

sein de groupes utilisant le soufflet pour des activités techniques telles que le travail du métal.

BAMBOU ET BRICOLAGE

Vous pourrez fabriquer un briquet pneumatique en ne recourant qu'à des matériaux naturels et faciles à trouver. À l'image de certains objets asiatiques, prélevez le tube sur une tige de bambou. De diamètre presque constant, le creux naturel de cette plante offre des parois lisses et solides ; le nœud cloisonnant entre deux segments, utilisé comme base du cylindre, résiste bien à la pression. À défaut de bambou, et toujours d'après des modèles ethnologiques, un cylindre en corne ou en bois dur et homogène peut être creusé à l'aide d'un vilebrequin ou d'une perceuse électrique. Les parois de la cavité, naturelle ou aménagée, doivent être lissées durant quelques minutes avec une feuille de papier de verre enroulée sur elle-même ou autour d'un support rigide.

Selon nos expérimentations, un cylindre en bambou ou en buis présentant en moyenne une cavité de neuf millimètres de diamètre et profonde de huit centimètres convient bien. Les objets ethnologiques semblent légèrement plus petits que les nôtres.

L'autre pièce du dispositif, le piston, sert à comprimer l'air dans le cylindre. Sa longueur et son diamètre seront adaptés aux dimensions de la perforation. Les objets expérimentaux qui fonctionnent le mieux sont en buis, de section parfaitement circulaire, d'un diamètre inférieur d'environ un millimètre à celui de la perforation. Afin de manipuler facilement le piston, la tige est aménagée en poignée à l'une de ses extrémités.

Pour assurer une parfaite étanchéité, l'extrémité est munie d'un fil de soie ou de coton enroulé plusieurs fois, comme sur une bobine. De cette manière, le piston s'ajuste à la perforation du cylindre. Ce joint n'est efficace que s'il est enduit de cire ou d'une substance grasseuse comme le saindoux. Ces matières suffisent à faire tenir le fil sans nœud ni colle.

Pour trouver le réglage parfait, on ajoutera ou on enlèvera du fil et de la graisse jusqu'à ce que le piston entre et sorte sans difficulté du cylindre, mais que l'on sente, en l'enfonçant, une légère résistance due à la compression de l'air. Le réglage est bon lorsque le piston, une fois relâché, remonte de lui-même de quelques millimètres.

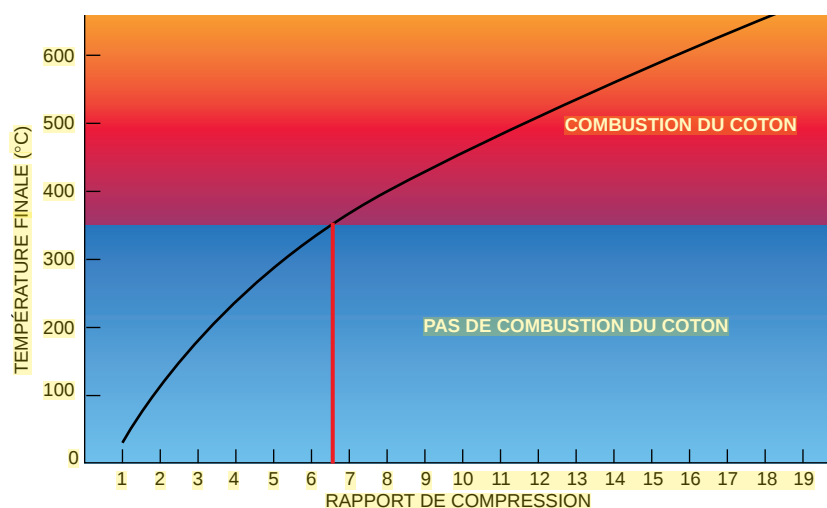
Comment transformer la chaleur produite en flamme, ou plutôt, dans un premier temps, en braise ? À cet effet, on creuse sur la base du piston, avec la

Air chauffé et combustion d'amadou

À l'aide des lois de la thermodynamique, on calcule la température atteinte lors de la compression. La rapidité de la compression permet de considérer celle-ci comme adiabatique : aucun échange de chaleur n'a lieu entre l'extérieur et l'intérieur du tube. Dans ce cas, le produit de la température en kelvins par le volume à la puissance 0,4 est une constante (le coefficient 1,4 est le rapport des chaleurs spécifiques de l'air à pression constante et à volume constant). Ainsi, si la température ini-

tiale est de 20 °C (293 kelvins), on calcule la température finale en fonction du rapport de compression.

Lorsque le rapport de compression est égal à cinq, l'air comprimé atteint 284 °C ; si l'on comprime l'air plus de 6,7 fois, la température dépasse 350 °C, la température de combustion du coton (ou de l'amadou qui est proche). En pratique, la qualité de l'étanchéité limite le rapport de compression que l'on peut atteindre et donc, la température finale.



pointe d'un couteau ou d'un ciseau à bois, une petite cavité profonde de trois à quatre millimètres. Elle servira à accueillir une substance facilement inflammable, qui se trouvera ainsi propulsée à la base du cylindre.

Les substances inflammables appropriées sont les mêmes que celles qui sont utilisées pour récupérer les étincelles produites par la méthode de percussion pierre contre pierre ou pierre contre métal. La solution la plus simple consiste à prélever un petit brin sur une mèche de briquet dit «à amadou» (vendue au mètre dans certaines drogueries). L'amadou véritable, tiré du champignon connu sous le nom d'amadouvier à feu (*Fomes fomentarius*) doit, avant usage, être traité selon les recettes traditionnelles, dont plusieurs variantes sont recensées dans le monde. Nous avons obtenu de bons résultats avec celle qui consiste à tremper le champignon pendant une quinzaine de jours dans la sève contenue dans le creux naturel de certains platanes. On peut également carboniser partiellement l'amadou ou du coton hydrophile (qui est bien aéré), dans une boîte métallique fermée et perforée de quelques trous.

Une fois la cavité située à la base du piston bourrée de matière combustible, le briquet à air comprimé est prêt à fonctionner. D'un geste énergique, enfonçons le piston dans le tube, puis retirons-le aussitôt. Le brin d'amadou, ou son succédané, est devenu incandescent. Il suffit de le sortir avec précaution, de le placer dans une touffe d'herbes sèches et de souffler pour obtenir la flamme.

Paul BOUTIÉ et Ioannis MANOS travaillent au Laboratoire de préhistoire de l'Université Paul Valéry de Montpellier.

Henry BALFOUR, *The Fire Piston*, Smithsonian Report for 1907, Washington Printing Office, pp. 565-593, planches I-V, 1908.

George MONTANDON, *Traité d'ethnologie cyclo-culturelle et d'ergologie systématique*, éditions Payot, Bibliothèque scientifique, 1934.

Jacques COLLINA-GIRARD, *Feu par percussion, feu par friction, les données de l'expérimentation*, in *Bulletin de la Société préhistorique française*, tome 90, fasc. 2, pp. 159-173, 1993.

Mathématiques

Calcul scientifique

Lionel Sainsaulieu. Éditions Masson.

Introduction au calcul scientifique

Brigitte Lucquin et Olivier Pironneau.
Éditions Masson.

Considérons un problème de nature industrielle : de l'eau se trouve dans un réservoir, serpente dans divers tuyaux, reçoit ou cède de la chaleur, sort par un robinet. Pour prévoir sa température à la sortie, les ingénieurs doivent : (1) écrire toutes les équations qui régissent l'ensemble des phénomènes : c'est la modélisation ; (2) concevoir une méthode de résolution approchée de ces équations (car en général les équations sont beaucoup trop compliquées pour être résolues de manière exacte) ; (3) écrire un programme d'ordinateur qui réalisera cette résolution approchée (beaucoup trop longue et compliquée pour être faite à la main) ; (4) comparer les résultats que donne la machine à ceux que fournit l'expérience : c'est la validation. Ainsi le calcul peut prédire une température de 30 °C quand le thermomètre indique 50 °C : la modélisation est-elle mal faite ? La résolution numérique est-elle défectueuse ? Y a-t-il une erreur dans la programmation de l'ordinateur ? De toute façon, il faut tout recommencer.

Il y a dix ans, la deuxième étape, la résolution approchée du problème une fois qu'il est modélisé, était nommée «analyse numérique» ; elle s'appelle aujourd'hui «calcul scientifique». Le contenu n'a pas changé, mais l'emphase linguistique révèle l'accroissement en importance de la communauté académique qui se préoccupe du sujet. Cet accroissement ne reflète en rien un besoin du marché (qui s'évoque bien davantage sur les trois autres points), mais simplement le mode de recrutement des universitaires, fait sous le principe de la «cooptation» (le terme recouvre des pratiques variées, allant de la constitution de chapelles au népotisme).

Comme le dit avec beaucoup de modestie L. Sainsaulieu, auteur du premier ouvrage dont nous rendons compte, il s'agit de réunir «les principales méthodes employées pour la résolution numérique des problèmes de l'ingénieur».

Le modèle mathématique, une fois décrit, se traduit par une ou plusieurs

«équations aux dérivées partielles». On recherche en général une fonction inconnue, par exemple (dans le cas évoqué) une température. Cette température T dépend du temps t , et aussi de l'endroit où on la mesure. C'est donc une fonction inconnue $T(t, x, y, z)$. Les renseignements que l'on a à son propos sont généralement écrits au moyen des dérivées de T par rapport aux diverses variables. Par exemple, s'il n'y a qu'une seule variable d'espace x (cas d'un barreau infiniment fin), l'«équation de la chaleur» donnera la température de la barre à l'instant t et au point d'abscisse x : le problème sera entièrement résolu, aussi bien dans le temps que dans l'espace, si on sait résoudre l'équation.

Comment fait-on pour écrire les équations, c'est-à-dire pour modéliser le phénomène ? La réponse est plaisante : on fait de son mieux ! On essaie, tant bien que mal, d'écrire les lois de la physique : équations de Maxwell, de Boltzmann, de Navier-Stokes, etc. La physique regorge de lois, mais ces lois sont à la fois empiriques et approximatives. Au laboratoire Système de perception de l'ETCA (Arcueil), David Ruelle a récemment fait un exposé dont nous reprenons les termes :

«Les lois de la physique macroscopique (conduction, rayonnement, etc.) ne résultent pas d'une intégration des lois de la physique microscopique (attractions-répulsions entre électrons, protons, etc.) : la mécanique statistique est à l'heure actuelle incapable de déduire les lois macroscopiques des lois microscopiques, sauf dans le cas particulier (très rare et sans intérêt industriel) des situations en équilibre. Les lois empiriques usuelles ne sont que des approximations : si, par exemple, on écrit $F = mg$, on néglige des termes en g^2 , g^3 , etc. On ne sait pas quel est le domaine de validité de ces approximations. Sont-elles encore valables pour des milieux très chauds, sous forte pression, très raréfiés, etc. ?»

Dans son chapitre V, «Modélisation numérique d'un problème de thermique», L. Sainsaulieu décrit un exemple en apparence très simple : de l'eau séjourne dans un réservoir, puis passe par un unique tuyau rectiligne, avant de sortir par un robinet. La question est : quelle est la température de l'eau à la sortie ? Même dans ce cas très simple, on ne sait pas modéliser correctement le problème ; il faut faire des hypothèses quant à la nature des écoulements (turbulences, etc.) et, ultérieurement, l'expérimentation validera ou non ces hypothèses. Cela fait, on peut mettre en œuvre les méthodes numériques que l'auteur a exposées au préalable, et l'on obtient... des résultats décevants ! Ce chapitre est absolument

remarquable ; le lecteur y découvre le vrai problème de la connaissance scientifique, qui est celui-ci : nous n'avons qu'une vision partielle, simplifiée, insuffisante des phénomènes et, même avec ces simplifications, nous ne parvenons pas à faire des prédictions. L'auteur est ingénieur de recherche chez Renault, et sa présentation sera une découverte – mieux, une révélation ! – pour les étudiants qui n'ont, jusque-là, été exposés qu'au savoir dogmatique et figé que l'Université délivre (et où le second ouvrage saura les replonger, que le lecteur se rassure !).

Quelles sont donc les méthodes numériques dont dispose l'ingénieur ? Il en existe principalement deux : la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis. La première consiste à remplacer une dérivée $f'(x)$ par une «différence» $f(x) - f(y)/x - y$. Si on travaille sur un intervalle, par exemple x compris entre 0 et 1, on «discrétise» l'intervalle en introduisant une subdivision $x_0 = 0, x_1, \dots, x_N = 1$, et on remplace $f'(x)$ par $f(x_k) - f(x_{k-1})/x_k - x_{k-1}$. Les nombres inconnus $f(x_k)$ apparaissent alors comme la solution d'un gros système linéaire : on doit résoudre $AX = B$, où A est une matrice inversible, B un vecteur donné.

La seconde méthode – celle des éléments finis – fait appel à une approximation de la fonction inconnue par des fonctions plus complexes, telles des fonctions triangles, mais se ramène finalement aussi à un système linéaire. La méthode des «différences finies» étant conceptuellement plus simple que la méthode des «éléments finis», L. Sainsaulieu choisit très judicieusement de les exposer dans cet ordre, alors que, on ne sait pourquoi, B. Lucquin et O. Pironneau adoptent l'ordre inverse. Quant à la résolution des systèmes linéaires, qui remonte essentiellement à Carl Friedrich Gauss, les diverses méthodes sont extrêmement bien exposées par L. Sainsaulieu, avec leurs avantages et leurs inconvénients. On a enfin un bref aperçu sur une troisième catégorie de méthodes, les méthodes spectrales, utilisées surtout pour les problèmes de vibrations.

Le livre de L. Sainsaulieu est clair, bien écrit et attrayant. Je ne lui ferai qu'un reproche : je ne crois pas qu'il soit adapté au public que l'auteur mentionne – issu du premier cycle universitaire – lors de la transformation de Fourier, à laquelle l'auteur fait référence à plusieurs reprises (niveau maîtrise), la méthode des éléments finis requiert en effet une bonne connaissance de la théorie des distributions (niveau maîtrise et souvent DEA). L'auteur sait-il que, par la grâce de réformes successives, les étudiants sortant du premier cycle savent à peine ce qu'est un espace vectoriel ?