



De l'herbe au fromage

HERVÉ THIS

L'alimentation des animaux détermine la qualité des fromages.

Le terroir... Depuis quelques années, les producteurs de produits alimentaires n'ont que ce mot à la bouche, souvent pour protéger ou développer leurs marchés : il existerait une relation privilégiée entre des régions et des mets, et aucune copie produite ailleurs ne vaudrait l'original, qui, de ce fait, devrait être seul à mériter une appellation d'origine.

En matière de vins, l'agronomie a effectivement mis en évidence l'effet des climats, des sols, des expositions... mais le cas des fromages semblait plus délicat. En relation avec l'ensemble des filières fromagères des Alpes du Nord et du Massif central, Jean-Baptiste Coulon et ses collègues de la Station INRA de Clermont-Ferrand ont patiemment analysé les raisons de la qualité de plusieurs fromages ; ils ont éclairé les relations entre le terroir et la qualité des fromages... et ils proposent des critères objectifs de définition des appellations d'origine contrôlée.

Pourquoi un fromage est-il bon ? La typicité peut provenir de la région, des types d'animaux qui donnent le lait et des individus qui confectionnent le fromage. Pour une raison inconnue, les producteurs qui évoquent le terroir soulignent surtout l'importance de l'environnement des vaches et, notamment, de leur alimentation : herbe verte, foin, ensilage (herbe stockée humide, qui fermente en silo)... Cette alimentation détermine-t-elle vraiment la qualité des fromages ?

Les premières explorations de cette question, effectuées en 1990 sur le gruyère de Comté, avaient porté sur 20 fruitières et montré une correspondance significative entre le goût du fromage et la localisation géographique des aires de production. Autrement dit, on peut donner une définition objective de la notion de cru en Comté. Puis, en Suisse, des analyses des composés volatils de gruyères ont montré que les fromages d'alpages se distinguent de ceux de plaine : des molécules odorantes de la classe des terpènes (limonène, pinène, nérol), par exemple, sont présentes en

quantités bien supérieures dans les fromages d'alpage. Pourquoi ces variations ? Les agronomes supposèrent qu'elles provenaient de différences de végétation.

Toutefois, dans les premières études, les méthodes de production et les caractéristiques des animaux n'avaient pas été prises en compte : les différences auraient-elles été gommées si l'on avait modifié le type des vaches ou de fabrication ? Autrement dit, aurait-on obtenu du lait typique d'alpage en reprenant, en plaine, les vaches ou les méthodes de fabrication d'alpage ?

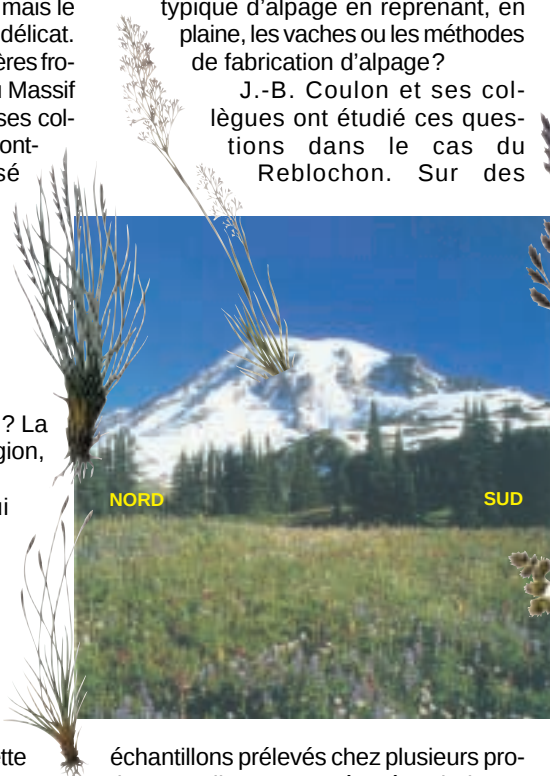
J.-B. Coulon et ses collègues ont étudié ces questions dans le cas du Reblochon. Sur des

plus brillants, et leur goût est plus intense, plus fruité, plus piquant.

Les différences sensorielles entre fromages peuvent provenir directement de molécules présentes dans les fourrages des vaches. C'est le cas du carotène, qui est présent dans les végétaux et qui donne aux fromages leur couleur. Ensuite la consommation de certaines plantes considérées comme sub-toxiques (telles que *Ranunculus* ou *Caltha palustris*, qui semblent davantage présentes dans les pâturages exposés au Nord) modifierait la perméabilité cellulaire du tissu mammaire et favoriserait le passage dans le lait d'enzymes qui modifieraient les fromages. Troisièmement on n'a pas encore exclu que les micro-organismes typiques des pâturages aient une influence notable sur les caractéristiques des fromages, mais cela reste à démontrer.

Enfin, des études plus récentes ont examiné le cas de l'ensilage qui, dans certaines régions, est controversé (il ferait des fromages médiocres). Cette fois, l'étude a porté sur plus de 20 fermes qui produisaient des Saint-Nectaire fermiers au lait cru de qualité reconnue. Plus de 60 fromages ont été analysés, par des études sensorielles (un jury évaluait le goût, l'odeur et la texture).

On a ainsi découvert que les principales différences résultent des méthodes de fabrication et de l'alimentation des vaches : le mode de conservation des fourrages n'est pas déterminant dans les caractéristiques des fromages. Notamment, les rations à base de foin ne conduisent pas toujours à un fromage différent de ceux qui sont fabriqués à partir de lait de vache recevant une ration à base d'ensilage : lorsqu'elle est maîtrisée, la conservation des fourrages n'a qu'un effet limité sur les caractéristiques du fromage, en dehors de sa couleur.



échantillons prélevés chez plusieurs producteurs, ils ont montré qu'à techniques de fabrication comparables, les caractéristiques de l'alimentation des vaches déterminent les caractéristiques sensorielles du Reblochon. Puis ils ont poursuivi leurs travaux en montrant que des vaches placées dans deux quartiers d'un même alpage, mais l'un sur un versant Sud, où domine *Dactylis glomerata* et *Festuca rubra*, et l'autre sur un versant Nord, avec des pelouses maigres à *Agrostis vulgaris* et *Nardus stricta*, ou peu productives (mousses et *Carex davalliana*), donnent des fromages qui diffèrent notablement par le goût et par la couleur : les fromages des quartiers Sud sont moins jaunes et

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 26 juillet 2000, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

L'obsidienne cachée...

...ou comment Murillo a peint deux œuvres sur une pierre rare.

Le visiteur du Musée du Louvre ne peut manquer de s'interroger devant deux tableaux de Bartolomé Esteban Murillo (1618-1682) : quel est ce noir lisse et irisé qui compose le support laissé nu du *Christ au jardin des oliviers* et du *Christ à la colonne* ?

Les historiens d'art ont d'abord pensé que les deux tableaux, conservés au Louvre depuis 1785, quand Louis XVI a acheté la collection du comte de Vaudreuil, étaient peints sur une pierre noire. Puis certains y ont vu du jaspe noir (une roche sédimentaire siliceuse) ou du marbre noir (une roche calcaire). Olivier Meslay, le conservateur des œuvres espagnoles du Musée du Louvre, et Éric Gonthier, du Muséum national d'histoire naturelle, ont découvert qu'il s'agit d'obsidienne, une roche vitreuse et rare qui résulte d'épanchements magmatiques de minéraux siliceux en fusion.

Quels indices ont permis l'identification d'une telle roche ? Le marbre noir est une roche composée de micro-cristaux,

ses cassures sont rugueuses et le grain gros. Or le support des deux tableaux n'est pas ainsi. En revanche, le revers du *Christ au jardin des oliviers* montre des cassures en forme de coquille, typiques de l'obsidienne : cette roche, amorphe, est dépourvue d'une structure cristalline qui orienterait les cassures. Dues au débitage de la pierre, celles qui apparaissent au dos du tableau sont visibles au travers d'une gangue d'un minéral proche de la pierre ponce, qui confirme l'origine volcanique de la pierre.

De plus, l'obsidienne renferme parfois, à sa surface, des bulles d'air minuscules et des fragments de minéraux variés : ces inclusions sont à l'origine des reflets irisés de l'obsidienne. On aperçoit dans un pli du manteau bleu du *Christ au jardin des oliviers* une traînée de bulles que l'artiste a laissée apparente.

Ainsi, en 1670, Murillo a peint sur deux blocs exceptionnels d'obsidienne d'environ deux à trois kilogrammes chacun et d'environ 30 centimètres de côté. D'où proviennent-ils ? Selon François Gendron, du Musée de l'Homme, il s'agit de deux miroirs divinatoires aztèques fabriqués au XV^e ou au XVI^e siècle, ou encore à l'époque de l'invasion espagnole menée par Hernan Cortés (1485-1547). Auparavant,

les miroirs étaient constitués de plaquettes de pyrite cimentées sur une ardoise.

La tradition des miroirs en Mésomérique remonte à la première civilisation de la région, les Olmèques. Ainsi plusieurs miroirs monolithiques (en ilménite, en hématite et en hématisite), datés de 750 à 400 ans avant notre ère, ont été découverts sur le site de La Venta, au Mexique. Cette tradition s'est perpétuée au fil des civilisations, et les miroirs sont devenus des objets divinatoires chez les Aztèques. Selon une légende, quelques années avant la conquête hispanique en 1519, l'empereur aztèque Moctezuma II a vu la chute de sa civilisation dans un miroir situé... sur le front d'une grue cendrée capturée par un chasseur.

Séville, le lieu de résidence de Murillo, était le premier port d'échange avec les Amériques : le peintre, déjà habitué à des supports originaux tel le cuivre ou le bois, s'est donc sans doute vu confier ces deux blocs précieux. Comme ils étaient très lisses, Murillo a utilisé de la bile de bœuf pour mordre en surface l'obsidienne et faire ainsi accrocher la peinture. Cependant, il a laissé intacte la pierre autour des personnages, pour le plus grand plaisir des amateurs d'art, mais aussi, aujourd'hui, des minéralogistes.



Le Christ au jardin des oliviers.



Le Christ à la colonne.

Mâles trompés

Des chimistes créent des molécules qui perturbent le comportement des papillons et protègent les cultures.

Au printemps, dans les cultures maraîchères et horticoles, les noctuelles potagères (*Mamestra brassicae*), des papillons nocturnes, rejouent l'éternel épisode de la reproduction : les femelles libèrent une substance olfactive, nommée phéromone, qui attire les mâles, parfois distants de plusieurs centaines de mètres, et qui les guide vers leur promise. Hélas, par leur appétit, les chenilles qui naissent de cette union nuisent aux cultures, et les exploitants, peu sensibles au romantisme, s'ingénient à se débarrasser de ces insectes.

Pour leur venir en aide, les équipes d'Angel Guerrero, du Conseil supérieur d'investigations scientifiques (CSIC) de Barcelone, et de Michel Renou, de la Station INRA de Versailles, ont mis au point des paraphéromones, c'est-à-dire des substances proches des phéromones de ces papillons, qui désorientent les mâles.

Comment fonctionnent les phéromones naturelles ? La femelle qui désire attirer un mâle libère ces molécules volatiles que le vent transporte. Au gré des courants d'air se forme ainsi un panache de phéromones dont la concentration diminue avec la distance à la femelle. Lorsque ces molécules entrent en contact avec l'antenne d'un mâle, elles pénètrent par des pores à l'inté-

rieur de poils sensitifs nommés sensilles. Là, dans une liqueur sensillaire, elles se fixent à des protéines qui les véhiculent au cœur de la sensille. Les complexes phéromone-protéine se lient alors aux sites récepteurs des neurones olfactifs. L'influx nerveux déclenché renseigne l'insecte sur les désirs d'une femelle éloignée. Enfin, le complexe se dissocie et une enzyme dégrade la phéromone : la protéine est de nouveau disponible pour véhiculer une nouvelle molécule. Ces réactions ont duré quelques millièmes de seconde.

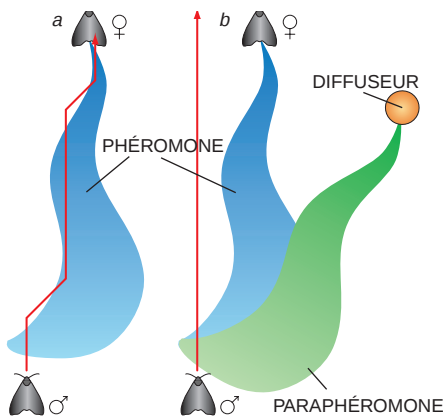
Par l'odeur alléché, le mâle entreprend de remonter le panache de phéromones jusqu'à sa belle. En détectant les variations de concentration de phéromones dans l'air, il ajuste en permanence sa direction.

La plupart des phéromones sont de longues chaînes de carbone (entre 10 et 20) dont l'extrémité porte un groupe chimique nommé acétate ($-\text{COCH}_3$). Les chimistes du CSIC ont remplacé le groupe acétate du principal constituant de la phéromone des noctuelles potagères par un groupe trifluorométhylcétone, où trois atomes de fluor se sont substitués aux atomes d'hydrogène de l'acétate. Les paraphéromones de synthèse sont reconnues par les protéines de la liqueur sensillaire, mais ne déclenchent pas la stimulation du neurone sensoriel. La détection de la phéromone est ainsi bloquée et le mâle ne peut plus s'orienter : il manque son rendez-vous (voir la figure).

Placées dans des diffuseurs, ces paraphéromones complèteraient et renforceraient l'emploi de phéromones naturelles dans les stratégies de lutte par confusion sexuelle.



La noctuelle potagère (*Mamestra brassicae*) est un papillon nocturne (à gauche) dont les chenilles ravagent les cultures maraîchères. La femelle attire le mâle par des substances volatiles nommées phéromones qu'il détecte par les poils, ou sensilles, de ses antennes (au centre, en haut). Les phéromones forment un panache (en bleu) où la concentration diminue à mesure que l'on s'éloigne de la femelle. Sensible aux variations de concentration, le mâle rejoint la femelle (a). Exposé à des paraphéromones, c'est-à-dire à des molécules proches des phéromones naturelles (en vert), libérées par un diffuseur (en orange), un mâle ne perçoit plus les variations de concentrations : il manque son rendez-vous avec la femelle (b).



BRÈVES

L'âge des clones

Quand la brebis clonée Dolly est née, les biologistes ont craint qu'elle soit fausement jeune, parce que les extrémités de ses chromosomes, les télomères, semblaient anormalement courtes, comme chez les animaux âgés. Robert Lanza et ses collègues de la Société *Advanced Cell Technology*, ont montré que des bovins clonés avaient, au contraire, des télomères plus longs que la normale, et que leurs cellules se divisaient plus que des cellules normales, dans des cultures.



Des fils très solides

Souvent, dans les scénarios de conquête spatiale, les ingénieurs imaginent l'utilisation de câbles très fins et très résistants, constitués de nanotubes de carbone. Ces câbles pourraient, telles des frondes géantes, envoyer des charges en orbite ou servirait dans de gigantesques ascenseurs. Comment caractériser leur résistance à la traction ? Jusqu'ici, uniquement par des moyens indirects ou théoriquement. Toutefois une équipe de physiciens vient de mesurer la résistance d'une corde tressée avec des centaines de nanotubes, et en a déduit la résistance par nanotube : elle est dix fois supérieure à la résistance de l'acier ou des fibres de carbone.

Par Bérिंग et Panama...

On a découvert des mollusques qui vivaient dans l'océan Pacifique Nord il y a 5,5 millions d'années. Or leurs ancêtres ont aussi habité l'Atlantique Nord. Selon une équipe américaine, ils auraient migré de l'Atlantique Nord vers le Pacifique par le détroit de Bérिंग, alors ouvert. Par ailleurs, on trouve, dans l'Atlantique Nord, des fossiles (3,6 millions d'années) de mollusques originaires du Pacifique Nord. À cette époque, l'isthme de Panama était déjà formé : on en déduit que les mollusques du Pacifique sont remontés vers le Nord, entraînés par un courant contraire à celui qui avait apporté les mollusques de l'Atlantique. Diverses espèces marines ont migré entre les deux océans au gré des mouvements tectoniques.