

# AUVERGNE

# Sciences

N° 53 - SEPTEMBRE 2002

**LE BIOGAZ**

**DE L'APPARENCE À L'ADN**

**LES JOURNÉES  
ATLAS 2002**

**BULLETIN DE L'ADASTA**

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

# Éditorial

Grâce à ses animateurs bénévoles, l'ADASTA œuvre pour vulgariser la science et la rendre attractive pour tous. Que tous ceux qui apportent leur concours sous toutes ses formes soient remerciés, y compris les sponsors sans qui cette revue ne pourrait être financée.

Le nombre des adhérents continue d'augmenter. L'ADASTA est partenaire dans de nombreuses manifestations, et toutes ces sollicitations nous font chaud au cœur : voici quelques exemples de partenariat.

- Les journées ATLAS : rassemblement de scientifiques issus de 34 pays, qui construisent le plus grand détecteur de particules jamais réalisé à ce jour.
- Les Universités européennes d'été 2002 qui avaient pour thème "Comment renforcer l'attractivité du transport public urbain".
- Le Forum des Associations avec présentation d'expériences, entre autre par les Jeunes Pousses, contacts avec les scientifiques.
- La participation aux 50<sup>es</sup> journées nationales de l'Union des Physiciens à Clermont-Ferrand.



J.-C. Capelani

Ces exemples montrent l'activité débordante de l'association et la disponibilité de ses membres bénévoles.

Après une première année d'activité avec les Jeunes Pousses, nous nous réjouissons du succès rencontré. Pour renforcer l'ensemble de nos actions nous serons heureux d'accueillir toutes les personnes disposant d'un peu de temps et intéressées par les activités scientifiques.

Nous terminerons cet éditorial par une anecdote. En juillet 2002 une équipe de télévision a réalisé un jeu dans la région Auvergne au cours duquel a été évoqué l'inversion du champ magnétique terrestre dans la coulée du Puy de Laschamp. Nous avons publié sur ce thème un article de Madame Suzanne Gély en mars 1997 dans la revue Auvergne Sciences. Grâce à Bernard Ragout, webmaster, les intéressés pourront le retrouver sur notre site <http://perso.wanadoo.fr/adasta>

A bientôt pour une nouvelle année d'activités.

Le Président,  
J.C CAPELANI

## Merci à nos sponsors



MINISTÈRE  
DE LA RECHERCHE  
ET DE LA TECHNOLOGIE



## Comité de rédaction de la Revue Auvergne-Sciences

Président : Paul Avan - Rédactrice : Jocelyne Allée  
Membres : Jean-Claude Capelani, Luc Dettwiller,  
Paul-Louis Hennequin, Roland Jouanisson, Michel Naranjo.

# Sommaire

Hommage à Roger Vessière.....	3
Le biogaz.....	4
De l'apparence à l'ADN.....	7
Les principes au 18 <sup>e</sup> siècle.....	14
L'ADASTA en excursion dans la région lyonnaise.....	15
Prenez-en de la graine.....	18
Les journées ATLAS 2002 à Clermont-Ferrand.....	20
Informations.....	21
Les jeunes pousses à la Cité des Sciences.....	22
Les jeunes pousses au pays de Volvic.....	23
Les jeunes pousses visitent les espaces verts de la ville de Clermont-Ferrand.....	23

Photo de couverture : Vulcania - Cône dans la végétation  
(Vulcania - Joël Damase).

# Hommage à Roger Vessière



Le professeur Vessière honoré par Valéry Giscard d'Estaing (photo La Montagne)

Nous apprenons le décès subit, le 12 juillet dernier, du Professeur Roger Vessière, Président d'Honneur de l'ADASTA.

Le Pr Vessière a été le Président de l'ADASTA lors de sa création en juin 1986 et le resta jusqu'en 1991. Avec l'aide de diverses autorités universitaires et industrielles (comme la manufacture Michelin), avec également l'appui du Palais de la Découverte et du conseil Régional d'Auvergne, le Président Vessière a su apporter la structure, de diffusion de la culture scientifique et technique qui faisait défaut à notre région. Il a fait bénéficier l'association de ses compétences et de son expérience des milieux universitaires et industriels.

Le Pr Vessière s'est impliqué personnellement dans la création et le développement des diverses animations qui ont fait l'originalité de notre association. C'est ainsi que l'ADASTA a, dès 1987, pris l'initiative d'organiser des cycles d'expositions et de conférences, de visites d'usines et de centres de recherche.

C'est également sous l'impulsion du Pr Vessière que l'ADASTA a inauguré une série d'universités d'été destinées aux professeurs de Sciences Physiques de l'enseignement secondaire. Avec l'appui des autorités académiques, de nombreuses séances de formation ont d'autre part été organisées et de nombreux documents ont été créés à cette occasion et diffusés dans notre pays.

Lors de la création d'Auvergne Sciences en mars 1987, le Pr Vessière pouvait écrire : "Or, développer la culture scientifique constitue précisément l'un des éléments, peut être principal, pour permettre à chacun de mieux appréhender le monde qui l'entoure, de maîtriser son devenir et d'en mesurer les enjeux". Il était toujours membre du conseil d'administration et avait programmé une conférence le 25 septembre sur le thème "le carbone dans tous ses états".

A cette occasion, le Président, le bureau, le conseil d'administration et tous les membres de l'ADASTA présentent à son épouse, ses enfants et petits-enfants, leurs bien sincères condoléances.

## RECTIFICATIF

### LES CELLULES SOUCHES,

La phrase suivante a été omise à la fin de l'article de Jean-Pierre Dufaure sur les cellules souches et leurs potentialités morphogénétiques paru dans le numéro 52 : "Remerciements : Jacques Samarut, Directeur de Recherches au CNRS (Laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon) nous a fourni de nombreux documents et a bien voulu relire ce manuscrit".

Nous prions l'auteur de l'article ainsi que nos lecteurs de bien vouloir nous excuser.

## Adhésions et Abonnements

Adhésions  
à titre individuel..... 26 €

Adhésions  
à titre collectif..... 80 €

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

Permanences :  
L'A.D.A.S.T.A. a de nouveaux horaires d'ouverture :  
lundi 14 h à 18 h ;  
mardi 8 h à 12 h, 14 h à 17 h ;  
mercredi 8 h à 12 h, 14 h à 18 h ;  
jeudi 8 h à 12 h, 14 h à 17 h ;  
vendredi 8 h à 12 h

Adressez le courrier à  
**ADASTA, 19, rue de Bien-Assis -  
63100 Clermont-Ferrand**  
**Tél. 04 73 92 12 24**  
**Fax 04 73 92 11 04**  
**E-mail : adasta@wanadoo.fr**  
**Site Internet :**  
**<http://perso.wanadoo.fr/adasta>**

Dépôt légal septembre 2002  
N° ISSN - 1166-5904

## Le biogaz

**Delphine BRUNEAU, Christian COPIN et Servane LOUIS**

*Gaz de France, Délégation Marketing Stratégique*

### QU'EST-CE QUE LE BIOGAZ ?

C'est un gaz produit par des bactéries dans des environnements dépourvus d'oxygène (*anaérobies*), lors de la décomposition de la matière organique. Le biogaz est un gaz combustible, principalement composé d'un mélange de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). La composition du biogaz varie selon sa provenance. Saturé en eau, il peut contenir plus ou moins d'oxygène et d'azote (en particulier si l'anaérobiose n'est pas parfaite !), d'hydrogène sulfuré et de constituants traces. L'essentiel de sa production s'effectue de façon naturelle, c'est-à-dire ni contrôlée ni récupérée par l'homme, dans des écosystèmes tels que les tourbières et les marais où les matières végétales et animales sont décomposées. Le biogaz engendre aussi des phénomènes tels que les feux follets dans les cimetières ou l'inflammation spontanée des décharges sauvages.

Afin de pouvoir traiter biologiquement des déchets fermentescibles, des procédés de méthanisation ont été développés ce qui permet une production maîtrisée et valorisable de biogaz.

### QU'EST-CE QUE LA MÉTHANISATION ?

La *fermentation méthanique* (transformation de substances organiques) ou *méthanisation* est un processus biologique naturel de dégradation de la matière organique en milieu *anaérobique* (en absence d'oxygène), aboutissant à un mélange gazeux, essentiellement composé de méthane (la forme la plus réduite du carbone) et de gaz carbonique (sa forme la plus oxydée).

La biodégradation anaérobique contrôlée de composés organiques conduit à la production de biogaz et d'un résidu stabilisé : le *digestat*, c'est-à-dire un ensemble de matières digérées issues

de substances (*substrats*) transformées ayant subi la méthanisation.

La méthanisation s'applique à des matières premières fermentescibles complexes (composées de macromolécules organiques). Elle se déroule selon quatre étapes successives (schéma 1) :

- **Hydrolyse**, par laquelle les macromolécules organiques (longues chaînes carbonées) se trouvent décomposées (hydrolysées) en petites molécules solubles à l'origine du jus de fermentation ; on parle de "solubilisation" des matières organiques : par exemple, la cellulose est transformée en sucres solubles tels que le glucose ou le cellobiose.

- **l'acidogénèse**, par l'action de bactéries spécifiques, les produits hydrolysés sont transformés en composés organiques simples, tel l'acide lactique ou des acides gras volatils de 2 à 5 atomes de carbone (propionate, butyrate, ...) ; parallèlement sont produits des alcools de faible poids moléculaire, tel que l'éthanol, mais également du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de l'hydrogène moléculaire ( $\text{H}_2$ ).

- **l'acétogénèse** : tous les produits résultant des deux étapes précédentes autres que le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et l'hydrogène moléculaire ( $\text{H}_2$ ) nécessitent une transformation supplémentaire avant de pouvoir effectivement produire du méthane. C'est ici qu'interviennent des bactéries réductrices acétogènes, productrices d'acétate ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) et des bactéries

sulfato-réductrices, productrices d'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

- **la méthanogénèse** : phase ultime au cours de laquelle deux types de bactéries méthanogènes prennent le relais pour produire du méthane : les premières, acétoclastes, réduisent l'acétate ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) en méthane ( $\text{CH}_4$ ) et en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Les secondes, hydrogénophiles, réalisent la réduction du  $\text{CO}_2$  par l'hydrogène.

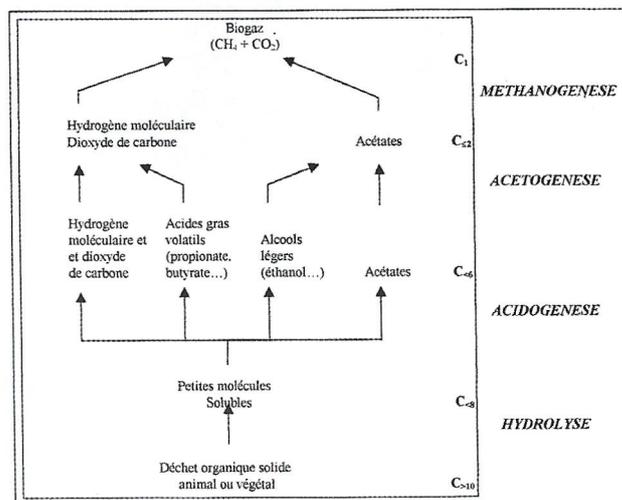


Schéma 1 : Les étapes de la fermentation anaérobique  
Remarque : selon les sources d'information, le gaz carbonique apparaît quelquefois sous la forme de bicarbonate dans les étapes intermédiaires, celles-ci se déroulant en phase aqueuse.

$C_x$  : x est le nombre d'atomes de carbone dans les molécules

Des réactions chimiques précédentes, il résulte que le biogaz produit est généralement composé :

- de la moitié aux trois quarts de méthane ( $\text{CH}_4$ )
- de un quart à la moitié de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )

La composition du biogaz varie selon les types de déchets mais aussi selon les procédés de production du biogaz. Le paragraphe suivant apporte un éclairage sur ces aspects.



## OÙ PRODUIRE LE BIOGAZ ET QUEL EFFET SUR L'ENVIRONNEMENT ?

Nous excluons dans la suite du document les écosystèmes naturels pour nous focaliser uniquement sur les procédés anthropiques de production résultant d'une activité industrielle où il y a stockage et accumulation de déchets organiques, et où une partie des déchets n'est pas soumise à une aération continue. On distinguera deux situations :

- Les lieux de stockage proprement dits, c'est-à-dire les décharges d'ordures ménagères "contrôlées" (appelés CET pour Centre d'Enfouissement Technique ou encore CSD pour Centre de Stockage de Déchets selon la terminologie officielle), sachant que de nombreuses décharges "sauvages" ont reçu des quantités variables de déchets mais font aujourd'hui partie de l'héritage d'une pratique révolue.
- Les méthaniseurs de déchets ménagers et assimilés, agricoles ou industriels et les installations de digestion anaérobie<sup>(1)</sup> des boues de Stations d'EPuration urbaine (STEP).

La réglementation rend obligatoire le captage et l'élimination du biogaz des décharges (par combustion, la valorisation de la chaleur produite étant un plus à mettre en œuvre si possible). Afin que l'efficacité de ce captage soit maximale, un système de puits permet d'aspirer le biogaz au sein même du tas de déchets, mais crée des entrées d'air qui viennent perturber le caractère anaérobie de la méthanisation.

Afin qu'une valorisation organique du digestat soit envisageable, on ne méthanisera que la fraction fermentescible des déchets ménagers, ainsi que les déchets verts<sup>(2)</sup>. Cependant, la méthanisation d'ordures ménagères brutes est également proposée par certains constructeurs comme un pré-traitement avant mise en décharge.

Les déchets agricoles les plus communément méthanisés sont les lisiers, cette solution de traitement constitue en particulier une alternative à l'épandage. Les déchets industriels concernés sont, pour la plupart, des effluents des papeteries et des industries agro-alimentaires.

*Exemples : Coca-Cola, Heineken, Kronenbourg, Andros, ...*

(1) La digestion anaérobie est un synonyme de méthanisation mais on utilise préférentiellement cette terminologie pour les boues de STEP

(2) Pour plus de précisions sur la classification des déchets, le lecteur est invité à consulter les documents cités en référence ou à consulter les sites internet tels que celui de l'ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).

Le tableau ci-dessous donne la composition standard du biogaz obtenu selon le type de déchet et montre également l'influence de l'aspiration dans les décharges [3].

	Ordures Ménagères Décharge (sans aspiration)	Ordures Ménagères Décharge (avec aspiration)	Ordures Ménagères Décharge + Déchets Industriels	Ordures Ménagères triées en digesteurs	Boues de Station d'Épuration	Lisier de bovins ou d'ovins en fermenteurs (mélange d'excréments solides et liquides d'animaux)	Distillerie
<b>CH<sub>4</sub></b> Vol %	50 - 58	30 - 55	25 - 45	50 - 60	60 - 75	60 - 75	68
<b>CO<sub>2</sub></b> Vol %	25 - 34	22 - 33	14 - 29	38 - 34	33 - 19	33 - 19	26
<b>N<sub>2</sub></b> Vol %	18 - 2	26 - 6	49 - 17	5 - 0	1 - 0	1 - 0	-
<b>O<sub>2</sub></b> Vol %	1 - 0	8 - 2	8 - 5	1 - 0	< 0,5	< 0,5	-
<b>H<sub>2</sub>O</b> Vol %	4 (à 30 °C)	4 (à 30 °C)	4 (à 30 °C)	6 (à 40 °C)	6 (à 40 °C)	6 (à 40 °C)	6 (à 40 °C)
<b>H<sub>2</sub>S</b> mg/m <sup>3</sup>	20 - 50	5 - 20	100 - 900	100 - 900	1000 - 4000	3000 - 10 000	400
<b>NH<sub>3</sub></b> mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	50 - 100	-
<b>Aromatiques</b> mg/m <sup>3</sup>	2	1	0 - 200	0 - 200	-	-	-
<b>Organo- halogénés</b> mg/m <sup>3</sup>	0 - 200	0 - 100	100 - 800	100 - 800	-	-	-

La France, conformément au protocole de Kyoto, est engagée pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Concernant le biogaz, cette stratégie se décline selon les deux axes suivants :

- Comme nous venons de le décrire, le biogaz contient du méthane qui a une incidence très forte sur l'effet de serre. Des efforts spécifiques sont donc engagés pour limiter les émissions non contrôlées de biogaz vers l'atmosphère, en particulier à partir des décharges.
- Par ailleurs, la production maîtrisée du biogaz a un effet direct sur l'environnement. En effet, la digestion anaérobie entraîne une diminution considérable de la charge organique, donc de la charge polluante, du substrat digéré. De plus, le biogaz constitue une source d'énergie renouvelable qui, substitué à une source d'énergie fossile, contribue à la stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre.



## LES DIFFÉRENTES VOIES DE VALORISATION

Plusieurs types de valorisation sont de nos jours proposés. Il est possible de les regrouper en deux principales catégories :

- 1) Les modes de valorisation éprouvés industriellement :
- a) le brûlage direct dans une chaudière ou dans un four

Ce procédé est simple, il ne demande pas un gros investissement et le temps de retour est rapide. La chaleur de

combustion du biogaz peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur à moyenne ou haute pression, ou dans des fours de procédés (fabrication de tuiles, cimenterie, ...).

Toutes les sources de biogaz peuvent donner lieu à ce type de valorisation dès que le biogaz comporte au moins 20 % de méthane. On considère aujourd'hui que la valorisation thermique du biogaz peut être rentable à partir d'un débit de 100 m<sup>3</sup>/h. En général, le traitement du biogaz peut se limiter à une déshydratation. Le transport s'effectue en canalisation polyéthylène (plastique) et la pression de transport est d'environ 300 mbar. Le comptage en énergie (si nécessaire) est obtenu en prenant en compte la teneur en méthane mesurée à l'amont de l'installation de la combustion. Il faut veiller à sélectionner un dispositif de comptage pouvant travailler en ambiance corrosive car la présence conjointe de vapeur d'eau, d'hydrogène sulfuré et de composés *organo-halogénés* (organismes chimiques qui comprennent en particulier du chlore et du fluor) peuvent poser des risques de corrosion.

*Exemple de réalisation :* Papeterie Emin-Leydier à Saint-Vallier (26). Biogaz produit à partir de 2,5 Mm<sup>3</sup>/an d'eaux de procédé à l'aide d'un digesteur de 1975 m<sup>3</sup> ; la production annuelle de biogaz est de 2,7 Mm<sup>3</sup> ; une chaudière adaptée au biogaz produit 8 t/h de vapeur à 16 bars, le temps de retour sur investissement étant inférieur à un an (réalisation de 1998) [3].

- b) la production d'électricité (et de chaleur et/ou froid par cogénération) pour une autoconsommation ou pour la revente.

Une autre source de valorisation possible est la production d'électricité, avec autoconsommation locale ou revente partielle ou totale du surplus à

EDF. Cependant, cette voie nécessite des investissements parfois lourds. Afin d'obtenir une combustion normale, le biogaz doit être composé d'au moins 40 % de méthane. Pour produire cette électricité, le biogaz doit être épuré pour être brûlé dans un moteur ou une turbine à gaz. Les épurations nécessaires sont la *déshydratation*, la *désulfuration* (retrait du soufre) et l'élimination des *organo-halogénés*. Pour atteindre un niveau de temps de retour raisonnable, les débits à produire doivent être de 400 Nm<sup>3</sup>/h.

*Exemple de réalisation* : Société Révico à Saint-Laurent-de-Cognac (16), 1997. Biogaz produit à partir de 4 à 500 000 m<sup>3</sup>/an de vinasses de distillation de cognac et d'excédents de vin, production annuelle de biogaz de 4,4 Mm<sup>3</sup> (PCI<sup>(3)</sup> = 7 kWh/Nm<sup>3</sup>), dont 30 % sont utilisés pour la production électrique à partir d'une *cogénération* fournissant par année 1,6 GWh électrique et 4,3 GWh thermique. Temps de retour estimé à 3 ans [3].

#### 1) Modes de valorisation expérimentaux ou émergents :

##### a) la production de biogaz carburant pour les véhicules

Contrairement à la production de chaleur ou d'électricité, la valorisation du biogaz sous cette forme reste aujourd'hui marginale. Elle est effective principalement en Suède, pays peu desservi par le gaz naturel, où la production de biogaz carburant permet d'alimenter à la fois des bus et des véhicules légers dans 12 villes (dont Uppsala, Linköping et Stockholm). Néanmoins, l'expérience suédoise reste relativement isolée puisqu'on ne dénombre pas plus de vingt installations dans le monde. Ainsi, le marché du biogaz carburant n'a pas encore atteint la maturité commerciale. Le biogaz sous cette forme est destiné aux mêmes utilisations que le GNV<sup>(4)</sup>, à savoir essentiellement l'alimentation des véhicules tels que les autobus, les bennes à ordures ménagères, les véhicules légers des services municipaux ou des services publics locaux.

Le biogaz, qui devra contenir initialement au moins 50 % de méthane, devra être épuré en subissant à minima une décarbonatation, une désulfuration et une déshydratation. L'élimination des organo-halogénés et des métaux lourds sera pratiquée selon les spécifications des motoristes. Les traitements et technologies correspondants sont complexes. En terme logistique, les véhicules pourront s'alimenter soit directement sur le site de production, soit sur des bornes d'alimentation situées sur d'autres sites où le biogaz épuré pourra être transporté.

*Exemple de réalisation* : sur le site de Uppsala, le biogaz provient de la *co-digestion* (mélange de déchets de nature différente) des déchets d'origine agricole et de la restauration. Sur le site de Linköping, le biogaz est issu de la fermentation des boues de station d'épuration [3], [5].

##### b) l'injection du biogaz dans le réseau de gaz naturel

Encore plus marginale que le biogaz carburant (une dizaine d'installations dans le monde, dont la moitié aux Pays-Bas dans le cadre d'un programme spécifique), cette valorisation n'est possible que lorsque le Centre d'Enfouissement Technique (source rarement autorisée pour ce type de valorisation) ou l'usine de méthanisation est établi à proximité d'une canalisation de transport ou de distribution de gaz naturel. De plus, même avec des spécifications d'épuration plus draconiennes que pour le biogaz carburant, des doutes subsistent aujourd'hui concernant la qualité du gaz acceptable pour une injection dans un réseau de distribution sans risque sur la santé et la sécurité des utilisateurs. Ainsi, le Comité Supérieur de l'Hygiène Publique de France, dans un avis publié le 4 juillet 2000, s'est prononcé, "dans l'état actuel des connaissances, contre l'injection du biogaz produit par la décharge de Montech dans le réseau gazier", seul cas envisagé à ce jour en France.

*Exemple d'opération aux Pays-Bas à Tilburg* : l'unité d'injection purifie le biogaz issu d'une décharge de 100 ha, recevant 500 000 tonnes de déchets triés par an et d'une usine de méthanisation de déchets de jardin et de cuisine. Depuis 1994, cette unité traite et injecte dans le réseau de distribution de la ville environ 1000 m<sup>3</sup>/h de biogaz.

## CONCLUSION

La valorisation du biogaz constitue aujourd'hui une ressource énergétique qui représente potentiellement plus de 10 % de la consommation énergétique en gaz naturel en France. Aujourd'hui, le biogaz n'est plus considéré comme un sous-produit générateur de pollution, mais plutôt comme un vecteur d'énergie renouvelable qui peut être exploité de façon rentable (sous certaines conditions). En France la ressource de biogaz effectivement

valorisée est égale à 150 000 tep<sup>(5)</sup>/an et alors que celle en potentiellement valorisable est égale à 3 250 000 tep/an. Les objectifs pour 2006 en France sont de valoriser 250 000 tep/an dans un souci de mieux maîtriser la gestion des déchets organiques et d'améliorer les ratios d'autonomie énergétique au niveau local.

(3) PCI : pouvoir calorifique inférieur : quantité de chaleur libérée par la combustion totale d'une quantité de référence d'un combustible (1 Nm<sup>3</sup> pour les gaz, c'est-à-dire un 1 m<sup>3</sup> dans les conditions normales de température et de pression soit 0°C et 101 325 Pa)

(4) GNV : Gaz Naturel Véhicules

(5) tep (tonne équivalent pétrole) : quantité moyenne d'énergie, produite lors de la combustion d'une tonne de pétrole brut

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] "Le biogaz - Procédés de fermentation méthanique", Bertrand de LA FARGE, Masson, 1995
- [2] "Traitement biologique des déchets", Techniques de l'ingénieur, traité Environnement, Fascicule G 2 060, Rémy Gourdon
- [3] "Le biogaz et sa valorisation - Guide méthodologique", Gaz de France / Ademe, 1999
- [4] "La méthanisation des déchets ménagers et assimilés", Gaz de France / Solagro / Arene / Ademe, 2000
- [5] "La valorisation du biogaz en Europe", Gaz de France / Ademe, 2001

### PUY-LONG DU BIOGAZ À L'ÉLECTRICITÉ

Le centre d'enfouissement technique (CET) du Puy-Long traite, chaque année, environ 220.000 tonnes de déchets en provenance des dix-huit communes de Clermont Communauté. Depuis un an, un valorisateur transforme en électricité le biogaz, gaz polluant issu de la fermentation des déchets stockés sur le site. Ce valorisateur est équipé de deux moteurs de 1000 KW chacun, complétés d'une unité de lavage et de purification du biogaz, d'un alternateur, de systèmes de régulation. L'énergie produite est revendue à EDF, 5,34 euros le kilowattheure. Le débit horaire du biogaz s'élève à 2.500 m<sup>3</sup>, la production annuelle d'électricité à 14.000 mégawatts, l'équivalent de douze cents tonnes de pétrole. C'est aussi le niveau de consommation annuelle de quatre mille foyers.

Document fourni par la ville de Clermont-Ferrand.

# De l'apparence à l'ADN

**Nathalie ANDREOLETTI**

*Docteur en Biologie Structurale et Fonctionnelle*

La notion d'hérédité, au sens général du terme, est accessible à tous, par simple observation. En effet, il est tout à fait possible de remarquer la ressemblance d'un enfant avec l'un ou plusieurs de ses aïeux ou encore avec l'un de ses parents, voire les deux. La mise en évidence du support physique et des mécanismes régissant la transmission des caractères héréditaires s'est faite au même rythme que les progrès techniques dans certaines disciplines et l'émergence de nouvelles autres. Si, de nos jours, l'acide désoxyribonucléique ou ADN est une des molécules les plus médiatisées, il n'en a pas toujours été ainsi, puisque ce n'est que longtemps après sa découverte que les scientifiques la considèrent avec intérêt.

## ●●●●● NAISSANCE DE LA GENETIQUE

Même si la transmission des caractères morphologiques intriguait les savants depuis l'antiquité, les éleveurs et les agriculteurs ne s'employèrent, au cours des temps, à croiser des espèces différentes entre elles que dans le but de sélectionner des animaux et des végétaux plus robustes et plus productifs. L'intérêt scientifique ne vint que plus tard et les pionniers de la génétique, aussi bien animale que végétale, n'apparurent qu'au début du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Mais le véritable fondateur de la génétique est J. G. Mendel dont les travaux énoncés en 1865 à la Société d'Histoire Naturelle de Brunn et publiés l'année suivante seront à l'origine des lois fondamentales de la transmission des caractères héréditaires (Mendel, 1866). Dès 1855, J. G. Mendel s'intéressa aux théories de F. Unger, professeur de physiologie végétale, qui recommandait, pour comprendre le phénomène d'hybridation chez les végétaux, une étude expérimentale portant sur plusieurs générations successives. J. G. Mendel va

alors suivre la transmission de caractères héréditaires en croisant des plantes, de variétés différentes, et en observant les hybrides obtenus au fil des années. Le choix du matériel expérimental ne fut pas laissé au hasard et porta sur une plante potagère, le pois (*Pisum*) pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cette légumineuse possédait des caractères constants et facilement identifiables : forme de la graine, coloration du cotylédon entourant celle-ci... D'autre part, pour le bien-fondé des expériences, la plante choisie devait être, durant la période de fécondation, protégée de toute contamination par un pollen étranger. Dans le cas du pois, les anthères, contenant le pollen, éclatent lorsque la fleur est encore en bouton, si bien que le stigmate, contenant les oosphères, est couvert de pollen avant la floraison. Enfin, point très important pour suivre une descendance sur plusieurs générations, il fallait trouver un matériel expérimental dont les croisements artificiels seraient faciles et ne conduiraient pas, comme c'est souvent le cas, à la stérilité des hybrides obtenus. L'importante fécondité de la plante permit des analyses sur des nombres importants de graines à chaque génération donnant ainsi à J. G. Mendel la possibilité d'introduire pour la première fois un outil mathématique : l'analyse statistique.

Ses expériences préliminaires, qui durèrent 2 ans, le conduisirent à une notion, qualifiée plus tard par W. L. Johannsen, de lignée pure. En effet, par autofécondation des plants de chaque variété, il montra que tous les des-

cendants présentaient des caractères identiques à leur plant d'origine.

J. G. Mendel orienta dans un second temps ses recherches sur l'étude de l'hybridation entre des variétés de pois ne différant que par un seul caractère (monohybridisme). Une de ses stratégies consista à décomposer ses travaux en autant d'expériences qu'il y avait de caractères différents chez le modèle expérimental. Il sélectionna parmi ceux-ci, ceux facilement reconnaissables et les considéra de manière indépendante les uns des autres. Les plants présentaient 7 caractères dont chacun pouvait se retrouver sous 2 formes différentes aisément identifiables : forme de la graine, couleur du cotylédon, couleur de l'enveloppe, forme et couleur de la cosse mûre, position des fleurs et longueur des tiges.

Prenons l'exemple d'une de ses expériences : l'hybridation entre des plants ne différant que par la forme de la graine mûre (**Figure 1**). Il réalisa des croisements par fécondation artificielle entre 2 variétés de plants, préalablement identifiées comme des races pures, donnant pour l'une des graines lisses et pour l'autre des graines

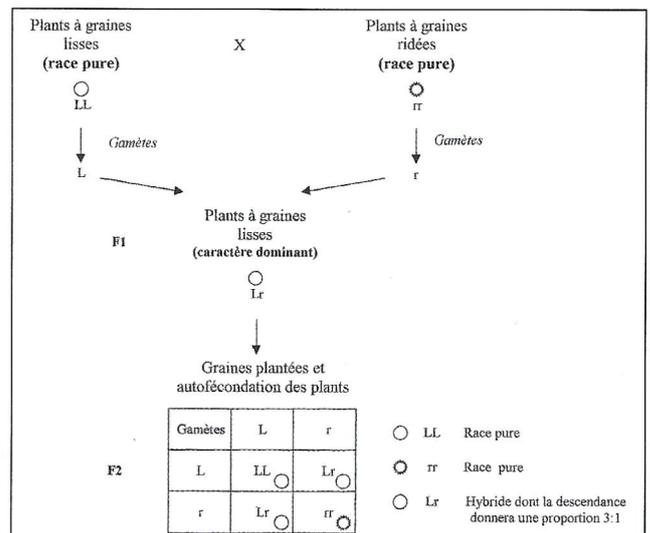


Figure 1 : cas de monohybridisme. Croisement entre des plants ne différant que par un seul caractère : l'aspect de la graine, lisse (L) ou ridée (r).

ridées. Toutes les graines issues des plants croisés furent recueillies et s'avérèrent être toutes lisses. Autrement dit, seul ce caractère, qualifié par J. G. Mendel de dominant, se manifesta dans la première génération d'hybrides, dite F1, par opposition au caractère ridé non visible et qualifié, lui, de récessif. Les graines issues de ce premier croisement furent mises en culture et les plants obtenus soumis à autofécondation. Les graines recueillies, constituant la deuxième génération, dite F2, donnèrent les résultats suivants : sur 7324 graines issues de 253 hybrides, 5474 étaient lisses et 1850 ridées. Le caractère récessif, inhibé dans la première génération était donc de nouveau visible à la seconde génération dans une proportion 1:3. Ces graines furent, à leur tour, plantées et les plants soumis à autofécondation. Les plantes issues des graines ridées donnèrent toujours des plantes à graines ridées. Les plantes issues des graines lisses donnèrent elles, soit toujours des plantes à graines lisses, soit des plantes à graines lisses ou ridées dans une proportion 3:1. Le lien commun entre les différentes générations étant assuré uniquement par les gamètes mâles et femelles, J. G. Mendel en déduisit que les caractères héréditaires se transmettaient par leur intermédiaire et il admit que chacun des caractères était lié à ce qu'il appela un "facteur" ou encore un "élément" héréditaire. Il justifia les proportions trouvées par le fait que les 2 éléments se trouvaient disjoints au moment de la formation des gamètes de l'hybride, chacun ne

recevant que l'un des 2 caractères : il y avait alors un nombre égal de gamètes de chaque sorte.

J. G. Mendel fit des observations semblables que le pollen provienne de l'une ou de l'autre variété et obtint des résultats tout à fait comparables avec chacun des autres caractères de la plante.

J. G. Mendel vérifia ensuite ses théories lorsque les plants présentaient plusieurs caractères différents. Il s'intéressa, par exemple, à la transmission de 2 caractères (dihybridisme) en croisant des plantes différant par la forme de leurs graines et la couleur du cotylédon (**Figure 2**). Cette hybridation fut effectuée entre 2 lignées pures, l'une donnant des graines lisses à cotylédon jaune, l'autre des graines ridées à cotylédon vert. La première génération obtenue présentait des plants où les graines étaient lisses à cotylédon jaune. La plantation des graines et l'autofécondation des plants donnèrent les résultats suivants : sur les 556 graines recueillies sur 15 plants, 315 étaient lisses à cotylédon jaune, 101 ridées à cotylédon jaune, 108 lisses à cotylédon vert et 32 ridées à cotylédon vert. Pour un croisement impliquant 2 caractères, les proportions observées étaient donc 9:3:3:1 et J. G. Mendel constata l'apparition de nouvelles combinaisons. Chaque graine issue des hybridations précédentes fut à son tour plantée et les plants obtenus soumis à autofécondation. Les graines lisses à cotylédon jaune donnèrent des plants où les graines étaient lisses à cotylédon jaune, lisses à cotylédon

jaune, lisses ou ridées à cotylédon jaune ou verts. Les graines ridées à cotylédon jaune donnèrent des plants où les graines étaient ridées à cotylédon jaune et ridées à cotylédon jaune ou vert. Les graines lisses à cotylédon vert donnèrent des plants où les graines étaient lisses à cotylédon vert et lisses ou ridées à cotylédon vert. Les graines ridées à cotylédon vert donnèrent toujours des plants où les graines étaient ridées à cotylédon vert. J. G. Mendel conclut alors que le croisement de lignées pures différant par plusieurs caractères conduisait chacun de ceux-ci à se comporter de façon indépendante les uns par rapport aux autres. Il réalisa le même type d'expériences avec des plants différant par 3 caractères et aboutit aux mêmes conclusions. Il en déduisit donc que les facteurs déterminant chaque caractère se disjoignaient indépendamment lors de la formation des gamètes n'emportant qu'un des éléments de chaque couple. Il y avait donc 4 types de gamètes contenant des combinaisons différentes. Les rencontres se faisant au hasard, il y avait, sur un grand nombre d'individus, des quantités égales de chacune des combinaisons. Ce n'est que plus tard que les conclusions tirées par J. G. Mendel furent généralisées et énoncées sous la forme de lois :

- La loi de l'uniformité des hybrides de première génération dont les caractères seront ceux du parent portant les caractères dominants. Néanmoins, cette loi de la dominance présente des exceptions où les hybrides peuvent être intermédiaires entre les 2 parents (codominance).
- La loi de disjonction des caractères lors de la formation des gamètes où ceux ci ne reçoivent que l'un des 2 éléments du couple. Les individus de race pure ne produisent qu'une seule sorte de gamètes (homozygotes). Les hybrides produisent pour un couple de caractères donné, 2 sortes de gamètes (hétérozygotes).
- La loi de la disjonction indépendante des couples de caractères.

Cet ouvrage, tombé dans l'oubli, fut redécouvert en 1900, lorsque 3 botanistes : H. de Vries, C. Correns et E. von Tschermak, qui en ignoraient l'existence, publièrent indépendamment les uns des autres, des travaux aux résultats similaires. Après cette redécouverte, des recherches expérimentales furent menées pour valider ou non ses principes. En effet, les scientifiques voulurent savoir si cette théorie pouvait être appliquée à d'autres organismes, animaux ou végétaux et certains résultats obtenus au cours de divers croisements, firent apparaître des exceptions aux règles de J. G. Mendel.

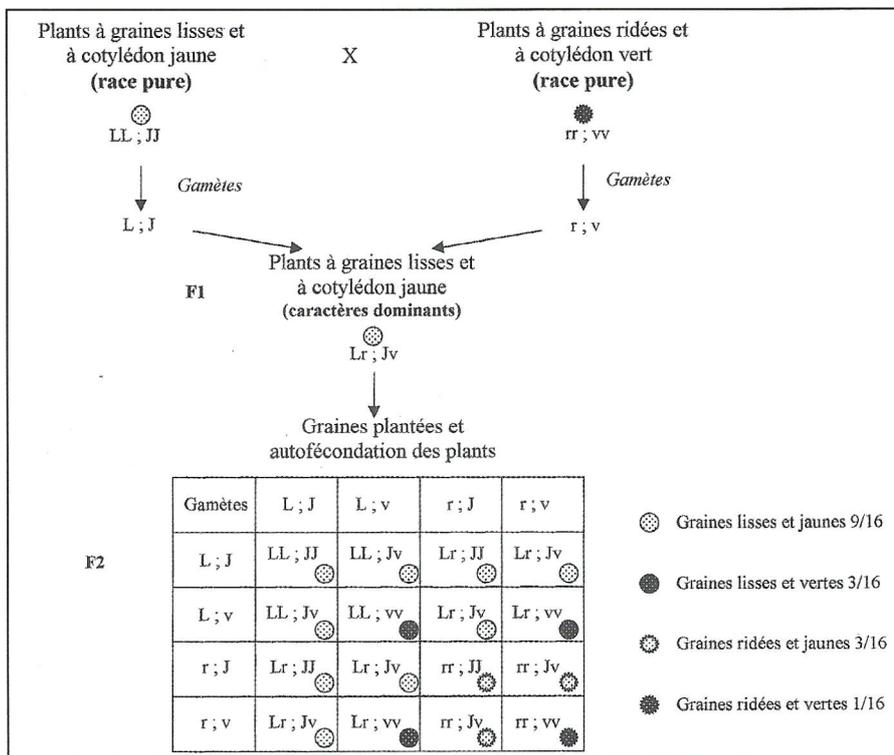


Figure 2 : cas de dihybridisme. Croisement entre des plants différant par 2 caractères : l'aspect de la graine, lisse (L) ou ridée (r) et la couleur du cotylédon, jaune (J) ou vert (v).

# THEORIE CHROMOSOMIQUE DE L'HEREDITE

Au début du siècle, lorsque les travaux de J. G. Mendel furent remis à la lumière, des découvertes importantes avaient été réalisées dans des domaines variés dont il est nécessaire d'en rappeler certaines dates et leurs auteurs.

En 1871, J. F. Miescher isola, à partir de noyaux de globules blancs, une substance qu'il appela "nucléine" et qui sera renommée, 28 ans plus tard, par R. Altmann, "acide nucléique". Entre temps, en 1880, le cytologiste allemand W. Flemming avait, lui aussi, mis en évidence une substance par coloration au curcun qu'il qualifia de "chromatine" et ce n'est qu'en 1888 que le nom de "chromosome" fut proposé par H. W. G. Waldeyer.

En 1875, O. Hertwig conclut de son étude sur la reproduction des oursins que la fertilisation entre 2 animaux ou végétaux consistait en l'union physique de 2 noyaux, l'un d'origine paternelle et l'autre d'origine maternelle. Ceci fut de nouveau décrit, 2 ans plus tard, par H. Fol qui observa avec précision la fertilisation d'un œuf par un spermatozoïde chez les étoiles de mer.

En 1873, A. Schneider observa et décrit le comportement de filaments nucléaires durant la division cellulaire chez les animaux. Deux ans plus tard, E. Strasburger décrit à son tour ce processus chez les plantes, phénomène nommé en 1882 "mitose" par W. Flemming. En fait, entre 1880 et 1890, plusieurs scientifiques élucidèrent les faits essentiels de la division cellulaire chez les cellules somatiques et germinales et insistèrent sur l'importance de l'égalité qualitative et quantitative de la distribution des chromosomes entre les cellules filles.

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, des scientifiques, dont A. Weismann et O. Hertwig, suggérèrent que les éléments responsables de la transmission des caractères héréditaires se trouvaient localisés dans le noyau cellulaire. Cette hypothèse avait déjà été émise en 1866, la même année que la publication des travaux de J. G. Mendel, par E. H. Hæckel. Mais W. S. Sutton, visiblement influencé par W. Bateson, fut le premier à proposer un lien entre la transmission des caractères mendéliens et le comportement des chromosomes lors de la gamétogenèse. Dans un premier article, publié en 1902, il s'attacha à confirmer l'individualité des chromosomes et leur association par paires, chaque membre, qui se sépare au hasard lors de la méiose, provenant d'un parent (Sutton, 1902). Dans un second article, publié l'année suivante, il fit clairement la relation

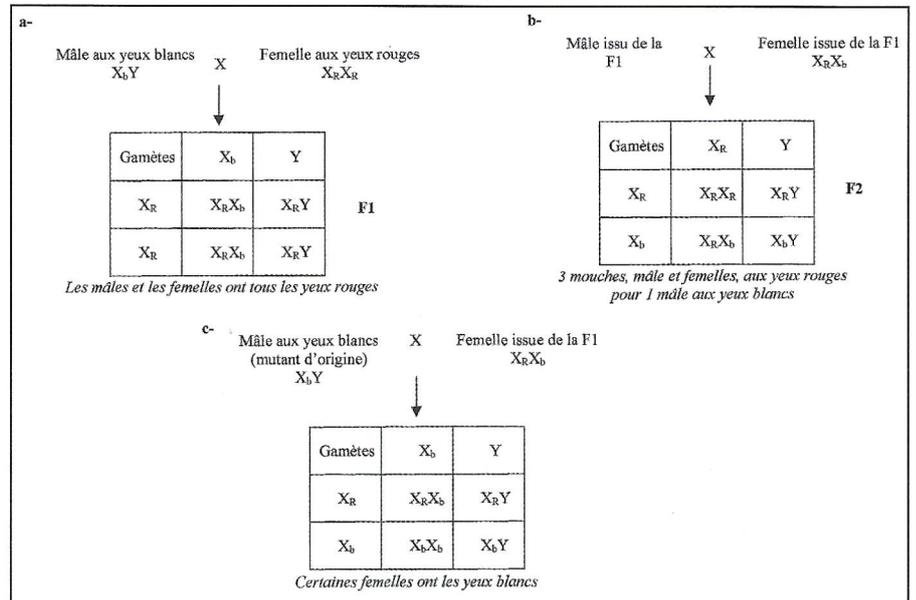


Figure 3 :

a - croisement entre une drosophile mâle mutante (yeux blancs : b) et une drosophile femelle normale (yeux rouges : R).

b - croisement entre les drosophiles mâles et femelles issues de la F1.

c - croisement entre une drosophile mâle mutante (yeux blancs) et une drosophile femelle issue de la F1. X : chromosome X porteur du caractère "yeux rouges" ou "yeux blancs". Y : chromosome Y.

entre les chromosomes et les facteurs décrits par J. G. Mendel et supposa que les chromosomes pouvaient même porter plusieurs caractères (Sutton, 1903). Même si T. H. Boveri est souvent associé à la "théorie du chromosome", sa contribution se limita au fait qu'il plaida la constance du nombre de chromosomes pour une espèce animale ou végétale donnée, leur individualité et leur division de manière égale. Il suggéra également que l'hérédité relevait de substances nucléaires, mais ce n'est qu'en 1904 qu'il adhéra explicitement à la théorie de W. S. Sutton. W. A. Cannon et E. B. Wilson peuvent également être cités pour leur contribution, quoique modeste, à cette théorie.

L'accueil de cette "théorie chromosomique" de l'hérédité, ne fut pas bon et T. H. Morgan, qui s'y opposa entre 1903 et 1910 changea d'opinion sur la question au vu de ses propres données expérimentales. En effet, à l'aide de drosophiles (*Drosophila melanogaster*), il démontra l'exactitude de l'hypothèse faisant des chromosomes le support des facteurs héréditaires. Il synthétisa l'ensemble de ses travaux et ceux de son équipe dans un livre publié en 1915 (Morgan *et al.*, 1915). Là encore, le choix du matériel s'avéra judicieux. En effet, le modèle choisi, la mouche du vinaigre, présentait de nombreux avantages : les femelles, aisément identifiables, pondent 200 à 300 œufs donnant des mouches au bout de 10 jours à 25°C. Ainsi, il était possible de suivre la transmission des caractères sur plusieurs générations dans un temps court et d'utiliser, cette fois encore, les statistiques, compte tenu du nombre important d'individus. D'autre part, la drosophile possède un

matériel génétique réduit (4 paires de chromosomes) et des glandes salivaires constituées de cellules de grande taille au sein desquelles se trouvent des chromosomes géants, facilitant leur observation.

Certains croisements effectués par T. H. Morgan donnèrent des résultats conformes aux lois de J. G. Mendel mais, en revanche, d'autres firent apparaître des anomalies au modèle. En effet, certains caractères semblaient liés et ne pas se transmettre de manière indépendante, d'autres semblaient vraisemblablement liés au caractère sexuel, alors que d'autres donnaient des combinaisons imprévisibles.

Parmi son panel de mouches, T. H. Morgan trouva un mâle présentant une mutation au niveau de la couleur des yeux puisque ceux-ci étaient blancs au lieu du rouge habituel (le terme "mutation" fut adopté par H. de Vries en 1901 pour décrire une altération spontanée dans le matériel héréditaire). Cette mouche fut aussitôt croisée avec des femelles aux yeux rouges. La descendance issue de ce croisement présentait des individus aux yeux rouges (**Figure 3a**). Les mouches de première génération furent alors croisées entre elles et selon le modèle mendélien, il obtint environ 3 mouches aux yeux rouges pour une mouche aux yeux blancs mais tous les individus aux yeux blancs étaient des mâles (**Figure 3b**). Le croisement du mâle mutant d'origine avec les femelles de première génération fit apparaître en plus des mâles et femelles aux yeux rouges et des mâles aux yeux blancs, des femelles aux yeux blancs (**Figure 3c**). T. H. Morgan supposa donc que le facteur

déterminant ce caractère n'était pas limité au sexe de l'individu mais lié à celui-ci. Il suggéra que la moitié des spermatozoïdes du mâle aux yeux blancs portait ce facteur lié au chromosome X alors qu'il était absent dans l'autre moitié contenant le chromosome Y. Les ovules des femelles aux yeux rouges portaient, eux, tous le facteur rouge et un chromosome X. T. H. Morgan vérifia cette hypothèse en effectuant 4 tests (**Figure 4**). Le premier consista à croiser des mâles et des femelles aux yeux blancs : tous les descendants présentaient des yeux blancs. La seconde vérification consista à croiser les femelles de seconde génération avec les mâles aux yeux blancs. Les résultats obtenus sur la descendance montrèrent qu'il existait, conformément aux prédictions de T. H. Morgan, 2 types de femelles de seconde génération. La troisième vérification fut le croisement des femelles de première génération avec le mâle aux yeux blancs. Les 4 combinaisons obtenues furent bien celles attendues. La quatrième vérification fut le croisement des mâles aux yeux rouges de la première génération avec des femelles aux yeux blancs. Toutes les femelles avaient les yeux rouges et les mâles

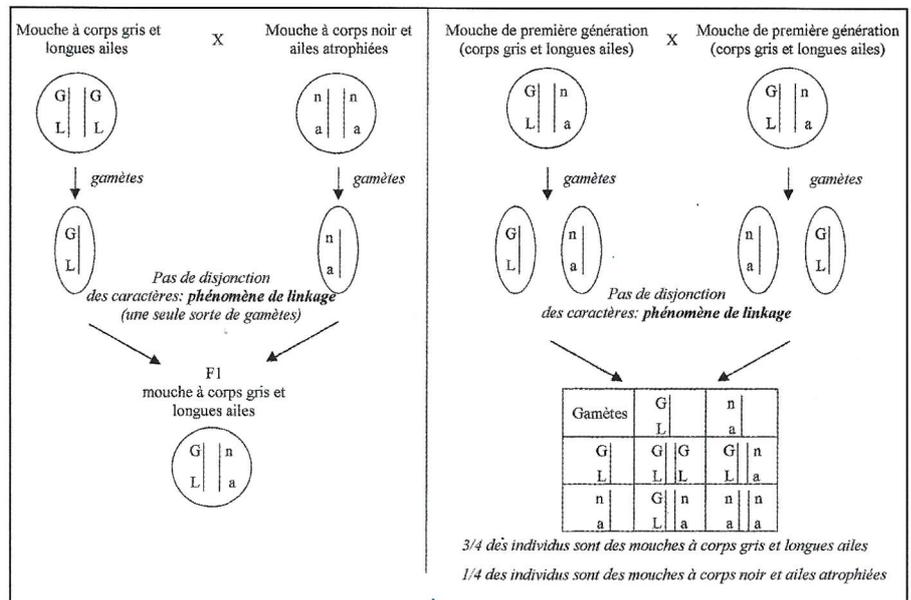


Figure 5 : phénomène de linkage. Croisement entre des mouches différant par 2 caractères liés sur le même chromosome : couleur du corps, gris (G) ou noir (n) et taille des ailes, longues (L) ou atrophiées (a).

les yeux blancs. Tous les résultats obtenus lors des différents croisements, étaient bien conformes aux hypothèses avancées par le scientifique.

L'étude d'une autre série d'exceptions aux lois mendéliennes va s'avérer éga-

lement très fructueuse. T. H. Morgan croisa des mouches au corps gris et aux longues ailes avec des mouches mutantes au corps noir et aux ailes atrophiées (**Figure 5**). Tous les individus de première génération obtenus furent gris à longues ailes. En croisant ces individus entre eux T. H. Morgan n'obtint que 2 phénotypes correspondant aux types parentaux (au lieu des 4 théoriquement prévisibles selon les lois de Mendel) dans une proportion 3:1, caractéristique d'une différence entre individus par un seul caractère. T. H. Morgan reprit alors les idées de W. S. Sutton et suggéra que les facteurs responsables des caractères couleur du corps et longueur des ailes étaient portés sur le même chromosome et transmis ensemble, phénomène qualifié de "linkage". T. H. Morgan croisa ensuite les mâles de la F1 avec les femelles au corps noir et aux ailes atrophiées et obtint 2 types de descendance (**Figure 6**) : des mouches noires aux ailes atrophiées et des mouches grises aux longues ailes. En croisant cette fois les femelles de la F1 avec les mâles au corps noir et aux ailes atrophiées, il obtint un résultat différent (**Figure 7**). En effet, 4 types de descendants étaient trouvés : des mouches noires aux ailes atrophiées, des mouches grises aux longues ailes, des mouches noires aux longues ailes, des mouches grises aux ailes atrophiées. T. H. Morgan, inspiré par les travaux de W. Bateson et de R. C. Punnett, datant de 1906 et montrant des entrecroisements entre chromosomes homologues au cours de la méiose, interpréta ses propres résultats par une recombinaison des chromosomes homologues lors de la méiose chez les ovules, processus qualifié de "crossing-over". Ce phénomène, dont la preuve cytologique ne sera

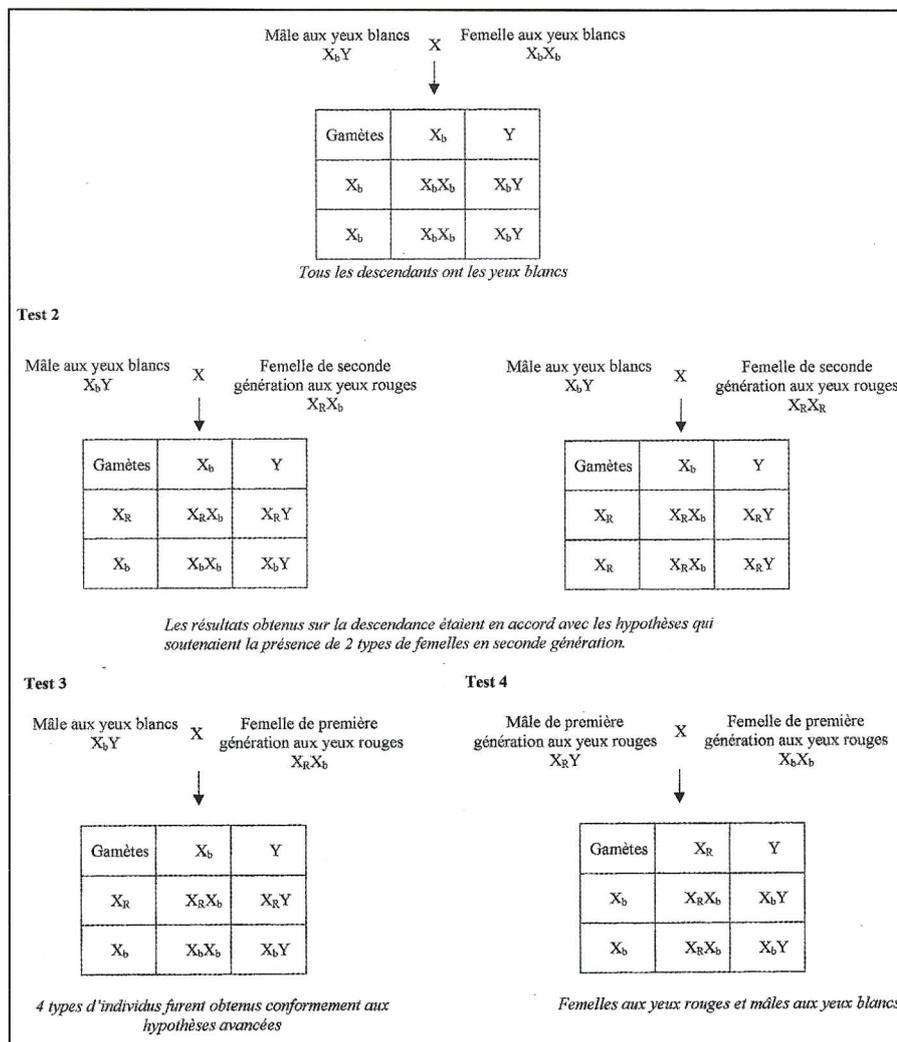


Figure 4 : illustration des "croisements-tests" effectués par T.H. Morgan pour vérifier ses hypothèses quant à la localisation des caractères "yeux rouges" (R) et "yeux blancs" (b) sur le chromosome X.

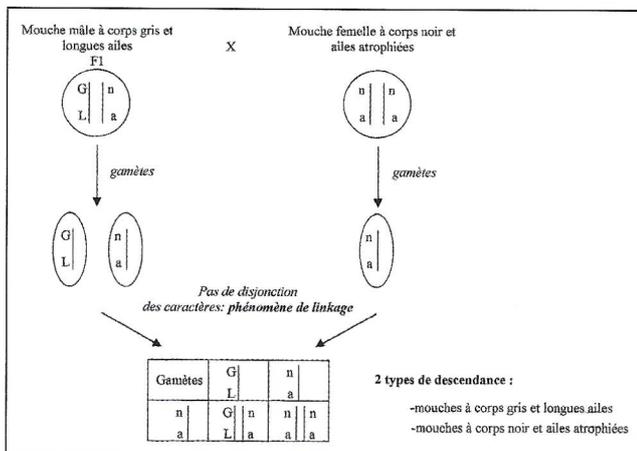


Figure 6 : croisement des mouches mâles issues de la F1 avec des mouches femelles mutantes.

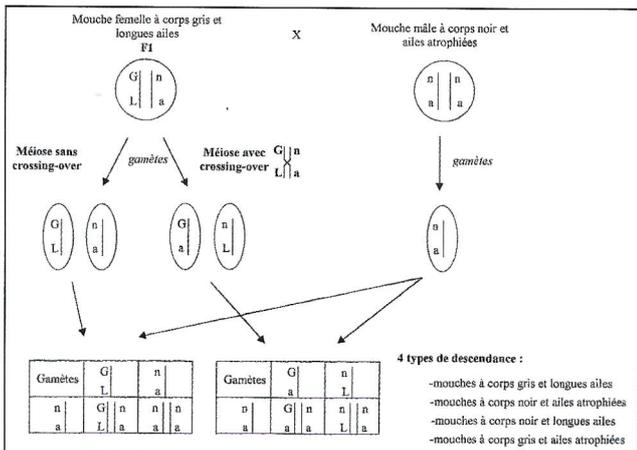


Figure 7 : phénomène de crossing-over. Croisement entre des mouches différant par 2 caractères suffisamment éloignés pour permettre des enjambements entre chromosomes homologues : couleur du corps, gris (G) ou noir (n) et taille des ailes, longues (L) ou atrophiques (a).

fournie qu'en 1931 par C. Stern et indépendamment par C. S. Creighton et B. Mc Clintock, n'est pas observé chez les mâles hybrides en raison d'un déroulement particulier de la méiose chez les spermatozoïdes de drosophiles. Le crossing-over est donc un échange de segments de chromatides entre chromosomes homologues lorsque ceux-ci s'entrecroisent au cours de la méiose.

T. H. Morgan, en collaboration avec A. Sturtevant, confirma ses hypothèses en effectuant des croisements chez des mouches présentant d'autres types de mutations. Les résultats obtenus permirent de noter que le pourcentage d'individus dont les chromosomes avaient subi un crossing-over variait avec les couples de caractères liés mais restait néanmoins constant pour un même couple. En fait, ils considérèrent que cette variation de proportion était due à la distance physique qui existait entre les caractères sur le chromosome et estimèrent que plus la distance entre les caractères était petite, plus les chances d'obtenir un crossing-over était faible. Le pourcentage du phénomène était donc l'expression de la distance des facteurs

## IDENTIFICATION DU SUPPORT PHYSIQUE DE L'INFORMATION GENETIQUE

Avant de poursuivre, il est nécessaire de rappeler qu'en 1909, suite à ses études sur le haricot, W. L. Johannsen comprit la nécessité de distinguer l'apparence d'un organisme (phénotype) de sa constitution génétique (génotype). Il introduisit également le terme "gène" pour qualifier les "éléments" de J. G. Mendel.

En 1928, grâce à ses travaux sur *Streptococcus pneumoniae*, bactérie responsable de la pneumonie chez les mammifères, F. Griffith initia l'identification du support physique de l'hérédité (Figure 8) (Griffith, 1928). Il

les uns par rapport aux autres. Néanmoins, des doubles crossing-over pouvaient se produire lorsque les facteurs étaient trop éloignés et ainsi perturber les pourcentages prédictibles. Ils établirent ainsi les premières cartes factorielles pour les différents chromosomes de la drosophile.

Ces travaux reconstruisent donc les chromosomes comme le support physique des facteurs et récompensèrent T. H. Morgan en 1933 par un prix Nobel de physiologie et médecine. La localisation des facteurs sur les chromosomes était donc établie mais rien, en revanche, n'était encore connu sur leur nature biochimique.

disposait de 2 souches différentes de la bactérie dont le phénotype est aujourd'hui connu comme étant héréditaire : l'une, appelée souche S, *Streptococcus pneumoniae* de type III, synthétisait un polysaccharide, recouvrant les cellules d'une couche de mucus et donnant aux colonies un aspect lisse, l'autre, appelée souche R, *Streptococcus pneumoniae* de type II, et identifiée plus tard comme une mutation, ne le synthétisait pas, donnant un aspect rugueux à celles-ci. L'injection de bactéries de souche S chez la souris provoquait leur mort, preuve de leur pouvoir pathogène alors que les souris infectées avec la souche R survivaient. De même, l'injection aux souris de bactéries de souche S tuées à la chaleur était inoffensif. F. Griffith eut alors l'ingénieuse idée d'injecter aux souris un mélange de bactéries S tuées par la chaleur et de bactéries R, normalement inoffensif. Les souris moururent et les échantillons de sang prélevés sur les cadavres révélèrent la présence de bactéries S vivantes. Autrement dit, certaines bactéries R avaient acquis la capacité de fabriquer le polysaccharide destiné à les protéger du système immunitaire de l'hôte. Il existait donc un facteur transformant. F. Griffith conclut de ses travaux que certaines des bactéries R, injectées aux souris en présence des cellules S, avaient été génétiquement modifiées en bactéries S sous l'effet d'une molécule de nature biochimique inconnue provenant des cellules S mortes. Ce phénomène, mis à jour par le scientifique, porte aujourd'hui le nom de "transformation". Ces observations furent par la suite confirmées par d'autres chercheurs qui montrèrent que la souris n'était pas indispensable à la transformation, celle-ci pouvant se faire *in vitro*.

Cette découverte fut un premier pas vers la mise en évidence du matériel génétique, mais il faudra plus de 15 ans pour que l'agent transformant révélé par F. Griffith soit identifié. En effet, ce n'est qu'en 1944 que O. Avery,

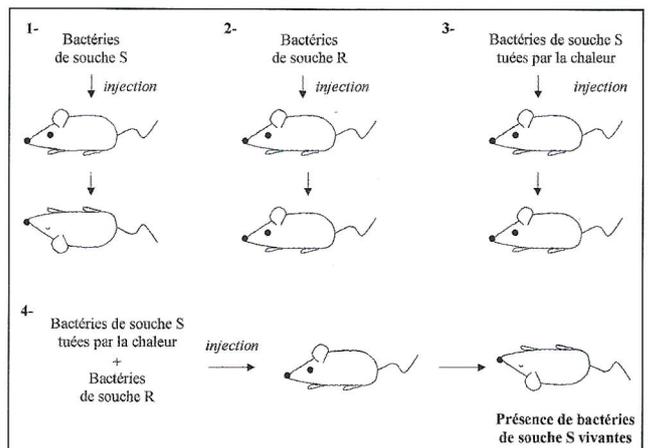


Figure 8 : représentation schématique des expériences de mise en évidence par F. Griffith d'un facteur transformant de nature biochimique inconnue.

M. Mac Carthy et C. M. MacLeod montrèrent que le matériel biochimique responsable du transfert de l'information génétique était l'acide désoxyribonucléique ou ADN (Avery et al, 1944). Ils parvinrent à cette conclusion en reprenant les travaux initiés par F. Griffith et en testant sur les bactéries *S. pneumoniae* de type III de la souche R, une molécule chimique purifiée à partir des bactéries *S. pneumoniae* de type II de la souche S tuées par la chaleur et identifiée comme un acide nucléique de type désoxyribose.

*Il est nécessaire de rappeler que la composition chimique de la molécule d'ADN était alors connue. Elle avait été déterminée comme étant constituée de phosphate, d'un sucre, le désoxyribose et de 4 bases azotées différentes, formées soit d'un noyau purique (adénine et guanine), soit d'un noyau pyrimidique (cytosine et thymine). La base était liée au sucre en 1', et le phosphate assurait la liaison entre un sucre en 5' et le suivant en 3' par une liaison appelée liaison 3'-5' phosphodiester. L'ensemble : base, sucre et phosphate constituait un nucléotide (Figure 9).*

Cette découverte fut accueillie avec un scepticisme certain. Néanmoins, d'autres preuves indirectes indiquèrent que l'ADN pouvait effectivement être le matériel génétique.

En effet, en 1950, E. Chargaff qui s'intéressait fortement aux résultats publiés par O. Avery, posa les premières fondations de l'étude structurale de l'acide nucléique par son travail analytique (Chargaff, 1950). Il établit le contenu en bases azotées : adénine (A), thymine (T), guanine (G) et cytosine (C) de l'ADN chez diverses espèces. Il montra ainsi que le rapport A+T/C+G était variable selon les espèces mais constant pour tous les membres d'une

même espèce. L'ADN était donc, vraisemblablement, porteur d'une certaine spécificité et pouvait contenir une information. Il montra également que le rapport C/G ou A/T était, par contre, constant et proche de 1 chez toutes les espèces étudiées.

D'autre part, en 1952, A. D. Hershey et M. Chase montrèrent que l'information génétique du bactériophage (virus de bactérie, mis à jour en 1915 par F. Twort puis, de manière tout à fait indépendante quelques mois plus tard, par F. d'Herelle) était portée par l'ADN (Hershey and Chase, 1952). En effet, en marquant de manière spécifique, à l'aide de radioisotopes, l'ADN et les protéines constituant le phage T2, ils montrèrent qu'au moment de l'infection de bactéries *Escherichia coli*, le phage se fixait sur la cellule procaryote par l'intermédiaire de son enveloppe protéique et que seul son ADN pénétrait dans la bactérie. Cette enveloppe, protégeant l'ADN, ne jouait aucun rôle dans la multiplication du phage à l'intérieur de la bactérie. L'ADN phagique fut marqué au phosphore 32 grâce aux groupements phosphate composant la molécule et les protéines phagiques furent, elles, marquées au soufre 35 grâce à la présence d'acides aminés soufrés dans leur composition.

Cette expérience, qui valut à A. D. Hershey le prix Nobel de physiologie et médecine en 1969, apporta la preuve que le matériel génétique du phage était constitué d'acide nucléique.

## RELATION GENE-CARACTERE

Parallèlement à tous ces travaux, un certain nombre d'expérimentations furent réalisées et permirent d'établir un lien entre la génétique et la biochimie.

l'activité d'un gène (Garrod, 1909). Les découvertes de T. H. Morgan, quelques années plus tard, furent dans un premier temps, basées sur des travaux réalisés après apparition de mutants dans le matériel expérimental. Toutefois, les mutations spontanées étaient des phénomènes rares et pas toujours décelables. Aussi, lorsqu'en 1927, H. J. Müller mit au point des méthodes de production artificielle de mutations par irradiation aux rayons X, il permit un progrès considérable (prix Nobel de physiologie et médecine en 1946). Ainsi, en 1941, G. W. Beadle et E. Tatum, qui travaillaient sur un champignon : *Neurospora crassa* promulguèrent la théorie "un gène, une enzyme" (Beadle and Tatum, 1941). En effet, en cherchant à induire dans ces microorganismes des mutations artificielles au niveau de gènes impliqués dans des réactions chimiques spécifiques connues, ils obtinrent 3 mutants (un pour la vitamine B6, un pour une partie de la vitamine B1 et un pour l'acide para-aminobenzoïque). Ceux-ci étaient incapables de se développer sur un milieu minimum, si il n'était pas complété par la vitamine ou l'acide en question. En effet, ils montrèrent que les champignons mutés étaient déficients en des enzymes indispensables à leur survie sur milieu minimum. Leur analyse génétique, par croisement entre les mutants et la forme non mutante, permit de montrer que ces déficiences suivaient les lois mendéliennes. Ils conclurent donc que les gènes contrôlaient la synthèse des enzymes et que chaque enzyme était codée par un gène différent. Leur travaux leur valurent le prix Nobel de physiologie et médecine en 1958. Des études similaires menées par la suite par d'autres scientifiques confirmèrent que chaque étape d'une voie biochimique était contrôlée par un gène unique qui codait pour l'enzyme impliquée dans la réaction. Ces observations avaient déjà été initiées en 1935 par B. Ephrussi et G. W. Beadle, mais la complexité du système utilisé à l'époque n'avait pas permis d'établir une conclusion définitive. Le célèbre aphorisme "un gène, une enzyme" sera par la suite généralisé en "un gène, une protéine".

## STRUCTURE DE L'ADN

Lorsque les scientifiques furent convaincus que l'ADN constituait bien le matériel génétique, leur but fut d'en déterminer la structure tridimensionnelle. Celle-ci fut élucidée en 1953 par J. D. Watson et F. H. C. Crick.

A partir des données sur la composition chimique de l'ADN, des travaux de E. Chargaff, des analyses en microscopie électronique et des clichés de radio-

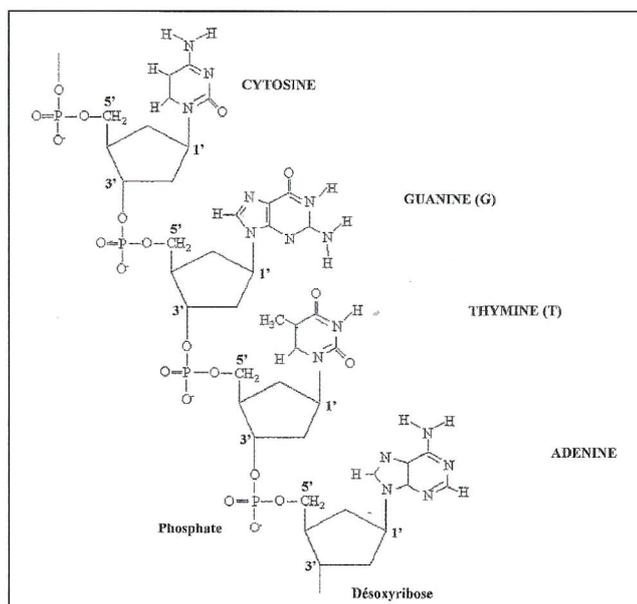


Figure 9 : représentation schématique de l'enchaînement des constituants sur une des chaînes de la molécule d'ADN.

graphiques par diffraction aux rayons X de cristaux d'ADN, réalisés par R. Franklin et M. Wilkins, J. D. Watson et F. H. C. Crick déduisirent les renseignements qui leur permirent d'élaborer leur modèle de la structure de l'ADN (Watson and Crick, 1953). Ils en tirèrent, au bout de plusieurs tentatives, un modèle en accord avec toutes les données dont ils disposaient. Ils en déduisirent ainsi que la molécule d'ADN était formée de 2 chaînes poly-désoxyribonucléique et non de 3 comme le modèle proposé antérieurement par Pauling, enroulées pour former une double hélice, de diamètre constant. Ces 2 chaînes se faisant face étaient dites complémentaires puisqu'un appariement stable ne pouvait se faire qu'entre une guanine et une cytosine d'une part et une thymine et une adénine d'autre part. Les bases azotées, empilées à des intervalles réguliers, étaient projetées vers l'axe de l'hélice. Les couples étaient reliés entre eux par des liaisons hydrogènes : 3 pour le premier et 2 pour le second, responsables, en parti, du maintien des 2 chaînes dans une configuration hélicoïdale. Les 2 brins de l'ADN étaient antiparallèles puisque les liaisons 3'-5' phosphodiester reliant entre eux les nucléotides étaient orientées en sens inverse (**Figure 10**).

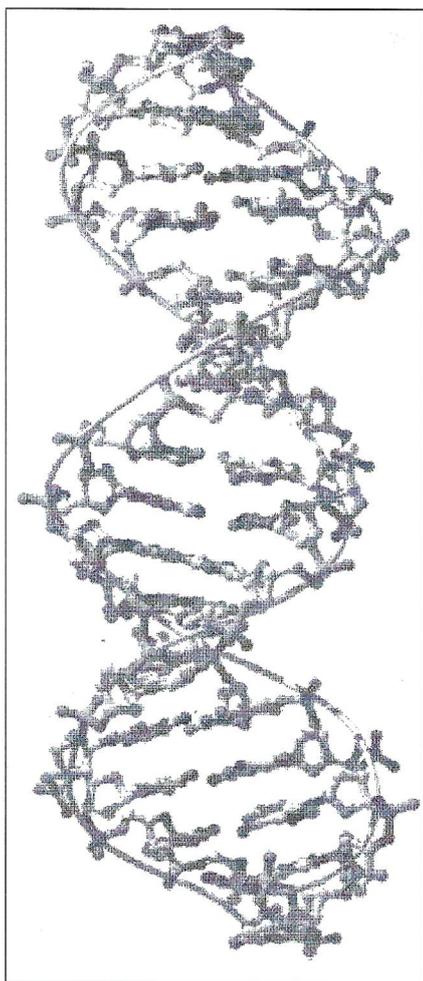


Figure 10 : représentation tridimensionnelle de la molécule d'ADN selon le modèle de J.-D. Watson et F.-H.-C. Crick.

Les 2 chercheurs, ainsi que M. Wilkins furent récompensés en 1962 par le prix Nobel de physiologie et de médecine pour leurs travaux. R. Franklin aurait très certainement été associée à cet honneur si elle n'avait pas été emportée par une leucémie en 1958.

## CONCLUSION

La génétique moderne débuta avec les travaux de J. G. Mendel qui permirent plus tard l'établissement des lois de l'hérédité. Il faut cependant reconnaître que, bien que le savant ait judicieusement sélectionné son modèle expérimental et réalisé un travail minutieux où rien n'était laissé au hasard, il eut aussi la chance de choisir des caractères correspondant à des gènes éloignés les uns des autres ou localisés sur des chromosomes différents. Toutefois, le peu d'intérêt porté à l'époque à ses conclusions peut s'expliquer par le fait que les théories proposées par ses contemporains, bien qu'erronées, étaient largement acceptées car elles expliquaient certaines observations alors que les principes de J. G. Mendel en étaient incapables. Au moment de la redécouverte de son œuvre, l'évolution des technologies, notamment les progrès en cytologie, était telle que l'avancée des connaissances orienta les recherches vers la détermination du support physique responsable de la transmission de l'hérédité. C'est en testant la théorie mendélienne sur des drosophiles mutantes et en notant des anomalies dans le modèle, que T. H. Morgan et ses collaborateurs reconnurent les chromosomes comme le support de l'hérédité. L'évolution, là encore, des techniques (mutagenèse artificielle, cristallographie par rayons X...) permit, bien des années après son identification, de reconnaître l'ADN comme le composant du matériel génétique et d'en déterminer sa structure tridimensionnelle.

L'ADN était donc loin d'être une molécule anodine mais il fallut de nombreuses années pour que les chercheurs lui accordent un intérêt certain. A la suite de ceci, s'enchaîneront les découvertes de son mode d'action et de régulation.

Cet article, qui résume des travaux menés sur 2 siècles, ne mentionne que les chercheurs dont les découvertes ont marqué un tournant dans l'avancée de la génétique moderne et l'identification de l'ADN comme support de l'hérédité. Néanmoins, il semble nécessaire de rappeler que certains scientifiques, même s'ils énoncèrent des théories inexactes, permirent à d'autres d'aboutir aux bonnes conclusions.

## RÉFÉRENCES

**Avery O. T., MacLeod C. M. and McCarty M.** 1944. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *J. Exp. Med.* **79** : 137-156.

**Beale G. W. and Tatum E. L.** 1941. Genetic control of biochemical reactions in neurospora. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **27** : 499-506.

**Chargaff E.** 1950. Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation. *Experientia.* **6** : 201.

**Garrod A. E.** 1902. The incidence of alkaptonuria : a study in chemical individuality. *Lancet*, vol. ii. 1616- 1620.

**Garrod A. E.** 1909. Inborn errors of metabolism. Henry frowde and Hodder Stroughton.

**Griffith F.** 1928. The significance of pneumococcal types. *J. Hygiene.* **27** : 113-159.

**Hershey A. D. and Chase M.** 1952. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *J. Gen. Physiol.* **36** : 39-56.

**Mendel J. G.** 1866. Versuche über Pflanzen hybriden. *Verh. Naturf. Vers in Brünn IV* et dans *Osterwald's Klassiker des exakten Wissenschaft.* Traduit en 1901 en anglais : *Experiments in plant hybridization.* *J. Roy. Hort. Soc., XXVI.*

**Morgan T. H., Sturtevant A. H., Müller H. J., Bridges C. B.** 1915. The mechanism of medelian heredity. New york. Henry Holt and company.

**Sutton W. S.** 1902. On the morphology of the chromosome group in *Brachystola magna*. *Biol. Bul.* **4** : 24-39.

**Sutton W. S.** 1903. The chromosomes in heredity. *Biol. Bul.* **4** : 231-251.

**Watson J. D and Crick F. H. C.** 1953. A structure of desoxyribose nucleic acid. *Nature.* **171** : 737-738.

# Les Principes au 18<sup>e</sup> siècle

8<sup>e</sup> panneau de l'exposition (disponible à l'ADASTA) consacrée à Isaac Newton

Traduction de Madame Suzanne Gély

Suite aux numéros 46, 47, 48, 49, 50, 51 et 52 d'Auvergne-Sciences

Au cours du 18<sup>e</sup> siècle, les physiciens firent des Principes le sujet central de leurs travaux. L'ouvrage était souvent considéré comme "divin", œuvre d'un génie supérieur. En Grande-Bretagne, l'événement le plus remarquable fut, en 1728, la traduction anglaise par André Motte. Les Principes furent réédités entre 1739-1742 à Genève, en 3 volumes, en même temps que des essais d'importants mathématiciens (comme Colin Maclaurin, Daniel Bernoulli et Léonard Euler) et, en 1759, en France dans une édition due au grand astronome Alexis Clairaut aidé par la Marquise du Châtelet, amie proche de Voltaire. L'ouvrage fut réédité en Latin, en 1780 avec l'ensemble des travaux de Newton et une nouvelle traduction anglaise du livre I parut en 1777.

Ceux qui utilisèrent les Principes développèrent les fondements de la Mécanique newtonienne, essayant de trouver des justifications philosophiques et expérimentales à la gravitation universelle ; ils la complétèrent en interprétant, par une loi simple en inverse-carré, le mouvement de tous les corps dans le Système Solaire. Les travaux sur la mécanique mathématique furent dominés, entre 1730 et 1760, par Euler qui établit les principes du mouvement du point matériel et des solides et appliqua le travail de ses contemporains, comme Bernoulli et Clairaut, au mouvement des fluides. Ce travail nécessita la reformulation de beaucoup de questions des deux premiers livres des Principes. Vers 1740, Euler, Clairaut et Jean d'Alembert travaillèrent sur les défauts de la théorie

## PRINCIPIA IN THE 18<sup>TH</sup> CENTURY

Natural philosophers in the eighteenth century made the Principia a central object of their work. The book was often seen as 'divine', the 'product of overwhelming genius'. In Britain, its most influential form was the 1728 English translation by Andrew Motte. It was reissued in Latin as part of Newton's collected works in 1780, and a fresh English translation of Book I appeared in 1777. The Principia was republished in Geneva in 1739-1742 in three volumes, along with essays by important mathematicians such as Colin Maclaurin, Daniel Bernoulli and Leonhard Euler, and in French in 1759, in an edition due to the great astronomer Alexis Clairaut and the Marquise du Chatelet, a close friend of Voltaire. Those who used the Principia developed mathematical foundations for Newtonian mechanics, tried to find philosophical and experimental justification for universal gravity, and completed the derivation of the motion of all bodies in the solar system from a simple inverse-square force law. Work on mathematical mechanics was dominated by Euler between the 1730s and the 1760s, who laid down the principles of motion of mass points and of rigid bodies, and applied the work of contemporaries such as Bernoulli and Clairaut to fluid flow. This work demanded the reformulation of many of the problems of the first two books of the Principia. In the 1740s, Euler, Clairaut and Jean d'Alembert worked on the failings of Newton's theory of lunar motion, even discussing whether some change would be necessary in the inverse-square law. Ultimately it was shown that this was unnecessary, while in 1759 the recovery of Comet Halley and its analysis by Clairaut were widely seen as triumphs for the celestial mechanics based on the Principia. This programme culminated in the work of two great French mathematicians, Joseph Louis Lagrange and Pierre Simon Laplace. Lagrange's Analytical mechanics (1788) built the science of motion on an analytic basis, replaced forces by potentials and dispensed with many of the puzzles of Newton's definition of change of motion. Lagrange worked with Laplace on the problem of the stability of the solar system, and in Laplace's Celestial mechanics it was demonstrated that the whole solar system would be stable under the action of gravity. By 1796, in his System of the world, Laplace was able to present the Newtonian programme, purged of its theological aspects, as triumphantly complete. He argued it should guide research in all other branches of physics. While these mathematicians and natural philosophers saw Newton's work as a fundamental resource, they did not agree about the status and success of his philosophy. Heroic expeditions, such as those of P.L. Maupertuis and his colleagues to Lapland and Peru in the 1730s to determine the Earth's shape, and bitter scientific disputes, such as those on the proper way of measuring forces, were often presented as triumphs for Newton's theories. But there was no universal agreement on the details of his system. Popular lectures on Newton's principles, particularly in Britain and Holland, were influential in diffusing the picture of a triumphant Newtonian synthesis. His immediate followers, such as J.T. Desaguliers or Colin Maclaurin, published important experiments and demonstrations of these principles, while elsewhere, in poetry and painting, in popular literature and philosophy, Newton's Principia began to acquire the status of a sacred, if not miraculous, achievement.

Written and compiled by S.J. Schaffer

de Newton appliquée au mouvement lunaire, discutant même si quelques changements ne seraient pas nécessaires dans la loi en inverse-carré. Finalement, il fut évident que c'était inutile lorsqu'en 1759, le retour de la Comète de Halley et son analyse par Clairaut apparurent largement comme un triomphe pour la Mécanique Céleste basée sur les Principes. Ce programme culmina avec le travail de deux grands mathématiciens français, Joseph Louis Lagrange et Pierre Simon Laplace. La "Mécanique Analytique" de Lagrange, en 1788, construisit la science des mouvements sur une base analytique, remplaça les forces par des potentiels et supprima beaucoup de difficultés dans la définition de Newton relative à la modification d'un mouvement. Lagrange travailla avec Laplace sur le problème de la stabilité du Système Solaire et, dans la

"Mécanique Céleste" de Laplace, il fut démontré que le Système Solaire entier serait stable sous l'action de la gravitation. Vers 1796, dans son "Système du Monde", Laplace était capable de présenter la théorie newtonienne, purgée de ses aspects théologiques, comme triomphalement complète. Il soutenait que cette théorie guiderait les recherches dans toutes les autres branches de la Physique.

Tandis que ces mathématiciens et physiciens voyaient le travail de Newton comme une théorie fondamentale, ils n'étaient pas d'accord au sujet du prestige et du succès de sa Philosophie. Des expéditions héroïques comme celle de P. L. Maupertuis et de ses collègues en Laponie et au Pérou vers 1730, pour déterminer la forme de la Terre, et les âpres disputes scientifiques, comme celle au sujet du vrai moyen de mesurer les forces, étaient souvent présentées comme des triomphes des théories de Newton. Mais il n'y avait pas d'accord universel sur les détails de son système. Les livres populaires sur les Principes de Newton, particulièrement en Grande Bretagne et en Hollande, étaient influents pour diffuser l'image d'une synthèse newtonienne triomphante. Ses successeurs immédiats, tels que J. T. Desaguliers ou Colin Maclaurin, publièrent d'importantes expériences et démonstrations de ces principes tandis qu'ailleurs, en poésie et en peinture, dans la littérature et la philosophie populaires, les Principes de Newton commencèrent à acquérir le prestige d'un succès sacré, presque miraculeux...

## L'ADASTA en excursion dans la région lyonnaise

Ce matin du 27 mars 2002, à 6 h 30, un car transportant une trentaine de personnes démarrait de la place des Bughes à Clermont-Ferrand, pour une excursion dans la région lyonnaise.

Après un voyage agréable par un beau soleil printanier, nous sommes arrivés à Marcy l'Etoile où nous étions attendus pour la visite des laboratoires Aventis Pasteur, un des leaders mondiaux dans le domaine des sérums et des vaccins. Les participants assistèrent à un intéressant exposé suivi d'un film vidéo et purent poser beaucoup de questions, puis ce fut la visite des laboratoires où sont préparés de nombreux vaccins.

Vers midi et demie le car nous amena à Lyon pour déjeuner à la brasserie Georges, un des plus beaux et des plus anciens restaurants d'Europe, où nous fut servi, dans une atmosphère très conviviale, un repas typiquement lyonnais. L'après-midi fut consacré à la visite de l'entreprise Orelis, filiale du groupe Rhodia, qui fabrique des membranes de séparation à Saint Maurice de Beynost. Là encore on nous présenta l'entreprise au cours d'un exposé bien documenté puis nous pûmes visiter les ateliers où sont fabriqués et montés les systèmes de filtration. Ces systèmes sont proposés aux industriels de nombreux domaines pour intervenir dans leurs procédés de fabrication et le traitement de leurs effluents.

Après cette journée bien remplie, nous avons repris la route aux environs de 21 heures. Merci à Marcelle et André Profit qui se sont chargés de l'organisation de ce voyage.

### ● ● ● ● ● AVENTIS PASTEUR À MARCY L'ETOILE

(d'après des documents fournis par l'entreprise)

#### Historique

L'histoire commence en 1885, date à laquelle Pasteur met au point un vaccin contre la rage. En 1897, Marcel Mérieux, qui a travaillé aux côtés de



Le groupe dans le hall d'Aventis-Pasteur.

Louis Pasteur et d'Emile Roux, fonde l'Institut Biologique Mérieux à Lyon. Son fils Charles lui succède en 1937. Il créera le vaccin contre la fièvre aphteuse lui permettant, en 1952, de sauver 6 millions d'animaux lors d'une très grave épidémie.

En 1967, Alain Mérieux, fils de Charles, prend la présidence de l'Institut Mérieux. L'année suivante, Rhône-Poulenc entre à hauteur de 51 % dans le capital de l'Institut Mérieux.

1989 voit la création de Pasteur Mérieux Sérums et Vaccins qui deviendra, grâce à l'acquisition des laboratoires Connaught, leader mondial des vaccins. En 1994 Pasteur Mérieux Connaught devient filiale à 100 % du groupe Rhône-Poulenc Est aussi créé Pasteur Mérieux MSD, aujourd'hui Aventis Pasteur MSD, co-entreprise avec le groupe pharmaceutique américain Merck & Co chargée de la promotion et de la commercialisation des produits des 2 sociétés mères en Europe.

Enfin en 1999 Rhône-Poulenc et Hoechst unissent leurs activités (Pharmacie, Santé Animale et Végétale) au sein d'une société dénommée Aventis. Pasteur Mérieux Connaught devient Aventis Pasteur dont le siège mondial est situé à Lyon.

#### Place d'Aventis Pasteur dans le monde

Avec 25 % du marché mondial des vaccins, Aventis Pasteur est le premier spécialiste des vaccins dans le monde. Plus d'un milliard de doses vaccinales sont commercialisées chaque année, et 400 millions de personnes sont vaccinées.

La demande est en augmentation de 12 % par an. Actuellement la gamme de vaccins Aventis Pasteur permet de se protéger contre 20 maladies : des maladies bactériennes (coqueluche, diphtérie, infections à Haemophilus influenzae b, méningites à méningocoque, infections à pneumocoque, tétanos, fièvre typhoïde), et des maladies virales (encéphalite japonaise, grippe, hépatite A, hépatite B, oreillons, poliomyélite, rougeole, rubéole, rage.)

Le potentiel humain est d'environ 7500 personnes dont plus d'un tiers se consacre à la fabrication des vaccins sur quatre sites, en France, au Canada, et aux Etats-Unis.

Pour rendre sa gamme de vaccins plus complète et plus accessible, Aventis Pasteur développe activement sa politique de partenariat, et dispose d'un réseau international de collaborations,

citons entre autres National Cancer Institute (USA) dans le domaine du cancer, et Institut Pasteur (France) pour ce qui concerne les vaccins contre le SIDA.

### La fabrication des vaccins

Aventis Pasteur s'appuie sur un outil industriel performant : culture de microorganismes en fermenteurs de grande capacité, purification des principes actifs par ultracentrifugation et chromatographie, maîtrise de la chaîne du froid et de la thermostabilisation qui permet d'assurer la conservation des vaccins à température constante quelles que soient les conditions climatiques.



Type d'équipement en zone de production.



Une connexion stérile en laboratoires de production.



Raccordement stérile entre biogénérateurs.



Contrôle des vaccins au microscope.

On classe les vaccins en 4 gammes :

- les vaccins pédiatriques (rougeole, coqueluche...);
- la gamme adulte (grippe, infections à pneumocoques);
- la gamme voyageur (fièvre typhoïde, fièvre jaune);
- la gamme urgence (vaccins et immunoglobulines).

Pour fabriquer le vaccin antigrippal par exemple, on injecte la substance virale dans des œufs embryonnés (il faut 300 000 œufs par jour). Les œufs sont mis en incubateur pendant 48 à 72 heures. Puis on procède à une découpe de l'œuf pour récolter le liquide allantoïque par aspiration.

Pour créer un vaccin, dix années sont nécessaires. Pour le fabriquer à partir du moment où on cultive le germe jusqu'à sa mise en vente chez le pharmacien, il faut 1 an et demi à 2 ans. C'est dire les nombreux tests et contrôles qui jalonnent tous les stades de la fabrication.

### L'axe Recherche et Développement

Les centres de recherche et développement en France (Marcy l'Etoile), au Canada (Toronto), et aux Etats-Unis (Swiftwater), représentent une équipe de 1000 chercheurs qui travaille à la mise au point de nouveaux produits et

modes d'administration. 6 programmes sont à l'étude :

- Etudier les maladies transmises par voie respiratoire.
- Découvrir un vaccin contre le SIDA
- Ecarter le danger des morsures et piqûres d'animaux.
- Protéger l'enfant contre plus d'une dizaine de maladies grâce à un minimum d'injections. Faire une combinaison vaccinale n'est pas chose facile parce que les vaccins ou leurs stabilisants peuvent s'avérer incompatibles. Le nouveau vaccin hexavac est ainsi la combinaison de 6 valences : diphtérie, tétanos, coqueluche, poliomyélite, infections à haemophilus influenzae type b, hépatite B.
- Traiter le cancer par un vaccin de type thérapeutique. Aventis Pasteur travaille aujourd'hui sur les mélanomes et les cancers colo-rectaux.

La vaccination n'a pas seulement pour but de protéger l'individu. Elle vise aussi à améliorer la santé de la collectivité et à réduire les coûts médicaux directs et sociaux indirects liés aux maladies infectieuses. En raison d'une population de plus en plus dense et de la rapidité des voyages, la nécessité de limiter la circulation et la transmission des agents infectieux est plus que jamais d'actualité. Il faut

en outre faire face à des agents infectieux nouveaux, et à certaines maladies qui n'ont pas disparu comme la diphtérie, la tuberculose, la rage...

En conclusion les vaccins sont de plus en plus nécessaires et c'est la mission d'Aventis Pasteur d'améliorer continuellement le taux de couverture vaccinale.



## ORELIS À SAINT-MAURICE- DE-BEYNOST

(d'après des documents fournis par l'entreprise)

Orelis est une filiale du groupe Rhodia (dont le chiffre d'affaires est de 6,7 milliards d'euros)

Orelis développe des procédés de séparation et purification au moyen de filtration tangentielle par membrane. Il est leader européen pour le traitement des effluents. Son chiffre d'affaires est de 18 millions d'euros en forte croissance. La mission d'Orelis est de proposer aux industriels des solutions pour améliorer les performances de leurs fabrications, améliorer la qualité de leurs rejets, produire moins de boues, réutiliser et économiser l'eau. Orelis fournit des stations de traitement clefs en main dans lesquelles le passage en bioréacteur à membrane, qui permet d'enlever les matières en suspension, est suivi d'une biodégradation et d'une séparation liquide-solide.

### Domaines de filtration

On distingue plusieurs domaines de filtration suivant la fréquence de coupure :

- La microfiltration concerne le domaine de 10µm à 0,1µm (émulsions, globules rouges, bactéries).
- L'ultrafiltration de 0,1µm à 0,001µm (virus et macromolécules organiques).
- La nanofiltration de 0,005 à 0,0005µm (composés organiques)
- L'osmose inverse de 0,001 à 0,0001µm (sels dissous).



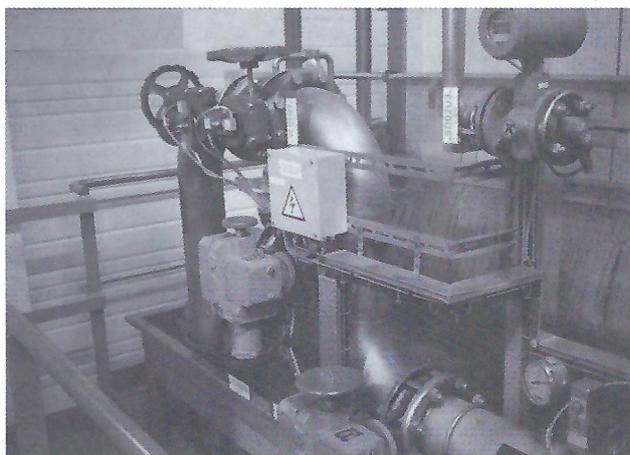
Une partie des visiteurs devant les bâtiments d'Orelis.



Vue d'une membrane.

### Industries concernées

- L'industrie automobile : dégraissage, rinçage après dégraissage, épuration et recyclage des eaux chargées de peinture.
- L'industrie pharmaceutique, vétérinaire et biotechnologique, du laboratoire au stade industriel pour ce qui concerne les médicaments, les vaccins, les vitamines, les enzymes, les acides aminés, les ferments lactiques.
- Les industries laitière et fromagère : débactérisation, préformage, production de lait à haute concentration, égouttage de pâtes fraîches. (L'industrie laitière a été le premier marché historique mais aujourd'hui des produits concurrents se développent.)
- Les autres industries agroalimentaires : clarification des boissons, clarification et décoloration du sucre.
- L'industrie chimique : purification et concentration. (En fait, c'est un domaine de moins d'importance car la filtration sur membrane est une méthode douce bien adaptée à la séparation des molécules qui seraient

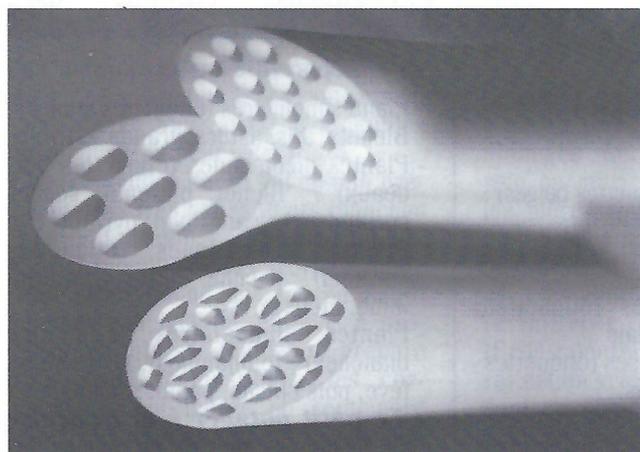


Installation Orelis.

- sensibles à la chaleur tandis que l'industrie chimique peut faire appel à d'autres procédés comme la distillation.)
- Le traitement de l'eau : décoloration des eaux turbides (Ecosse), traitement des eaux industrielles et effluents dans l'industrie du papier, de la cartonnerie, et les industries textiles, chimique, nucléaire.

### Produits

Orelis fabrique des membranes minérales et organiques. Les membranes minérales peuvent être à support carbone ou à support céramique. Les membranes à support carbone en modules tubulaires (CARBOSEP) sont bien adaptées aux procédés industriels difficiles grâce à



Membranes kerasep.

leur grande résistance mécanique et thermique, leur résistance aux pH extrêmes, leur insensibilité aux solvants. De plus elles ont une longue durée de vie.

Les modules tubulaires à membrane céramique ont des performances inégalées notamment en microfiltration et présentent une grande résistance aux contraintes thermiques et chimiques. Elles sont utilisées dans les préparations et la purification de l'eau, et les industries laitières, agroalimentaires, pharmaceutique.

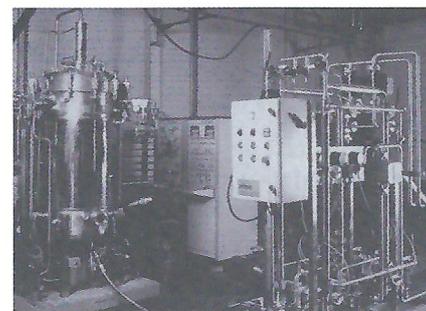
Les membranes organiques sont classées en 2 familles : modules plans et modules spirales.

Les modules plans organiques (PLEIADE) équipés de membranes d'ultrafiltration allient fiabilité, longévité et faible coût de fonctionnement. Elles sont adaptées aux viscosités élevées et aux milieux chargés ; On les trouve

dans l'industrie pharmaceutique (extraction et clarification des vaccins), dans l'industrie laitière (standardisation du lait), dans l'industrie automobile (huiles, peintures), et pour le traitement des effluents biodégradables, et non biodégradables.

Les membranes spirales (PERSEP), de la microfiltration à l'osmose inverse, permet-

tent une large gamme de séparation des liquides, des produits organiques jusqu'aux sels minéraux. La qualité de fabrication de ces membranes permet de satisfaire les besoins techniques et économiques dans un grand nombre d'industries (bioindustrie, laiterie, automobile, environnement.)



Installation Orelis.

En conclusion, Orelis occupe une place de première importance dans l'économie de matières premières et le respect de l'environnement.

Jocelyne ALLÉE

## Prenez-en de la graine

**M**ercredi 12 juin 2002, visite, sous le soleil, du JARDIN BOTANIQUE de Clermont-Ferrand géré par la mairie.

A l'entrée du jardin botanique de Clermont-Ferrand situé 10 Rue de la Charme, on est accueilli à gauche par un bel **amélanchier** du Canada avec ses délicieuses amélanches roses, mauves et à droite par un **araucaria** du Chili superbement piquant, qui fait le désespoir des singes : ils adorent ses fruits, mais ils doivent attendre leur arrivée au sol ! L'amande de la graine ailée est comestible.

Notre premier guide, Monsieur Alain SOUBRE nous fait visiter la salle des graines et nous présente le principe de fonctionnement de ce jardin botanique contenant environ 2600 espèces, allant des plantes, aux arbustes et aux arbres, sur une superficie de trois hectares et demi.

UN CATALOGUE présentant toutes ces espèces est édité avec pour chacune le nom en LATIN, qui est devenu l'appellation internationale. Ce catalogue est envoyé à 130 jardins botaniques dans une trentaine de pays par le monde.

LES ENVOIS DE GRAINES, entre ces divers jardins botaniques, lorsqu'ils en ont besoin, est GRATUIT. Chacun peut compléter sa collection d'espèces.

CHOIX DE PRESENTATION fait à Clermont-Ferrand pour le jardin botanique. Toutes les espèces plantées sont étiquetées.

Il existe :-

**LE JARDIN ECOLOGIQUE** (les plantes étant dans leur milieu naturel) avec :

- la zone auvergnate : tourbe, bassin, plantes aquatiques surveillées par des poissons
- la zone méditerranéenne
- la zone alpine (avec terre des Alpes)
- la zone forêt bois avec conifères et feuillus et sous-bois.

**LE JARDIN SYSTEMATIQUE** avec des plantes classées par familles botaniques.



*Amélanchier à l'entrée du jardin.*

### LE JARDIN THEMATIQUE :

- plantes industrielles (étiquettes bleues) : Lin usuel...
- plantes tinctoriales (étiquettes beiges) : Rubia, garance des teinturiers
- plantes odoriférantes (étiquettes bleues) : Menthe poivrée...
- Fourragères graminées (étiquettes vertes) : Ray-gras Anglais
- Fourragères légumineuses (étiquettes vertes) : Gesse des prés...
- Plantes toxiques (étiquettes rouges) : Ricin, parisette, laurier rose, euphorbe, hellébore, adonis

- Plantes mellifères (étiquettes jaunes) : Bleuets, ails, asters, grande Astrance
- Plantes médicinales (étiquettes bordeaux) : Bleuets, pissenlit, soucis, coriandre, origan, thym, pyrèthre...
- Plantes aromatiques (étiquettes caramel) : livèche, estragon, marjolaine, mélisse...
- Plantes alimentaires (étiquettes blanches) : topinambour, scorsonère, fève, pois chiche, panais, sarrasin....
- **Le petit potager à la française** ou comment mettre en valeur les légumes du point de vue esthétique



Les amélanthes comestibles.

- **Le verger conservatoire**, il contient des espèces anciennes ou que l'on ne trouve plus
- **Un jardin de plantes vivaces et grimpantes** (Kiwi)
- **Un jardin d'essai** avec comme entrée des plantes grasses et un sophora pleureur du Japon.

Il existe une serre qui nécessite en soi, une visite, sur rendez-vous.

#### Utilisation du jardin botanique

Les visiteurs  
Les étudiants en pharmacie  
Les botanistes amateurs

#### Conseils de visite

Du 15 mai au 15 juin  
De fin septembre à début octobre

**Quelques mots après la sympathique visite commentée par nos deux guides successifs sur ces milliers d'espèces intéressantes et belles**

### ●●●●● AU SUJET DES ARBUSTES

Des multiples **cornouillers** décoratifs par leur feuillage ou leurs rameaux ou leurs fleurs tous ayant des feuilles "magiques", on peut retenir :

- Le cornouiller Kousa qui en juin présente ses très belles fleurs blanches parmi des feuilles d'un vert soutenu.
- Le cornouiller Mâle (cornus mas), qui ayant donné des tas de fleurs jaunes, sur bois nu, en février, propose en juin ses feuilles et prépare ses fruits comestibles, les cornouilles, qui mûres en septembre sont rouges et auront une saveur acidulée. (Mâle à cause du bois dur

avec lequel on faisait les javelots et les lances des Romains et des Perses dans l'antiquité)

En suivant notre deuxième guide Monsieur Yannick PERRIN, on arrive entre autres, devant un bel arbuste à feuilles persistantes :

- **L'arbousier commun** qui s'il est taillé en petit arbre (4 à 5 m) s'appelle l'ARBRE A FRAISES !

D'octobre à janvier ses fleurs en grappes pendantes blanc-rosé s'épanouissent quand les fruits de l'année précédente sont mûrs. Les arbouses orangées devenant rouge vif à maturité sont comestibles avec une saveur aigrelette et se laissent transformer en confiture ou en liqueur : "la crème d'arbouse".

### ●●●●● AU SUJET DES ARBRES D'ORNEMENT

Comment reconnaître les divers frênes, du négundo, du carya, du mélia, du ptérocarya ?

Comment savoir si on préfère, au goût, les mûres blanches du mûrier à soie ou mûrier blanc ou les mûres rouges noires du mûrier noir originaire d'Iran et d'Afghanistan et comment savoir si le mûrier à papier (Broussonetia papyrifera) est un vrai mûrier, lui dont les chinois utilisent l'écorce pour fabriquer de la pâte à papier ?

Lequel du Tulipier de Virginie ou du Ginkgo, l'arbre aux quarante écus, qui se perpétue depuis le temps des dinosaures,

a une feuille en forme de tête de chat ? ou a une feuille qui semble constituée d'un très grand nombre d'aiguilles moyennes accolées les unes aux autres ?

### ●●●●● AU SUJET DES FLEURS

Laquelle des plus belles fleurs est la plus toxique ?

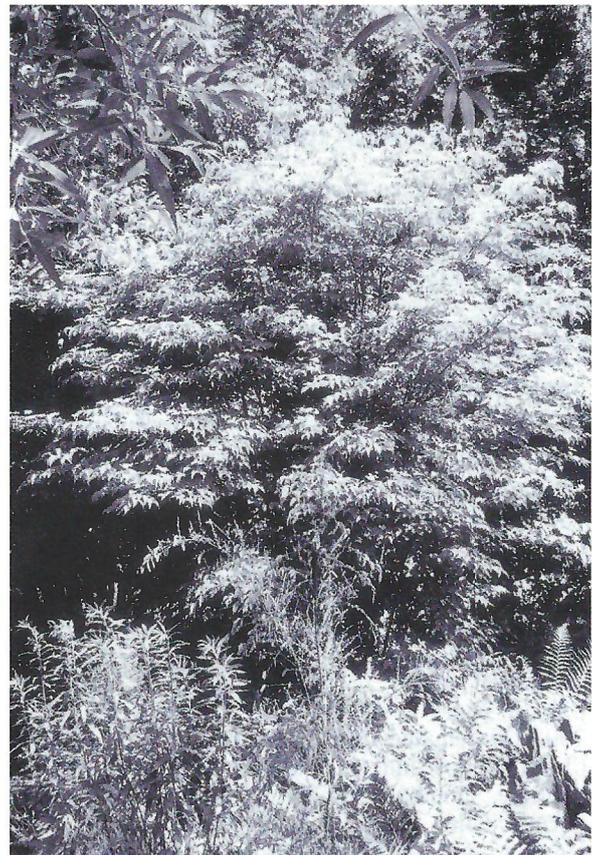
Lesquelles des cinquante espèces d'orchidées auvergnates sont protégées ?

ON QUITTE LE JARDIN D'ESSAI sous la haute protection du chaleureux pin de l'Himalaya : Pinus Griffithii ou pinus wallichiana et on est salué à la sortie par le brillant Sophora pleureur.

Que de surprises, que de plaisir à observer, comparer, que de questions, que de prochaines visites à préparer car on ne peut pas connaître le Jardin Botanique en une seule fois !

Beaucoup de ces arbres, buissons, arbustes et fleurs sont dans la ville, il faudra ouvrir l'œil !

Maryse POINTUD



## Les journées ATLAS 2002 à Clermont-Ferrand

**A**TLAS est un programme mondial qui consiste à concevoir et réaliser le plus puissant détecteur de particules jamais créé. Logé au sein d'un grand collisionneur de hadrons, ce détecteur doit permettre d'analyser des collisions de hadrons (ou protons) provoquées à des vitesses jamais atteintes auparavant et d'aboutir à des découvertes fondamentales sur le cœur de la matière et l'origine de la masse.

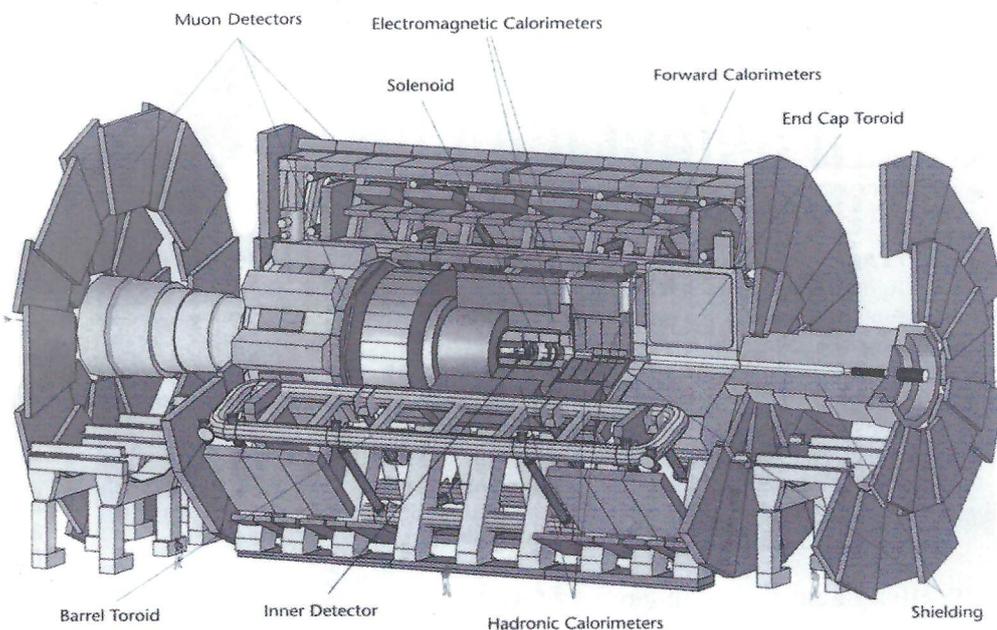
Dans ce programme scientifique mondial tout est gigantesque :

- La collaboration de 300 chercheurs appartenant à 150 laboratoires (dont six Français) implantés dans 34 pays.
- La dimension du futur accélérateur de particules produira 800 millions de collisions de particules de matière par seconde et il sera logé dans une caverne de 50 mètres de haut, 40 mètres de large et 35 mètres de haut creusée sous la frontière franco-suisse.
- Le coût financier évalué à 475 millions de francs suisses en 1995 a actuellement un dépassement prévu de 70 à 100 millions de francs suisses.
- La durée du projet lancé il y a dix ans, devrait permettre d'enregistrer des données de 2007 à 2020.

Schéma du détecteur ATLAS placé à 120 mètres de profondeur longueur 44 mètres, diamètre 22 mètres, poids 7500 tonnes.

La partie centrale, correspond au calorimètre hadronique à tuiles scintillantes, sur lequel travaille le Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC) de Clermont-Ferrand.

Dans le cadre des JOURNEES ATLAS 2002, la semaine du 23 au 28 juin, Clermont-Ferrand a constitué la capitale mondiale de la Physique Corpusculaire. Après Dubna, près de Moscou (en 2000) et Brookhaven près



de New-York (en 2001). Le CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire) de Genève, avait une excellente raison de choisir la capitale de l'Auvergne pour délocaliser l'une des trois réunions annuelles des collaborateurs du Programme ATLAS.

Le laboratoire de physique corpusculaire de Clermont-Ferrand doit concevoir et réaliser la partie centrale du détecteur Atlas : le calorimètre hadronique à tuiles scintillantes, d'une masse de 2.900 tonnes. "Actuellement, 80 % des modules sont finis, pour ce qui concerne la mécanique et l'optique, et livrés au CERN, à Genève. Il manque l'électronique", observait vendredi matin, au terme des Journées Atlas de Clermont-Ferrand, François Vazeille, responsable de ce programme au sein du laboratoire clermontois, en présence de Bernard Michel, directeur du laboratoire de physique corpusculaire (un laboratoire mixte du CNRS et de l'université Blaise-Pascal) et de Peter Jenni, porte-parole du CERN.

Le partenariat de l'ADASTA fut cité par François Vazeille Directeur de Recherche au CNRS, Responsable du groupe Atlas sur Clermont-Ferrand qui écrivait dans un courrier du 28 juin :

"Le soutien des partenaires, institutionnels ou privés, a été un élément essentiel à la bonne réussite de cette entreprise, et c'est avec beaucoup de plaisir que nous les mettons à l'honneur. (...) L'opération menée autour de la "Pascaline" a été un grand succès, et la présence des posters de l'ADASTA a permis de compléter utilement l'exposition de l'exemplaire prêté par le musée du Ranquet."

### LE POINT SUR LES AVANCÉES

Si le planning est respecté, le détecteur devrait être assemblé au CERN de Genève en 2004, les premières données enregistrées au printemps 2007 et, après la phase actuelle où le concours des ingénieurs et techniciens est déterminant, les physiciens devraient pouvoir recueillir jusqu'en 2020 les données leur permettant d'affiner leur connaissance du cœur de la matière.

Un article plus complet de Monsieur François Vazeille paraîtra dans notre prochain numéro

# Informations

***Vous pourrez rencontrer  
les Jeunes Pousses  
de l'année dernière qui feront  
des démonstrations d'expériences  
les jours suivants :***

## FORUM DES ASSOCIATIONS

Samedi 5 octobre 2002  
à Polydôme  
de 14 h 30 à 16 h 30

Dimanche 6 octobre 2002  
à Polydôme  
de 14 h 30 à 17 h 00

## FÊTE DE LA SCIENCE

Mercredi 16 octobre 2002  
au Centre Jaude  
de 15 h 00 à 16 h 30

Samedi 19 octobre 2002  
au Centre Jaude  
de 15 h 00 à 16 h 30

## 50<sup>es</sup> JOURNÉES NATIONALES DE L'UNION DES PHYSICIENS

Samedi 26 octobre 2002  
à la Glacière  
de 10 h 30 à 11 h 30

Samedi 26 octobre 2002  
au Centre Jaude  
de 15 h 00 à 16 h 30

## INSCRIPTION DES JEUNES POUSSÉS 2002-2003

Documents à fournir fin septembre :

- assurance scolaire
- fiche d'inscription complétée
- autorisation de photographier vos enfants et publier ces photos dans notre revue.

## COÛT

Après acceptation du dossier (octobre),  
fournir le chèque d'adhésion.

- Une adhésion par enfant 26 € (170,55 F)
- participation pour les activités extérieures. (environ 2 par an)

## FONCTIONNEMENT

- 2 groupes de 15 enfants maximum, le même jour
- le mercredi après midi de 14 h 00 à 16 h 00,
- 1 fois par mois
- Enfants de 7 à 12 ans sous le critère de savoir lire.

## VOICI LE PLANNING DE L'ANNÉE

Mercredi 9 octobre 2002  
Mercredi 6 novembre 2002  
Mercredi 4 décembre 2002  
Mercredi 8 janvier 2003  
Mercredi 5 février 2003  
Mercredi 12 mars 2003  
Mercredi 2 avril 2003  
Mercredi 14 mai 2003

## CONFÉRENCES

Mercredi 16 octobre 2002  
Monsieur Jean-Pierre Grolier  
**Thermodynamique chimique : de  
l'observation de la nature à la  
conquête et la maîtrise de la  
matière, de l'énergie et des pro-  
cédés industriels**

Mercredi 20 novembre 2002  
Monsieur Jean Fau  
**acteurs et fonctions écono-  
miques dans la Mondialisation**

## ADHÉSIONS ET ABONNEMENTS

Adhésions  
à titre **individuel** 26 €

Adhésions  
à titre **collectif** 80 €

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

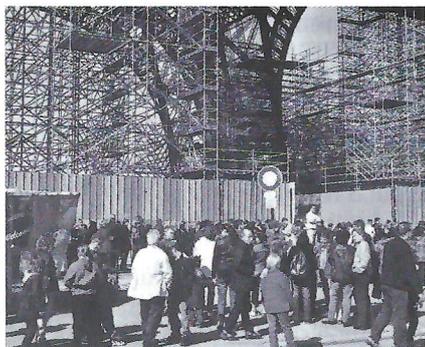
**Permanences :**  
L'A.D.A.S.T.A. a de nouveaux horaires d'ouverture :  
lundi 14 h à 18 h ;  
mardi 8 h à 12 h, 14 h à 17 h ;  
mercredi 8 h à 12 h, 14 h à 18 h ;  
jeudi 8 h à 12 h, 14 h à 17 h ;  
vendredi 8 h à 12 h

**Adressez le courrier à**  
ADASTA, 19, rue de Bien-Assis  
63100 Clermont-Ferrand  
Tél. 04 73 92 12 24  
Fax 04 73 92 11 04  
E-mail : [adasta@wanadoo.fr](mailto:adasta@wanadoo.fr)  
Site Internet :  
<http://perso.wanadoo.fr/adasta>

## Les jeunes pousses à la cité des sciences

**6** H 27 samedi 23 mars 2002, 22 "jeunes pousses" et 23 adultes de l'ADASTA prennent le train pour Paris. Une rude journée les attend.

Dès l'arrivée à la gare de Lyon la joyeuse troupe monte dans le car qui les conduit à travers les rues de la Capitale : il fait très beau, les monuments nouvellement restaurés sont superbes, la circulation est fluide et nous avons tout loisir pour les regarder : le Sénat, l'Assemblée Nationale, l'Hôtel de ville, l'Obélisque de la Concorde, l'Arc de triomphe, l'Arche de la défense, le Panthéon, etc... Nous faisons un arrêt vers les pyramides du Louvre et l'arc de triomphe du Carrousel : la photo de groupe est incontournable. Vite, vite, pressons-nous, midi approche et nous avons rendez-vous aux bateaux parisiens pour une croisière d'une heure sur la Seine. Les monuments de Paris défilent à nouveau le long des berges ; les ponts se succèdent, les douves du Pont Alexandre III resplendissent au soleil. Nous découvrons l'île de la Cité et le majestueux édifice de Notre Dame de Paris. Le zouave du Pont de l'Alma est bien présent, il a les pieds au sec aujourd'hui. La tour Eiffel nous apparaît immense vue de la Seine : construite en 1889 pour l'Exposition Universelle, ce géant de 7 000 tonnes et de 320 mètres de haut impressionne.



Le car nous conduit à la Villette, il faut "avalier" le pique-nique car les "jeunes pousses" sont attendues à 14 h 30 à la Cité des Enfants.

Dans cet espace de nombreuses manipulations sont proposées aux enfants de 5 à 12 ans et recouvrent les thèmes suivants :

- Enquêtes sur le vivant



- Machines et mécaniques
- Toi et les autres
- Techniques pour communiquer

Les "jeunes pousses" encadrées par des collégiens s'affairent et s'en donnent à cœur joie : Certains prennent l'ascenseur pour voir pousser les bambous, d'autres visualisent l'intérieur de leur corps, font la course avec leur squelette, parcourent l'île aux 5 sens. L'écloserie des papillons et la fourmière ont beaucoup de succès. Beaucoup sont intéressés par les machines à eau : la noria, la fontaine renversante et le robot Puma.

Quelques uns courent plus vite que leur ombre et battent des records de vitesse. Le temps passe très vite, les "jeunes

pousses" se ruent sur les tubes parlants et le niveau sonore monte, on court vers le studio de télévision, un bref passage sur le chariot travelling, la sonnerie retentit et c'est à regret que les enfants quittent ce "lieu magique".

Après une journée aussi bien remplie on aurait pu penser que les enfants soient épuisés, détrompez-vous, il n'en est rien ; les couloirs du train s'avèrent propices aux courses et bousculades et retentissent des éclats de rires.

C'est à croire que les activités scientifiques développent aussi l'énergie vitale des "jeunes pousses" de l'ADASTA.

Pierrette TOURREIX



## Les jeunes pousses au pays de Volvic



**5** juin 2002 : Dans le programme des "jeunes pousses" il était prévu la mesure de la Pression Atmosphérique rue de Bien Assis, à la Font de l'Arbre, au pied du Puy de Dôme. Les pluies importantes et les orages violents annoncés par Météo France ont imposé aux organisateurs de modifier le matin même le planning de l'après-midi.

L'Auvergne est très visitée en cette période de l'année et tous les "sites attractifs couverts" de la périphérie de Clermont-Ferrand étaient complets.

Par chance, les eaux de Volvic, Volvic, le musée Marcel Sahut et la maison de la pierre ont accepté de nous accueillir ; qu'ils soient sincèrement remerciés .

13 h 30 : la joyeuse troupe de "jeunes pousses" et de parents part donc à la découverte de Volvic. C'est au "goulet" que nous faisons connaissance avec l'eau, son origine, sa minéralisation, ses bienfaits, la commercialisation, etc... grâce à leur perspicacité les enfants lisent les panneaux explicatifs et répondent avec justesse aux questions du test en un temps record.

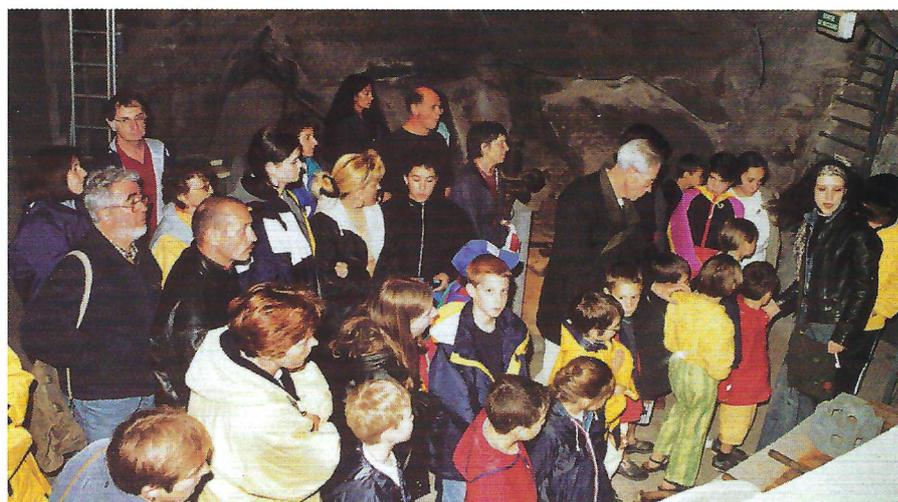
Au musée Marcel Sahut en plus de la magnifique collection de tableaux et de caricatures les jeunes ont beaucoup admiré les tapis réalisés avec toutes sortes de matériaux et faits par des enfants des écoles de Volvic, ils ont apprécié leur créativité.

Après le goûter arrosé à l'eau de Volvic nous dirigeons nos pas à la maison de la Pierre. A l'intérieur de la Carrière nous mesurons à la fois l'œuvre du volcan et celle de l'Homme car l'extraction

de la lave nécessite un long et pénible labeur avant de venir embellir les monuments de notre région. Il se fait tard, nous reprendrons le chemin du retour les yeux remplis de belles images et contents de mieux connaître les richesses de notre belle région l'Auvergne.

Au revoir, rendez-vous est donné en septembre.

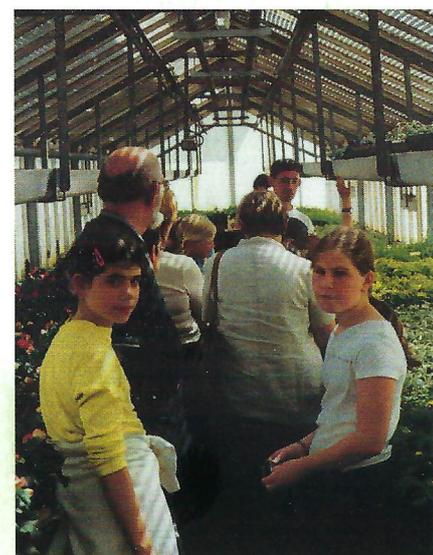
Pierrette TOURREIX



## Les “jeunes pousses” visitent les espaces verts de la ville de Clermont-Ferrand

Le mercredi 15 mai “les jeunes pousses” et une vingtaine d’adhérents de l’ADASTA ont visité les serres de la ville de Clermont-Ferrand qui produisent 400 000 plantes par an. Tout est admirablement orchestré dans ce grand jardin très particulier où seulement 12 jardiniers dispensent leurs soins : de janvier à avril période de semis, d’avril à mai plantation en godets, de mi-mai à mi-juin mise en place dans les massifs.

Les plantes à “jours longs” fleuriront en juin-juillet et celles à “jours courts” en août –septembre mais il est souvent



nécessaire de modifier l’éclairage afin que la floraison ait lieu au bon moment c’est le cas pour les chrysanthèmes. La composition de la nourriture est aussi particulièrement surveillée : apport d’azote en début de culture, phosphore pour construire la charpente et potassium pour assurer la floraison, l’eau et la chaleur sont aussi savamment dosées. Ainsi choyées et bichonnées les plantes envahiront les suspensions bacs, massifs de la ville dans le seul but d’embellir le cadre de vie des Clermontois. Durant leur séjour en ville, l’agression des plantes est permanente (chaleur, pollution, manque d’eau...) aussi un très grand nombre d’entre elles reviendront aux jardins de la Charme subir une cure de jouvence.

La visite se termine dans la nouvelle serre. Elle est immense, la lumière y pénètre abondamment, l’arrosage est automatique et la chaleur constante car les stores s’abaissent dès que dardent les rayons du soleil. Des milliers de jeunes plantes y croissent en toute sérénité.

Nous avons rencontré des hommes passionnés par leur métier qui sèment, pincent, coupent, arrosent inlassablement jour après jour pour le plaisir de nos yeux. Sans nul doute c’est en pensant à tout ce labeur et avec enthousiasme que nous admirons le fleurissement des villes.

Pierrette TOURREIX

