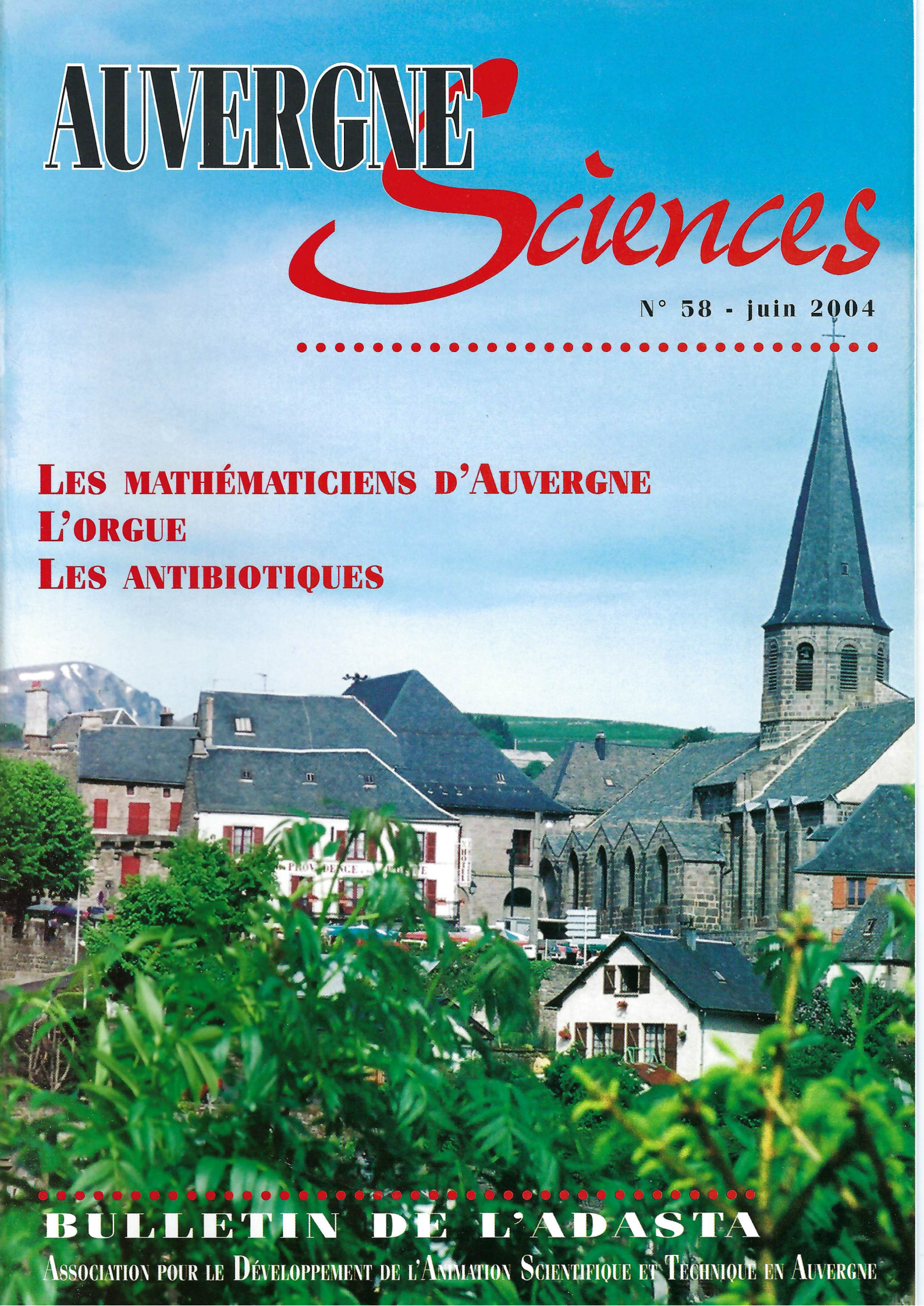
AUVERGNE Sciences

N° 58 - juin 2004

Les mathématiciens d'Auvergne
L'orgue
Les antibiotiques



BULLETIN DE L'ADASTA

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

éditorial

"La mort n'est rien.
Je suis seulement passé dans la pièce à côté.
Je suis moi, vous êtes vous.
Ce que nous étions les uns pour les autres nous le sommes toujours.
Donnez-moi le nom que vous m'avez toujours donné.

Parlez de moi comme vous l'avez toujours fait.
N'employez pas un ton différent, ne prenez pas un air solennel et triste....
Que mon nom soit prononcé comme il l'a toujours été, sans emphase d'aucune sorte, sans une trace d'ombre.

La vie signifie tout ce qu'elle a toujours signifié.
Elle est ce qu'elle a toujours été. Le fil n'est pas coupé.

Pourquoi serai-je hors de votre pensée simplement parce que je suis hors de votre vue ?
Je vous attends. Je ne suis pas loin, juste de l'autre côté du chemin.

Vous voyez tout est bien"

Ce texte de Charles Péguy est destiné à Roland Jouanisson qui nous a quittés récemment.
Nous avons tous une pensée émue à la mémoire de Roland.
Il nous manque beaucoup à l'ADASTA

Le 2 juin 1986 nous étions à ses côtés, avec trois autres collègues, réunis aux Cézeaux dans le bâtiment administratif de l'UFR Sciences, Département de Physique, suite à la première convocation adressée par Roland.

"J'ai l'honneur de vous inviter à participer à la réunion de l'Assemblée Constitutive d'une Association chargée de promouvoir la Culture Scientifique et Technique dans notre Région"

Signé : Roland JOUANISSON

En ce mois de juin 2004,
l'ADASTA, toujours vivante,
se souvient.

Le Président
Jean-Claude CAPELANI



Merci à nos sponsors

AUVERGNE
CONSEIL RÉGIONAL D'AUVERGNE

CONSEIL GENERAL
DU PUY-DE-DOME

VILLE DE
CLERMONT
FERRAND

MICHELIN

ministere
jeunesse
education
recherche

ministere delegue
recherche et nouvelles
technologies

EDF
Electricité
de France

Comité de rédaction de la Revue Auvergne-Sciences
Président : *Paul Avan*
Rédactrice en chef : *Jocelyne Allée*
Membres : *Nathalie Andréoletti, Georges Anton, Jean-Claude Capelani, Jean Chandezon, Luc Dettwiller, Paul-Louis Hennequin, Michel Naranjo, Robert Tavernier*

Photo de couverture : *Vue de Besse (J.C. Capelani)*
Impression : *Imprimerie Porçu - Clermont-Ferrand*

sommaire

Nécrologie 3

Les mathématiciens d'Auvergne 4

L'orgue **20**

Les antibiotiques **30**

Hommage à un grand physicien **33**
Augustin Fresnel

Voyage dans la vallée de la Chimie **35**
Micropolis et Le Parc des Bisons

Départ d'Hélène Berthelier **36**

Toute reproduction partielle ou totale interdite Les articles publiés sont de la responsabilité exclusive de leurs auteurs

ROLAND JOUANISSON
nous a quittés

L'ADASTA vient de perdre son fondateur

L'ADASTA a reçu de nombreux témoignages de la part de collègues, amis et anciens élèves. Parmi ceux-ci le vibrant hommage de M. François BEAL que nous insérons ci-dessous :

"Roland s'en est allé dans "l'autre monde", l'immense nuit, à la jonction du Temps et de l'Éternité, là où l'Homme trouve sans conteste sa plus sûre actualité et où ses songes se mêlent aux rêves du Cosmos. Inexorablement, sans appel, sans recours, ne disons pas sans espérance.

Roland n'est plus et son absence nous pèse déjà. Aussi nos yeux sont-ils pleins de larmes et de tristesse, en nous pressant ce matin autour de sa famille éplorée, sans doute exténuée par une double épreuve. Souvenons-nous : cette semaine, Madame Jouanisson a perdu son Papa. Et c'est donc avec une émotion double, que nous lui disons ici notre amitié, notre chagrin, et lui manifestons notre affectueuse sympathie.

J'ai eu le privilège de partager avec Roland plus de cinquante ans d'une amitié fidèle et sans nuages. Certes, les circonstances nous ont parfois séparés, mais nos retrouvailles n'en furent que plus chaleureuses. Des peines bien sûr, mais aussi beaucoup de joies communes.

Résumer une vie si remplie, rassembler les grands traits d'une aussi riche personnalité tient de la gageure. Roland eut-il aimé que nous le fassions. Quand on a connu sa modestie, je n'en suis pas certain.

C'est une belle figure de la communauté scientifique qui disparaît, un homme de grande culture, érudit, passionné d'art et de littérature, un esprit vif, original, foisonnant d'idées, assidu au travail, un caractère entier, fortement trempé, honnête et droit, fuyant la demi-mesure, ouvert aux autres, débordant de générosité. Une sorte de gentilhomme.

Physicien brillant, il était aussi à l'aise dans la recherche, que dans la mise en œuvre de ses applications, où il montrait un rare talent de vulgarisateur. Ses livres, ses communications, ses publications nombreuses, ses conférences brillantes sur les phénomènes optiques, la lumière et la couleur, en attestent. En atteste aussi sa contribution, sur le thème de la couleur, à la réalisation du cederom "Regards de physiciens", une œuvre collective où collaborèrent en particulier le Professeur Louis Avan, Alain Coulombeau, et notre ami très regretté le Professeur Roger Vessière, dont je tiens ici à saluer la mémoire.

C'est peu de dire combien Roland Jouanisson aimait sa Creuse natale, dont il avait gardé quelques intonations. La terre creusoise collait encore à ses semelles. Il y vivait le plus souvent possible, fuyant les bruits du siècle, qui souvent l'agaçaient. Il y pratiquait volontiers ce qu'il appelait "la manualité", indispensable, selon lui, à la bonne réflexion des hommes. Amoureux des arbres, parce qu'il croyait en l'avenir, il y "jardinait" sa forêt, au propre comme au figuré.

Quelques uns se souviennent encore ici de l'étudiant modèle, Maître d'internat, qui allait de succès en succès, jusqu'à l'Agrégation de Physique et Chimie, brillamment acquise. Professeur à Châteauroux, puis à Limoges, le voici bientôt Maître-assistant, puis Maître de Conférences à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, où il donne alors tout son temps à la recherche et à l'enseignement, avec un entrain et un talent dont témoignaient beaucoup d'étudiants.

Sans oublier bien sûr, la formation et l'animation pédagogique, à l'Université, dans les Universités d'été, dans les colloques et les Congrès, tel celui de l'Union des Physiciens qu'il a organisée à Clermont en 1982. Et sans oublier son rôle au sein de l'Association de Développement et d'Animation des Sciences et Techniques en Auvergne, qu'il fonda en 1986. C'était le temps d'une grande amitié avec le Père Merle et de relations suivies avec le Palais de la Découverte. De longues années, Roland assuma la direction scientifique de l'ADASTA, au rayonnement et à l'avenir de laquelle il restait très attaché.

Expérimentateur né, vulgarisateur, je crois que Roland était aussi un "contemplatif", car à la précision de l'observation d'un parfait physicien, il ajoutait souvent l'extase de l'esthète. Ainsi, ses réalisations photographiques étaient-elles empreintes d'une exceptionnelle qualité artistique. Elles font même référence dans certains manuels de l'Enseignement Secondaire. Que de fois ai-je vu Roland s'émerveiller d'une harmonie de couleurs sur un vitrail, de l'éloquence d'un chapiteau roman, de la puissance d'un lever de soleil, de la fragilité ou de l'élégance d'une gentiane acaule sur la pelouse alpine ! Parce qu'il "voyait", alors que d'autres simplement regardent, il nous dévoilait un peu l'envers des choses.

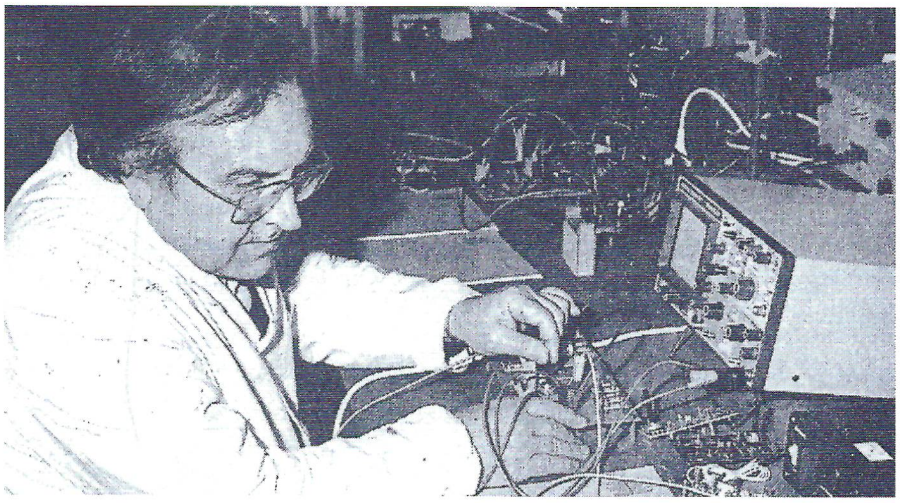
Chers enfants, chers petits-enfants, une fois de plus, la vague a fait son œuvre, mais la mer vous ramènera vite sur la plage la multitude des souvenirs qui vous diront bien mieux que je ne le fais ici, la richesse inouïe d'un être qui fut votre Papa, aimant, attentionné, affectueux. Ayez soin de faire fructifier les multiples talents qu'il a su vous léguer. Vous étiez au centre de sa vie.

Chère Jeannette, IL était dans le pays des ombres. LE voici maintenant dans le pays des immuables réalités, un pays où notre humanité range ses morts, comme on range des livres, après les avoir lus, sur les rayons d'une bibliothèque. On aimerait pouvoir les ouvrir à nouveau et s'attarder sur les plus belles pages. Sans être sûr jamais d'avoir lu les plus belles, faute peut-être de les avoir coupées. Alors, seule, la mémoire nous sauve, quand elle ne trahit pas.

Nous ne nous retrouverons plus autour des tables familiales, à Clermont, à Saint-Victor, où à Prondines, moments délicieux où Roland disait, toujours avec humour, sa joie de vivre. Plus de cueillette de champignons, ni de quête de minéraux rares. Et pourtant rien n'est changé. Rien n'est changé car Roland viendra toujours te murmurer dans l'oreille, en fin lettré qu'il était, la grande leçon de Charles Peguy : "Rien n'est changé. Parle-moi comme tu l'as toujours fait. Je suis seulement dans la pièce à côté. Rien n'est changé, la vie est ce qu'elle a toujours été. Je ne suis pas loin. Juste de l'autre côté du chemin"

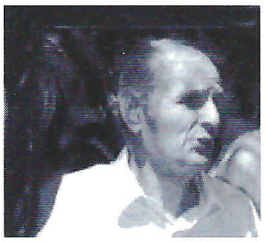
Merci Roland de toutes les joies que tu nous a procurées. Va en paix.

Clermont-Ferrand, 11 mars 2004
François Béal



Quelques montages simples mis au point par les responsables de l'ADASTA pour expliquer les phénomènes électroniques

Dossier



Les mathématiciens d'Auvergne

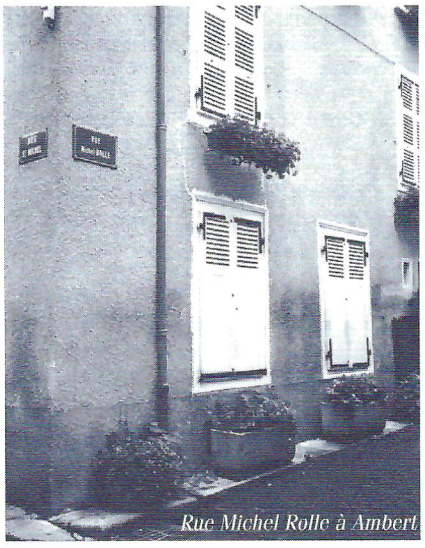
Par Paul-Louis HENNEQUIN

Professeur honoraire de mathématiques à l'Université Blaise Pascal

Nous nous proposons de faire revivre dans la Revue AUVERGNE-SCIENCES quelques grandes figures de mathématiciens d'Auvergne ; encore faut-il préciser ce que nous entendons par là. Par mathématicien nous entendons un érudit, un penseur, un homme d'action, un scientifique dont une partie de l'œuvre a été consacrée aux mathématiques, qui a contribué à leur avancement et qui a sa place dans l'enseignement contemporain de notre discipline. Par "d'Auvergne", nous entendons qu'il est né dans les limites territoriales de l'actuelle Région qu'il a le plus souvent quittée pour faire carrière dans le monde, à Paris, Rome ou Nancago

Nous commençons dans ce numéro par trois figures magistrales : Blaise Pascal, né à l'ombre de la cathédrale de Clermont et dont les lecteurs de la revue connaissent les travaux sur la pesanteur de l'air et l'hydrostatique, Michel Rolle connu pour son théorème de tous les étudiants de DEUG, mais dont peu savent qu'il est né à Ambert, Nicolas Bourbaki enfin, figure emblématique des mathématiques françaises du vingtième siècle, né à Besse en Chandesse.

Dans les numéros suivants, nous parlerons de Gerbert, né dans les environs d'Aurillac, élu Pape sous le nom de Sylvestre II, de Blaise de Vigenère, originaire de St. Pourçain sur Sioule, père de la cryptographie moderne, d'Etienne Pascal, père de Blaise et qui lui fit fréquenter la communauté mathématique de son temps, du mécanicien Joseph Pérès, né à Clermont-Ferrand, et du géomètre André Lichnerowicz, né à Bourbon l'Archambault et descendant d'une vielle famille de papetiers ambertois.



Rue Michel Rolle à Ambert

MICHEL ROLLE

Par Paul-Louis HENNEQUIN

Michel Rolle naît à Ambert (Basse Auvergne) le 21 avril 1652. Sa ville natale lui a consacré une place et une rue contiguës, mais peu d'habitants savent encore aujourd'hui qu'il s'agit d'un mathématicien. Notons qu'à Clermont, une des rues qui bordent l'ancien local de l'ADASTA porte son nom. Son père, marchand peu aisé, lui fait apprendre l'écriture ainsi qu'un peu d'arithmétique et le place comme copiste chez un notaire puis chez différents procureurs du pays pour le former aux affaires et à la pratique.

Lassé de ce travail, il part pour Paris à 23 ans, fonde une famille et s'installe comme maître d'écriture et de calcul. Il travaille avec opiniâtreté à partir du peu qu'il sait en arithmétique, défrichant peu à peu l'algèbre et l'analyse diophantienne des équations à coefficients et solutions entiers. Sa carrière de mathématicien débute par un coup d'éclat : Jacques Ozanam (1640 – 1718), alors mathématicien établi, pose le problème suivant : trouver 4 nombres entiers tels que la différence de deux quelconques d'entre eux soit un carré et que la somme de deux quelconques des trois premiers soit aussi un carré ; il ajoute qu'à son avis le plus petit de ces nombre s'écrira avec au moins 50 chiffres. Michel Rolle résout le problème en 1682 en exprimant les quatre nombres comme des polynômes homogènes de degré 20 de 2 variables x et y. En faisant $x = 1$ et $y = 2$ il obtient quatre nombres dont trois de six chiffres et le quatrième de sept, de sorte qu'on obtient déjà 10^{16} solutions inférieures à 10^{50} en multipliant ceux-ci par le carré d'un nombre p inférieur à 10^{20}. Le lecteur intéressé trouvera une solution complète, achevée grâce à une calculette dans [9]. Leibniz annonce qu'il possède une solution dans la lettre [6] mais ne donne aucun détail. De toute façon Rolle ne connaissait pas cette lettre.

Travaux de Rolle - *L'œuvre de Rolle comporte trois ouvrages :*

- R1 Traité d'Algèbre ou Principes généraux pour résoudre les questions de mathématique Paris 1690

- R2 Démonstration d'une méthode pour résoudre les égalités de tous les degrés ; suivie de deux autres méthodes dont la première donne les moyens de résoudre ces mêmes égalités par la Géométrie. Et la seconde pour résoudre plusieurs questions de Diophante (qui n'ont pas encore été résolues) Paris 1691

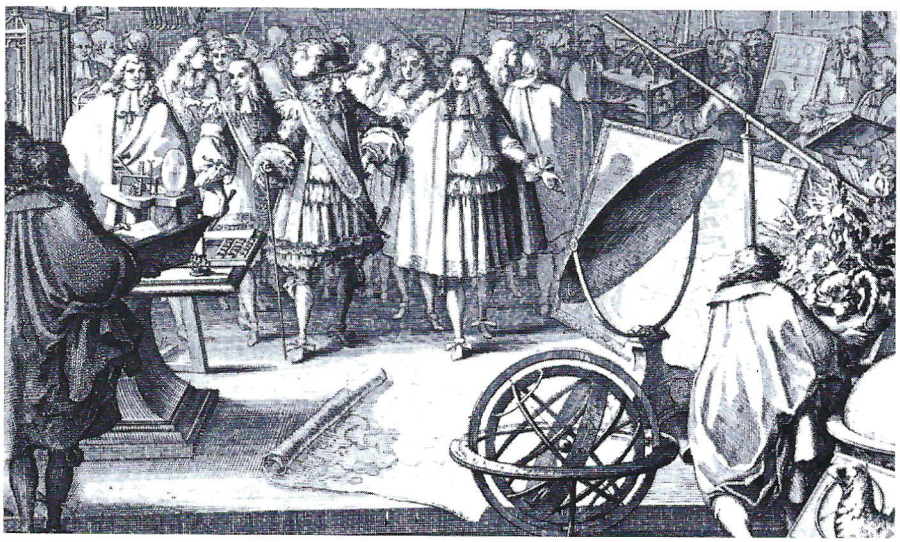
- R3 Méthode pour résoudre les équations indéterminées de l'algèbre. Paris 1699.

Malheureusement aucun de ces trois ouvrages ne se trouve à la B.M.I.U. de Clermont-Ferrand. Par contre, on peut y consulter les articles suivants :

- Anciens mémoires de l'Académie des Sciences, Tome X :
  p.19 (31 janvier 1692) Règles pour l'approximation des racines des cubes irrationnels
  p26-33 (15 mars 1692) : Méthode pour résoudre les égalités de tous les degrés qui sont exprimées en termes généraux.

- Mémoires de l'Académie des Sciences :
  1702 p 171-175, 1703 p132-139 : Remarques sur les lignes géométriques
  1703 p 312-336, Du nouveau système de l'infini
  1705 p 222-225, De l'inverse des tangentes
  1706 p 284-295, Méthode pour trouver les foyers des lignes géométriques de tous les genres
  1707.p 370-381, Recherches sur les courbes géométriques et mécaniques où l'on propose quelques règles pour trouver les rayons de leurs développés.
  1708 p 239-274 ; 1709 p 320-350 Eclaircissements sur la construction des égalités
  1709 p 419-451, De l'évanouissement des quantités inconnues
  1711 p 86-100, Règles et remarques pour la construction des égalités
  1713 p 243-261, Remarque sur un paradoxe des effections géométriques
  1714 p 15-22, suite des remarques
  on trouve aussi de nombreux articles dans le Journal des Savants depuis 1682 que l'on peut consulter sur http://gallica.bnf.fr

Aussitôt son article publié, Colbert qui se souciait de détecter et d'encourager les jeunes talents, le sort de l'obscurité et lui donne une pension. Il peut alors se dévouer entièrement à l'algèbre, ce qui lui vaut d'entrer à l'Académie des sciences en 1685 comme "élève astronome". Lisons ce qu'en dit Fontenelle (cf. [3]) "il n'y a point d'habiles mathématiciens qui ne sachent beaucoup d'algèbre ou du moins assez pour l'usage indispensable. Mais cette science poussée au-delà de cet usage ordinaire est si épineuse, si compliquée de difficultés, si embarrassée de calculs immenses et pour tout dire si affreuse que très peu de gens ont un courage assez héroïque pour s'aller jeter dans ces abîmes profonds et ténébreux. On est plus flatté de certaines théories brillantes où la finesse de l'esprit semble avoir plus de part que la dureté du travail. De plus, il ne s'agit dans l'algèbre que de l'art de démêler une grandeur inconnue à travers mille nuages qui la couvrent, supposé qu'on ait dessein de la connaître, mais ce dessein, ce sont d'autres parties des mathématiques, des intérêts particuliers pour ainsi dire qui les font naître en certaines occasions et on



Louis XIV visitant l'Académie des Sciences, frontispice du "Recueil de plusieurs traitez de mathématiques de l'Académie Royale des Sciences", 1676

les attend pour se donner la peine d'employer l'algèbre ou, ce qui est encore plus court quand l'affaire est venue là, on se contente de la renvoyer à l'algèbre qui est obligée de s'en charger. M. Rolle ne la traita pas ainsi, il l'aima pour elle-même et en brava toutes les horreurs sans se proposer autre chose que de les surmonter. Cependant, comme l'algèbre et la haute géométrie sont devenues inséparables, il pénétra ainsi jusqu'à cette géométrie, mais il n'alla jamais jusqu'à celle qui est mêlée de physique, peut-être parce que l'algèbre à laquelle il était si fidèle ne l'y conduisait pas nécessairement."

Rolle donne alors des leçons de mathématiques au quatrième fils du ministre Louvois, Camille le Tellier, abbé de Louvois (1675-1718), ce qui lui vaut une place au "Bureau de l'extraordinaire des guerres" mieux rétribuée que celle à l'Académie. Il essaie d'assurer les deux de front mais il y renonce bientôt pour se consacrer à la science.

En 1690 il publie un traité d'algèbre [R1] consacré à l'étude des équations algébriques, où il propose de noter comme nous le faisons aujourd'hui, à la suite d'Albert Girard (1629), $\sqrt[n]{a}$ et non $\sqrt{n}\,a$ la racine n-ième de a, puis à la suite de Robert Recorde (1557) = et non ∝ comme Descartes le signe d'égalité. Contrairement à Descartes, il adopte la relation d'ordre actuelle pour les réels : "je prends – 2a pour une quantité plus grande que – 5a". Dans ce traité, M Rolle étudie les systèmes d'équations du premier degré et emploie l'algorithme d'Euclide pour la résolution des équations en nombres entiers ou diophantiennes suivant en cela Bachet de Meziriac (1621) ; il utilise aussi cet algorithme pour la recherche du plus grand commun diviseur de deux polynômes. Dans l'ouvrage [R2] publié en 1691 il donne les démonstrations des résultats présentés dans le précédent et introduit la "méthode des cascades" pour séparer les racines réelles d'un polynôme P de degré n : si P admet deux racines réelles a et b, on peut écrire

P(x) = (x - a) (x - b) Q(x) où Q est un polynôme de degré n-2. En dérivant on obtient :

$$P'(x) = (x - b)\,Q(x) + (x - a)\,Q(x) + (x - a)(x - b)\,Q'(x)$$

d'où : P' (b) = (b - a) Q (b) et P' (a) = (a – b) Q (a)

Si P (donc Q) n'a pas de racine entre a et b, P'(a) et P'(b) sont de signes contraires et P' a une racine entre a et b. Il introduit ainsi "la cascade" des dérivées successives $P^{(k)}$ pour localiser successivement les racines de $P^{(n-1)}$ puis celles de $P^{(n-2)}$... jusqu'à celles de P.

Au début du XXème siècle, on appelait "suite de Rolle" d'un polynôme la suite des racines de sa dérivée, complétée par - ∞ et + ∞ (cf [8] p.174 et 332).

A la suite de Giusto Bellantis (1846), on appelle désormais "Théorème de Rolle" la généralisation à une fonction f définie et continue sur le segment [a, b] et dérivable sur]a, b[.cf. par exemple [2] Remarquons qu'une démonstration complète de ce théorème repose sur une bonne définition de l'ensemble des nombres réels qui ne sera acquise que dans le courant du XIXème siècle (Cauchy, Weierstrass, Dedekind...). L'importance de ce théorème en analyse vient de son corollaire dit "des accroissements finis" : si f est continue sur [a, b] et dérivable sur]a, b[, il existe un nombre c compris entre a et b tel que

$$f(b) - f(a) = (b - a)\,f'(c)$$

En particulier, si $|f'|$ est bornée sur]a, b[par une constante M alors

$$|f(b) - f(a)| \leq |b - a|M,$$

d'où le nom du corollaire.

En 1699 la réorganisation de l'Académie lui vaut de devenir pensionnaire géomètre ce qui lui assure un salaire régulier et lui permet de publier son troisième livre [R3] où il étudie comment résoudre des équations par intersections de courbes. Les deux autres géomètres de l'Académie sont l'abbé Galois, féru de mathématiques grecques et Pierre Varignon favorable au calcul différentiel de Leibniz (1684). Le Marquis de l'Hospital, lui aussi académicien, avait publié en 1695 son "Analyse des infiniment petits" [4] et la Compagnie était divisée sur l'accueil à faire à l'analyse infinitésimale.

C'est en 1701 que M. Rolle commence à s'élever avec impétuosité contre le calcul différentiel solidement défendu par Pierre Varignon qui publiera [10]

Rolle considère la courbe d'équation :

$$a^{1/3}(y - b) = (x^2 - 2ax + a^2 - b^2)^{2/3}$$

et il cherche les points d'ordonnée maximum en faisant dy = 0, soit

$$0 = 2/3\,(2x - 2a)\,(x^2 - 2ax + a^2 - b^2)^{-1/3}$$

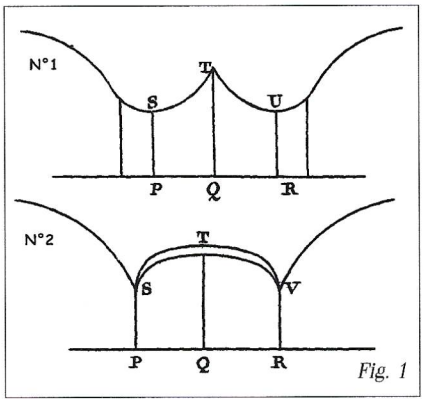


Fig. 1

d'où x = a. Une construction fausse de la courbe représentative (figure n°1) lui fait apparaître deux contradictions : il ne trouve pas la tangente horizontale au point T (maximum relatif), ni les tangentes verticales en S et V (minimum de y).

Il considère aussi l'exemple de la courbe d'équation.

$$y = 2 + \sqrt{4x} + \sqrt{4 + 2x} \qquad (1)$$

pour laquelle

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2}{\sqrt{4x}} + \frac{1}{\sqrt{4 + 2x}}$$; cette dérivée ne s'annule pas sur la demi-droite x ≥ 0, domaine de définition de y, mais y présente un minimum en x = 0

Si on chasse les radicaux, l'équation (1) s'écrit

$y^4 - 8y^3 + 16y^2 - 12y^2x + 48yx - 64x + 4x^2 = 0$ (2)

et représente une quartique (C) formée de quatre branches d'équation

$$y = 2 + \varepsilon_1\sqrt{4x} + \varepsilon_2\sqrt{4 + 2x}$$

avec $\varepsilon_1 = \pm 1$ et $\varepsilon_2 = \pm 1$

La figure 2 donne la courbe complète.

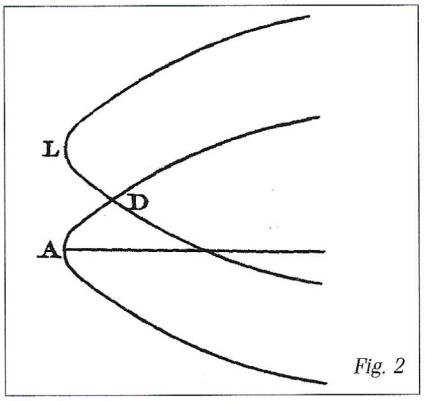


Fig. 2

Si l'on différentie (2) on obtient

$(4y^3 - 24y^2 + 32y - 24yx + 48x)dy + (-12y^2 + 48y - 64 + 8x)dx = 0$ qui, pour x=2, y=2, s'écrit 0dy+0dx=0 et Rolle y voit une contradiction avec le fait qu'en ce point D il n'y a ni maximum, ni minimum.

Un calcul plus précis (suivant une règle à laquelle on donnera le nom de l'Hospital) montre que (D) est un point double de (C) où les deux tangentes ont pour pente $\pm\frac{1}{2\sqrt{2}}$

met le doigt sur un fait important : la condition $\frac{dy}{dx}(x_0) = 0$ n'est ni une condition nécessaire, ni une condition suffisante pour que y possède un minimum ou un maximum en x0, et il faudra encore du temps pour préciser avec rigueur les énoncés. Nous serons donc moins sévère que Montucla [7] pour juger son travail "es autres objections de Rolle sont de la même trempe : méprises sur méprises, quelquefois erreurs de calcul et une confiance extrême... L'Académie fut assez longtemps le champ de bataille... elle nomma des commissaires qui ne tranchèrent pas... Mais le public, ou du moins les géomètres ont prononcé et ont adjugé tout l'avantage à Monsieur Varignon et tout le tort à son adversaire"

Finalement en 1706 Rolle fait amende honorable pour le calcul différentiel auprès de Fontenelle, Varignon et Malebranche, reconnaissant qu'il avait été poussé à la querelle en particulier par l'abbé Galois. Ne pouvant se passer de critiquer quelqu'un, Rolle s'attache à chicaner l'analyse de Descartes et en particulier sa "règle des signes" : dans une équation algébrique il peut y avoir autant de racines positives que d'inversions dans la suite des signes des coefficients et autant de racines négatives que de paires de signes consécutifs dans cette suite (cf. [8] pp.325-331.). Rolle donne des "contre exemples" ayant des racines imaginaires alors que l'énoncé de Descartes ("il peut") sous-entend que toutes les racines sont réelles. Certains, raconte Fontanelle, soupçonnaient Rolle de tendre des pièges aux autres mathématiciens par des questions pleines d'artifices (suivant un usage du XVIIème).

Ainsi, dans le "journal des scavans" en 1693 il offre un prix de 60 pistoles à qui résoudra, sans utiliser ses méthodes, le problème suivant : construire les racines d'une équation à partir d'un arc donné de courbe algébrique. Jean Bernoulli avait donné au Marquis de l'Hospital avant de quitter Paris une solution en latin en le chargeant d'en déposer une traduction en français au journal. Cette solution ne plut pas à Rolle qui entama une polémique dans cinq numéros du journal et garda les 60 pistoles.

La solution de Rolle dans le "Journal des scavans" du 31 août 1682*
les quatre nombres demandés sont :

Le premier (A) : $y^{20} + 21y^{16}z^4 - 6y^{12}z^8 - 6y^8z^{12} + 21y^4z^{16} + z^{20}$
Le second (B) : $10y^{18}z^2 - 24y^{14}z^6 + 60y^{10}z^{10} - 24y^6z^{14} + 10y^2z^{18}$
Le troisième (C) : $6y^{18}z^2 + 24y^{14}z^6 - 92y^{10}z^{10} + 24y^6z^{14} + 6y^2z^{18}$
Et le quatrième (D), somme des trois premiers car D-A=B+C,
où y et z sont deux entiers non nuls avec y < z

On vérifie que :

$B+C=16y^2z^2(y^8-z^8)^2$
$B-C=4y^2z^2(y^8-6y^4z^4+z^8)^2$
$A+B=[y^{10} + 5y^8z^2 - 2y^6z^4 - 2y^4z^6 + 5y^2z^8+z^{10}]^2$
$A- B=[y^{10} - 5y^8z^2 - 2y^6z^4 + 2y^4z^6 + 5y^2z^8 - z^{10}]^2$
$A+C=[y^{10} + 3y^8z^2 + 6y^6z^4 - 6y^4z^6 - 3y^2z^8-z^{10}]^2$
$A-C=[y^{10} - 3y^8z^2 + 6y^6z^4 + 6y^4z^6 - 3y^2z^8 + z^{10}]^2$

sont bien des carrés.
En particulier, pour z=2 et y=1, on trouve
A=2 399 057
B=2 288 168
C=1 873 432
D=6 560 657

La solution de Rolle n'est pas la plus petite, Euler donne celle-ci en 1770 :
A=434 657
B=420 968
C=150 568

Et on peut vérifier avec une calculette programmable que c'est bien la plus petite.

*Nous avons corrigé quelques coquilles et réordonné les polynômes

Mais il résolut des questions très réelles telles l'intersection de deux courbes en quatre points d'un même côté de l'axe et plus généralement celle de deux courbes algébriques dont les courbures sont de même signe.

Il méditait de rassembler et de développer la rédaction de tous ses travaux en des "éléments d'algèbre" mais ne mena pas à terme ce projet. En 1703 une première attaque d'apoplexie ne lui laisse pas de séquelles ; il n'en est pas de même en 1713 où il est frappé de paralysie, immobilisé chez lui jusqu'à sa mort le 8 novembre 1719.

En conclusion une riche personnalité, un algébriste hors pair qui a su clarifier l'utilisation du calcul différentiel alors en pleine gestation.

Références :

[1]d'ALEMBERT (Jean le Rond)
Encyclopédie Méthodique
Mathématiques (1784) Nouveau
Tirage ACL 1987
a) CASCADE tome 1, p. 311
b) RACINE tome 2, p. 274

[2] BOURBAKI N. Fonctions d'une variable réelle, chap. I, 2, n°1, p 18

[3] FONTENELLE (B. de) Eloge de M. Rolle Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1719 1ère Partie p.117

[4] L'HOSPITAL (Marquis de) Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes 1696 Réédition, Nouveau tirage ACL 1988

[5] ITARD J. Essais d'Histoire des Mathématiques, Blanchard 1984 p202-205

[6] LEIBNIZ G.W. Lettre à Oldenbourg (25 octobre 1674) opéra Omnia Tome III p3

[7] MONTUCLA J. E. Histoire des Mathématiques (Nouveau tirage 1960)
Vol II (1752) p157-158
Vol III (1802) p 110-119

[8] PAPELIER, G. Précis d'Algèbre, d'analyse et de Trigonométrie Vuibert (1920)

[9] ROUX D. Les 200 premiers problèmes de l'APMEP Brochure n°92, APMEP1993 p78-89

[10] VARIGNON P Eclaircissements sur l'analyse des infiniment petits (1725, nouveau tirage en 1988)

PASCAL MATHEMATICIEN

Par Dominique DESCOTES

Directeur du Centre International Blaise Pascal



Blaise Pascal

Pascal mathématicien a donné lieu à des jugements contradictoires. Les éloges hyperboliques que Chateaubriand accorde à "l'effrayant génie" censé avoir inventé les mathématiques ont parfois irrité des historiens, sans doute plus doués d'esprit géométrique que l'auteur du *Génie du Christianisme*, qui estimaient que Descartes et Fermat avaient eu une influence plus considérable que Pascal sur le développement ultérieur des mathématiques. Au fond, ce qui gêne surtout, c'est que Pascal se soit contenté, comme dit un philosophe, d'une pratique "éparpillée" des mathématiques qui "ne reflète pas une pratique unifiée", qu'il n'ait pas produit une synthèse de ses recherches, qu'il n'ait pas su voir les possibilités que l'analyse algébrique offrait en ce sens, et au fond qu'il n'ait pas, comme Descartes, composé une *Géométrie* adossée à un *Discours de la méthode.*
A première vue en effet, le reproche paraît pertinent : le rapport entre les travaux sur les sections coniques, le triangle arithmétique, l'amorce du calcul des probabilités et les travaux sur la cycloïde n'est pas immédiatement évident. Mais il n'est peut-être pas inutile de revenir un moment sur ce point, et de se demander si, malgré tout, l'œuvre mathématique de Pascal ne comporte pas quelques lignes directrices majeures.
Une remarque préalable s'impose : nous ne connaissons, de cette œuvre mathématique, qu'une partie restreinte. De nombreux textes sont actuellement perdus. Faisons un rapide bilan.

L'ouvrage dont la disparition a revêtu le caractère le plus dramatique est l'*Introduction à la géométrie* : vers 1655, Pascal et son ami Antoine Arnauld ont discuté sur l'enseignement de la géométrie, sans doute à l'occasion des activités des petites Ecoles de Port-Royal ; Pascal composa des *Eléments de géométrie*, contre lesquels Arnauld formula de vives critiques, si bien que Pascal le mit au défi d'en faire de meilleurs ; Arnauld écrivit alors ses propres éléments, qui donnèrent lieu par la suite à la publication des *Nouveaux éléments de géométrie* de Port-Royal. Les jugeant supérieurs, Pascal aurait condamné son propre ouvrage au feu : nous n'en avons conservé que la première page, grâce à une copie de Leibniz qui permet pourtant d'y reconnaître un travail d'une puissante originalité.

Autre disparition : le petit traité de mécanique géométrique mentionné dans *L'Equilibre des liqueurs*, qui montrait "la raison de toutes les multiplications de forces qui se trouvent en tous les (...) instruments de mécanique", établissant qu'en tous, "les poids inégaux qui se trouvent en équilibre par l'avantage des machines sont tellement disposés par la construction des machines que leur centre de gravité commun ne saurait jamais descendre, quelque situation qu'ils prissent". Rien ne subsiste de ce petit ouvrage.

Le petit rapport que Pascal a adressé en 1654 à ses collègues de l'Académie Le Pailleur, épigone de l'Académie Mersenne, donne la mesure des pertes : les travaux sur les carrés magiques et magiquement magiques ; *un Apollonius français généralisé* sur les contacts circulaires, un ouvrage sur les contacts sphériques, un autre sur les contacts coniques ; une méthode de perspective, "plus ramassée que toutes celles qui ont été inventées, et des travaux de gnomonique.

Enfin un grand massif a presque complètement disparu : le grand traité latin sur les sections coniques. Nous possédons encore *l'Essay pour les coniques* de 1640 : un bref placard dans lequel Pascal formulait quelques-unes de ses découvertes, et annonçait des travaux plus substantiels. Du traité que Pascal a composé, qui faisait l'admiration de P. Mersenne, nous ne connaissons que les premières pages, *la Génération des sections coniques,* recopiées par Leibniz, auquel la famille de Pascal a prêté le manuscrit pour le mettre en ordre. Nous ne connaissons guère le reste que par les notes de lecture retrouvées dans les papiers de Leibniz.

Les sections coniques, c'est-à-dire les courbes du second degré (parabole, hyperbole et ellipse) ont constitué un terrain de travail fécond pour les géomètres français dans la première moitié du XVIIe siècle. L'intérêt suscité par la traduction des quatre premiers livres *Des coniques* du géomètre grec Apollonius de Perge au XVIe siècle, a été renouvelé en 1629 par la découverte par Jacques Golius des livres V à VII, traduits en arabe. Dans le cercle des savants parisiens qui se réunissaient autour du P. Mersenne, Claude Mydorge avait cherché à généraliser Apollonius, et à appliquer les coniques à l'optique. Mais Pascal s'est surtout inspiré des travaux puissamment originaux de l'ingénieur et géomètre Girard Desargues. Celui-ci voyait dans la géométrie un moyen de simplifier les règles graphiques utilisées par les artisans pour la coupe des pierres, la construction des fontaines, la gnomonique et l'architecture, par la recherche des principes sur lesquels se fondent les diverses techniques. Son sens de la généralisation le conduisait à unifier les différentes sections coniques, parabole, hyperbole et ellipse, en engendrant ces courbes par des sections d'un même cône coupé par des plans différemment orientés, et en les considérant toutes comme des images

ou des projections du cercle base du cône. La parabole est l'image d'un cercle situé sur un cône, lorsque l'une des génératrices du cône est parallèle au plan de section. L'hyperbole est engendrée lorsque la surface conique a deux parallèles au plan, et l'ellipse lorsqu'elle n'en a aucune. Mais Desargues considérait que deux droites se coupent toujours, soit à distance finie lorsqu'elles sont sécantes, soit à distance infinie lorsqu'elles sont parallèles, de sorte que parallèles et sécantes ne sont que deux cas particuliers d'une même réalité. Il n'y avait donc pas lieu de considérer les trois coniques comme réellement distinctes : toute la différence tient dans le fait que, pour deux d'entre elles, certaines génératrices coupent le plan à distance infinie. Du même coup, on peut trouver les propriétés des sections coniques en les démontrant d'abord sur le cercle dont elles sont l'image, puis en les étendant aux autres courbes par projection. Il suffit ensuite, grâce à la notion d'involution, qui désigne une disposition particulière de trois couples de points pris sur un axe, qui permet de caractériser une conique, de ramener l'étude des coniques dans le plan.

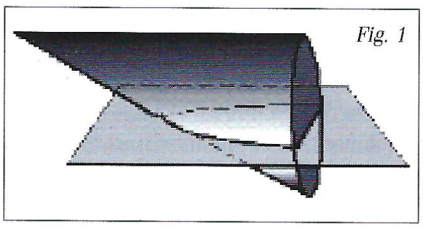


Fig. 1

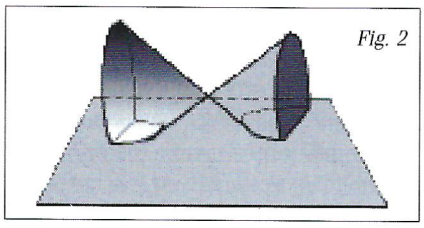


Fig. 2

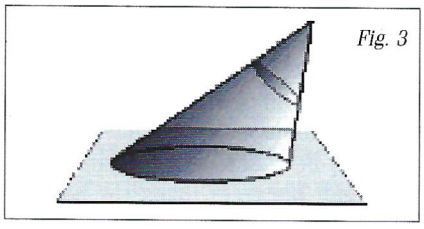


Fig. 3

Malgré leur originalité, sans doute en raison du vocabulaire français, mais très baroque, dont Desargues usait pour se faire comprendre des artisans, ses travaux furent généralement mal reçus : on n'admit guère qu'il traduisît *hyperbole* par *outrepassement*, ou *ellipse* par *défaillement*.

Le peu qui reste de la *Generatio conisectionum* montre que Pascal a bien assimilé la méthode de Desargues. Il définit les coniques avec la même généralité : "Un plan et une surface conique peuvent se rencontrer en six manières. Ou bien le plan rencontrera la surface conique au seul point sommet : la conique est alors un point ; ou bien le plan passe par le sommet et touche la surface conique suivant une des verticales : une telle conique est une ligne droite ; ou bien il passe par le sommet et partage la surface entière en deux parties égales : une telle conique est un angle rectiligne ; ou bien il ne passe pas par le sommet et n'est parallèle à aucune des verticales : une telle conique est une antobole, car elle revient sur elle-même ; ou bien, de nouveau, il ne passe pas par le sommet et est parallèle à une seule des verticales : une telle conique se nommera parabole ; ou bien il ne passe pas encore par le sommet et est parallèle à deux des verticales, et cette section se nommera hyperbole. Il y a donc six espèces de coniques : le point, la ligne droite, l'angle rectiligne, l'antobole, la parabole, l'hyperbole." Puis il définit les parallèles comme Desargues : "Deux droites ou davantage, quelle que soit leur position, sont toujours dites concourantes, soit à distance finie, si elles se coupent en un même point, soit à distance infinie, si elles sont parallèles. "Il fait ressortir avec vigueur la conception projective : "De là découle évidemment que, si l'œil est au sommet du cône, si l'objet est la circonférence du cercle qui est la base du cône, et si le tableau est un plan qui rencontre de part et d'autre la surface conique, alors la conique qui sera engendrée par ce plan sur la surface conique, soit point, soit droite, soit angle, soit antobole, soit parabole, soit hyperbole, sera l'image de la circonférence du cercle." L'unification des coniques est ainsi réalisée.

La suite de l'ouvrage n'est connue que par fragments. Il était constitué d'une suite de plusieurs petits traités en latin. Le premier, intitulé *De hexagrammo mystico*, était le fondement de tout le reste. Cette dénomination curieuse signifie sans doute que *l'hexagramme* en question contenait tout le secret de la méthode de Pascal : il servait à généraliser le théorème de l'hexagone formulé dans *l'Essai pour les coniques*, qui affirme que les côtés opposés d'un hexagone inscrit dans une conique, comme ONKPQV, se coupent sur une même droite. Mais la dénomination *d'hexagramme*, qui implique *six lettres*, et non *six points*, suggère que ce théorème était complété par des considérations d'analyse combinatoire, familières à Pascal.

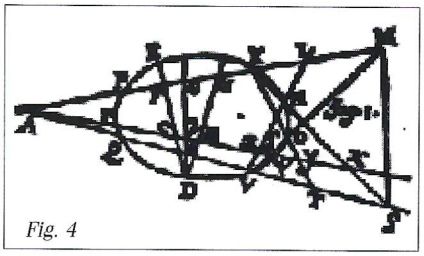


Fig. 4

De notre point de vue, il est intéressant de remarquer que l'un des traités, le *De loco solido*, abordait le problème dit *de Pappus* à quatre droites, que Pascal, à partir du théorème de l'hexagramme mystique, ramenait à la définition générale d'une conique. Or ce problème était celui par lequel, dans *sa Géométrie*, Descartes cherchait à montrer la puissance de sa méthode analytique, en établissant une classification algébrique des coniques. Il semble bien que, dans l'esprit de Pascal, sa solution constituait une *défense* et *illustration* de la géométrie pure, qui montrait que le problème en question était à la portée de la géométrie projective, au détriment d'une analyse algébrique dont Pascal n'a jamais été grand défenseur. On voit combien la perte de cet ouvrage est regrettable pour l'histoire des idées mathématiques.

Malgré ces pertes subsistent trois massifs impressionnants.
Nous ne pouvons mentionner qu'en passant la machine arithmétique[1]. Le plus étonnant pour les contemporains, et le plus intéressant pour nous du point de vue rétrospectif, c'était la mécanisation d'opérations de calcul dont on pensait que seul l'esprit humain était capable. Mais il est plus important pour nous de remarquer que l'invention de la machine date de la même époque que les travaux de géométrie sur les coniques. Car la *Pascaline* n'est pas seulement un chef d'œuvre technique : sa construction enferme une réflexion sur la doctrine des nombres. Pour parvenir à effectuer les deux opérations inverses d'addition et de soustraction par un même mouvement des tambours qui portent les chiffres qui défilent aux fenêtres, Pascal a marqué ces chiffres

par ordre croissant sur la rangée du haut, et décroissant sur la rangée du bas, de telle manière lorsque le tambour tourne, les chiffres vont croissant sur l'une et décroissant sur l'autre. Il suffit que ces nombres soient complémentaires, c'est-à-dire que leur somme soit toujours 9, pour qu'à toute addition sur la rangée supérieure corresponde une soustraction équivalente sur l'inférieure[2].

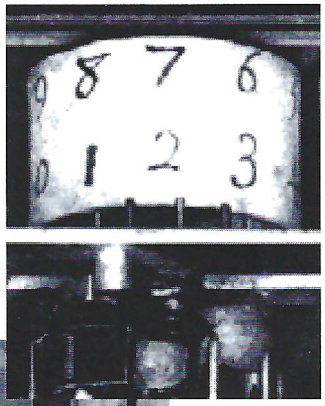


Fig 6

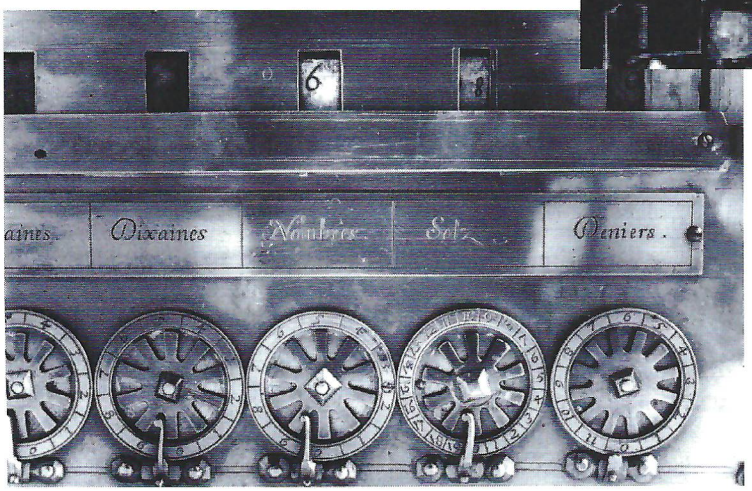


Fig 5

Ce principe témoigne d'une réflexion sur la nature des nombres directement liée au second des grands traités pascaliens, le *Triangle arithmétique*.
Le triangle arithmétique est une table numérique en forme de potence, dans laquelle les nombres s'engendrent par un procédé d'addition constant : une première rangée de nombres est formée d'unités ; pour les autres, toute cellule reçoit un nombre qui est la somme de toutes les cellules du rang supérieur ; on peut aussi construire la table en additionnant la cellule supérieure et la cellule de gauche d'une cellule donnée. Pascal n'en est pas l'inventeur : plusieurs auteurs de la Renaissance, Cardan, Tartaglia, Stifel, Stevin, et même chez les Chinois, l'ont précédé. Mais il est le premier qui en ait étudié systématiquement toutes les propriétés.

Comme le traité sur les coniques, le *Triangle arithmétique* est constitué d'une suite d'opuscules dont la liaison n'est pas toujours évidente[3]. Elle s'ouvre sur un *Traité du triangle arithmétique*, qui étudie les rapports qui existent entre les nombres des cellules et les indices de leur rang horizontal, de leur rang vertical et de leur base. Ainsi par exemple Pascal montre que la somme des nombres d'une base est toujours double de la précédente, comme on peut le vérifier sur la figure. Dix-huit conséquences se succèdent ainsi, qui n'épuisent pas, dit Pascal, les secrets du triangle arithmétique.

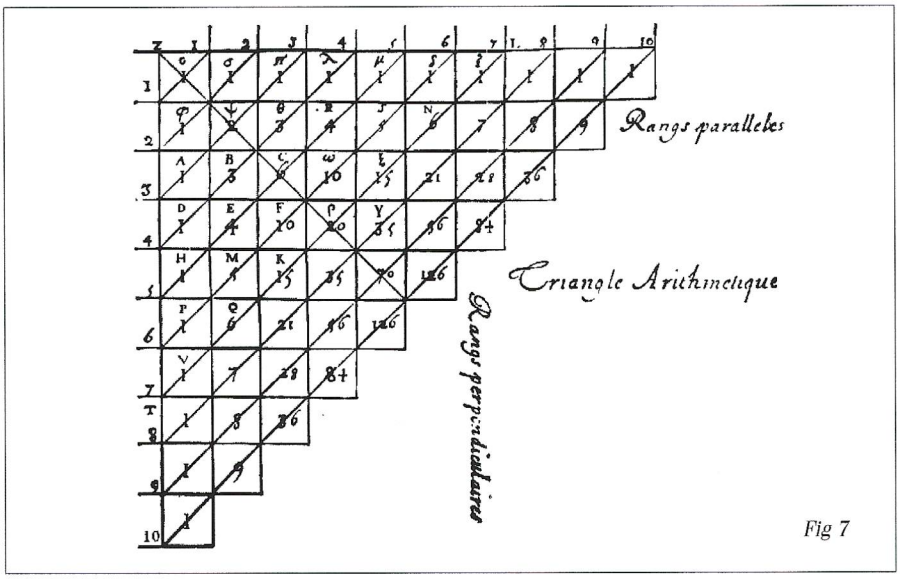


Fig 7

A la suite viennent plusieurs *Usages du triangle arithmétique*, autrement dit des applications à des secteurs différents des mathématiques, qu'on ne penserait pas, *a priori*, à relier entre eux.

T1 . T2 . . T3 . . .
. . .
.

Le premier est consacré à ce qu'une tradition qui remonte aux Pythagoriciens appelle *figurés*, parce qu'on peut les présenter par des points disposés en formes géométriques. Les nombres du troisième rang sont ainsi dits triangulaires.

Ceux du quatrième rang, les *pyramidaux*, peuvent être représentés par des pyramides trilatères. Ces nombres sont engendrés par addition des nombres de l'ordre précédent, suivant la même règle que ceux qui composent le triangle arithmétique : les unités engendrent les naturels ; les naturels engendrent les triangulaires, et les triangulaires les pyramidaux. Pascal montre sans difficulté qu'en reformulant les propriétés des rangs et des bases qu'il a établies dans le premier traité en termes purement numériques, on parvient à "arracher des secrets" aux nombres, et notamment aux produits de nombres continus.
Le second usage du triangle arithmétique concerne les combinaisons. "Lorsque de plusieurs choses on donne le choix d'un certain nombre, toutes les manières d'en prendre autant qu'il est permis entre toutes celles qui sont présentées s'appellent ici les différentes combinaisons" : par exemple, A, B, C, AB, AC, BC et ABC, sont les combinaisons des termes A, B et C. Les cellules du triangle arithmétique ont un rapport avec les combinaisons : "le nombre de quelque cellule que ce soit égale la multitude des combinaisons d'un nombre moindre de l'unité que l'exposant de son rang parallèle, dans un nombre moindre de l'unité que l'exposant de sa

[1] *Sur la machine arithmétique, dont la ville de Clermont possède deux exemplaires, on doit renvoyer à l'excellent ouvrage de Guy MOURLEVAT, Les machines arithmétiques de Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, La Française d'Edition et d'imprimerie, 1998.*

[2] *Dans le cas d'une machine destinée au calcul abstrait. Pour les machines qui servent aux calculs financiers, il en va un peu autrement. Mais le principe demeure le même.*

[3] *En fait, il existe deux impressions du Triangle arithmétique, la plus ancienne en latin, l'autre, partie en français, partie en latin. Pour simplifier, je m'appuierai sur la seconde. Le lecteur curieux peut comparer les deux versions dans l'édition des Œuvres complètes de Pascal par Jean Mesnard, II, Desclée de Brouwer, 1970, p. 1166 sq.*

base". Par exemple, la cellule B appartient au rang 2 et à la base oblique 4 : elle contient le nombre 3 (deuxième nombre triangulaire), qui répond à C_{4-1}^{2-1}, c'est-à-dire à C_3^1. En effet, il y a trois manières de prendre un élément dans un ensemble de 3. "Par le rapport qu'il y a des cellules et des rangs du triangle arithmétique aux combinaisons, il est aisé de voir que tout ce qui a été prouvé des uns convient aux autres suivant leur manière". Un petit traité latin expose brièvement de nombreuses propriétés des combinaisons qui peuvent être lues directement sur le triangle arithmétique.

L'*Usage* suivant est plus novateur. Entre juin et octobre 1654, Pascal a échangé avec Fermat une correspondance sur les problèmes de jeu, ou plus exactement sur ce qu'ils appelaient les *partis*, c'est-à-dire la question de savoir quelle *part* de l'enjeu revient à chaque joueur lorsque le jeu est interrompu au bout d'un certain nombre de parties, étant entendu que ce *partage* doit être proportionnel aux chances que chaque joueur aurait de gagner si la partie était menée à son terme. Fermat utilisait la méthode des combinaisons. Pascal, lui, procédait de manière plus concrète, en remontant des dernières parties aux premières, pour déterminer de proche en proche ce qui revient à chaque joueur selon la situation du jeu. Mais il a aussi découvert qu'à condition de connaître le nombre de parties qui manquent aux deux joueurs et celui qui manque à l'un d'entre eux, il pouvait "déterminer les partis qu'on doit faire entre deux joueurs qui jouent en plusieurs parties", en lisant directement sur le Triangle arithmétique la répartition des enjeux qui doit être faite en proportion des chances que chacun aurait de gagner la partie. La fécondité du Triangle s'étendait donc à ce que Pascal appelait la *géométrie du hasard*.

Le dernier opuscule du traité témoigne qu'elle allait encore au-delà. Pascal établit dans le dernier Usage que le Triangle arithmétique donne les coefficients des puissances des binômes. En fait, cette application l'intéresse surtout parce qu'elle lui permet de calculer des sommes de puissances numériques. La sommation des puissances numériques consiste à trouver la somme de plusieurs nombres formant une suite arithmétique, tous portés à une même puissance. Par exemple, pour la première puissance des nombres naturels, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7..., on demande T :

$T = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7...$

On peut aussi chercher la somme de carrés, de cubes, à l'infini :

$1^2+2^2+3^2+4^2+5^2+\ldots$

$1^n + 2^n + 3^n + 4^n + \ldots$

Bref, "étant donné autant qu'on voudra de nombres, en progression quelconque, commençant par un nombre quelconque, trouver la somme de leurs puissances de degré quelconque".

La formule de Pascal est entièrement arithmétique. Mais dans sa conclusion, il révèle qu'elle est surtout utile au géomètre : correctement employée, elle permet de mesurer les aires des paraboles. Imaginons en effet que l'on accole des rectangles dont la base est égale à l'unité, mais dont les hauteurs se succèdent comme les carrés, 1, 4, 9. Si l'on multiplie les divisions de la base, les lignes diagonales vont progressivement approcher le tracé d'une courbe parabolique, dont les ordonnées verticales seront comme les carrés des abscisses. La somme des surfaces des rectangles approchera de plus en plus de la surface parabolique elle-même, et il suffira de négliger les excès en forme d'escalier, selon des règles que Pascal fournit à cet effet, pour carrer la parabole. Pascal en tire les règles suivantes applicables à la quantité continue : la somme des carrés de plusieurs lignes "est au cube de la plus grande comme 1 à 3", c'est-à-dire que l'aire de la parabole est égale au tiers du rectangle construit sur la base et sur la hauteur.

La conclusion de cet opuscule résume tout l'ouvrage, en insistant sur "la liaison, digne d'une admiration inlassable, que la nature éprise d'unité établit entre les choses les plus éloignées en apparence", en s'appuyant sur cet exemple, "où l'on peut voir la mesure d'une grandeur continue inséparable de la sommation des puissances numériques." C'est aussi bien la thèse fondamentale de tout le traité, qui montre que le Triangle arithmétique est un de ces outils féconds qui révèlent ces rapports que la nature institue entre des domaines tout à fait disjoints en apparence.

Les *Lettres de A. Dettonville contenant quelques-unes de ses inventions de géométrie*, publiées en 1658-1659, dernier ouvrage mathématique de Pascal, sont nées du concours que Pascal a proposé aux mathématiciens de l'Europe. Elles portent principalement sur la cycloïde, ou trochoïde, ou encore roulette, dont Pascal écrit qu'elle "est une ligne si commune, qu'après la droite et la circulaire, il n'y en a point de si fréquente ; et elle se décrit si souvent aux yeux de tout le monde qu'il y a lieu de s'étonner qu'elle n'ait point été considérée par les anciens (...) : car ce n'est autre chose que le chemin que fait en l'air le clou d'une roue, quand elle roule de son mouvement ordinaire, depuis que ce clou commence à s'élever de terre, jusqu'à ce que le roulement continu de la roue l'ait rapporté à terre, après un tour entier achevé ; supposant que la roue soit un cercle parfait, le clou un point dans sa circonférence, et la terre parfaitement plane".

Fig 8

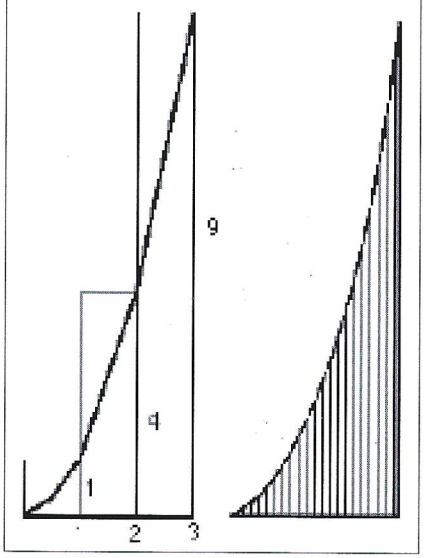
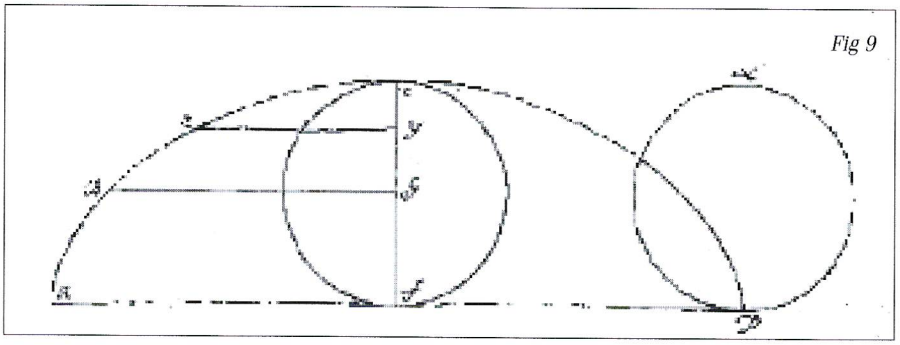


Fig 9



Les problèmes proposés touchaient principalement la mesure de l'espace de la roulette compris entre la courbe, l'axe et une ordonnée à l'axe, la cubature des solides engendrés par la rotation de cet espace autour de sa base et celle des solides formés par la rotation du même espace autour de l'axe ; Pascal y ajouta plus tard la dimension de la surface décrite par cette courbe dans sa rotation autour de la base ou de l'axe ; mais surtout il demandait les centres de gravité de la portion de roulette, de sa courbe, de ses solides, et des surfaces de ces solides, problèmes particulièrement difficiles pour l'époque.

En fait, la roulette intéressait moins Pascal en elle-même que parce qu'elle permettait de mettre à l'épreuve la puissance des "méthodes pour la dimension et les centres de gravité des solides, des surfaces planes et courbes" qu'il avait élaborées.

Or cette méthode consiste à nouveau, dans un contexte qui fait intervenir l'infini, dans la mise en œuvre conjointe de l'arithmétique et de la géométrie. Elle repose sur une base arithmétique étroitement liée aux réflexions relatives aux nombres figurés : ce que Pascal appelle les *sommes triangulaires*. Pascal appelle *somme triangulaire de plusieurs grandeurs* A, B, C, et D, prises à commencer par A, leur somme dégressive, en prenant la première une fois, la seconde deux fois, la troisième trois fois, etc., suivant les nombres naturels :

A	B	C	D
	B	C	D
		C	D

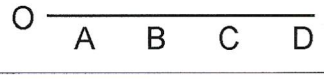
Soit : A + 2 B + 3 C + 4 D.

Ou, ce qui revient au même, toutes les grandeurs, puis toutes sauf une, puis toutes sauf deux, etc. :
(A + B + C + D) + (B + C + D) + (C + D) + (D)

Cette définition est de nature arithmétique; elle rejoint les préoccupations du précédent traité sur les nombres figurés.

Mais Pascal en dévoile immédiatement l'utilité pour une recherche sur les centres de gravité. Imaginons un bras de balance sur lequel sont placés, à intervalles égaux à partir du centre O, quatre poids A, B, C et D. La force exercée par chaque poids dépend de son éloignement du centre O. Par conséquent, en supposant chaque intervalle égal à l'unité, le *moment statique* global de ces poids sera exprimé par leur somme triangulaire. A partir de quoi Pascal est en mesure de déterminer le centre de gravité commun de tous ces poids.

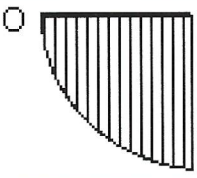
Fig 10



Imaginons à présent que soient suspendus au bras de balance des plans rectangulaires d'une matière supposée homogène espacés régulièrement sur l'axe. On peut calculer la somme triangulaire de leurs poids, qui exprime leur moment statique à partir de O : on comptera une fois la première ordonnée à partir de O, deux fois la seconde, trois fois la troisième, et ainsi de suite. Et si l'on connaît cette somme triangulaire, on peut trouver, par la méthode de Pascal, le centre de gravité de ces différents poids.

On passe alors dans la géométrie. Imaginons que les divisions du bras de balance soient multipliées à l'infini (Pascal dirait indéfiniment). Les excès en escalier iront diminuant, de telle sorte que la somme des rectangles se confondra enfin avec ce que Pascal appelle un *triligne rectangle*, composé par deux segments rectilignes perpendiculaires, et une ligne courbe. Pascal ne craint pas d'écrire que la somme des ordonnées verticales est égale à la surface du triligne, et que leur somme triangulaire permet de trouver le centre de gravité du triligne. Une application plus complexe des mêmes principes conduit aussi aux centres de gravité des solides de rotation demandés.

Fig 11



Naturellement, comme dans le *Potestatum numericarum summa*, toute la difficulté tient dans le fait que, dans cette méthode, Pascal applique les nombres, qui sont des quantités discontinues, à la géométrie, c'est-à-dire à la grandeur continue, et que ce passage enveloppe la considération de l'infini. Il consacre à cette application de longs Avertissements, qui expliquent pourquoi, et dans quelles limites, il est permis de parler de l'espace en termes arithmétiques, et de traiter des surfaces ou des solides comme s'ils étaient des sommes simples ou des sommes triangulaires de lignes.

Il n'est pas possible, dans les étroites limites d'un article, d'entrer plus avant dans les problèmes très complexes que posent les *Lettres de A. Dettonville*. Mais il faut souligner que, contrairement à ce que l'on écrit parfois, sous sa diversité apparente, l'œuvre mathématique de Pascal comporte une forte unité, une continuité, qui tient dans les préoccupations fondamentales. Certes, Pascal est soucieux de développer les méthodes mathématiques : il sait reconnaître la véritable originalité des méthodes de Desargues sur les coniques ; il s'intéresse aux diverses manières de traiter la géométrie du hasard ; mais ce souci des méthodes ne le conduit pas, comme Descartes dans sa *Géométrie*, à se contenter de proposer des *modus operandi*. En fait le fil directeur de sa réflexion, c'est toujours le problème du rapport entre l'arithmétique et la géométrie, entre les nombres et l'espace, qui implique nécessairement la question de l'infini. Cette réflexion réapparaît à toutes les étapes de sa carrière, même dans les ouvrages qui ne relèvent pas de la mathématique. Pascal l'aborde dans son opuscule sur *L'esprit géométrique*, où il s'interroge sur la division infinie de l'espace, du temps et du nombre. Il y revient dans le célèbre texte sur le pari, qui examine les paradoxes du nombre infini, auquel l'unité n'ajoute rien, et de l'espace infini, auquel un pied n'ajoute rien. Il y revient encore dans le fragment sur les trois ordres, où la méditation sur les rapports entre les infinis de différents ordres débouche sur un véritable poème. D'une certaine manière, c'est toute son œuvre qui constitue une réflexion sur la liaison que la nature institue entre les différents genres de réalités, et sur le principe qu'énonce le fragment 698 : "La nature s'imite. Une graine jetée en bonne terre produit. Un principe jeté dans un bon esprit produit. Les nombres imitent l'espace qui sont de nature si différente. Tout est fait et conduit par un même maître."

N. BOURBAKI, L'AUVERGNAT

Par Paul-Louis HENNEQUIN

Il n'est pas possible de raconter en peu de mots la genèse, à la fois parisienne et provinciale de ce mathématicien polycéphale ni de décrire avec précision le rayonnement mondial des 7000 pages de son traité et son influence à la fois sur les recherches et l'enseignement du vingtième siècle. Nous renvoyons à la thèse de Liliane Beaulieu (1), spécialiste incontestée du sujet et aux ouvrages de Michèle Chouchan (2) et de Maurice Mashaal (5) facilement accessibles et abondamment documentés et illustrés, ainsi qu'aux mémoires d'André Weil (7) et de Laurent Schwartz (6).
Nous allons nous contenter ici de préciser les relations de Nicolas (prénom qui lui sera donné fin 1935) avec l'Auvergne.

La naissance, Besse-en-Chandesse, juillet 1935

En 1934, Henri Cartan et André Weil sont tous deux maîtres de conférences à l'université de Strasbourg et discutent du cours de calcul différentiel et intégral qu'enseigne Cartan, mécontent des insuffisances du traité de Goursat. Ils se mettent d'accord sur la nécessité d'écrire un bon traité d'analyse en réunissant cinq ou six de leurs amis (Claude Chevalley, René de Possel, Jean Delsarte, Jean Dieudonné) qui donnent le même enseignement dans des universités variées. Les premières réunions ont lieu durant l'hiver 1935 dans les arrière-salles du café Capoulade au Quartier Latin. Y participent, outre les déjà cités, Paul Dubreil, Jean Leray et Szolem Mandelbrojt., mais Dubreuil et Leray quitteront le navire avant l'été : en avril Jean Coulomb remplacera Dubreuil et en été Charles Ehresmann remplacera Leray.

Encart n°1 : Les neufs fondateurs du Congrès de Besse

Henri Cartan (né le 8 Juillet 1904)



Il est vrai que certains prétendent que la mathématique n'est véritablement une science et qu'elle relève plutôt de la philosophie, pour la raison, dit-on, qu'en mathématique on n'a pas à se confronter avec le monde réel. Je ne sais si une telle vision implique un jugement flatteur sur la philosophie, mais je me réserve de discuter de son bien-fondé en ce qui concerne les mathématiques. L'on pourrait aussi défendre la thèse selon laquelle les mathématiques relèvent plutôt de l'art, et pour ma part je trouve qu'il y a une part de vérité dans cette façon de voir. Une théorie mathématique bien faite inspire en effet un sentiment esthétique, comme une belle construction en architecture ou en musique ; de plus il est certain que les qualités esthétiques d'une belle théorie en facilitent la diffusion et la rendent apte à une utilisation efficace. Cependant, vouloir réduire les mathématiques à une branche de la philosophie ou à une manifestation d'ordre purement artistique serait méconnaître leur véritable nature, et le mathématicien qui cherche sait bien que l'essentiel de sa démarche est d'un autre ordre.

Henri Cartan, recevant la médaille d'or du CNRS, 1977

Jean Coulomb (1904-1999)



Né à Blida (Algérie), en 1904, de parents enseignants, Jean Coulomb les a suivis à Alger en 1910 puis à Marseille en 1920. Normalien en 1923, agrégé de mathématiques en 1926, bénéficiaire d'une faible bourse après son service militaire, il est devenu par hasard préparateur de Marcel Brillouin, professeur de physique mathématique au Collège de France. Ce fut le début d'une étrange carrière où Jean Coulomb a beaucoup travaillé, beaucoup écouté les autres et tenté de les aider. Plus que par des travaux scientifiques, il a ainsi joué un rôle dans des organismes variés : directeur général du Centre national de la recherche scientifique puis président du Centre national d'études spatiales ; membre et président pendant deux ans de l'Académie des sciences, etc... Il a trouvé partout des motifs de réel intérêt et laissé des amis chers.

Autobiographie, 1999

Jean Dieudonné (1906-1992)



Dieudonné, qui avait une voix puissante, dominait les discussions des congrès. Il donnait régulièrement sa démission en tonnant. Cela ne signifiait pas grand-chose et, généralement, il continuait comme avant. Une fois cependant, il rentra dans sa chambre et se coucha. Certains sujets le faisaient démissionner automatiquement. Par exemple, il voulait que les espaces vectoriels topologiques figurent avant l'intégration parce qu'on se sert d'eux dans la théorie de l'intégration. Que quelqu'un s'avisât de proposer qu'on la place avant les espaces vectoriels topologiques et Dieudonné lançait sa légendaire démission.
On riait beaucoup et on s'amusait bien dans tous les congrès Bourbaki. Tout type de mandarinat était proscrit, le tutoiement de rigueur, et l'ironie vivement recommandée.

Laurent Schwartz, 1997

Mais déjà Dieudonné a bondi sur l'estrade, chaussé de crèpe, devant le tableau noir. C'est un poids lourd, un géant aux dents blanches et à la mâchoire incassable : c'est un policeman de New-York. Il a le cheveu dru, les convictions profondes, un complet brun, il est jovial et décidé et sa géométrie s'enflamme. Si persuasif qu'il a toujours raison. Il est saisi par les mathématiques. On ne comprend rien et on l'approuve. Il dit "Bien sûr !", "Evidemment !", "Naturellement !", "Nécessairement !". Tout est facile. Son tableau noir prend tout un mur. Il y déchaîne des drames du nombre qui l'entraînent : "c'est ici, explique-t-il, que les choses se gâtent, c'est là qu'il se passe des horreurs." La réalité devient lointaine. On nage au milieu des étoiles... On entend soudain le savant professeur crier : "Deuxième partie", au milieu de ce songe d'opiomane. On se sent chez le sorcier, chez le prophète, on se croit dans la grotte aux oracles, on se figure voir les pieds de M. Bourbaki qui dépassent sous le torchon de la craie. On objecte, il triomphe, il rit, et l'abstraction lui rend des forces ; Dieudonné rebondit sur ses semelles de crèpe. "Les ailes de son âme ne fléchissent pas de bonne heure, ses pores ne sont pas obstrués."

Alexandre Vialatte, 1952

Claude Chevalley (1909-1984)

Pour lui, il était important de percevoir les questions dans leur ensemble, de comprendre la nécessité d'une démonstration, ses significations globales. La rigueur, tous les membres de Bourbaki y ont été attentifs : le mouvement Bourbaki a démarré essentiellement parce que les mathématiques françaises en manquaient terriblement, par comparaison aux mathématiques allemandes, c'est-à-dire hilbertiennes. La rigueur consistait à se débarrasser d'un amoncellement de détails superflus. A l'inverse, le manque de rigueur donnait à mon père l'impression d'une démonstration où l'on marcherait dans la boue, où l'on soulèverait des sortes d'immondices pour avancer. Quand on les avait écartés, on pouvait accéder à l'objet mathématique, une sorte de corps cristallisé dont l'essentiel est la structure. Quand cette structure était construite, il disait être intéressé par cet objet, pour le regarder, l'admirer, presque le faire tourner, mais certainement pas pour le transformer. Pour lui, la rigueur en mathématiques consistait à produire un objet nouveau qui puisse devenir immuable par la suite.



Si l'on observe la façon dont mon père travaillait , il semble que c'était d'avantage cela qui comptait, cette production d'un objet qui, alors, devenait inerte, mort en somme. On ne pourrait plus l'altérer ou le transformer. C'était d'ailleurs sans aucune connotation négative. Mais il faut ajouter que mon père était probablement le seul membre de Bourbaki qui concevait les mathématiques comme une manière d'administrer la mort à des objets pour des raisons esthétiques...

Jean Delsarte (1903-1968)



En 1937, il m'attira à Nancy où une place était vacante et ce furent quinze années heureuses de relations à peine coupées par la guerre et les voyages. Il ne se passait guère de semaine où nous n'eussions deux ou trois longs entretiens où nous échangions nos idées sur les problèmes mathématiques et sur bien d'autres choses. C'est là tout d'abord que j'appris à apprécier à sa valeur toute l'originalité de son talent de mathématicien. Bien que largement ouvert aux idées modernes (son rôle dans Bourbaki en fait foi), Delsarte était peu enclin à suivre la mode. Nourri de l'héritage des grands classiques, il était un des rares analystes modernes aimant le calcul, celui de la tradition d'Euler, de Jacobi, d'Hermite, et il calculait en virtuose. Ennemi de la réclame, il n'a peut-être pas eu, en France, l'influence personnelle qu'il eût dû exercer ; il publiait peu, et souvent, quand je l'avais entendu esquisser devant moi des idées qui me frappaient par leur nouveauté ou leur profondeur, et que je le pressais de les développer et de les publier, il haussait les épaules et me répondait :"A quoi bon ?" Mais les plus illustres mathématiciens de notre époque faisaient grand cas de ses travaux et il était fort connu à l'étranger où il a fait de fréquents séjours. Autant que le mathématicien, j'appris aussi pendant ces belles années à mieux connaître l'homme qu'était Delsarte, sa droiture sans faille et sans compromission, son refus de l'intrigue et de l'arrivisme et la profonde bonté qu'il cachait sous ses propos volontiers paradoxaux.

Jean Dieudonné, décembre 1968

Szolem Mandelbrojt (1899-1983)



Il n'y a aucun doute que je montrais des qualités d'invention mathématique dès mon enfance, et je dois à mon frère, de quinze ans mon aîné, de l'avoir remarqué et de m'avoir encouragé. Il a compris qu'il fallait laisser croire à un jeune garçon de 13 ans que sa "découverte" de l'extraction de la racine carrée était vraiment une découverte...

Chaque fois que je cherchais plus tard à exposer un résultat, mes auditeurs me demandaient comment ces idées, difficiles même à exposer, avaient pu jaillir dans mon esprit. Dois-je avouer qu'il m'est toujours impossible d'expliquer pourquoi j'avais pensé à ce procédé...

Il est vrai que quelques-unes de mes découvertes ont été réalisées dans des conditions assez inattendues, en tout cas sans préparation préalable.
C'est ainsi que l'un de mes théorèmes qui a le plus attiré l'attention, à savoir celui qui fournit les arguments des singularités sur le cercle de convergence d'une série de Taylor, a été découvert, et démontré, durant un de mes voyages Paris-Clermont

Autobiographie, 1980

René de Possel (1905-1974)



René De Possel-Deydier est entré à l'Ecole Normale en 1923, à l'âge de 18 ans. La taupe de Marseille avait cette année-là cinq reçus au concours d'entrée ; ils s'installèrent dans la même thurne. Presque aussitôt après son entrée à l'Ecole, De Possel fut témoin d'un "canular" destiné aux conscrits scientifiques : une conférence d'un pseudo-savant scandinave qui se terminait par l'énoncé d'un "théorème de Bourbaki". De Possel était donc destiné à faire partie du petit groupe d'amis (tous normaliens sauf un) qui commencèrent à se réunir tous les 15 jours à Paris, de janvier à mai 1935, pour jeter les bases de ce qu'ils croyaient devoir être un "Traité d'Analyse" destiné à remplacer "le Goursat". Ils avaient choisi le pseudonyme de Nicolas Bouraki. De Possel ne manqua pas une seule réunion. La composition finale du groupe de 9 membres fut arrêtée au Congrès de fondation qui se tint à Besse-en-Chandesse, en Auvergne, au mois de juillet 1935. De Possel en faisait partie.

Henri Cartan, 1994

Charles Ehresmann (1905-1979)



Dans ces travaux se manifestait une de ses tendances fondamentales, le besoin de comprendre, par-delà les techniques de calcul, la raison profonde des phénomènes mathématiques. Aussi participa-t-il avec ardeur, dès le début, à l'entreprise du groupe de mathématiciens de sa génération connu sous le nom de "Collaborateurs de N. Bourbaki", dont le but principal était précisément de mettre en évidence les structures mathématiques simples et fécondes, souvent ensevelies sous un fatras de développements inutiles ou trop particuliers, et d'en faire des outils puissants en vue de recherches nouvelles. Dès avant 1940, il rêvait d'une théorie abstraite de toutes les espèces possibles de structures, ce qui rencontrait quelques réticences au sein du groupe Bourbaki ; lorsqu'il l'eut quitté, il trouva dans la naissante théorie des catégories le climat intellectuel qu'il recherchait, et plus de la moitié des quelques 130 articles qu'il a publiés se rapportent à cette théorie.

Jean Dieudonné, Février 1979

André Weil (1906-1998)



Je repris mon enseignement à la rentrée de 1934. J'étais chargé du cours de Calcul différentiel et intégral et je me posais beaucoup de questions sur la manière de présenter certains chapitres du cours, ne trouvant pas dans le traité classique de Goursat une exposition qui me satisfasse. Comme nous nous rencontrions souvent, Weil et moi, à l'institut de mathématiques, je le questionnais et sollicitais ses avis. Un beau jour il me déclara : "Maintenant ça suffit ; réunissons-nous à quelques-uns pour discuter de ces questions, mettons-les au point et ensuite on n'en parlera plus." C'est ainsi qu'est né le groupe Bourbaki, qui bien sûr ne portait pas encore son nom. Weil décida qu'à huit ou neuf, tous normaliens des promotions 1922 à 1926, nous nous réunirions tous les quinze jours à Paris pour dresser le plan d'un "traité d'analyse" ; j'ai la chance de posséder les compte-rendus de ces réunions, établis par les soins de Delsarte. Nous étions effectivement tous normaliens, à l'exception de Szolem Mandelbrojt, un peu plus âgé que nous et bien intégré depuis son arrivée en France. Le rôle joué par Weil dans l'entreprise Bourbaki fut constamment décisif. C'est lui qui décida que tous devaient être capables de rédiger n'importe quel sujet et que l'anonymat devait être respecté. C'est lui qui imposa la retraite du groupe à 50 ans, afin que les nouvelles générations puissent se sentir responsables à leur tour. Et cela dura jusqu'à la guerre

Henri Cartan, 1998

Ces jeunes professeurs avaient été frappés de la tendance à la spécialisation et à l'éparpillement que paraissaient montrer les recherches mathématiques. Faute de principes directeurs simples et solides elles tournaient à la tour de Babel. Ils décidèrent alors d'entreprendre en commun la rédaction d'un grand ouvrage où l'essentiel des doctrines mathématiques serais exposé selon une méthode toute nouvelle. Les premières réunions eurent lieu à Besse-en-Chandesse, dans le Puy-de-Dôme, dont ne veut pas la Vierge noire de Vassivière : elle remonte à ses neiges chaque fois qu'on l'y descend.
C'est un pays de sorciers, un pays d'élection. C'est de là qu'est sorti le premier tome de l'ouvrage. Il sera de longue haleine. Dix volumes ont déjà paru, une dizaine d'autres sont assez avancés et l'œuvre complète comprendra une cinquantaine de fascicules. Ce "corpus" doit être, pour notre époque ce que furent autrefois les éléments d'Euclide.
La première phrase du traité de Bourbaki est si rassurante pour le profane qu'elle l'invite aux plus belles audaces. "La lecture de ce traité ne suppose", dit-elle, "nulle connaissance mathématique particulière".
C'est sur la foi de telles promesses qu'on se jette dans les pires imprudences.

Alexandre Vialatte, écrit en 1952 et publié dans "protégez le tigre" en 1984

Au printemps le groupe décide de tenir son premier congrès, ou plénière de fondation à la campagne, en un lieu propice à la création et à la réflexion. Il se trouve que trois des neuf membres (Coulomb, physicien adjoint à l'observatoire du Puy de Dôme, de Possel, suppléant dans la chaire de mécanique rationnelle, et Mandelbrojt, professeur de calcul différentiel et intégral) sont alors membres de la faculté des sciences de Clermont-Ferrand, qui possède à Besse en Chandesse une station biologique.
Celle-ci permet à une dizaine de spécialistes de la flore et de la faune du massif du Sancy et de ses lacs, de poursuivre leur recherche sur le terrain. La station offre donc son hébergement au calme à nos jeunes mathématiciens. La liste des rapports préliminaires (encart n°2) montre l'avancement du travail préliminaire ; c'est à Besse qu'est établi un premier plan global du traité d'analyse (encart n° 3) et qu'est choisi le pseudonyme de Bourbaki et l'initiale N du prénom (Sur les affiches universitaires, on utilisait alors la lettre N. quand on ignorait qui allait assurer un enseignement). La légende raconte que le baptême eut lieu à minuit par immersion dans les eaux glacées du lac Pavin.

La guerre, Clermont-Ferrand 1939-1945.

Terre d'accueil, l'Auvergne allait l'être encore et dans des circonstances beaucoup plus dramatiques : à partir de 1934 les nouveaux bâtiments universitaires du 34 avenue Carnot étaient construits suffisamment vastes pour permettre en cas de conflit d'héberger les facultés de la prestigieuse université de Strasbourg. Dès septembre 1939, l'Armée Française pour déployer les défenses de la ligne Maginot évacuait tous les civils de la ville de Strasbourg et l'Université pouvait se replier en bon ordre à Clermont, y fonctionner en demeurant autonome et y rester jusqu'en 1945 malgré les persécutions de plus en plus violentes et sauvages de l'Occupant pressé de rouvrir l'université allemande de Strassburg.
Précisons ce qui concerne les mathématiciens (on trouvera des détails dans (3)).
- En 39-40, Henri Cartan, réformé en 1926 pour raison de santé, est professeur de calcul différentiel et intégral ; à la rentrée 40, il est nommé à la Sorbonne ; c'est lui qui, à Toulouse en novembre, conseille à Marie Hélène et Laurent Schwartz de s'installer à Clermont.
- De 1938 à 1941, René de Possel occupe la chaire de calcul différentiel et intégral de Clermont où il a succédé à Szolem Mandelbrojt. Son cours 40-41, rédigé par Ayzik Gorny qui mourra en déportation l'année suivante, adopte le langage et la structure des tout premiers volumes de Bourbaki qui viennent de paraître ou vont sortir, en avance de quinze ans sur la modernisation de l'enseignement qui ne touchera l'ensemble des universités que durant les années 50 ; la bibliothèque de maths de Clermont posséde encore deux exemplaires de ce cours (encart n° 4)
- Jean Dieudonné, professeur à la faculté des sciences de Nancy, reste à Clermont jusqu'à la fin 42 en attendant sa démobilisation ; il donne un cours sur les espaces vectoriels topologiques
- Charles Ehresmann, maître de conférences à l'université de Strasbourg, où il enseigne la mécanique ; échappe à la rafle du 25 novembre 43 et se cache jusqu'à la libération.
- Laurent Schwartz est boursier de la caisse nationale des sciences (futur CNRS) ; révoqué sans traitement fin 42 il est pris en charge par l'Aide à la Recherche Scientifique fondée par Michelin. Il réside à Boisséjour et Ceyrat, puis après l'invasion de la zone libre au Vernet-la-Varenne, pour finalement se cacher dans la région de Grenoble.

Encart n°2 : Liste des rapports attendus pour le 1er juillet 1935

Titre	Auteurs	État
Algèbre	Chevalley, Dieudonné, R. de Possel	prêt
Fonctions analytiques Delsarte	insuffisant	Cartan, Mandelbrojt,
Intégration	Delsarte, R. de Possel, Weil	prêt (?)
Équations différentielles	Coulomb, Dieudonné, Weil	pas prêt
O et o	Coulomb, Dieudonné, Weil	prêt
Équations intégrales	Leray, Delsarte, Cartan	prêt
Théorèmes d'existence	Leray, Cartan, Weil	à discuter
Équations aux dérivées partielles	Chevalley, Delsarte, Weil	pas prêt, subdiviser
Différentielles et formes différentielles	Cartan, Leray, R. de Possel	à travailler
Topologie	Chevalley, Dieudonné, R. de Possel	à travailler
Calcul des variations	Coulomb, Leray, Weil	à travailler
Fonctions spéciales	Coulomb, Mandelbrojt, Cartan	à travailler
Géométrie	Cartan, Chevalley, Delsarte	à travailler
Séries de Fourier etc.	Delsarte, Mandelbrojt, Weil	à travailler

Encart n°3 : Plan du traité d'analyse à l'issue du Congrès de Besse

Titre	*Nombre de pages*	*Auteur(s)*	*date prévue*
Ensembles abstraits	*20*	*Cartan*	*décembre*
Algèbre	*120*	*Delsarte*	*fin de l'année scolaire*
Nombres réels et complexes, séries	*15*	*Dieudonné*	*décembre*
Topologie, théorèmes d'existence	*300*	*Weil, R. de Possel*	*(fin février)*
Topologie des nombres complexes ; formes quadratiques et hermitiennes	*50*	*Dieudonné*	*(février)*
Corps convexes, groupe orthogonal			
Intégration	*100*	*Mandelbrojt*	*fin mai*
Multiplication extérieure,	*100*	*Weil,*	*(avant Pâques)*
déterminants, formes de Pfaff		*Cartan*	
Tenseurs, géométrie	*100*	*Ehresmann*	*fin de l'année*
Produits infinis, inégalités,	*80*	*Chevalley*	*février*
O et o			
Fonctions analytiques générales	*200*	*R. de Possel*	*(avant Pâques)*
Fonctions analytiques spéciales	*100*	*Mandelbrojt*	*(avant Pâques)*
Représentation approchée	*150*	*Dieudonné*	*mai*
Heaviside et calcul opérationnel	*70*	*Delsarte*	*(février)*
Équations différentielles générales	*200*	*Chevalley*	*moitié à la fin de l'année*
Équations différentielles spéciales	*100*	*Delsarte*	
Élie Cartan	*150*	*Weil*	
Équations intégrales	*100*	*Mandelbrojt*	*(mai)*
Potentiel, équations elliptiques	*80*	*Cartan*	
Équations hyperboliques et	*100*	*Delsarte*	
paraboliques			
Calcul des variations	*120*	*Cartan*	
Fonctions spéciales : Bessel etc.	*150*	*Coulomb*	
algébriques	*100*	*Chevalley*	
elliptiques	*50*	*Dieudonné*	
thêta	*50*	*Weil*	
gamma, zêta	*40*	*Mandelbrojt*	
Calcul numérique	*100*	*Coulomb*	
Tout le reste	*500*	*Bourbaki*	
Fonctions de variable réelle	*?*	*Dieudonné*	*mai*

Remarque. Lorsque la date est entre parenthèses, seul un rapport est promis.

Encart n°4

COURS

de

CALCUL DIFFERENTIEL ET INTEGRAL

Professé à la Faculté des Sciences

de CLERMONT-FERRAND

en 1940-1941

Par René DE POSSEL : *Professeur*

Table des matières

I - Ensembles 1
Fonctions - Produits d'ensembles - Relations d' équivalence - Opérations.
Ensembles finis et dénombrables

II - Eléments d'algèbre 10
Groupes - Anneaux - Corps.

III - Algèbre linéaire 0
Espace vectoriel - Changement de base - Matrices - Formes linéaires.
Equations linéaires.

IV - Algèbre multilinéaire - Algèbre tensorielle 39
Tenseurs - Déterminants - Formes quadratiques.
Espace vectoriel euclidien.

V - Ensembles ordonnés 73
Relation d'ordre - Groupes réticulés - Groupes archimédiens.
Nombres réels.

VI - Topologie 96
Base de filtre - Espaces topologiques - Espaces métriques-Limites.
Espaces compacts - Connexion.

VII - Espaces vectoriels normés 122
Espace complet - Continuité uniforme - Séries - Point Fixe.

VIII - Différentielles 144
Différentielle - Fonctions composées - Accroissements finis.
Fonctions de plusieurs variables - Jacobien - Fonctions implicites.
Fonctions indépendantes - Différentielles d'ordre supérieur.
Formule de Taylor - Changement de variable.

IX - Compléments de topologie 181
Espace somme - Espace quotient - Espace étalé dans un autre.
Espace de Riemann - Variétés à n dimensions.

X - Variétés différentiables 198
Orientation - Variétés continuement différentiables.

XI - Formes différentielles sur une variété 209
Formes de Pfaff - Différentiation extérieure.

XII - Fonctionnelles linéaires 221
Pluralries - Mesures - Intégrale de Stieltjes - Théorème de Lebesgue.
Théorème de Riesz-Fischer - Prolongement d'une fonctionnelle linéaire positive.

Errata 250

Il prépare sous la direction de Dieudonné sa thèse sur les sommes d'exponentielles réelles et la soutient en janvier 43, ainsi qu'une deuxième thèse de topologie algébrique sur un sujet donné par Ehresmann. Il participe en tant que "cobaye" aux trois congrès annuels de Bourbaki organisés à Clermont, avec une participation restreinte

- Claude Chabauty, chercheur au CNRS en arithmétique, fréquentait Bourbaki depuis 1938. (encart n° 5)

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

846

ÉLÉMENTS DE MATHÉMATIQUE

PAR

N. BOURBAKI

I

PREMIÈRE PARTIE

LES STRUCTURES FONDAMENTALES DE L'ANALYSE

LIVRE I

THÉORIE DES ENSEMBLES

(FASCICULE DE RÉSULTATS)

FACULTÉ DES SCIENCES
Mathématiques n° 11997

PARIS

HERMANN & Cie, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1939

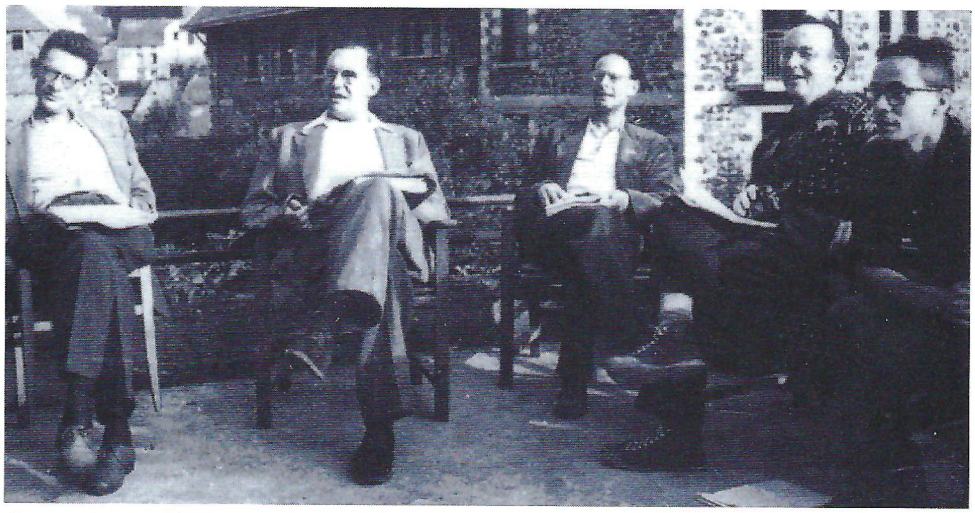
MODE D'EMPLOI DE CE TRAITÉ

1. Le traité prend les mathématiques à leur début, et donne des démonstrations complètes. Sa lecture ne suppose donc, en principe, aucune connaissance mathématique particulière, mais seulement une certaine habitude du raisonnement mathématique et un certain pouvoir d'abstraction.

Encart n°5

Outre ces membres de Bourbaki, enseignaient

- à la faculté des sciences de Strasbourg : Georges Cerf (géométrie) et André Lichnerowicz (Géométrie différentielle et physique mathématique) ; le doyen en était André Danjon, astronome qui termina sa carrière comme directeur de l'observatoire de Paris,
- et à celle de Clermont, P. Dive (mécanique) et Hubert Delange (arithmétique) qui succéda à de Possel à la rentrée 41.



Encart n°6 : Congrès Bourbaki de Murols en 1954 : de gauche à droite, Roger Godement, Jean Dieudonné, André Weil, Saunders Mac Lane, Jean-Pierre Serre. Roger Godement fut un fervent prosélyte d'un enseignement universitaire des mathématiques structurées à la Bourbaki.

La force de l'âge, Murol, août 1954

Nicolas Bourbaki choisira une deuxième fois le massif du Sancy pour tenir son congrès : Pierre Samuel, spécialiste d'algèbre commutative est en effet membre de Bourbaki depuis 1947 et professeur à la faculté des sciences de Clermont depuis 1950 ; il y restera jusqu'en 1962 formant de nombreux élèves qui y deviendront professeurs à leur tour.

Le congrès de Murol, en août 1954 (encart n° 6) réunit entre autres : Henri Cartan, Claude Chevalley, Jean Delsarte, Jean Dieudonné, Jacques Dixmier, Samuel Eilenberg, Roger Godement, Jean-Louis Koszul, Serge Lang, Saunders Mac Lane, Pierre Samuel, Laurent Schwartz et Jean-Pierre Serre. (qui a reçu le Prix Abel décerné pour la première fois l'année dernière)



Encart n°6 : Pierre Samuel et Serge Lang discutent du "Main Theorem" de Zariski au congrès Bourbaki de Sallières, en juin 1956.



Encart n°6 : Congrès Bourbaki de Murols, en Auvergne août 1954 : Laurent Schwartz, Henri Cartan et André Weil.

Les principaux volumes du traité sont parus ou sous presse, (encart n° 7) une grande partie des enseignements universitaires sont assurés par des bourbakistes.

Bourbaki aujourd'hui.

Le traité est pratiquement achevé et occupe encore une bonne place dans les rayons des bibliothèques du monde entier, mais l'explosion de nombreuses branches des mathématiques fait qu'il n'est plus le passage obligé pour débuter dans la recherche. Le séminaire Bourbaki, qui se réunit trois fois par an à Paris depuis décembre 1948 et où chaque conférencier présente les travaux d'un autre chercheur est un lieu de rencontre très fréquenté entre provinciaux et parisiens. (encart n°8)

Le souvenir : Besse-et-St-Anastaise, 12 juillet 2003.

Une plaque commémorative de la naissance de N. Bourbaki a été apposée par le Recteur de l'Académie de Clermont-Ferrand et le Maire de Besse-et-St-Anastaise sur un mur extérieur de la station biologique de l'Université Blaise Pascal.

La cérémonie, au cours de laquelle Christian Houzel, directeur des archives de la création mathématique présenta une conférence sur : Le rôle de Bourbaki dans les mathématiques du vingtième siècle (4) a rassemblé 120 participants, mathématiciens dont l'académicien Jean-Pierre Kahane et le recteur Alain Bouvier, quelques membres de l'ADASTA et de nombreux élus locaux. Le seul survivant des neuf fondateurs, Henri Cartan, avait envoyé un message de sympathie et nous lui avons adressé nos vœux pour son quatre-vingt-dix neuvième anniversaire ; Jacques Mandelbrojt, fils de Szolem était présent ainsi que Roger Godement. A l'issue de la cérémonie, les participants ont pu visiter une exposition sur "Bourbaki et l'Auvergne" et sur les médaillés Fields français, et apprécier le vin d'honneur offert par la Municipalité (encart n° 9)

Séminaire BOURBAKI
1re année : 1948/1949
-:-:-:-

TABLE DES MATIÈRES

	Nombre de pages
Décembre 1948 :	
1. CARTAN (Henri). - Les travaux de Kozsul, I.	6
2. CHABAUTY (Claude). - Le théorème de Minkowski-Hlawka.	3
3. CHEVALLEY (Claude). - L'hypothèse de Riemann pour les corps de fonctions algébriques de caractéristique p , I.	3
4. GODEMENT (Roger). - I. Les représentations unitaires irréductibles du groupe complexe unimodulaire [d'après Gelfand et Neumark].	7
5. KALOUJNINE (Léo). - Sur la structure de p-groupe de Sylow des groupes symétriques finis et de quelques généralisations infinies de ces groupes.	3
6. SAMUEL (Pierre). - La théorie des correspondances birationnelles selon Zariski.	5
Mars 1949 :	
7. BRACONNIER (Jean). - Sur les suites de composition d'un groupe et la tour des groupes d'automorphismes d'un groupe fini [d'après H. Wielandt].	5
8. CARTAN (Henri). - Les travaux de Kozsul, II.	8
9. CHEVALLEY (Claude). - L'hypothèse de Riemann pour les corps de fonctions algébriques de caractéristique p , II.	4
10. GAUTHIER (Luc). - Théorie des correspondances birationnelles selon Zariski.	8
11. SCHWARTZ (Laurent). - Sur un mémoire de Petrowsky : "Über das Cauchysche Problem für ein System linearer partieller Differentialgleichungen in gebiete nichtanalytischen Funktionen".	5
Mai 1949 :	
12. CARTAN (Henri). - Les travaux de Kozsul, III.	4
13. GODEMENT (Roger). - II. La transformation de Fourier dans le groupe complexe unimodulaire à deux variables [d'après Gelfand et Neumark].	7
14. KRASNER (Marc). - Les travaux récents de R. Brauer en théorie des groupes.	6
15. SCHWARTZ (Laurent). - Sur un deuxième mémoire de Petrowsky : "Über des Cauchysche Problem für Systeme von partiellen Differentialgleichungen".	1
16. WEIL (André). - Théorèmes fondamentaux de la théorie des fonctions thêta [d'après des mémoires de Poincaré et Frobenius].	10

Encart n°7 : le traité en 1954

Encart n°8 : Séminaire de 1948-1949 puis séminaire 20003-2004

SÉMINAIRE NICOLAS BOURBAKI

VOLUME 2003-2004

MARS 2004

EXPOSÉS

929 ANDRÉ Yves - *Motifs de dimension finie* [*d'après S.-I. Kimura, P. O'Sullivan,...*]

930 GÉRARD Patrick - *Équations de champ moyen pour la dynamique quantique d'un grand nombre de particules* [*d'après Bardos, Erdös, Golse, Gottlieb, Mauser, Yau*]

931 PEYRE Emmanuel - *Obstructions au principe de Hasse et à l'approximation faible*

932 SERRE Jean-Pierre - *Complète réductibilité*

933 TZVETKOV Nikolay - *On the long time behavior of KdV type equations* [*after Martel-Merle*]

Livre I. — Théorie des ensembles.
Chapitre I *(Description de la Mathématique formelle)*
Chapitre II *(Théorie des ensembles).*
Fascicule de résultats

Livre II. — Algèbre.
Chapitre I *(Structures algébriques)*
Chapitre II *(Algèbre linéaire)*
Chapitre III *(Algèbre multilinéaire)*
Chapitre IV *(Polynômes et fractions rationnelles)*
Chapitre V *(Corps commutatifs)*
Chapitre VI *(Groupes et corps ordonnés)*
Chapitre VII *(Modules sur les anneaux principaux)*

Livre III. — Topologie générale.
Chapitre I *(Structures topologiques)*
Chapitre II *(Structures uniformes)*
Chapitre III *(Groupes topologiques)*
Chapitre IV *(Nombres réels)*
Chapitre V *(Groupes à un paramètre*
Chapitre VI *(Espaces numériques et espaces projectifs)*
Chapitre VII *(Les groupes additifs $\mathbb{R}^n$)*
Chapitre VIII *(Nombres complexes)*
Chapitre IX *(Utilisation des nombres réels en topologie générale)*
Chapitre X *(Espaces fonctionnels)*
Dictionnaire
Fascicule de résultats

Livre IV. — Fonctions d'une variable réelle.
Chapitre I *(Dérivées)*
Chapitre II *(Primitives et intégrales)*
Chapitre III *(Fonctions élémentaires)*
Chapitre IV *(Equations différentielles)*
Chapitre V *(Etude locale des fonctions)*
Chapitre VI *(Développements tayloriens généralisés ; formule sommatoire d'Euler-Maclaurin)*
Chapitre VII *(La fonction gamma)*

Livre V. — Espaces vectoriels topologiques.
Chapitre I *(Espaces vectoriels topologiques sur un corps valué)*
Chapitre II *(Ensembles convexes et espaces localement convexes)*

Livre VI. — Intégration.
Chapitre I *(Inégalités de convexité)*
Chapitre II *(Espaces de Riesz)*
Chapitre III *(Mesures sur les espaces localement compacts)*
Chapitre IV *(Prolongement d'une mesure. Espaces L^p)*

A PARAITRE PROCHAINEMENT

Livre V. — Espaces vectoriels topologiques.
Fascicule de Résultats



Encart n°9 : Jean-Paul Bacquet, Alain Bouvier, Pierre Pipet et Paul-Louis Hennequin

Encart n°9 : Bruno Ingrao, Christophe Bahadoran



Encart n°9 : Jean-Pierre Kahane, Hélène Deledicq, Jean-Alain Roddier



Bibliographie

1- L. Beaulieu, Bourbaki, une histoire du groupe de mathématiciens français et de ses travaux (1934-1944), Thèse, Université de Montréal, 1990

2- M. Chouchan, Nicolas Bourbaki. Faits et légendes, Editions du choix, 1995

3- R. Couty, G. Glaeser, ch. ; Perol, L'essor des mathématiques à Strasbourg-Clermont entre 1940 et 1945, Gazette des mathématiciens, n° 65, p. 19, juillet 1995

4- Ch. Houzel, le rôle de Bourbaki dans les mathématiques du vingtième siècle, Gazette des mathématiciens, n° 100, p. 53, avril 2004

5- M. Mashaal, Bourbaki, une société secrète de mathématiciens, Belin, 2002

6- L. Schwartz, Un mathématicien aux prises avec le siècle, Odile Jacob, 1997

7- A. Weil, Souvenirs d'apprentissage, Birkhaüser, 1991

Dossier

L'orgue

Cet article, le premier d'une série de 3, fait suite à la conférence du 9 juin 2004 à L'ADASTA sur L'Orgue donnée par ***Henri Bouffard,*** *Ingénieur, organiste et facteur d'orgues. Il est un résumé de son ouvrage* ***"Une nouvelle approche de l'orgue".***



L'orgue est sans doute le seul instrument de musique qui possède 2 aspects originaux :

- il est encore évolutif
- il permet à l'art de l'ingénieur de s'exercer dans de nombreux domaines

La présente étude analysera les chapitres à contenu scientifique tels que :

- caractéristiques acoustiques et musicales des sons émis par l'orgue
- tuyaux à bouche ou à embouchure de flûte
- tuyaux à anche battante
- alimentation en vent ou air comprimé
- transmission touche-soupape
- choix d'un tempérament.

Commençons par la découverte de l'orgue.

La France, pays riche, possède un peu plus de 10000 orgues. Leur répartition sur les 22 Régions et sur les 95 Départements est variable : le Limousin possède 35 orgues, l'Alsace 1350 ; le Puy-de-Dôme en compte 36 environ, l'Ille-et-Vilaine 167 pour un nombre d'habitants similaire.
Le nombre d'orgues dans un Département ou une Région est souvent lié à sa richesse, au niveau de vie de ses habitants mais aussi à la tradition et l'intérêt pour l'orgue et sa musique.
La presque totalité des orgues est installée dans des lieux de culte, en tribune le plus souvent. Pour beaucoup, l'orgue apparaît lointain, inaccessible, inabordable.

Instrument collectif et communautaire l'orgue n'est pourtant pas un instrument qui est familier, proche des gens ; il reste difficile à approcher, à aborder, à toucher. Il est bien souvent en retrait de la vie des personnes. Ce côté à part est amplifié par l'énorme poids subjectif, sentimental et passionnel qui accompagne l'orgue.
Comme la majorité des gens le voient de loin et en partie seulement, il devient mystérieux, ésotérique même, en tous cas peu ou mal connu par les non initiés. Seuls les organistes, les facteurs d'orgues et quelques passionnés le connaissent ou du moins en connaissent une partie. Les organistes connaissent bien les types de jeux, les registrations, l'utilisation de l'orgue ; les facteurs d'orgues connaissent bien la structure interne et le fonctionnement mais moins son utilisation. Quelques passionnés ont une bonne idée de l'instrument, de son histoire, de sa structure, de son fonctionnement. Peu ou pas ont une connaissance globale de ses aspects scientifiques.
L'orgue n'est connu que de peu de personnes en dehors de ceux qui le construisent, l'entretiennent et le jouent. Les auditeurs, les fidèles ou ceux qui assistent aux concerts ne connaissent en général pas l'orgue, sa structure, son fonctionnement, son langage. Ne voyant que 20% de l'instrument par sa façade et sa console, ils n'imaginent pas avec netteté ce que représentent les 80% qui sont cachés.

Définition de l'orgue

C'est un instrument de musique à vent inventé par les Grecs il y a plusieurs dizaines de siècles, et qui comporte dès son origine 4 caractéristiques ou conditions qui déterminent son appellation :

- au moins 1 clavier, c'est-à-dire une rangée de leviers sur lequel les mains ou les pieds peuvent agir
- de l'air mis en vitesse par de la pression, c'est ce que l'on appelle le **vent**
- des tuyaux sonores pouvant émettre un son déterminé s'ils sont alimentés par le vent.

L'harmonium possède un clavier, du vent mais pas de tuyaux : ce n'est pas un orgue.
L'orgue de barbarie possède des tuyaux et du vent mais pas de clavier : ce n'est pas un orgue.
L'orgue numérique qui reproduit des sons enregistrés de différents tuyaux d'orgues possède au moins 1 clavier mais ni tuyaux ni vent : ce n'est pas un orgue.

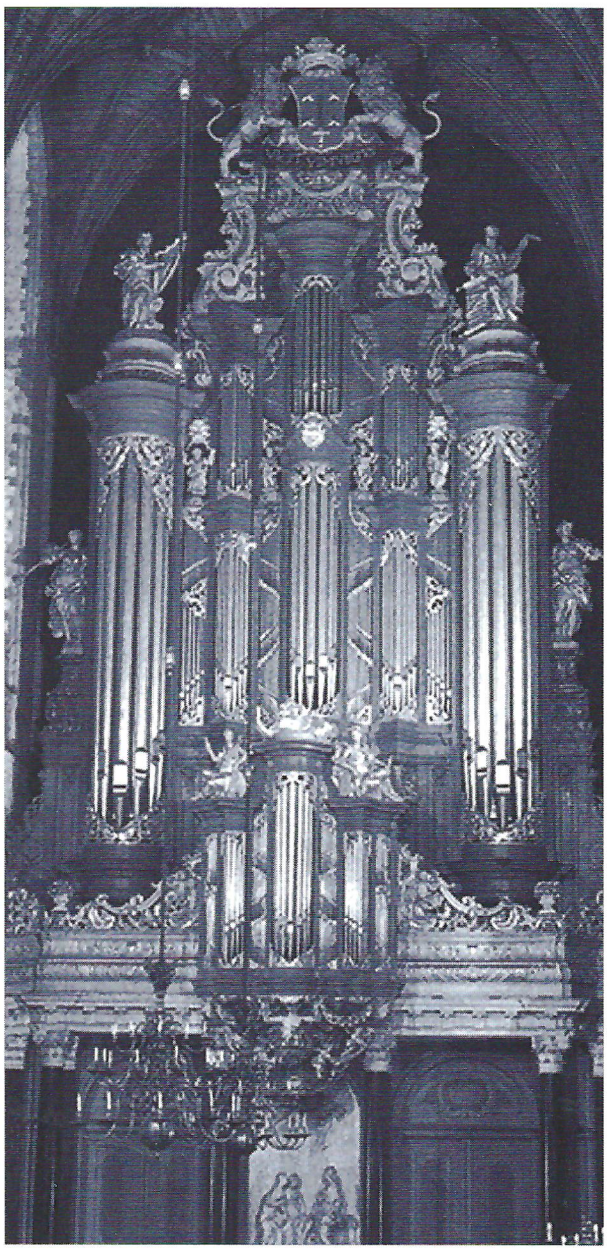
L'orgue est un transformateur, par l'intermédiaire d'un clavier, d'une énergie éolienne en une énergie acoustique au moyen de tuyaux.
L'appellation orgue possède une particularité puisqu'elle s'applique aussi bien à un petit instrument à 1 clavier, 56 tuyaux avec un volume de buffet d'environ 0,5m³, qu'à un instrument de 100 jeux avec 5 claviers et un pédalier, plus de 6000 tuyaux et un volume du buffet de plus de 500m³.

Découverte de l'orgue et de ses spécificités

Par ses dimensions, ses possibilités musicales, sa complexité, la richesse de son passé, l'orgue est de tous les instruments de musique le seul qui implique une participation aussi complète de toutes les potentialités d'un homme pour le découvrir et le connaître. C'est pourquoi la perception de l'orgue ne doit pas se limiter à la vue et à l'audition, d'autres perceptions sont possibles et souhaitables faisant appel par exemple à la compréhension de son fonctionnement et l'analyse de ses performances.
S'y ajoutera la découverte d'originalités, de spécificités qui n'appartiennent qu'à lui et en font un instrument "à part" qui ne peut se comparer à aucun autre.

par l'œil, c'est souvent la première découverte du néophyte quand il entre dans un local où se trouve un orgue et le voit parfois avant de l'entendre.
- l'orgue est le plus grand meuble connu, et dans bien des cas c'est aussi le plus décoré, le plus beau comme s'il voulait faire oublier ou compenser le volume parfois considérable qu'il occupe dans un local par sa beauté et la richesse de sa décoration.
- c'est le meuble qui associe le plus le bois et le métal ; la vue d'un orgue peut alors provoquer un véritable choc visuel comme celui de Saint Bavon à Haarlem aux Pays-Bas ou celui de la Basilique Notre-Dame de Saint-Omer dans le Pas-de-Calais
- 80% de son poids, de son volume et de son coût sont contenus dans 20% de ses constituants
- c'est le seul instrument de musique dans lequel l'homme peut pénétrer
- chaque orgue est unique, comme une œuvre d'art, comme chacun de nous. Il n'existe pas deux orgues identiques ; chacun a sa personnalisation tout au moins quant à sa composition, son harmonisation, son buffet et sa façade qui sont les 3 "possibles" du facteur d'orgues dans l'ensemble de l'évolution de l'instrument. Dans la tradition des instruments de musique, jamais la notion d'œuvre d'art visuelle n'aura été aussi largement associée à un instrument de musique même si de remarquables exemples existent avec les clavecins
- ce que l'on voit de l'extérieur est peu de chose : l'essentiel est caché derrière une façade, un peu comme chacun de nous ; c'est un des nombreux aspects symboliques de l'orgue comme ses tuyaux dirigés vers le ciel comme des piliers d'église et animés de souffle. Insistons sur le fait que la découverte de l'orgue par l'œil ne représente que 20% de son ensemble. Nous retrouverons cette loi des 80/20 fréquemment dans l'orgue comme elle se retrouve dans beaucoup d'activités humaines.*

Le plus beau buffet d'orgue du monde. L'orgue de Saint-Bavon à Haarlem aux Pays-Bas a été construit par C. Müller vers 1738 et restauré par Marcussen vers 1960. Il comprend 60 jeux répartis sur 3 claviers et un pédalier. Hauteur : 23 m. - Longueur : 11m.



par l'oreille qui est le second sens le plus sollicité dans la découverte et la perception de l'orgue
Rappelons qu'il n'y a que 3 moyens de produire un son :
1- envoyer du **"vent"** sur un obstacle fixe : flûtes, tuyaux à bouche
2- envoyer du **"vent"** sur un obstacle mobile : tuyaux à anche, voix humaine,
3- rendre mobile un obstacle dans de l'air immobile : instruments à cordes, percussions, haut-parleur…
l'orgue est le seul instrument de musique qui en utilise 2, les 2 premiers et encore il faut rappeler qu'une des grandes originalités de l'orgue est le grand nombre de sources sonores qui peuvent émettre un son simultanément : sur un instrument d'une quinzaine de jeux avec un peu plus de 1000 tuyaux, un accord peut faire parler environ 100 tuyaux ; et le nombre de sources sonores augmente au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de registres tirés.
On voit tout de suite la différence avec un orgue "numérique" où le nombre de haut-parleurs est fixe et toujours inférieur au nombre des notes jouées multiplié par le nombre de registres actionnés.
En quelques dixièmes de seconde, l'intensité d'un orgue peut passer de 40dB soit un peu plus que le bruit de fond d'une salle, à 115 dB pour un grand instrument ce qui est considérable et peut provoquer là encore un véritable choc acoustique

* quelques exemples pour mieux comprendre la loi de Paréto ou "des 80/20" :
80% du trafic ferroviaire n'utilise que 20% des lignes ; 80% des dépenses de santé sont provoquées par 20% des malades ; 80% du son d'une pièce se transmet quand on ouvre la porte de 20%, 80% des richesses sont détenues par 20% de la population….

Seul l'orgue est capable d'émettre en continu des sons graves à la limite de l'audibilité humaine soit environ 16 Hz. L'audition de tels sons -inouïs- provoque des sensations physiologiques surprenantes.
L'orgue est l'instrument de musique le plus dépendant du local où il se trouve, en particulier du temps de réverbération des sons et du nombre et du spectre des fréquences qui sont les réponses du local aux sons émis.
L'orgue est le seul instrument de musique dans lequel les harmoniques séparés - soit pairs comme les octaves ou impairs comme les quintes et les tierces surtout – peuvent être émis séparément, ou ensemble, à volonté c'est aussi le seul qui regroupe en un seul registre la synthèse des harmoniques soit flûtés, c'est le Cornet, soit des harmoniques "principalisés", c'est le Plein-Jeu.
Sur l'orgue les sons émis ont été au préalable établis par l'harmoniste en ce qui concerne leurs caractéristiques principales ; dans la majorité des cas, sur les sons perçus par les auditeurs l'organiste n'a qu'une action faible et limitée sauf pour l'attaque dans des mouvements lents. Il a par contre une action importante sur la combinatoire des sons entre eux, c'est la **registration**.
Dans l'orgue, le tout, c'est-à-dire le résultat global acoustique et musical, est supérieur à la somme des sons pris isolément : certains sons joués seuls, comme les harmoniques séparés, sont d'un faible intérêt musical, mais insérés avec une base ils prennent alors un relief, une intensité et une "couleur" remarquables.

par le toucher, découverte en général réservée aux organistes. Le toucher d'un clavier d'orgue, si la transmission a été bien conçue et bien réalisée, procure une satisfaction physiologique par le contact de la peau avec le matériau des touches (bois précieux, ivoire, os), la netteté de l'enfoncement, la sensation d'ouvrir une porte à de l'air sous pression, l'instantanéité entre l'enfoncement et le son et sa progressivité parfois, la douceur et le silence, la disproportion entre le faible effort sur les touches et l'importance des effets sonores générés.
L'orgue est le seul instrument de musique sur lequel l'organiste peut émettre des sons avec l'aide de ses pieds et ceci simultanément avec ses mains. Il en résulte la possibilité sur un orgue ayant au moins 2 claviers et un pédalier, de pouvoir jouer sur 3 plans sonores indépendants, simultanément, ce qui donne un caractère particulier à certaines formes musicales liées à l'orgue comme les trios.

par le cœur, permis à tous.
- l'orgue est l'instrument dont le rôle communautaire et collectif est le plus reconnu. Les orgues dans les Conservatoires, écoles de musique ou salon, ne sont là que pour préparer les actions ultérieures sur un orgue liturgique ou de concert donc de dispenser de la musique d'orgue à un auditoire. L'organiste liturgique est sans doute le musicien qui joue le plus devant une communauté, en moyenne plusieurs fois par semaine
- peu d'instruments ont un contenu émotionnel aussi intense, favorisant l'intériorité et la méditation - un pas vers la sérénité. Au côté mystique s'ajoute le sentiment d'éternité provoqué par le prolongement des sons, qui est prolongement du temps.

par l'intelligence, permis à tous.
L'orgue est l'instrument de musique le plus complexe à concevoir, à réaliser, à jouer et à comprendre par la multiplicité des paramètres qui entrent en jeu.Cette complexité apparente est associée à un plan directeur de conception logique, astucieux, divers, qui fait appel à la plus grande part des possibilités intellectuelles de l'homme.
L'évolution de l'orgue et l'art de l'ingénieur peuvent s'exercer dans plusieurs domaines : mathématiques appliquées, acoustique, résistance des matériaux, mécanique des fluides, métallurgie, mécanique, électronique, informatique, fiabilité, durabilité, maintenance, sécurité
Notons aussi que c'est l'instrument qui a le plus bénéficié de la somme d'essais, d'observations et d'erreurs accumulés pendant des siècles par de patientes démarches empiriques. Il reste réfractaire à une construction standardisée, devant s'adapter d'une manière unique à chaque local, chaque utilisation, chaque dimension, chaque composition, chaque exigence.

Fonctionnalités de l'orgue

A partir de la découverte de l'orgue et de ses spécificités on peut en définir les fonctionnalités c'est-à-dire ce que l'on attend de lui, pourquoi il est là, à quoi il sert ?
Ayant un rôle communautaire et collectif il doit répondre à la multiplicité des attentes venant d'un grand nombre de personnes concernées par l'instrument.
Si la fonction "primaire" de l'orgue est de transformer une énergie éolienne en une énergie acoustique, il y a d'autres fonctions ou fonctionnalités qui sont d'autant plus importantes que l'orgue est installé presque "à vie" dans un édifice de culte donc public.

a - fonctionnalités techniques :

agréable à regarder, enrichir les qualités d'esthétique visuelles du local dans lequel il est placé et qui l'accueille, s'adapter à cet environnement, provoquer une émotion visuelle et satisfaire les exigences du plus grand nombre
agréable à écouter, non seulement pour les organistes ou les initiés mais aussi pour les autres auditeurs ce qui nécessite de connaître leurs attentes. Satisfaire les attentes musicales des participants aux offices et des auditeurs lors de concerts par la connaissance de l'agrément provoqué par les registrations, les choix musicaux, et les interprétations : savoir surprendre sans dérouter !
agréable à jouer, cette fonctionnalité est naturellement liée aux organistes amenés à jouer sur l'orgue en question. L'agrément des organistes est lié à des paramètres objectifs comme le toucher des claviers dont nous avons parlé, la justesse des sons, le confort à la console lié à l'ergonomie, l'absence de gêne, la maniabilité, la douceur et la précision des commandes. Il est lié à des paramètres subjectifs encore plus nombreux que nous évoquerons plus loin.
fiable, c'est-à-dire exempt de pannes brutales et imprévisibles rendant son utilisation prévue impossible, mais aussi avec un fonctionnement constant en performances pour ceux qui le jouent et ceux qui l'écoutent.
apte à la maintenance, c'est-à-dire apte à être maintenu en bon état de

fonctionnement par un entretien régulier et être remis dans son état initial après des défaillances. La durée de vie importante d'un orgue suppose que son entretien et son maintien en fonctionnement puissent être assurés par des personnels autres que ceux qui l'ont construit

durable, c'est-à-dire qu'il satisfasse les attentes des responsables qui l'ont acquis ou qui en ont la responsabilité d'autant que l'acquisition d'un orgue est coûteux.. Ce point est important même s'il n'est pas toujours souhaitable de vouloir un orgue qui dure pendant des siècles sauf pour quelques parties car ce serait bloquer toute évolution.

Cette exigence de durabilité pose un problème particulier pour l'orgue dont l'usure par le temps qui passe est plus grande que l'usure due à l'usage.

En France, un orgue dans un lieu de culte soit dans près de 99% des cas, n'est utilisé en moyenne que 5 heures par semaine

sûr, sans danger, ne pas être une cause d'accident pour les autres comme pour lui.

b - fonctionnalités collectives

Aux fonctionnalités décrites ci-dessus s'ajoutent des fonctions ou des missions qui sont la conséquence de son utilisation en public :

fonction cultuelle donc liée à l'animation des offices. En France cette activité représente 200 heures par an en moyenne avec de grandes différences d'un orgue à un autre.

fonction culturelle liée pour certains instruments à leur utilisation pour des concerts, en plus de leur utilisation cultuelle. L'orgue permet alors l'exécution et l'écoute des œuvres du répertoire. En France, cette fonction a une durée moyenne de 5 heures par an. Là encore il y a d'énormes disparités d'un orgue à un autre, certains orgues étant utilisés 2 heures par semaine et d'autres jamais !

fonction pédagogique soit dans des lieux de culte soit des lieux réservés à l'enseignement. L'orgue est utilisé pour enseigner, pour permettre aux élèves de travailler et de se perfectionner.

c - fonctionnalités économiques

L'orgue est un instrument "non rentable", ou du moins dont la rentabilité n'est pas vraiment recherchée lors de la décision de son achat. Ses coûts d'acquisition et d'entretien très importants ne sont pas compensés financièrement et ne le seront sans doute jamais.

Si le prix d'acquisition d'un orgue est élevé, le coût de sa revente éventuelle est très inférieur à son coût d'acquisition : le démontage et le remontage d'un orgue nécessitant beaucoup d'heures de travail.

Le coût considérable d'acquisition actuellement d'un orgue est lié, en partie, à 2 choix et 2 conséquences

- 1 tuyau par note et par jeu
- la longueur des tuyaux double chaque fois que l'on descend d'une octave, leur diamètre est multiplié par 1,7 environ et leur section est donc presque triplée.

Les conséquences sont les suivantes pour un orgue moyen de 20 jeux :

- le nombre de tuyaux est d'environ 1300
- le tuyau donnant le son le plus grave soit 32 Hz mesure 5,5 m de long, a un diamètre de 270 mm et pèse plus de 80 kg. Le tuyau donnant le son le plus aigu dans le même jeu mesure, avec son pied, 30 cm de long avec un diamètre de 15 mm et pèse une centaine de grammes.

Fonctionnement de l'orgue

Le principe du fonctionnement de l'orgue est très simple : il se réfère à ses conditions d'appellation, à savoir :

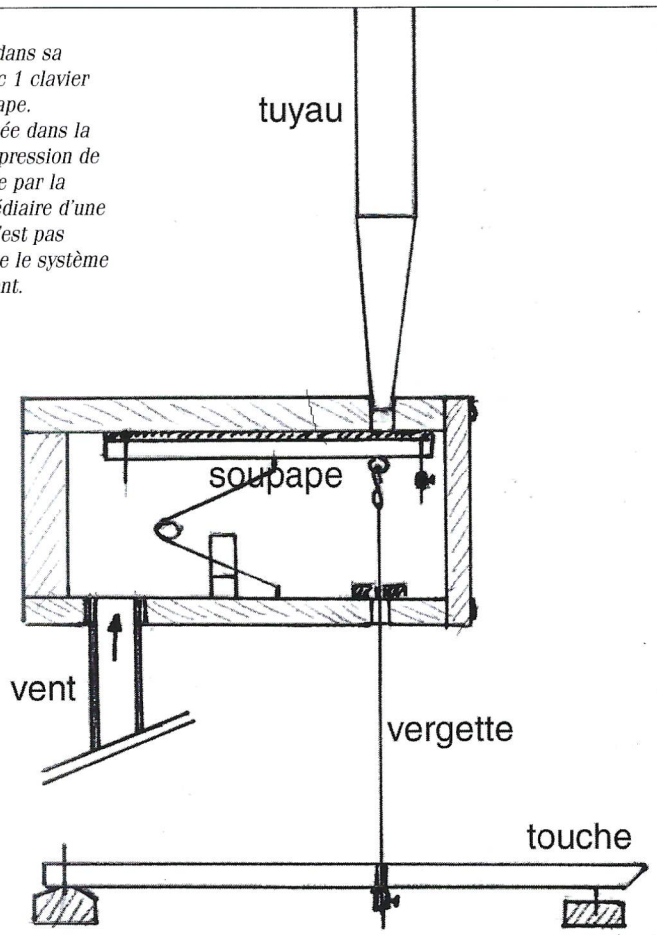
- 1 clavier, manuel ou pédalier, où chaque touche est reliée à une soupape, par l'intermédiaire d'une vergette (ou d'un pilote)
- chaque soupape, normalement fermée, est placée dans une enceinte sous pression d'air (vent) ;

l'action sur une touche provoque l'ouverture de la soupape correspondante ; le vent contenu dans l'enceinte sous pression s'échappe par la soupape et vient alimenter le tuyau qui se trouve au-dessus de la soupape

le tuyau alimenté en vent émet le son pour lequel il a été construit.

Cette simplicité du principe de base a tenté bon nombre d'amateurs en facture d'orgue, désireux de réaliser un orgue par eux-mêmes et croyant y parvenir sans problème. Bien peu ont réussi un instrument, même de 1 ou 2 jeux, entièrement et surtout satisfaisant. La conception et la réalisation d'un orgue de 30 jeux avec 3 claviers et un pédalier est complexe et délicate.

Principe de l'orgue dans sa version basique avec 1 clavier et 1 tuyau par soupape. La soupape est placée dans la laye- enceinte sous pression de vent-et est actionnée par la touche par l'intermédiaire d'une vergette. L'abrégé n'est pas montré, pas plus que le système d'alimentation en vent.



Aux multiples fonctions liées au fonctionnement s'ajoutent des fonctions annexes telles que l'accessibilité et la possibilité de remplacer les pièces cassées.

Caractéristiques acoustiques et musicales des sons émis par l'orgue

Comme tout instrument de musique, il est possible d'analyser, de chiffrer et de commenter les performances ou les caractéristiques acoustiques et musicales de l'orgue, voire de les comparer avec d'autres instruments.

Les caractéristiques pertinentes sont :

- l'intensité
- la fréquence
- les timbres
- la durée
- l'expressivité
- l'articulation, l'attaque, les formes

Chaque caractéristique a sa définition, son étendue et ses limites.

Ces caractéristiques sont variables et dépendent de nombreux paramètres liés à l'instrument, au local où il se trouve, à son emplacement dans le local, à ceux qui le jouent et ceux qui l'écoutent.

L' inter-action des paramètres entre eux indique la complexité des phénomènes. Nous n'avons pas, par exemple, considéré les auditeurs comme autant d'individualités ayant leurs propres perceptions mais comme un auditeur unique intégrant une moyenne. De même pour les salles, tellement différentes de l'une à l'autre. Cette étude se limite à donner les sens des influences plus qu'à les chiffrer.

Pour plusieurs caractéristiques, nous avons considéré l'orgue dans ses capacités connues et réalisées, et non un instrument en particulier. L'orgue est une appellation très "élastique" qui s'applique aussi bien au Positif de 1 jeu à 1 clavier qu'au grand instrument de 5 claviers – pédalier de 100 jeux !

Dans les 3 principes ou moyens utilisés pour émettre un son on constate qu'il faut toujours de l'air, et que quelque chose doit bouger, soit l'air soit l'obstacle. Sans air et sans mouvement, donc sans énergie, pas de sons.

Caractéristiques acoustiques de l'orgue en intensité

L'intensité acoustique correspond à une pression acoustique. Comme la mesure de cette pression est délicate, on lui préfère une échelle d'équivalence en intensité en Watt/m2 ou surtout en décibels (dB), échelle A, pour tenir compte de la physiologie particulière de l'oreille humaine entre les basses et les dessus.

La mesure objective de l'intensité acoustique s'effectue avec un sonomètre placé à 10 mètres de la source. L'aiguille de l'appareil donne directement la valeur.

Limites

Elles coïncident à peu près avec les limites d'audibilité humaine : quelques dB au-dessus du bruit de fond moyen, soit 35 dB environ pour un Bourdon de 8' (ce symbole représente la longueur en pieds) joué dans le médium et les basses, jusqu'à 110/115 dB pour le tutti d'un grand instrument homogène ayant environ 80 jeux. Il s'agit de valeurs considérables correspondant à des pressions acoustiques au niveau de l'oreille pouvant amener rapidement une surdité. De telles intensités sont obtenues avec des grands orchestres symphoniques.

La répartition de l'intensité est homogène : les basses, le médium et les dessus ayant des valeurs sensiblement identiques.

Les limites de l'intensité mini-maxi concernent 6 octaves environ. De plus, l'intensité, quel que soit son niveau peut être maintenue dans le temps ; il ne s'agit pas d'un phénomène ponctuel comme une percussion ou discontinu comme une timbale d'orchestre.

Etendue

Elle est liée au nombre de jeux et de plans sonores et l'on conçoit que cette étendue puisse être importante.

En modifiant judicieusement la registration et en utilisant les tirasses et les accouplements, on peut obtenir une étendue très large de l'intensité.

En fait l'oreille perçoit des degrés différents d'intensité quand ces degrés sont séparés de 10 dB environ ; on retrouve pour l'orgue une étendue correspondant aux 8 échelons d'intensité des musiciens.

Dans l'orgue toutefois, la modification d'intensité s'accompagne souvent d'une modification du timbre, sauf dans les boîtes expressives où cette modification est atténuée. L'introduction des anches ou des jeux à reprise augmente brutalement l'intensité en modifiant le timbre.

Comme on le constate, l'orgue fonctionne par tuilage, par plans, l'étendue des intensités s'effectue par plages de timbres différents.

La modification de l'intensité note à note est pour ainsi dire impossible sur l'orgue ; nous analyserons ce point dans le paragraphe sur l'expressivité.

A noter aussi, la rapidité avec laquelle l'orgue peut passer d'une intensité minimum à l'intensité maximum : quelques dixièmes de seconde.

Moyens utilisés

Les sons de faible intensité s'obtiennent dans l'orgue avec des jeux à bouche, calottés, de type Bourdon ou Bourdon à cheminée et des jeux à tuyaux ouverts, mais harmonisés en "flûte" c'est-à-dire ayant une largeur de bouche réduite.

Ce sont dans leur ensemble des jeux de "grosse taille", c'est-à-dire dont le rapport longueur du tuyau / diamètre du tuyau est de l'ordre de 6 à 12. Ces jeux émettent un son fondamental doux et des harmoniques de faible intensité.

Les sons à forte intensité s'obtiennent par l'utilisation de jeux donnant des fondamentales intenses enrichies par des harmoniques nombreux associés, et ceci sur toute l'étendue des 8', 16', 32'.

Pratiquement on utilise :

- des jeux de fonds ouverts de taille plutôt moyenne (rapport L/D de 13 à 20), donnant des fondamentales et des harmoniques pairs intenses.
- des harmoniques pairs et impairs couvrant la majorité des fréquences, avec des tuyaux ouverts donnant, là encore, des sons intenses.
- des jeux à anche battante avec résonateurs ouverts et coniques de grosse taille et de longueur égale à la longueur d'onde de leur fondamentale.
- des pressions élevées, en particulier sur les jeux à'anche battante.

Dans les basses, zone où l'oreille a une sensibilité plus faible à l'intensité, il faut ébranler beaucoup d'air pour obtenir une sensation de forte intensité ; d'où des tuyaux de grosse taille.

Dans les dessus, zone à sensibilité forte à l'intensité, l'intensité est en général largement suffisante. Un sifflet de 1' (jeu le plus aigu de l'orgue) relativement faible tout seul, amplifie fortement la fondamentale qui est jouée avec lui. De même pour les mutations impaires.
Dans l'orgue, l'effet du buffet associé avec l'addition séparée d'harmoniques, donne un résultat acoustique beaucoup plus intense que la simple addition des intensités séparées.
Il est possible encore de renforcer l'intensité par :
- l'utilisation de l'effet directionnel de la plupart des tuyaux d'anches quand on les place "en chamade"; cet effet directionnel diminue toutefois dans les basses.
- l'utilisation de l'effet directionnel du buffet s'il est ouvert sur l'avant seulement
- l'augmentation de l'espace entre les tuyaux ce qui permet d'augmenter la surface du buffet et d'augmenter ainsi son rôle de résonateur. L'augmentation de la profondeur du buffet est moins efficace pour l'intensité
- une composition des jeux où sont présents les harmoniques séparés

Caractéristiques acoustiques de l'orgue en fréquence

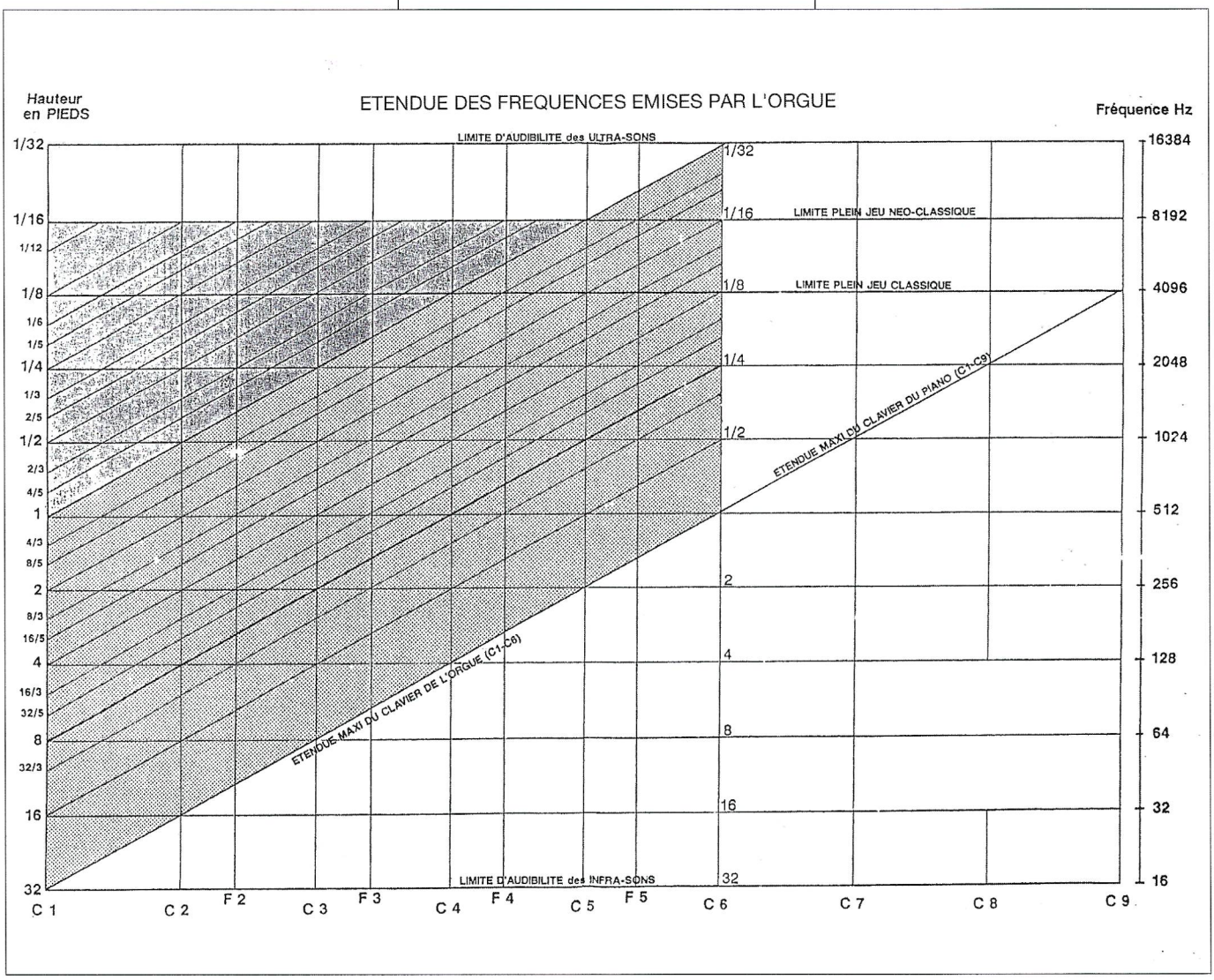
La fréquence d'un son est déterminée par le nombre de vibrations qu'il effectue en 1 seconde.
Plus la fréquence est élevée et plus le son est "aigu", plus la fréquence est petite et plus le son est "grave".

Limites - Etendue

Là encore, l'étendue des fréquences de l'orgue coïncide avec les limites d'audibilité humaines : la fréquence la plus basse est de 16 Hz, obtenue avec le DO1 du 32'.
La fréquence la plus élevée est de 16400 Hz, obtenue avec le DO 6 du Sifflet 1'.
L'écart entre ces 2 fréquences est de 1000 environ. La fréquence la plus élevée est 1000 fois plus grande que la fréquence la plus basse. On comprend mieux alors l'utilisation de l'échelle logarithmique !
Cet écart correspond à 10 octaves, mais, au niveau des claviers l'écart est beaucoup plus faible, 5 octaves maximum. Au pédalier l'écart est de 2,5 octaves.
Au total, l'étendue normale de l'orgue correspond à 6 octaves.
En fait, l'orgue utilise une étendue de fréquences de base assez réduite, mais, par suite de l'utilisation d'harmoniques séparés, cette étendue est virtuellement très grande.
L'orgue fonctionne avant tout en 8' et les harmoniques pairs et impairs ne sont en général pas joués seuls, sauf exception pour un effet particulier.
Toutes les fréquences autres que celles correspondant au 8' ne servent qu'à enrichir ce 8'.

Tableau ci-dessous donnant l'étendue des fréquences émises par l'orgue

Ce tableau montre :



- l'écart absolu entre le 32' et le 1/32' soit 1000 environ
- l'intérêt des harmoniques séparés qui couvrent une zone de fréquences plus importante que les fondamentales
- une zone en haut à gauche qui ne correspond pas à des jeux individualisés, c'est le domaine des jeux à reprise

Caractéristiques acoustiques de l'orgue en timbres

La sensation de timbre est liée à la présence de "transitoires" au moment de la naissance et de l'extinction du son. Ces transitoires sont en fait des harmoniques émis avec le son soit par le même tuyau comme pour la flûte harmonique par exemple, soit par des harmoniques séparés comme par exemple Bourdon 8' et Nasard 8/3'. L'absence de transitoires d'attaque et d'extinction due à un son trop doux et trop sourd, basse d'une Soubasse 16' par exemple, permet difficilement de reconnaître le timbre.
Nous allons donc trouver des séries de timbres différents soit avec :
- des jeux de base utilisés seuls
- ces jeux auxquels on ajoute un ou plusieurs jeux d'harmoniques séparés (quintes, tierces, octaves).

Nombre de timbres différents

L'orgue se caractérise par un nombre parfois considérable de timbres différents.
Un organiste titulaire d'un orgue de 40 à 50 jeux, peut craindre de ne pouvoir utiliser toutes les ressources en timbres de son instrument.

Harmoniques séparés

La possibilité d'ajouter à volonté aux jeux de base donnant la fondamentale, un ou plusieurs jeux donnant les harmoniques séparés, constitue une caractéristique originale de l'orgue.
L'organiste a ainsi le loisir de modifier et d'enrichir le timbre du jeu de base en jouant sur le nombre et le type des harmoniques qu'il a à sa disposition.
A chaque harmonique ou "jeu de mutation" ajouté, correspond une mutation du timbre.

Dans les jeux d'harmoniques séparés, il y a soit les jeux ayant un harmonique seul, c'est le cas de la plupart des jeux (quintes, tierces), soit des jeux regroupant plusieurs harmoniques ensemble, c'est le cas pour le Cornet, la Sesquialtéra, le Plein-jeu....
Les organiers ont multiplié ces jeux avec des harmoniques groupés allant de 2 harmoniques pour la Sesquialtéra à 9 pour certaines fournitures !
Cette utilisation des harmoniques groupés ou séparés constitue une originalité remarquable dans l'orgue associée à une connaissance tout aussi remarquable des phénomènes acoustiques.
Au total, la richesse potentielle en timbres d'un orgue est liée au nombre des jeux d'harmoniques séparés et groupés qu'il possède.

Spécificité des timbres de l'orgue

Parmi le nombre considérable de timbres différents que l'on peut avoir sur un orgue, certains sont originaux et ne se trouvent que dans l'orgue.

Emission simultanée de timbres différents

Une autre originalité concernant les timbres, est donnée par l'aptitude à pouvoir faire parler simultanément plusieurs plans sonores ayant chacun un timbre différent.
Cette aptitude permet à l'orgue d'interpréter la musique polyphonique la plus complexe sans perdre de lisibilité et de clarté. Elle peut accentuer par contre, la séparation des plans sonores.

Caractéristiques de l'orgue en durée

La durée est un paramètre important d'un son. On peut la définir comme étant l'intervalle de temps entre l'attaque du son et son extinction. Là encore, dans l'orgue, on tend vers des limites.

Durée minimum

Dans le médium et les dessus, cette durée est de 0,1 seconde environ : l'accrochage et l'extinction des sons sont très rapides et permettent d'effectuer 4 à 5 sons par seconde.

Dans les basses, cette durée peut passer à plus de 0,5 seconde en particulier pour les basses de fond de 16' (Soubasse, Flûte, Gambe...) ; l'inertie de la colonne d'air augmente la durée d'accrochage du son.
L'adjonction d'harmoniques à ces jeux de basses permet de compenser cette inertie, le démarrage plus rapide des harmoniques entraînant le démarrage du fondamental.

Durée maximum

Elle est théoriquement sans limite, quels que soient l'intensité, les fréquences et les timbres.
Elle concourt à donner aux sons de l'instrument cette sensation d'infini qui le caractérise.
C'est elle aussi qui permet d'interpréter les musiques polyphoniques les plus complexes où certaines notes doivent pouvoir durer plus d'une mesure et aussi accompagner une foule qui chante ce qu'aucun autre instrument ne pourrait faire.
Cette durée prolongée nécessite la maîtrise de la pression du vent : pour un accord prolongé de 7 notes pouvant correspondre à 50 rangs de tuyaux soit 350 tuyaux parlant ensemble, le débit de vent nécessaire doit s'accompagner de la constance de la pression de ce vent afin que la justesse de l'accord ne soit pas modifiée pendant sa durée. Voir le chapitre sur l'alimentation.

Caractéristiques de l'orgue en expressivité

L'expressivité peut se définir comme étant la possibilité pour l'interprète de modifier à volonté l'intensité
- d'une ou de plusieurs phrases musicales dans un morceau ; c'est l'expressivité par "plans sonores".
- d'une ou de plusieurs notes à l'intérieur d'une phrase musicale, les autres notes n'étant pas modifiées ; c'est l'expressivité "note à note".

Formes

Ce sont les diverses possibilités de réaliser des "traits" comme le glissando, le trille, le pizzicato, Ces possibilités ne doivent pas être confondues avec l'expressivité, forme particulière étudiée plus haut.
Là encore la maniabilité de l'instrument est très grande et permet tous

ces traits de virtuosité sous réserve de la maniabilité des claviers.
La virtuosité dépend énormément de l'effort à appliquer sur une touche pour l'enfoncer.
Un effort de 300 grammes pour enfoncer une touche, à la place d'un effort de 150 grammes, va diminuer la maniabilité du clavier et donc limiter la virtuosité.

Paramètres ayant une influence sur les caractéristiques acoustiques et musicales de l'orgue

La plupart des caractéristiques acoustiques de l'orgue que nous venons d'analyser, sont influencées, peu ou prou, par de nombreux paramètres internes ou externes à l'instrument.
Les paramètres les plus influents concernent ceux liés au local qui abrite l'orgue.

Paramètres liés au local, à la salle :

L'orgue est l'instrument de musique dont les sons perçus par les auditeurs dépendent le plus des caractéristiques acoustiques du lieu où il se trouve.
Les organistes, en général très près de la base du buffet, n'ont qu'une perception des sons émis partielle et particulière qui dépend de la forme et des dimensions du buffet.
La perception du fondu et de l'effet stéréophonique dûs au buffet leur est impossible, il faudrait que la console se situe à plusieurs dizaines de mètres du buffet et que l'organiste soit face aux tuyaux de façade. Dans la majorité des cas, l'organiste ignore, en fait, les effets qu'il produit à plusieurs dizaines de mètres de sa console.
Les organistes, comme les harmonistes, ont une perception plutôt analytique des sons émis.
Les auditeurs, le public, plusieurs milliers de fois plus nombreux que les organistes, ont eux, une perception et des exigences musicales et acoustiques souvent bien différentes. Leur perception est plutôt synthétique.
A cette différence de perception s'ajoutent des effets physiques, variables, qui interfèrent et modifient grandement ces perceptions, tant pour les organistes que pour le public.

Temps de réverbération

C'est la durée de la traînée sonore due aux 250 à 300 réflexions des ondes sonores sur les diverses parois de la salle avant de disparaître. Cette durée est liée à la persistance des sons perçus par l'oreille, voisine de 1/15 de seconde.
Si les sons, après réflexions, arrivent dans cet intervalle de temps, le son paraît continu ; ceci correspond à un temps de réverbération de 1,5 à 2 secondes.
Si les intervalles de temps, les arrivées successives des sons, sont supérieurs à 1/10 de seconde, on a un phénomène d'écho : chaque son se trouve trop prolongé et vient se superposer sur les suivants. Les sons paraissent confus, brouillés, le discours musical incohérent : c'est la cacophonie !
Ceci correspond à des temps de réverbération supérieurs à 2 secondes.
Inversement, si les durées sont trop faibles, les sons paraissent hachés, étriqués : il y a un manque de fondu, une discontinuité. Ceci correspond à des temps de réverbération inférieurs à la seconde.
Un temps de réverbération de l'ordre de 1,5 à 2 secondes est donc une des conditions indispensables pour une écoute satisfaisante de l'orgue. C'est comme si chaque note, chaque son durait 1,5 à 2 secondes de plus que sa durée effective lors de son émission. Il y a une sorte de tuilage des sons donnant cette sensation de continuité.

Le temps de réverbération tend à augmenter avec le volume de la salle, et diminue si le coefficient d'absorption des parois augmente, lui-même lié à la nature et à la forme des parois. C'est dire la complexité de ce paramètre.

$$T r = k V / C a$$

La mesure du T r s'effectue à partir d'un accord effectué sur l'orgue par l'organiste, tel que l'intensité mesuré sur un sonomètre placé à 10 mètres soit de 90 dB.
On interrompt l'accord et on mesure le temps que met l'aiguille du sonomètre pour indiquer 30 dB, soit une baisse de 60 dB. C'est le temps de réverbération.
Autant il est aisé de mesurer ce temps dans une salle existante, autant il est aléatoire de l'évaluer par calcul pour une salle qui n'existe pas.
En effectuant une succession d'accords divers avec plusieurs registrations, diverses tessitures, on obtient une image réaliste des différents Tr en faisant une moyenne. On constatera par exemple, que le Tr augmente avec la fréquence des sons émis.
Nous verrons aussi que le Tr diminue quand le coefficient de remplissage de la salle, le bruit de fond et sa température augmentent. A noter que le Tr augmente avec l'intensité.

Fréquences propres de résonance

Chaque salle "normale" possède un certain nombre de fréquences propres pour lesquelles elle réagit en amplifiant les fréquences émises qui sont égales à ces fréquences propres.
Ce phénomène se retrouve sur les tuyaux : un Bourdon 8', quand il émet un son, ce son possède des potentialités en harmoniques impairs très faiblement perçus seuls mais qui sont amplifiés quand on ajoute un Nasard 8/3'(harmonique impair de quinte)
Plus le nombre et le spectre de ces fréquences propres est grand et plus l'acoustique de la salle est jugée bonne.
Ce nombre augmente avec le volume de la salle. Quand le volume est trop faible, le nombre de ces fréquences est petit et il y a des trous, des zones sans fréquences propres.
La salle réagit correctement avec les sons ayant des fréquences égales à ses fréquences propres en les amplifiant, mais ne réagit que peu ou pas aux fréquences trop éloignées de ses fréquences propres. Pour ces fréquences, les sons sont faibles, étriqués, décevants ; des écarts d'intensité apparaissent entre certaines fréquences.
Comme le nombre et l'étendue des fréquences propres d'une salle augmentent avec son volume, ce nombre est lié au temps de réverbération.
C'est dire qu'une "bonne salle" pour l'orgue est difficile à trouver : une salle homogène en fréquences propres, qui amplifie bien la majorité des fréquences émises par l'orgue, est le plus souvent une salle de grand volume où le temps de réverbération est grand, donc introduit un brouillage et de la confusion. Curieux dilemme!
Nos Anciens avaient constaté ce phénomène des fréquences propres sans peut-être le formaliser physiquement.
Pour les salles ayant des trous de fré-

quence, donc correspondant à des absences de fréquences propres, ils avaient imaginé de placer contre les murs adéquats, des amphores remplies plus ou moins de sable de manière à obtenir par ajustement les fréquences de résonance qui faisaient défaut. Chaque amphore avait sa fréquence propre. Ils obtenaient ainsi une batterie de résonateurs bien ajustés, complétant le spectre des fréquences de la salle qui étaient absentes.Une salle de grand volume (10 000 m³) peut avoir 1 million de fréquences propres ! Une petite salle (1000 m³) peut en avoir dix fois moins.

Coefficient de remplissage

Dans la majorité des cas ce coefficient est lié au nombre de personnes qui sont dans la salle et à la nature absorbante de leurs vêtements. C'est dire que ce coefficient est très variable.
Il correspond à une augmentation non uniforme du coefficient d'absorption d'une des parois qui est le sol. Cette augmentation peut être considérable.
Entre une salle vide et une salle remplie de personnes ayant des vêtements chauds, le temps de réverbération peut passer de 2 secondes à moins de 0,5 seconde. On se rapproche alors des conditions d'audition "à l'air libre" où l'intensité diminue avec le carré de la distance.
L'organiste ne perçoit pas aussi bien que les auditeurs cette influence du coefficient de remplissage qui agit sur l'intensité mais aussi sur la netteté des timbres. Les sons deviennent "cotonneux" les différences entre timbres atténuées, les attaques imprécises.
Les attaques typiques d'un Bourdon 8' ou d'une Flûte 8' avec le bruit de bouche caractéristique ne sont pas perçus par les auditeurs d'une salle pleine à 30 mètres. Les harmoniques émis à l'attaque sont absorbés. Le timbre est ainsi appauvri.
Quant aux fréquences, les basses étant plus diffusantes (la diffraction des sons augmente quand leur fréquence diminue), et transportant plus d'énergie, elles sont peu absorbées à l'inverse des fréquences plus élevées. Les basses deviennent envahissantes. Une salle pleine tend donc à modifier la perception du spectre des fréquences.

Bruit de fond

Toute salle possède un bruit de fond, c'est-à-dire un son diffus, informe, sans fréquence, mais qui a une intensité. Pour une salle vide bien isolée des bruits extérieurs (circulation), le bruit de fond est de 25 à 30 dB. Pour une salle pleine, ce bruit passe de 35 à 40 dB, correspondant à la somme des bruits de respiration et des bavardages éventuels qui s'ajoutent au bruit de fond de base. Lors de cérémonies comme un mariage, une profession de foi, le bruit de fond peut atteindre 50 dB.
Là encore, si le bruit de fond devient trop important, on se rapproche des conditions d'écoute en air libre, particulièrement peu propices à une perception correcte des possibilités de l'orgue.
Le bruit de fond est analogue, dans ses conséquences, au coefficient de remplissage.
Quand un coefficient de remplissage élevé s'ajoute à un fort bruit de fond, les inconvénients eux aussi s'ajoutent et les perceptions des caractéristiques de l'orgue sont toutes modifiées.
L'organiste est amené à adapter ses registrations aux perturbations engendrées par un bruit de fond trop grand.
Prenons le cas d'une salle pleine avec un bruit de fond de 50 dB, et l'orgue donnant 90 dB à 10 mètres, soit 80 dB à 40 mètres. L'écart par rapport au bruit de fond n'est que de 30 dB.
Les auditeurs situés autour de 40 mètres de l'orgue vont percevoir un son proche en intensité de celui d'un Bourdon joué seul, alors que l'organiste percevra au même moment un son proche des 90 dB émis.
La perception des fréquences relatives, en particulier la fausseté semble diminuer avec l'augmentation du bruit de fond et du taux de remplissage.

Température

Du 16 ème siècle à la première moitié du 20 ème, la plupart des salles publiques avec orgue n'étaient pas chauffées, la température interne suivait, à peu près, la température externe.
L'eau restait gelée dans les bénitiers plusieurs mois par an pendant l'hiver. En été, la température pouvait dépasser 25° C. L'écart annuel était d'environ 40°C!
Cet écart se répercutait sur l'orgue bien entendu, tout en étant progressif. Actuellement, l'écart absolu des températures est plus faible, par contre il est brutal, rapide.
La puissance de chauffage de certaines salles est telle que le gradient de température est de 5°C par heure. Une salle peut donc passer de 5°C à 15°C en 2 heures!
C'est dire que l'homogénéité de la température dans l'orgue sera difficilement atteinte en un laps de temps si bref. Quand l'orgue est en tribune, il tend à récupérer un air plus chaud que dans le reste de la salle ce qui ralentit encore l'homogénéité de la température de l'orgue.
Les effets de l'augmentation de la température influencent les caractéristiques.
L'intensité tend à diminuer quand la température croît : l'air étant moins dense, la portée des sons est amoindrie.
Les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur de l'orgue perturbent les fréquences : les sons flottent, l'orgue paraît faux. La fausseté entre l'accord des tuyaux à bouche et à anche s'accentue, rendant leurs mélanges faux. L'accord de l'orgue devrait s'effectuer à la température correspondant à la moyenne de la température de la salle sur une année.
En fait la perturbation des performances de l'orgue en fonction de la température est causée surtout par la rapidité avec laquelle la température change dans la salle, l'orgue n'ayant pas le temps de s'adapter à cette contrainte.

Paramètres liés aux auditeurs : Position et distance par rapport à l'orgue

Dans une salle vide et homogène, la position et la distance des auditeurs par rapport à l'orgue a peu d'influence, l'intensité des sons décroît très peu avec la distance et si la finesse de certains timbres est atténuée, il y a un fondu qui la compense. La fréquence n'est perturbée que si l'auditeur se déplace pendant l'écoute. Assez généralement, la sensation de fausseté diminue avec la distance.
Dès que la salle est influencée par les paramètres que nous venons de citer aux paragraphes précédents (taux de

remplissage, bruit de fond, température), la position et la place des auditeurs sont importants.
Quand le temps de réverbération diminue à cause du taux de remplissage du bruit de fond et de la température, comme la diminution de l'intensité est forte en fonction de la distance, plus l'auditeur s'éloigne de la source (l'orgue) et plus l'intensité va lui apparaître faible.
Les défauts d'homogénéité de la salle sont amplifiés et l'on retrouve des écarts d'intensité.
Quand des écarts d'intensité ont lieu, ils provoquent le plus souvent des distorsions en timbres et en. fréquences. L'écoute gagne en fondu mais perd en perception des attaques, en perception des finesses.
Au total, les causes des modifications des performances acoustiques et musicales de l'orgue sont fortement liées aux caractéristiques de la salle.
Une salle jugée très satisfaisante par les organistes et les auditeurs quand elle est vide, à cause de son temps de réverbération équilibré, l'homogénéité et l'amplification des intensités, sa réponse fidèle aux finesses des timbres des attaques et des articulations, peut devenir médiocre quand des paramètres perturbateurs surviennent. Les auditeurs perçoivent plus ces perturbations que les organistes.

Tableau comparatif des caractéristiques acoustiques et musicales de 5 instruments

En reprenant les caractéristiques principales de l'orgue, nous les avons comparées avec les caractéristiques de plusieurs instruments : clavecin et piano, comme instruments à claviers, aptes à la polyphonie, et violon et flûte comme instruments surtout mélodiques. (voir tableau ci-dessus)
On constate que les performances de l'orgue en intensité, fréquences et timbres sont particulièrement larges voire exceptionnelles. En ce qui concerne l'expressivité, on remarque les limites de l'instrument.

Conclusions

Les sons émis par l'orgue ont une spécificité par la variété et l'étendue des caractéristiques que nous avons décrites. Cette ampleur des performances acoustiques et musicales rend l'instrument différent des autres, il se situe "à part".
Si l'organier et l'harmoniste ont prédéterminé les sons, l'organiste dispose d'un grand degré de liberté pour utiliser les combinaisons amenant une grande variété de timbres et d'intensité.
Si le point faible de l'instrument réside surtout dans l'expressivité "note à note", il est particulièrement bien adapté à l'émission simultanée de plusieurs plans sonores différents chacun ayant un timbre, une intensité et même une fréquence différente.
Il est inégalable pour la polyphonie en faisant percevoir les architectures les plus complexes.
Contrairement à une opinion répandue, l'orgue quand il est bien conçu et bien réalisé est capable d'une virtuosité égale à la plupart des instruments à clavier.
La multitude des sources sonores provenant des divers tuyaux qui parlent ensemble, le mixage et l'amplification de ces sons dans le buffet, amènent une richesse et une vie aux sons émis qui est une autre caractéristique originale de l'orgue.

Les sons émis et entendus ne sont pas l'addition des sons élémentaires de chaque tuyau qui parle ; il y a une amplification mais aussi un effet d'entraînement, une sorte d'effet stéréophonique qu'aucun autre instrument actuel n'est capable de donner avec cette netteté.
L'espace interne qui entre en vibration ne vibre pas de la même manière avec chaque timbre. Il en résulte une palette de sons étendue et riche qui se renouvelle à chaque combinaison ou registration nouvelle. L'orgue n'émet pas toujours les mêmes sons.
Cette étude succincte des sons émis par l'orgue et des influences qu'ils peuvent subir, ne doit pas masquer la complexité de ce qui se passe réellement. Les sons émis par l'orgue ne sont pas des sons purs et simples mais, au contraire, des sons complexes, multiples, interactifs s'influençant mutuellement.

Tableau comparatif des caractéristiques acoustiques et musicales de 5 instruments

Caractéristiques	Orgue	Piano	Clavecin	Violon	Flûte
Intensité mini	35 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB
Intensité maxi	115 dB	95 dB	85 dB	80 dB	75 dB
Etendue des Fréquences	16 Hz à 16 400 Hz	20 Hz à 4100 Hz	32 Hz à 4100 Hz	200 Hz à 3200 Hz	260 Hz à 2100 Hz
Nombre de timbres	Quelques Dizaines à des Milliers	4 à 5	3 à 4	4 à 5	3 à 4
Durée mini	0, 1 s	0, 05 s	0, 05 s	0, 05	0, 01
Durée maxi	Pas de limite	3 à 4 s	2 à 3 s	Pas de limite en théorie	3 à 4 s
Expressivité par plans	Forte	Moyenne	Assez forte	Moyen	Faible
Expressivité note à note	Presque Nulle	Très forte	Presque nulle	Très forte	Très forte
Articulation	Bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne
Attaque	Bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne	Excellente
Formes	Bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne	Bonne

Dossier

Les antibiotiques

Par Geneviève GAUDET

Maître de Conférences en microbiologie au CUST de Clermont-Ferrand Département de Génie Biologique



Depuis quelques mois déjà, l'utilisation des antibiotiques fait l'objet de mises en garde de la part des autorités sanitaires, sous forme de messages publicitaires ou de magazines d'informations. Les informations dispensées sont parfois alarmantes, et on peut se demander si elles reposent sur des bases scientifiques et statistiques sérieuses. La réalité est en fait largement aussi inquiétante que ce que laissent supposer ces messages transmis par les différents médias.

La découverte de la pénicilline d'abord, puis d'autres antibiotiques a permis de traiter nombre de maladies infectieuses, d'origines bactériennes ou fongiques, qui étaient mortelles auparavant. Mais, les mécanismes d'action des antibiotiques n'ont été élucidés que bien après que les antibiothérapies soient devenues d'usage courant ; de même, la capacité des microorganismes à développer des résistances naturelles contre ces antibiotiques, puis à les transmettre, n'a été découverte que bien plus tard.

La compréhension préalable de ces mécanismes d'action et de résistance aurait sans doute pu éviter bien des erreurs de stratégie d'utilisation des antibiotiques avec les conséquences graves que nous connaissons : apparition de germes multi-résistants, infections nosocomiales. Mais il est bien impensable de refuser un traitement vital, à un malade sous le prétexte qu'on ne connaît pas précisément son mode d'action.

Modes d'action des antibiotiques

Les différentes familles d'antibiotiques ont des sites cellulaires d'action très divers. Selon les familles, tous ou presque tous les niveaux physiologiques et métaboliques vitaux pour une bactérie ou une levure ou encore un champignon, vont être ciblés (figure 1). Dans la suite de ce texte, seuls les mécanismes d'action contre les bactéries seront présentés (tableau 1).

Les antibiotiques peuvent, selon leur nature et les microorganismes concernés, déstabiliser les membranes phospholipidiques telles que la membrane interne ou la membrane externe des bactéries : ce sont principalement les polypeptides cycliques (figure 2) comme la bacitracine, la vancomycine et la polymyxine, qui provoquent la perméabilisation des membranes et la fuite du contenu cytoplasmique. Les pénicillines (pénicilline, ampicilline, céphalosporine) fragilisent le peptidoglycane, paroi mécaniquement résistante de la bactérie, et provoquent la lyse des membranes cytoplasmiques fragiles, sous la pression exercée par l'augmentation du volume cellulaire en croissance.

La mytomycine et la chloroquine s'intercalent dans la double hélice d'ADN, empêchant sa duplication, le nitroimidazole se lie à l'ADN et le coupe, tandis qu'un certain nombre d'antibiotiques comme l'acyclovir, la novobiocine, inhibent directement la néosynthèse de l'ADN ou de l'ARN.

La synthèse des protéines est également affectée à différents niveaux : la rifampicine se lie à l'ARN polymérase et inhibe la synthèse d'ARN messager ; la streptomycine, la néomycine, la kanamycine se fixent au site de lecture de l'ARN messager, l'acide fusidique empêche que des acides aminés ne s'attachent aux ARN de transfert, tandis que le chloramphénicol et l'érythromycine exercent une inhibition compétitive sur la formation de la liaison peptidique qui assure l'allongement de la chaîne protéique.

Enfin les sulfamides et le triméthoprime inhibent la synthèse de co-facteurs enzymatiques : les tétrahydrofolates. Ces cofacteurs sont impliqués dans le métabolisme des groupements à un carbone : carbonyle, méthyle, carboxyle... Les sulfamides et le triméthoprime ne sont pas à proprement parler des antibiotiques, mais leur mode d'action sur les cellules bactériennes ne permet pas de les ignorer, dans le cadre de la lutte anti-bactérienne.

Mécanismes naturels de résistance aux antibiotiques

De même que les antibiotiques sont naturellement synthétisés par des microorganismes, des mécanismes de défense sont naturellement présents chez d'autres microorganismes. Ces mécanismes sont de trois grands types : soit l'entrée des antibiotiques dans la cellule est réduite, soit les récepteurs de l'antibiotique à l'intérieur de la cellule sont altérés, soit

encore des enzymes spécifiques modifient la molécule antibiotique (figure 3). Plusieurs de ces mécanismes peuvent cohabiter chez une même bactérie, contre un antibiotique donné ou contre un éventail large d'antibiotiques. Ces mécanismes sont par ailleurs transmissibles.

Transmission des résistances

Les mécanismes de résistance aux antibiotiques sont sous le contrôle du génome donc de l'information génétique. Chez les bactéries l'information génétique qui est essentielle à l'identité de l'espèce est portée par un chromosome unique, tandis que des fonctions annexes, dont les résistances aux antibiotiques, sont souvent codées par des plasmides ou anneaux d'ADN de petite taille, pouvant exister en plusieurs copies dans la même cellule. Ces plasmides peuvent être transmis d'une bactérie à l'autre, que les cellules soient ou non de la même espèce bactérienne. En présence d'antibiotiques, la survie de l'espèce résistante est conditionnée par le maintien du plasmide et l'expression des gènes de résistance qui sont portés par ce plasmide, ce qui conduit en parallèle à une augmentation de la fréquence de transmission de la résistance.

Les conséquences et les pratiques recommandées

Les conséquences de la multiplication des résistances aux antibiotiques sont graves statistiquement. On entend beaucoup parler des otites à répétition que connaissent les petits enfants, parce que parmi les germes bactériens responsables des otites, des résistances multiples se sont développées et que dans ce biotope très favorable, les germes les plus résistants peuvent reprendre leur multiplication dès l'arrêt du traitement qui les aura malgré tout affaiblis le temps de guérir les symptômes.
Les germes qui résident en milieu hospitalier sont infiniment dangereux : ce sont des germes qui ont été exposés en général à un large éventail d'antibiotiques et qui ont acquis des résistances contre tous. Les septicémies qui en résultent, après contamination intervenue au cours d'une opération, deviennent pratiquement incurables et peuvent être cause de décès.
Les conséquences sont encore statistiquement plus graves dans les pays sous–développés. Par le biais du tourisme, ou des transactions commerciales, des bactéries pathogènes multi-résistantes sont véhiculées dans ces pays. L'accès aux soins dans ces pays est limité et de plus il arrive que les gènes de virulence soient associés aux germes de résistance aux antibiotiques, ce qui transforme les bactéries concernées en véritable fléau pour les pays pauvres.

Actuellement la bonne attitude serait de **limiter au maximum l'utilisation des antibiotiques** quand le seul argument pour leur emploi est le confort du patient. Il est également très important **de ne pas traiter de maladies d'origine virale** avec des antibiotiques : ils sont sans effet sur les virus mais par contre permettent la dispersion des résistances à tous les germes bactériens présents chez le patient.
Il est par ailleurs indispensable **de continuer un traitement prescrit, la durée prescrite**. La raison en est que lors de l'administration d'un antibiotique, il y a une lutte entre la population bactérienne et la dose d'antibiotique. La dose d'antibiotique ne peut pas être massive, donc dans un premier temps le rapport entre les attaquants (antibiotiques) et les cibles (bactéries) est favorable aux cibles, mais la situation s'inverse au cours du temps au fur et à mesure que les bactéries sont détruites avec l'aide du système immunitaire du patient. Il est donc nécessaire de détruire le maximum de germes pathogènes avant l'arrêt de la prise d'antibiotiques pour que les bactéries pathogènes ne reprennent pas leur multiplication et n'acquièrent pas les résistances que les bactéries non pathogènes résistantes mettent gracieusement à leur disposition.

Familles d'antibiotiques	Mode général d'action sur les bactéries
Polypeptides cycliques bacitracine, vancomycine polymyxine	Perméabilisation des membranes Fuite du contenu cytoplasmique
β-lactamines pénicillines ampicilline, céphalosporine	Fragilisation mécanique des parois "explosion des cellules"
mytomycine, chloroquine nitroimidazole acyclovir, novobiocine	Perturbation de la transmission de l'information génétique ou de la transcription des gènes
rifampicine, streptomycine, néomycine, kanamycine, acide fusidique, érythromycine, chloramphénicol	Inhibition de la synthèse des protéines par interaction avec les structures bactériennes de transcription de l'ADN
sulfamide, triméthoprime	Inhibiteurs du métabolisme cellulaire

Tableau 1 : Mécanismes généraux d'action des antibiotiques sur les cellules bactériennes

Les antibiotiques - définition
La médecine moderne fait usage des agents chimiothérapeuthiques, agents chimiques employés dans le traitement des maladies.
La plupart de ces agents sont des antibiotiques – du grec "anti", (contre) et "bios" (la vie) – produits d'origine microbienne ou fongique, capables de tuer les microorganismes sensibles ou d'inhiber leur croissance.
Les sulfamides sont parfois désignés comme des antibiotiques bien qu'il s'agisse d'agents chimiothérapeuthiques synthétiques d'origine non microbienne.

Georges Anton

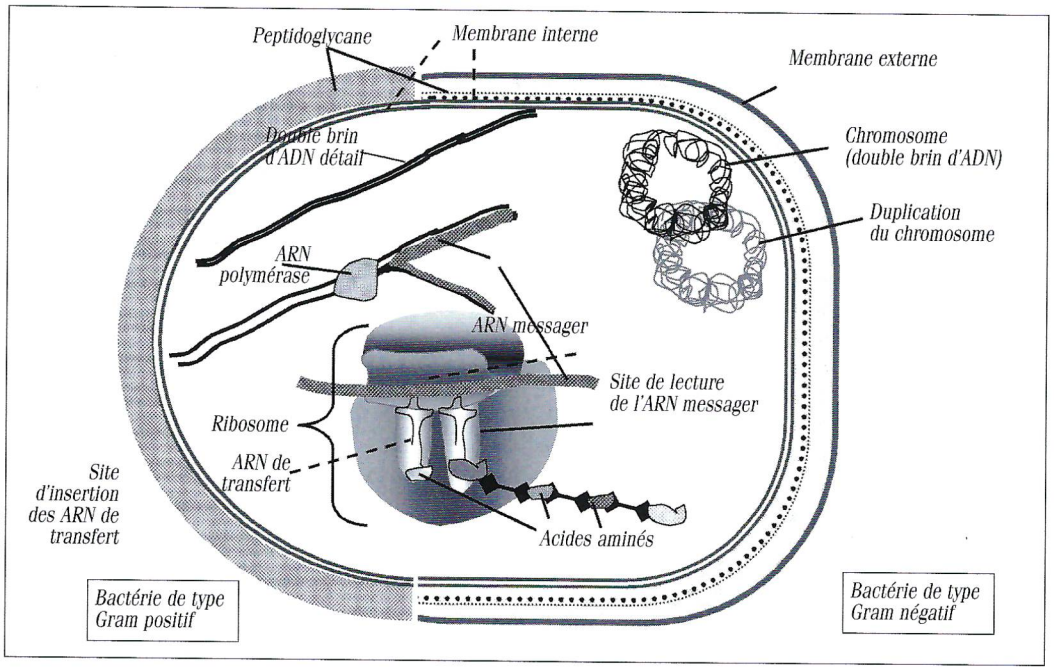
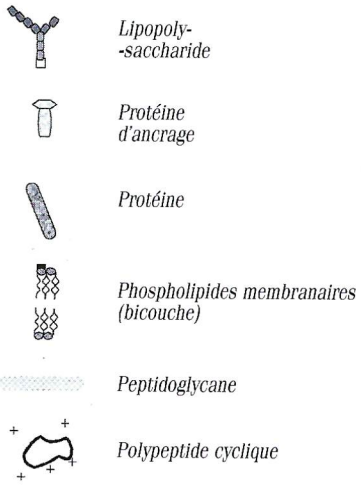
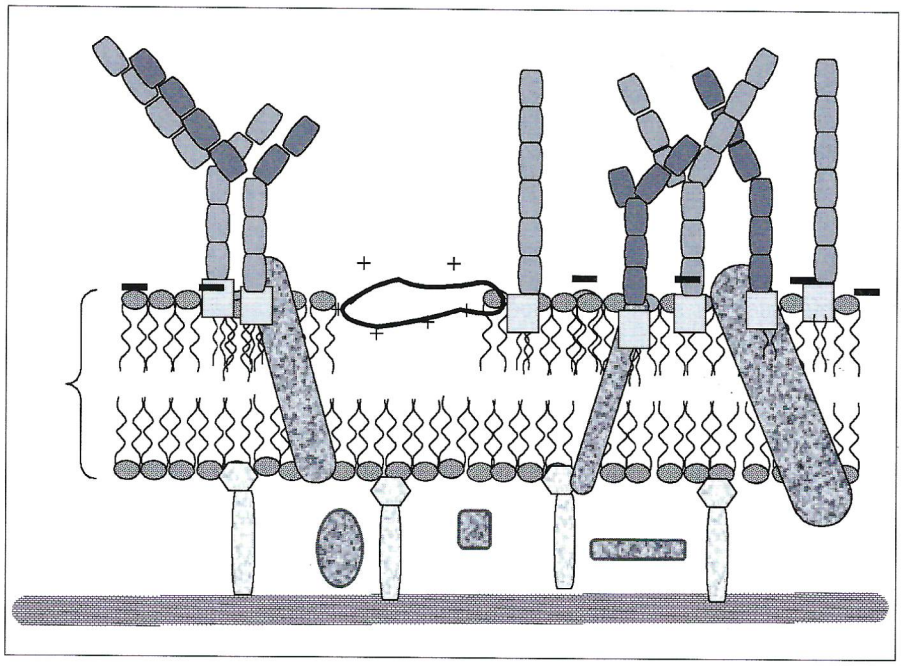


Figure 1
Les différents sites cellulaires d'actions des antibiotiques : Les éléments représentés schématiquement ne sont pas à l'échelle de taille par rapport aux cellules bactériennes

Figure 2
mode d'action des antibiotiques de la famille des polypeptides cycliques sur la membrane externe des bactéries à Gram négatif : type Salmonella





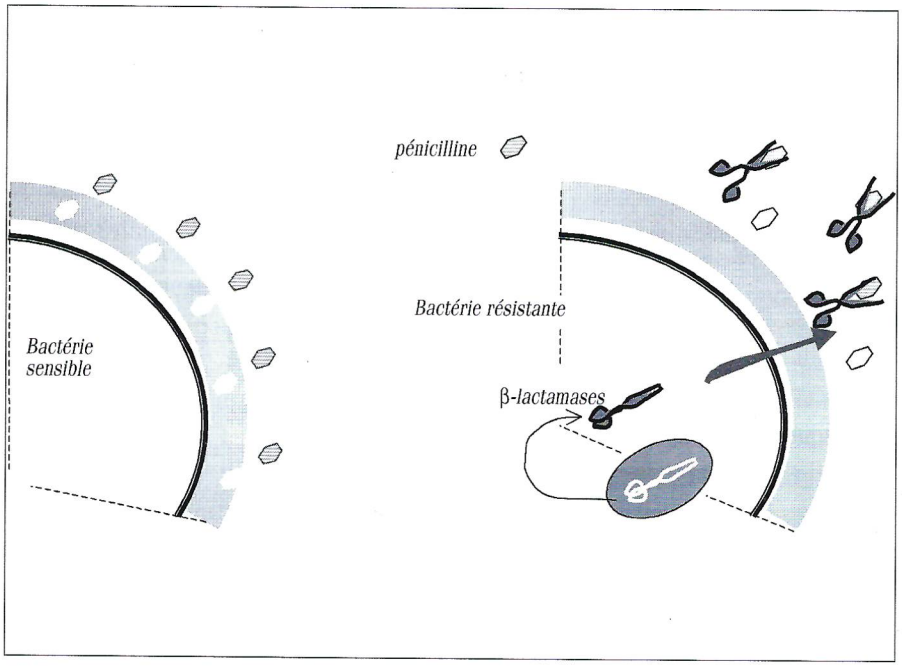


Figure 3
Mode d'action des pénicillines et mécanisme de résistance aux pénicillines par la sécrétion d'enzymes hydrolytiques spécifiques chez des bactéries à Gram positif : type Staphylococcus

Histoire des Sciences

Hommage à un grand physicien
Augustin Fresnel



Par Suzanne Gély

Augustin FRESNEL a été comparé à NEWTON, devenant le "Newton de l'Optique" alors que son ami AMPERE (1775-1836) était "le Newton de l'Electricité". Et pourtant, tous les deux ont su montrer les insuffisances du Newtonisme Laplacien qui régnait en maître à leur époque.

Malgré leur différence d'âge, ils travaillèrent ensemble, épaulés par leur ami François Arago (1786-1853) qui défendit souvent leurs théories à l'Académie des Sciences.
Grâce à leurs travaux remarquables, ils arrivèrent à briser l'hégémonie de Laplace et des Newtoniens qui paralysaient alors la Science européenne... Ils rendirent ainsi possible l'avènement de la Physique moderne.

Augustin Jean FRESNEL est né à Broglie, dans l'Eure, le 10 mai 1788. Son père était architecte, mais la tourmente révolutionnaire obligea la famille à se retirer dans une modeste propriété à Mathieu, petit village près de Caen.

A partir de 1801, Augustin commença des études à l'Ecole Centrale de Caen ; puis, en 1804, il entra à l'Ecole Polytechnique où son frère Léonor l'avait précédé d'une année...En 1806, il sort de l'Ecole dans le corps des Ponts et Chaussées. Envoyé d'abord dans le département de la Vendée, puis dans la Drôme, il s'occupe consciencieusement de ses devoirs professionnels d'Ingénieur.

Cependant, déjà dans ses rares loisirs, l'objet de ses réflexions était la théorie de la lumière ; son esprit pénétrant avait aperçu les insuffisances de la théorie newtonienne de l'émission surtout dans l'interprétation des ombres : d'après Newton, l'ombre devait avoir une limite nette séparant l'obscurité de la lumière ; or l'expérience montre un contour flou et une bordure de franges irisées... En 1814, Fresnel écrivit un mémoire intitulé "*Rêveries*" sur la propagation de la lumière et demanda à son oncle, Léonor Mérimée, professeur de dessin à l'Ecole Polytechnique, de présenter ce travail à Ampère qui enseignait à l'Ecole. Mais celui-ci ne répondit pas car, à l'époque, il était candidat à l'Académie des Sciences et s'était rallié, au moins en public, à la théorie de l'émission de Newton.

La Restauration de la Monarchie en 1814 mettant fin au despotisme impérial laissa espérer à Fresnel l'aurore d'une sage liberté ; aussi le débarquement de Napoléon à Cannes en mars 1815 lui parut une attaque contre la civilisation et, malgré une santé délabrée, il alla s'enrôler dans l'armée royale du Midi. Hélas ! Lors des Cent Jours, en avril 1815, il fut destitué de ses fonctions et placé sous surveillance policière. Mais il put séjourner à Paris, retrouver des anciens condisciples et réaliser ensuite, chez sa mère à Mathieu en Normandie, des expériences avec quelques appareils relativement simples fabriqués par un ouvrier de village. Il vérifia ainsi que les ombres étaient bordées de franges, à l'intérieur comme à l'extérieur : le Père Grimaldi les avait déjà signalées en 1665 mais Newton avait voulu les ignorer car elles étaient en désaccord avec sa théorie de l'émission.

Fresnel en conclut que les rayons lumineux n'existent pas et il reprend la "*théorie ondulatoire*" proposée, en 1678, par le Physicien hollandais HUYGENS dans son "*Traité de la lumière*" et vivement controversée par Newton, enseignant alors à Cambridge sa Théorie corpusculaire de la lumière...
Réintégré dans le Corps des Ponts et Chaussées après les Cent Jours, à la fin de 1815, Fresnel communiqua ses résultats à Arago et trouva, auprès du jeune académicien, une attention bienveillante. Il continua ses recherches et mit au point l'expérience des deux miroirs – qui porte son nom - prouvant l'existence des *interférences* et véritable base expérimentale de la théorie des ondes.

Fresnel retrouvait ainsi, sans les connaître, les résultats de Thomas YOUNG (1773-1829), médecin et physicien anglais qui prit une part active aux controverses sur la nature de la lumière et s'intéressa aux couleurs des lames minces et aux anneaux colorés de Newton. Mais, découragé par la double réfraction du spath d'Islande et par la polarisation de la lumière, il abandonna toute recherche à ce sujet.
La polarisation (vitreuse) de la lumière avait été découverte en 1808 par Etienne Malus, physicien français, né à Paris (1775-1812), en observant, à travers un cristal de spath d'Islande, la lumière du soleil réfléchie par les vitres du palais du Luxembourg, à Paris...
En 1811, il réalisa la polarisation totale par réfraction (traversée d'une pile de glaces). Dans le même temps, Brewster étudiait la polarisation par réflexion vitreuse ; elle est totale sous une incidence dite brewstérienne i : si n est l'indice du second milieu par rapport au premier, on a : tan i=n ;
Pour le verre ordinaire, n=1,52 i=57°
Pour l'eau n=1,33 i=53°

La polarisation était donc bien connue, étudiée ; cependant, en 1816, personne

n'avait pu en trouver l'explication… C'est Fresnel qui va la fournir…

Mais l'exposé de ses théories souleva alors, à l'Académie des Sciences, une tempête de protestations, orchestrée par le Marquis de Laplace, fervent newtonien. Heureusement Arago joua le rôle de protecteur et Ampère, à son tour, défendit Fresnel en notant que, bien qu'il eût par le passé soutenu la thèse de l'émission, les conclusions du rapport de Fresnel semblaient correctes.
A partir de ce moment-là, en 1816, Fresnel reçut l'entier soutien d'Ampère et il s'établit entre eux une collaboration étroite pour faire, de la découverte initiale de Fresnel, un principe physique universel.
En particulier, Ampère suggéra à Fresnel que l'onde lumineuse pourrait ne pas être longitudinale (comme l'onde sonore) mais plutôt transversale…
Fresnel, aidé par Ampère, continua ses travaux. Tous les deux pensaient que c'était la constitution de la lumière polarisée qui détenait le secret intime de la théorie lumineuse. Il suffisait d'admettre que :
les vibrations lumineuses sont dans le plan de l'onde et non pas perpendiculaires à ce plan,
la vibration est rectiligne et transversale dans la lumière polarisée.
Mais la bataille faisait rage à l'Académie…
Pour y mettre fin, le bureau décida de proposer au concours, pour 1819, **l'étude expérimentale et théorique des ombres**. Fresnel, conseillé par Arago, remit au dernier moment (29 Juillet 1818) un mémoire "*Natura simplex et fecunda*" où il résumait ses recherches sur la diffraction.
La Commission de l'Académie composée de : Arago, Biot, Gay-Lussac, Laplace et Poisson décerna le prix au mémoire de Fresnel… Alors, Laplace et Biot s'inclinèrent enfin !
Au moment où Fresnel, aidé par Ampère, arrive à ce point culminant de sa théorie, de son côté, Ampère est à un tournant de sa carrière scientifique.

En effet, en 1819, Ampère est un savant reconnu : élu en 1814 à l'Académie des Sciences comme mathématicien, à l'âge de 39 ans, il s'intéresse en même temps à la Chimie, à l'Optique - avec Fresnel - mais aussi à la Philosophie – avec Maine de Biran - puisqu'il enseigne de 1819 à 1820 à la Faculté des Lettres de Paris ses théories "*sur la classification des faits intellectuels*"
C'est alors que, le 4 septembre 1820, à l'Académie, Arago relate l'expérience faite à Copenhague par le physicien danois Oersted qui signale *la déviation de l'aiguille aimantée au voisinage d'un courant électrique* mais sans fournir aucune explication.
Les physiciens étaient alors habitués à la théorie newtonienne d'actions et de réactions s'exerçant en ligne droite entre deux points et nul ne comprenait pourquoi l'aiguille aimantée déviait perpendiculairement au fil électrique conducteur.
C'est alors que l'imagination et le génie mathématique d'Ampère s'emparent de la question, lui permettant de comprendre le phénomène et d'apporter à l'Académie dès le 18 septembre 1820 la découverte qui a immortalisé son nom !
En quelques semaines, travaillant jour et nuit, avec son ami Fresnel – qui d'ailleurs habitait chez lui au n°19, rue des Fossés Saint Victor -aujourd'hui rue du Cardinal Lemoine – Ampère a créé une nouvelle branche de la Physique : *l'Electrodynamique*. Il montra, contrairement aux idées de Laplace et de Coulomb, que **l'électricité et le magnétisme** sont profondément liés. Avec l'aide de Fresnel, Ampère développa l'hypothèse des *courants moléculaires* énonçant qu'il existe des courants électriques et constants à l'échelle microscopique de la matière…
Bien sûr, ces idées novatrices furent combattues par les newtoniens comme Laplace, Coulomb, Biot…mais elles finirent par triompher et s'épanouir dans la Physique Moderne.

Dans le même temps où Ampère développe la théorie électromagnétique, Fresnel publie les résultats de ses travaux et expériences concernant la constitution des ondes lumineuses et la transversalité des vibrations lumineuses. Il entreprend de nouvelles expériences sur la polarisation et l'optique cristalline. De même, comme Ampère, Fresnel est examinateur puis répétiteur de physique et de géométrie à l'Ecole Polytechnique en 1821.
Sa découverte des lois générales de la double réfraction dans les cristaux uniaxes et biaxes fut mise en relief par Arago dans un rapport lu, à l'Académie des Sciences, le 19 août 1822 ; il montra comment l'expérience confirmait les lois géométriques prévues par la théorie…
Après la lecture de ce rapport, Laplace se leva et déclara son admiration : la victoire de la théorie des ondes était enfin assurée !
L'année suivante, le 12 mai 1823, Fresnel était élu membre de l'Académie des Sciences à l'unanimité.
Deux ans après, en 1825, "la Royal Society" de Londres nommait Fresnel membre étranger de cette glorieuse institution et ce fut Young qui lui transmit, lui-même, l'annonce de cette haute distinction.

Tout en poursuivant ses travaux scientifiques, Fresnel avait à cœur de remplir ses obligations professionnelles : il est l'inventeur des appareils lenticulaires (lentilles à échelons) servant à augmenter le pouvoir éclairant des phares. Le premier appareil fut mis en service au phare de Cordouan, en Gironde, en 1823...Mais il est épuisé par ses travaux…

En 1827, ses forces déclinent rapidement. Son frère Léonor lui avait été adjoint à l'inspection des phares quelque temps auparavant. On le transporte à Ville d'Avray, auprès de sa mère. Là, il reçut, des mains d'Arago, la médaille de Rumford que la "Royal Society" de Londres venait de lui décerner et il s'éteignit dans les bras de sa mère, à l'âge de 39 ans, le 17 juillet 1827.

Ampère lui survécut 9 ans mais il mourut, isolé, le 10 Juin 1836, à l'âge de 61 ans, au cours d'une inspection, au Lycée Thiers à Marseille, son corps fut ramené à Paris où il repose au cimetière Montmartre auprès de son fils.

Ces deux amis, Fresnel et Ampère, aidés par Arago avaient maintenu en France la Science en vie. Après eux, le centre de gravité du progrès scientifique se déplaça en Allemagne : c'est le "réexamen" des découvertes de Fresnel et Ampère par Carl Gauss, Wilhelm Weber et Bernhard Riemann qui déclencha les développements de la *Physique mathématique moderne*.

Bibliographie

Eloge de Fresnel par Arago (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées)
Revue "Fusion" n°79 Janvier 2000.

Voyage dans la "VALLEE DE LA CHIMIE" Banlieue industrielle de Lyon le 27 avril

par Georges ANTON

Journée impressionnante pour les 22 participants à l'Escapade Scientifique et Technique du 27/04 : les visites de RHODIA SILICONES à Saint-Fons et de L'INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE (IFP) à Solaize, nous ont permis d'avoir un bon aperçu du dynamisme industriel de la Région Lyonnaise.

Le départ du groupe de l'ADASTA a lieu à 6h30 – la journée appartient aux gens qui se lèvent tôt, disait Napoléon – et le car nous amène chez RHODIA St. Fons, dont l'activité fondamentale réside dans la fabrication de silicones divers, aux utilisations variées.

Ces produits se retrouvent dans toute une gamme d'objets allant des bouchons de liège aux joints d'étanchéité en passant par les airbags de nos voitures, certains élastomères, les bas nylon, les adhésifs, les parfums, les dentifrices et on s'arrêtera là car une liste exhaustive prendrait des pages.

Mention spéciale sera faite à la matière première – le silicium fabriqué à l'usine Rhodia de Roussillon – que l'on transforme en silice pulvérulente à St. Fons. SiO2 est aujourd'hui un composant essentiel de l'industrie du pneumatique.

Cette visite très dense, réalisée dans la matinée, fut suivie d'un bon repas dont le menu savoureux et équilibré était le préalable nécessaire à la découverte de l'IFP dans l'après-midi.

L'introduction à la connaissance des activités de l'IFP est faite par M. Roland HUIN, Directeur Général de l'Etablissement de Solaize. Dans un contexte où les hydrocarbures pétrole et gaz, resteront incontournables pendant encore de nombreuses décennies, la vocation de l'IFP – établissement privé dont le financement est assuré par une dotation budgétaire de



Groupe ADASTA devant l'usine RHODIA-SILICONES

l'Etat – est d'innover et de développer les technologies qui permettent à l'industrie des hydrocarbures une croissance durable respectueuse de l'environnement.

La Recherche est particulièrement concernée à Solaize par des activités de catalyse, séparation, analyse et génie des procédés. L'ampleur des moyens mis en œuvre ainsi que le nouveau hall pilote de 1500 m², inauguré en 2002, en est une éclatante démonstration. La vue panoramique de l'ensemble du Site, depuis l'étage supérieur de l'IFP, a clôturé cette visite.

Micropolis à St. Fons (Aveyron) et Le Parc des Bisons à Ste. Eulalie (Lozère)

par Pierrette TOURREIX

Le 24 avril les "Jeunes Pousses de l'ADASTA" ont visité MICROPOLIS, la Cité des Insectes, à St. Léons (village natal de Jean-Henri FABRE – 1823/1915 - le très célèbre entomologiste) au cœur de l'Aveyron.

L'entomologie : c'est l'étude des insectes, une discipline à laquelle Jean-Henri Fabre a consacré toute sa vie. Micropolis (ouvert en 2000) a été conçu après le film Microcosmos pour aller à la rencontre du peuple de l'herbe.

Avec nos hôtesses nous suivons "le papillon bleu....sans jamais marcher sur les fourmis rouges" et nous partons découvrir les 15 espaces d'expositions qui fourmillent de surprises et de merveilles.

Pique-nique puis départ à la découverte d'une espèce beaucoup plus imposante : les bisons d'Europe de Ste. Eulalie en Lozère.

Le bison a vécu dans nos massifs forestiers jusqu'au Moyen-Age ; quelques uns vivent encore dans la forêt de Bialoweza en Pologne. Le but du parc, réserve naturelle, est de préserver cette race en voie d'extinction : depuis l'ouverture en 1991 avec 9 animaux le troupeau s'est agrandi à 32 têtes. Le parc possède également 4 bisons d'Amérique vivant dans une partie réservée et qui permettent de voir les différences fondamentales entre les deux races.



La visite est complétée par le musée du bison, où la grotte reconstituée, ornée de peintures rupestres, les hommes préhistoriques et l'animal dans son environnement, nous ramènent à l'aube de l'humanité.

Retour vers Clermont-Fd. à la fin d'une journée favorisée par un temps exceptionnellement beau.

Activités

Hélène BERTHELIER a quitté l'ADASTA

par Annie VILLE



Tous les membres et adhérents de l'ADASTA connaissent Hélène qui a assuré le Secrétariat pendant cinq ans. Tout le monde a pu apprécier sa gentillesse, son sourire et son efficacité.

Son contrat étant terminé Hélène est partie vers de nouvelles aventures que nous lui souhaitons de tout cœur agréables.

A bientôt Hélène ! L'ADASTA espère recevoir rapidement de bonnes nouvelles sur tes activités.

Information concernant "les jeunes pousses"

CD Rom N°II

CD pédagogique de sensibilisation à la Science au travers de 15 expériences virtuelles disponible à la prochaine rentrée. Se renseigner au secrétariat

Adhésions et Abonnements

Adhésions à titre individuel ..... 30€
Adhésions à titre collectif ..... 80€

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

Permanences :

Elles sont assurées par les bénévoles :
du Lundi au Jeudi de 8h à 12 h et de 14 h à 17h
le Vendredi de 8h à 12h
(juillet et août inclus)
En cas d'absence laisser message sur répondeur ou envoyer fax ou E-mail.

Adressez le courrier à
ADASTA, Centre Riche-Lieu - 13, rue Richelieu - 63400 Chamalières
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 2003
N° ISSN - 1166-5904

Madame Suzanne GELY a représenté l'ADASTA à la Journée Académique de l'Union des Professeur de Physique et de Chimie qui a eu lieu à Yzeure le 23 juin 2004. Le Président Roland Fustier est membre du Conseil d'Administration de l'ADASTA.