraction le ramenant à son état initial?

Il est peu vraisemblable que nous soyons en mesure de vous donner la réponse dans un prochain numéro !...



**APPAREILS DE MESURES
ÉLECTRONIQUES**

P.B. MESURES

RÉPARATIONS - MAINTENANCE ÉTALONNAGE

Toutes marques

▶ CONTRÔLEURS - MULTIMÈTRES ▶ OSCILLOSCOPES ▶ ENREGISTREURS	▶ GÉNÉRATEURS BF ▶ ALIMENTATIONS ▶ APPAREILS DE LABORATOIRES
---	--

Distributeur A.O.I.P. Mesures

699, avenue de l'Europe, 63110 Beaumont - Tél. 73 27 61 31
 S.A.V. agréé : AOIP Mesures - AVANTEC/BIOBLOCK SCIENTIFIC

L'INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE (I.N.P.I.)

On trouvera ci-dessous un ensemble d'informations et de documents concernant le dépôt et l'utilisation des brevets. A la Bibliothèque des Cézeaux deux millions de textes (la collection commence en 1791) peuvent être consultés. Divers autres services sont à la disposition du public.

LE BREVET

• BREF

Les abrégés des demandes de brevets déposées en France. Ce nouveau CD-ROM de l'I.N.P.I. (l'Institut National de la Propriété Industrielle) sera commercialisé à la rentrée par l'Institut.

- 1474 Statut des inventeurs de Venise.
- 1791 Première loi française sur les brevets.
- 1883 Convention de Paris pour la protection industrielle (90 pays).
- 1947 Création de l'Institut International des brevets.
- 1963 Convention de Strasbourg.
- 1970 Traité de coopération en matière de brevet PCT.
- 1977 Entrée en vigueur de la convention sur le brevet européen.
Création de l'office européen de brevet OEB.
- 1988 Le 100 000^e brevet européen est déposé.

PROTECTION DES INVENTIONS

Le brevet est un titre juridique qui confère à son titulaire un monopole d'exploitation dans un territoire limité et pour une durée précise. Il est un atout irremplaçable de la stratégie des entreprises.

SOURCE D'INFORMATION

La publication des demandes de brevets et des brevets délivrés est obligatoire. Le brevet est donc une source d'information technique : 80% des informations contenues ne sont publiées nulle part ailleurs.

L'I.N.P.I.

(Institut National de la Propriété Industrielle)

Etablissement public de l'Etat chargé de l'application des lois et règlements... concernant la propriété industrielle.

Son intérêt est triple :

- **Protection des innovations** grâce aux dépôts de brevets d'invention, de dessins et modèles industriels, de marques de fabrique de commerce ou service.

- **Enregistrement des entreprises** (inscription au Registre du Commerce et Sociétés, au répertoire des métiers, aux registres nationaux de brevets et marques, enregistrement des transferts techniques internationaux).
- **Information des acteurs de la vie économique**
adresse : 26^{bis}, rue de Léningrad
75800 Paris Cédex 08.

En France :

- 350 000 brevets actuellement en vigueur
- plus de 2 millions de demandes de brevets.

En Europe :

- 1 accord signé en 1985 instaure le brevet communautaire
- le brevet européen est une clef pour l'industrie et le commerce en Europe
- plus de 350 000 demandes déposées à ce jour.

AUVERGNE

Le Centre Régional de la Propriété Industrielle (Centre associé INPI créé en 1981 avec la participation de la Région et de la CRCIA) vous propose :

- la consultation des deux millions de textes de brevets (collection commençant en 1791)
- l'assistance pour la recherche préalable au dépôt
- des services de recherche d'information dans le domaine des brevets et dans leur environnement scientifique et technique
- une documentation sur la propriété industrielle (bulletins officiels, revues et documents d'information).

adresse : Centre INPI
Bibliothèque Municipale et Inter-universitaire
Section Sciences Techniques
Les Cézeaux
63170 AUBIERE
Tél. 73 40 74 90 - 73 40 74 87

Responsable : M^{me} JOBERT.

MOTEUR DE L'INNOVATION

Le brevet permet :

- une juste rémunération de l'inventeur
- une rentabilisation des dépenses des entreprises pour la recherche et le développement.

Les brevets sont garants du progrès technique et du transfert des technologies.

Rédigé d'après des documents de l'Office Européen des brevets et de l'INPI.

MUSÉE CROZATIER Le Puy-en-Velay

Le Musée Crozatier du Puy-en-Velay participera à la quadriennale internationale de design du 22 juin au 1^{er} septembre 1991, en collaboration avec six autres centres culturels de la Région Rhône-Alpes. Chaque musée présentera un aspect particulier du design à travers une exposition thématique.

Au Puy-en-Velay l'exposition, qui a pour titre «Des créateurs face à la tradition : Fabriques de Gien, Limoges, Nevers, Quimper, Sèvres», permettra de montrer de nombreuses pièces issues de ces hauts lieux de la tradition française avec notamment des prototypes ou éditions des créateurs contemporains.

Ces œuvres sont empruntées au Fonds National d'Art Contemporain, à des musées et à des entreprises. L'exposition fera ensuite l'objet d'une tournée internationale avant de terminer sa carrière à Paris.