



Les biotechnologies

PIERRE TAMBOURIN

En France, les industries biotechnologiques restent très insuffisamment développées.

Les chiffres sont éloquentes : au cours des 20 dernières années, moins d'une centaine de sociétés de biotechnologies se sont créées en France... contre plus de 1 300 aux États-Unis, 4 000 emplois directs contre 150 000 ! Pourquoi l'industrie américaine a-t-elle, mieux que l'industrie française, su profiter des bouleversements de la biologie ? Comment les États-Unis ont-ils réussi à créer un tel tissu industriel, source de richesses, d'emplois, et aussi, et on l'oublie trop souvent, de nouvelles connaissances fondamentales ?

Les raisons économiques ont été souvent évoquées. Notre pays a toujours pratiqué le capital-risque avec parcimonie, par manque de moyens financiers et de culture en ce domaine : le chercheur qui avait besoin de capitaux pour créer une société s'adressait aux banques, qui réclamaient des dossiers solides, démontrant un risque d'échec faible. Ce n'est évidemment plus du capital-risque !

Aux États-Unis, le système bancaire a compris que l'intérêt à long terme passe, dans ce domaine, dans le financement de très nombreuses sociétés de petite taille, créées parfois sur des idées insolites, mais dont les retombées attendues, ne serait-ce que de quelques-unes d'entre elles, sont immenses.

À quelques exceptions près, l'industrie française, de son côté, commence seulement à intégrer dans sa stratégie les progrès et les enjeux des biotechnologies, de la génomique et de la génétique, notamment. Après un engouement excessif et passager dans le début des années 1980, les groupes français (et européens) les plus importants avaient considérablement réduit leurs ambitions biotechnologiques, tandis que l'industrie pharmaceutique française ne faisait qu'une trop lente mutation de la chimie à la biologie. L'agro-alimentaire, enfin, reste encore, dans son ensemble, bien hésitante. Seuls des semenciers comme *Limagrain* semblent avoir compris l'enjeu mondial des biotechnologies.

La recherche publique française, de son côté, dont tout le monde s'accorde pour reconnaître la qualité au plan international, paraît, de ce point de vue, engoncée dans une culture surannée. Les

jeunes chercheurs sont recrutés sur leur seule aptitude à développer des connaissances dans une atmosphère de désintéressement financier personnel dont ils sont fiers. Leur statut, et plus encore celui des organismes qui les emploient, sont en partie inadaptés au transfert industriel.

Les règles tatillonnes, l'inexpérience, les mentalités qui se drapent très vite dans un manteau de vertu, sont autant d'entraves. Combien de chercheurs qui, obéissant aux recommandations, et qui, disposant d'un résultat intéressant et d'une idée originale, ont voulu valoriser ce résultat se sont jurés qu'on ne les y reprendrait plus ?

Ne confondons pas le haut fonctionnaire qui «pantoufle» dans l'industrie, où sa compétence et son carnet d'adresses lui servent à la fois de passeport et justifient un salaire intéressant, avec le chercheur qui veut rester dans son laboratoire tout en aidant la création d'une entreprise dont il tirerait quelques éventuels avantages pour sa recherche. Notre système cultive, depuis des décennies, l'idée que l'on ne peut pas à la fois faire une recherche fondamentale de haut niveau et avoir des préoccupations plus finalisées ou plus appliquées. S'il est probablement exact qu'une seule et même personne peut difficilement mener de front ces deux activités, on doit comprendre et admettre que cela doit se pratiquer à des moments successifs.

Comment rattraper le retard ? Il me semble qu'il faut mener d'urgence une action à trois niveaux. On devrait d'abord réviser en profondeur certains aspects du statut des chercheurs et certaines règles de la fonction publique qui s'appliquent à eux. Ils sont aujourd'hui des fonctionnaires, astreints au respect de règles certainement légitimes lorsqu'il s'agit de fonctionnaires qu'il faut protéger de sources de corruption. Les affaires qui ont entaché le monde politique ces dernières années et certaines autres dans le monde industriel, jointes à quelques anomalies dans le fonctionnement d'organismes d'État ou nationalisés, démontrent qu'il faut rester vigilant, mais tout est question d'adaptation et d'état d'es-

prit. En tout cas, on ne peut pas dire, en permanence, aux chercheurs : «Valorisez vos résultats», tout en les suspectant et en les culpabilisant. Mon devoir de réserve m'empêche de citer des exemples probants, mais je demande que l'on me croit lorsque j'affirme que les obstacles encouragent les chercheurs à rester tranquillement dans les laboratoires, où la publication de bons articles dans de bonnes revues paraît beaucoup plus simple et plus gratifiant que l'aventure industrielle.

Le gouvernement précédent avait réfléchi et préparé des textes de loi pour que les chercheurs puissent jouer un rôle plus actif dans la création d'entreprises. Souhaitons qu'après des corrections et des améliorations, ils soient adoptés le plus rapidement possible par la représentation nationale. Modifions aussi, en profondeur, le statut des organismes, afin que l'administration ne soit pas contrainte de s'ériger, en permanence, en gardien du temple face aux initiatives des chercheurs. Je ne propose pas d'initier en France un système à l'américaine. En revanche, si nous souhaitons garder notre spécificité et nos valeurs, évoluons en nous adaptant.

Enfin, Claude Allègre l'a maintes fois répété, nous devons nous préoccuper de l'emploi des jeunes chercheurs. Ils ont, en général, une grande et grave méconnaissance de ce qu'est le monde industriel (au moins en sciences de la vie). Aucun jeune chercheur ne devrait ignorer ce qu'est un brevet, une licence, un minimum de droit des sociétés, ce qu'est la valorisation d'un résultat ; nous devrions aussi, au cours de ces périodes de formation, repérer ceux qui ont l'esprit d'entreprise au sens propre comme au sens figuré.

Retenons et appliquons la leçon d'Antoine de Saint-Exupéry : «Si tu veux bâtir un navire, ne fais pas appel aux hommes pour trouver du bois, déléguer des fonctions et distribuer les travaux, apprends leur plutôt le désir de la mer insolite.»

Pierre TAMBOURIN a dirigé le Département des Sciences de la vie au CNRS. Il est aujourd'hui chargé de mission au Génomole d'Évry.



Le rouet des armes à feu

VERNARD FOLEY

Léonard de Vinci a-t-il inventé le rouet, un dispositif efficace de mise à feu ? Certains historiens sont affirmatifs ; pour d'autres, le rouet serait d'origine allemande.

Combien de réalisations inspirées des dessins de Léonard de Vinci ont-elles été réalisées au cours des 67 années de sa vie (1452-1519) ? Ses carnets de notes sont couverts de dessins : sont-ils des inventions ou des reproductions d'objets contemporains ? Lors de la première publication des manuscrits de Léonard de Vinci, à la fin des années 1800, les lecteurs découvrirent des pages entières d'«inventions», mais, au milieu du ^{xx}e siècle, les historiens ont montré que Léonard de Vinci s'est beaucoup inspiré des manuscrits de la Renaissance, antérieurs aux siens, et qu'il les a souvent copiés. Aujourd'hui, les historiens admettent que la science de Léonard en matière militaire n'était pas en avance sur son temps, et qu'à l'exception de la machine à polir les miroirs et de quelques machines à fabriquer les textiles, toutes les «inventions» techniques de Léonard de Vinci ont été empruntées à des devanciers ou à des contemporains. En ce qui concerne le rouet des armes à feu, deux thèses s'affrontent, l'une accordant la paternité du rouet à Léonard de Vinci, l'autre accréditant l'origine allemande de ce mécanisme.

Le rouet est l'adaptation aux armes du procédé de mise à feu utilisé dans les briquets ; ce procédé est employé dès l'époque médiévale par les artisans serruriers. Du temps de Léonard de Vinci,

le rouet est surtout utilisé sur les petites armes, notamment sur les armes portatives. Ces armes ont trois parties : le rouet, le fût et le canon. Le long canon cylindrique renferme la poudre et la balle. Le rouet est monté à l'arrière du canon et le fût en bois solidarise ces deux pièces.

Comment fonctionne le rouet ? Il est formé d'une roue en acier dont l'axe est relié à un puissant ressort par une chaîne plate. Au moyen d'une clé, on remonte l'axe qui entraîne la chaîne, laquelle s'enroule sur l'axe et tend le ressort. Lorsque l'ensemble est sous tension (le rouet a fait trois quarts de tour), on le verrouille : sur la gâchette, un ergot s'encastre dans un trou percé dans le rouet.

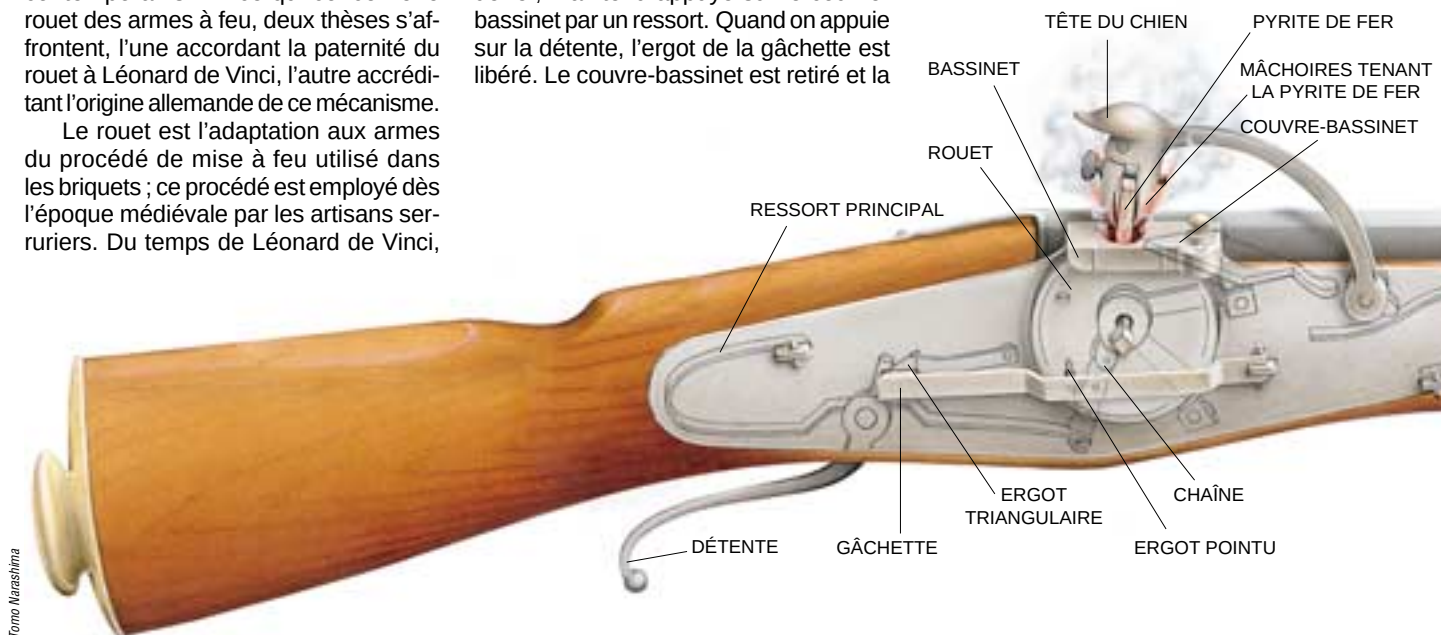
Le «couvre-bassinnet», un petit couvercle coulissant, recouvre le réservoir de poudre, le bassinnet. Il évite que la poudre ne soit mouillée par la pluie ou qu'une manipulation involontaire n'y mette le feu. La tête du chien tient entre ses mâchoires un morceau de pierre dure, de la pyrite de fer, maintenu appuyé sur le couvre-bassinnet par un ressort. Quand on appuie sur la détente, l'ergot de la gâchette est libéré. Le couvre-bassinnet est retiré et la

pyrite tombe sur la tranche du rouet. La roue, mue par le ressort qui se détend, se met à tourner en frottant contre la pyrite. Le bord supérieur de la roue passe dans une mince fente percée dans le fond du bassinnet. Une pluie d'étincelles enflamme la poudre d'amorce.

LA CONTROVERSE

Des historiens ont déduit des croquis du *Codex Atlanticus*, un recueil de manuscrits conservés à Milan, que Léonard de Vinci a inventé le rouet des armes à feu, mais d'autres réfutent cette affirmation, car, prétendent-ils, les premiers rouets auraient été fabriqués plus au Nord, dans ce qui est aujourd'hui l'Allemagne. Léonard de Vinci aurait dessiné sa propre version du rouet après avoir eu connaissance de l'invention allemande.

Les premières illustrations allemandes de rouets datent du début du ^{xvi}e siècle



et ressemblent aux croquis de Léonard de Vinci ; la datation des textes relatifs aux platines à rouet ou des rares armes à feu qui nous sont parvenues n'est pas très précise et il est difficile de trancher sur l'origine allemande ou italienne du rouet.

Pour le savoir, j'ai analysé la mécanique des tout premiers rouets, et j'ai étudié la forme des différentes pièces. J'en ai conclu que Léonard de Vinci avait utilisé des éléments d'autres machines sur lesquelles il avait travaillé dans les années 1480 et 1490 (notamment des loquets) et qu'il les avait assemblés d'une façon inédite pour créer le rouet des armes à feu, vers 1493.

Observons une page du *Codex Atlanticus*. On y voit (voir la figure 2) des croquis de chaînes et de ressorts présents dans les rouets des armes à feu. Selon les spécialistes de Léonard de Vinci, ces schémas prouvent qu'il connaissait le dispositif. Des ciseaux à bois en forme de «V» ont également été représentés ; apparemment, Léonard de Vinci cherchait à s'en inspirer pour fabriquer des ciseaux qui découperaient le métal.

Ces ciseaux sont intéressants : leur pointe en V aurait dessiné une rainure sur la tranche d'une roue d'acier. Les premiers rouets avaient précisément plusieurs rainures de ce type sur la tranche. Ils avaient aussi une seconde série de très fines rainures faites à la lime, perpendiculaires aux filets courant le long de la tranche et espacées de façon à former un ensemble de dents semblables

à celles d'une scie circulaire. Cette structure paraît d'une complexité excessive, car chacune des rainures aurait dû être taillée dans le fond du bassinnet (pour que le rouet glisse sans frottements) et les rainures transversales auraient risqué de gêner l'échauffement de la poudre et, donc, la mise à feu.

Toutefois, j'ai compris l'avantage des rainures transversales lorsque j'ai essayé quelques rouets d'armes à feu : je me suis aperçu que les dents jouent effectivement le rôle d'une scie circulaire à métaux. La roulette découpe elle-même la fente dans le fond du bassinnet à poudre et assure ainsi un ajustage très précis. Un tel ajustage est indispensable, sinon la poudre, très fine, s'échapperait par le moindre interstice lors de la manipulation ou du transport de l'arme. Bien que les scies du ^{xv}^e siècle aient été lentes (il fallait plusieurs heures pour accomplir des tâches que les outils de coupe modernes exécutent en quelques secondes), leur précision était excellente (avec une marge d'erreur de 0,3 millimètre environ). Avant cette découverte, on pensait que les scies circulaires en métal avaient été utilisées pour la première fois dans les années 1540, c'est-à-dire bien après la mort de Léonard de Vinci.

À l'évidence, Léonard de Vinci qui travaillait sur les ressorts, les chaînes et les ciseaux connaissait les différentes pièces des rouets d'armes à feu. Reste toutefois la question : les a-t-il assemblées pour inventer le rouet ? En 1493,

Léonard de Vinci prend à son service Giulio Tedesco, aussi connu sous le nom de Jules le Germain ; ce dernier travaille pendant plusieurs années comme technicien chez Léonard de Vinci, à Milan. On ignore la date exacte à laquelle Giulio quitte Milan, mais c'est probablement avant 1500. Giulio est un spécialiste des loquets et des mécanismes à ressorts, telles les arbalètes et les cisailles.

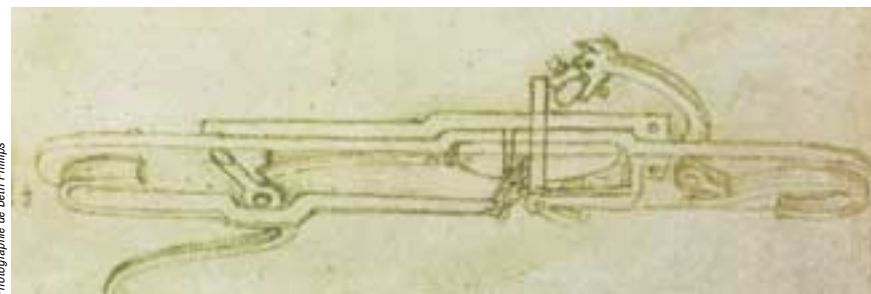
LE RÔLE DE GIULIO TEDESCO

Les dessins de Léonard de Vinci de cette époque, relatifs aux loquets destinés à fermer les portes ou les coffres, contiennent des éléments proches de ceux du rouet d'arme à feu. Ainsi, le rouet aurait été mis au point par Léonard de Vinci en collaboration avec Giulio Tedesco, au milieu des années 1490. De surcroît, Giulio Tedesco aurait emporté l'invention du rouet quand il quitta Léonard de Vinci pour rejoindre son pays d'origine, ce qui expliquerait comment le dispositif aurait atteint l'Europe du Nord au début des années 1500.

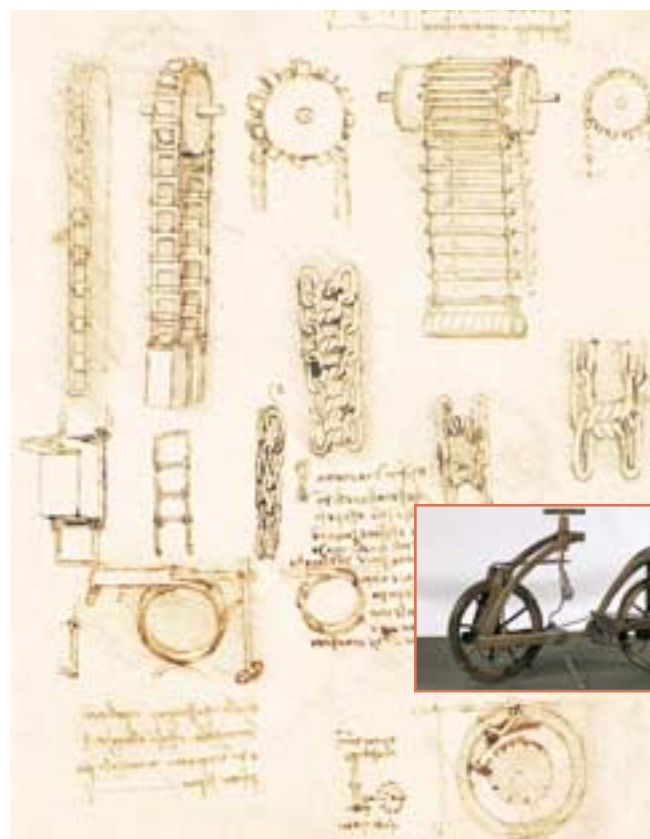
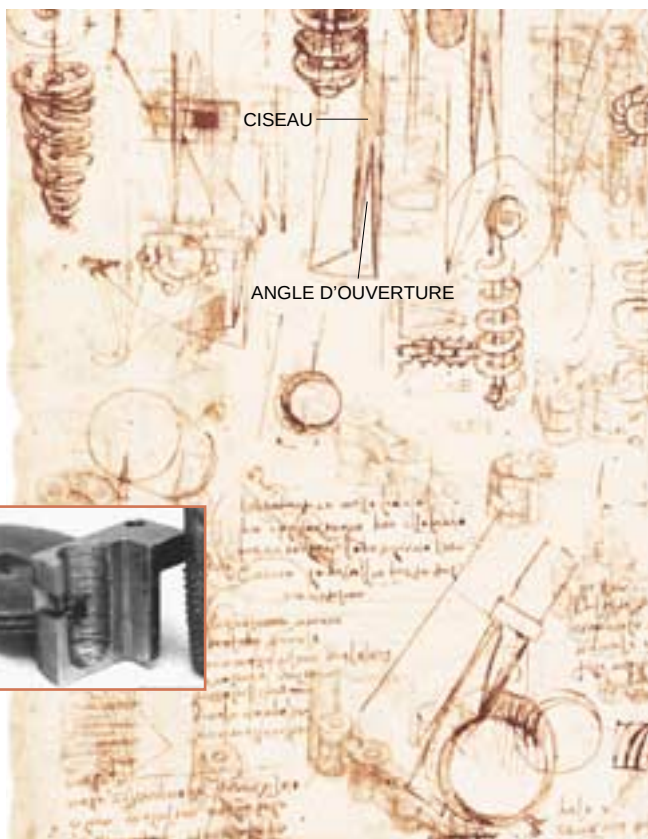
L'historien Claude Blair a aussi découvert des preuves que Léonard de Vinci a inventé le rouet des armes à feu. Il a montré qu'à Cividale, dans la région du Frioul, au Nord de l'Italie, la fabrication de rouets pour les armes à feu a commencé avant 1510. Or, avant 1500, Léonard de Vinci a travaillé pendant quelque temps dans le Frioul, surveillant la construction des fortifications de divers châteaux.

Toutefois, d'autres historiens, notamment Marco Morin, un spécialiste vénétien des armes anciennes, réfutent tous les arguments des tenants de l'origine italienne, montrant que les armes décrites dans les différents recueils de Léonard de Vinci ne sont pas originales. Le rouet aurait été inventé en Allemagne, qui avait une longue tradition de la manufacture des armes. La fabrication de ce mécanisme n'aurait commencé en Italie du Nord

Photographie de Beth Phillips



1. LE DESSIN D'UN ROUET d'arme à feu, figurant dans le *Codex Atlanticus* de Léonard de Vinci, montre une coupe passant par l'axe de la roue (en haut). On remonte la roue de trois quarts de tour, au moyen d'une clé. Une courte chaîne plate de transmission est fixée, à une extrémité, sur l'axe de la roue et, à l'autre extrémité, à un puissant ressort. Quand on remonte le mécanisme, la chaîne s'enroule autour de l'axe et elle tend ce ressort. Lorsque le système est sous tension, un cliquet situé sur la gâchette se loge dans un trou percé dans la roue. Puis on abaisse le chien du fusil, et le morceau de pyrite de fer fixé dans les mâchoires appuie sur la roue. Quand on appuie sur la détente, le cliquet sort de son logement, ce qui libère le ressort et, par conséquent, la roue. Cette dernière tourne rapidement, frotte sur la pyrite de fer, ce qui produit des étincelles, enflamme la poudre et fait partir le projectile.



Institut et Musée d'histoire des sciences, Florence ; cartouche : Nijlrah Ranny

2. DES CROQUIS (à gauche) du Codex Atlanticus montrent deux types de pièces d'un rouet d'arme à feu : des ressorts hélicoïdaux et des chaînes de transmission plates à peine visibles, dessinées au verso et dont l'encre a traversé le papier. Les ressorts hélicoïdaux semblent avoir intéressé Léonard de Vinci parce qu'ils sont moins volumineux que les ressorts à lames utilisés à cette époque. Dans le haut de la page, Léonard de Vinci a dessiné une série de ciseaux en forme de V, dont l'angle d'ouverture s'élargit de droite à gauche (Léonard de Vinci était gaucher et écrivait de droite à gauche). En bas à droite, le ciseau est représenté incliné le long d'un cercle, probablement la tranche d'un

rouet d'arme à feu. L'auteur a utilisé de tels ciseaux pour creuser les rainures observées sur la tranche des premiers rouets d'arme à feu (voir le cartouche de gauche). Les engrenages et les chaînes extraits du Codex Madrid (à droite) ressemblent beaucoup aux chaînes reliant l'axe et le ressort principal d'un rouet d'arme à feu. Des pièces de bicyclette figurent parmi les schémas de rouets. Un prototype de bicyclette (voir le cartouche de droite) a récemment été construit avec diverses pièces décrites dans les carnets de notes de Léonard de Vinci : le système de direction et les freins (au bas de la page). Ces derniers fonctionnent comme des freins à rétropédalage.

qu'après 1550, époque où l'industrie des armes, à Nuremberg et à Augsbourg, était déjà florissante.

DES LOQUETS AUX ROUETS

En recherchant l'origine du rouet pour les armes à feu, j'ai aussi découvert comment Léonard de Vinci empruntait des éléments aux machines existantes pour les réarranger et créer de nouveaux instruments. Ce procédé apparaît clairement lorsque l'on étudie les croquis de ses loquets de portes.

Pour ouvrir ses loquets de coffres et de portes et vaincre la pression des puissants ressorts qui les maintenaient fermés, Léonard de Vinci utilise parfois des clés qui servent à comprimer les ressorts du loquet. Ces clés ont souvent la forme d'un écrou papillon, les ailes étant généralement perforées. Sur certains des tout premiers rouets, de telles clés sont fixées à la roue et servent à armer le mécanisme. Les loquets de portes et les rouets d'armes à feu de Léonard de Vinci se res-

semblent sur un autre point : la présence d'un levier de verrouillage qui maintient le ressort sous tension. Sur les dessins de Léonard de Vinci, les leviers des loquets de portes et des rouets d'armes à feu sont constitués d'une barre (la gâchette, dans les armes à feu) pourvue, d'une part, d'un ergot triangulaire et, d'autre part, d'une petite tige métallique, qui bloque le mécanisme quand il est sous tension (voir la figure 1).

Le rouet n'a pas évité tous les accidents lors du maniement des armes à feu. La première décharge accidentelle d'une arme à feu (la première que l'on connaisse) eut lieu en 1515, à Constance, en Allemagne ; l'incident fut rapporté par Wilhelm Rem, un écrivain allemand. Un dénommé Laux Pfister avait invité une prostituée et « quand elle fut avec lui dans une petite pièce, il prit l'arme chargée, dont la mise à feu était automatique ». Pfister s'amusait avec l'arme lorsque la balle partit et traversa le menton de la jeune femme. Il fut condamné à lui payer les frais médicaux et une pension annuelle à vie.

Malgré de tels incidents, l'invention du rouet pour les armes à feu fut une réalisation essentielle. Les fusils à mèche nécessitaient des sources de chaleur externes, telles que des braises incandescentes ou des mèches enflammées pour la mise à feu de la poudre. Après l'invention du rouet, les armes à feu pouvaient être dissimulées, tout en restant prêtes à être utilisées sans que l'on n'ait à enflammer de mèche. Ce progrès technique allait modifier à jamais la place des armes à feu dans la société.

Le nombre croissant d'armes à rouet brandies par les bandits de grands chemins et autres brigands amena les autorités à interdire leur fabrication. Cependant, ni les fabricants ni les utilisateurs d'armes ne respectèrent ces lois, et les efforts déployés pour contrôler l'usage des armes à feu furent sans effet.

Vernard FOLEY est professeur d'histoire des sciences et des techniques à l'Université Purdue.

Le rôti de bœuf

HERVÉ THIS

Il doit reposer après la cuisson, de sorte que le jus qui a été conservé en son centre se répartisse dans la périphérie asséchée.

Les cuisiniers modernes sont souvent pressés, mais leur hâte les empêche de manger de bons rôtis de bœuf : ils omettent souvent, après la cuisson, un indispensable repos de la viande, à la bouche du four entrouvert. Sans cet intermède, leur viande est sèche, dure... Les bons professionnels savent, eux, que le repos de la viande est indispensable pour que la viande soit tendre, mais ils expliquent que le jus «voudrait échapper» à la chaleur du four, de sorte qu'il refluerait vers le cœur du morceau. Est-ce vraisemblable ?

Analysons la cuisson du rôti avec l'œil froid et calme du physico-chimiste. Celui-ci sait que la viande est composée de cellules, les fibres musculaires, sacs limités par une membrane et dont le milieu intérieur, essentiellement aqueux, contient des molécules qui assurent le métabolisme et la contraction ; ces cellules sont gainées de collagène, regroupées en faisceaux, eux-mêmes regroupés en faisceaux. Naturellement cette description est simplifiée : le muscle animal contient également de la matière grasse, du sang, etc.

Comment cette structure réagit-elle quand on la chauffe ? Comme la chaleur s'introduit dans un rôti par conduction, à partir d'air chauffé par le four à une température de 200 °C environ, l'eau est évaporée de la couche externe, jusqu'à une profondeur où la température est égale à 100 °C ; cette couche complètement asséchée, croustillante, est mince. Plus au centre, la température de chaque point augmente lentement lors de la cuisson,

et la structure de la viande se transforme par étapes, car les diverses protéines de la viande coagulent à des températures différentes. Par exemple, à partir de 70 °C, la myoglobine, qui transporte l'oxygène dans le sang, est oxydée : le fer ferreux qu'elle contient se transforme en fer ferrique, de sorte que la viande vire au rose. Puis vers 80 °C, les parois cellulaires sont rompues, ce qui met en contact la myoglobine avec des composés oxydants et fait virer la couleur au brun.

Le sang peut-il refluer vers le cœur du rôti ? Dès qu'une température de 50 °C est atteinte dans la couche périphérique, le collagène se contracte, expulsant le jus vers l'extérieur du rôti, et aussi vers l'intérieur. Toutefois la zone centrale, composée de liquides et de solides quasi incompressibles, ne peut recevoir ce jus. Ceux que cette explication ne convainc pas devront cuire des rôtis de bœuf, en pesant les morceaux et en déterminant leur masse volumique (on déterminera leur volume en les plongeant dans de l'eau et en pesant la masse d'eau déplacée) avant et après la cuisson.

Ces mesures sont révélatrices. Tout d'abord, on constate qu'un rôti, par exemple, rétrécit et perd jusqu'à un sixième de son poids, lors d'une cuisson classique ! Cette perte résulte de l'éjection du jus, chassé par la contraction du collagène, ainsi que de l'évaporation d'eau périphérique. Profitons de l'occasion pour signaler que cette observation abat la

théorie de la cautérisation, qui stipule que la surface coagulée des viandes s'opposerait à la perte du jus interne. Au XIX^e siècle, l'auteur anonyme de l'ouvrage intitulé *La cuisinière modèle* indique par exemple : «Mettez le rôti à la broche devant un feu très vif, afin de saisir et de resserrer les pores de la viande, qui conserve ainsi son jus». De même, Auguste Escoffier écrit dans *La cuisine* que le rissolage «a pour but de former autour de la pièce une sorte de cuirasse qui empêche les sucs intérieurs de s'échapper trop tôt, ce qui transformerait le braisé en bouilli». D'une part, la notion de «pores» de la viande n'a pas de réalité anatomique et, d'autre part, les pesées de rôtis montrent que la perte de jus augmente avec la cuisson.

Les mesures de masse volumique confirment également que le jus ne reflue pas à cœur : la masse volumique du cœur cuit n'est pas significativement différente de celle de la viande crue. C'est l'indication que le cœur n'a pas été modifié lors de la cuisson (ce qui est compréhensible, car le rôti français reste presque cru, à cœur) et aussi que le cœur n'a pas été enrichi par le jus qui proviendrait de la périphérie.

Pourquoi, alors, la viande doit-elle reposer après la cuisson ? Des pesées de cœurs et de périphéries de rôtis montrent notamment que le cœur cuit perd plus de jus, lors du repos qui suit la cuisson, que les parties périphériques (qui ont été asséchées et ont moins de possibilité de perdre encore leur jus). Ainsi le repos de la viande permet une redistribution des jus, du cœur vers la périphérie. Et c'est ainsi que la périphérie regagne de la tendreté.

Une proposition, enfin : puisque la tendreté de la viande dépend de la quantité de jus, pourquoi ne pas réinjecter, à la seringue, le jus qui est sorti du rôti lors de la cuisson ? Salé et poivré, ce jus viendrait donner à la viande un goût qu'elle n'a jamais eu.

Prochain rendez-vous *France Info* et *Pour la Science* le 27 mars 1998, avec la chronique *Info Sciences* de Marie-Odile Monchicourt.

Les trois zones discernables dans un rôti de bœuf cuit correspondent à des températures différentes atteintes en fin de cuisson : moins de 70 °C à cœur, entre 70 °C et 80 °C pour les zones roses, et plus de 80 °C pour les zones brunes.