

Une mutation génétique responsable de l'hypertrophie musculaire

Dans un premier temps, des analyses génétiques reposant sur 153 marqueurs microsatellites ont mis en évidence une zone du génome (QTL) sur le chromosome 2 incluant le gène de la myostatine (GDF8), une protéine présentant un effet majeur sur les caractéristiques musculaires. Des mutations conduisant à la perte de fonction de ce gène avaient déjà été décrites chez la souris, les bovins et l'homme présentant des hypertrophies musculaires ce qui en faisait le candidat idéal pour le "gène Texel". Cependant le séquençage de la région codante et l'expression des ARN messagers de GDF8 n'ayant révélé aucun polymorphisme fonctionnel, ce gène-candidat avait été abandonné.

En poursuivant les recherches et en réalisant notamment des études de cartographie fine et d'expression de cette région du génome, les chercheurs ont identifié 11 gènes surexprimés chez les animaux portant le QTL Texel. De même des études de protéomique recherchaient un polymorphisme d'expression des protéines lié au QTL.

Retour à la myostatine. Dans le même temps, l'étude de la descendance de 2 béliers F2 présentant une recombinaison dans la zone proche du QTL (2cM) venait affiner la localisation dans une zone incluant le gène de la myostatine, GDF8. Le réexamen de la zone aboutissait à 20 mutations ponctuelles d'un nucléotide (élément constitutif du gène) ou SNPs hors de la région codante. Parmi ces 20 mutations, deux étaient spécifiques des animaux hypertrophiés, et l'une d'elles présentait une fréquence d'expression de 99% chez le Texel hypertrophié. La mutation va perturber la fabrication de la protéine, la myostatine, en créant un site cible illégitime pour des microARNs sur les ARNs transcrits, entraînant leur dégradation. Les ARNs transcrits sont des molécules, issues de l'ADN, qui sont reconnues par la machinerie cellulaire pour fabriquer les protéines. Par conséquent, la myostatine ne peut pas être fabriquée normalement et l'inhibition de l'expression de cette protéine a pour conséquence l'hypertrophie musculaire.

Une mutation d'intérêt agronomique

La découverte de ce nouveau type de régulation de l'expression d'un gène ouvre de vastes perspectives pour la compréhension des mécanismes à l'origine de la variabilité phénotypique.

Le mécanisme mis en jeu est vraisemblablement à l'origine d'une certaine régulation du phénotype de l'hypertrophie qui n'aboutit pas à une transformation majeure de la morphologie de l'animal. Cela conduit à une mutation d'intérêt agronomique laissant envisager un épaississement des masses musculaires sur l'ensemble de la carcasse, sensiblement plus marqué sur le gigot, et une réduction de l'état d'engraissement. Ainsi, l'introgession (introduction par croise-

ments successifs) de cette mutation est en cours depuis 2003 dans une population (GEBRO, Groupement des Éleveurs de Brebis du Bassin de Roquefort) de la race Lacaune.

D'après *Presse info* du 9 novembre 2006
Contact : *Elisabeth Laville*,
Qualité des produits, Clermont-Ferrand-Theix

Répartition et histoire des truffes dans l'hémisphère Nord

L'existence des truffes est connue depuis l'Antiquité. Les Grecs et les Romains leur prêtaient des vertus magiques et aphrodisiaques. Leur origine paraissait alors bien mystérieuse. L'intérêt gastronomique pour les truffes débute véritablement à la Renaissance, même si au Moyen Âge, celles de Bourgogne semblaient être appréciées à la table des rois de France.

Région de Huidong, Sichuan, Chine, zone productrice de truffes noires (*T. indicum* et *T. excavatum*) sur parcours à ovins à *Pinus yunnanensis*.



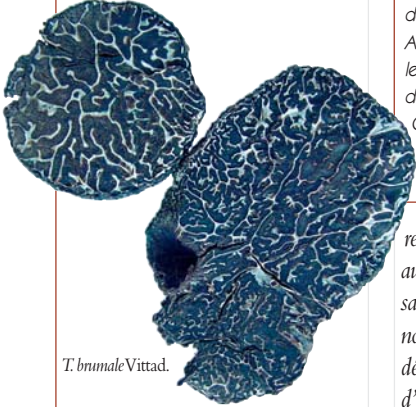
C'est au dix-neuvième siècle que commence réellement l'intérêt pour la consommation de truffe noire en France et le développement de sa culture par plantations de chênes. La truffe devient progressivement un mythe célébré ainsi par Jean Henri Fabre en 1857 [1] :

Les truffes sont des champignons, mais leur organisation s'éloigne beaucoup de celle des agarics et des bolets ; elles sont souterraines : leur développement s'effectue en entier sous terre. Ce sont des tubérosités charnues, arrondies, dont la chair est marbrée de veines où se forment les spores.

La truffe noire, de si grand renom culinaire, est arrondie, noire ou grise, dépourvue de toute espèce de racine ; sa surface est

Une partie de ce travail a fait l'objet d'une thèse présentée à l'université Henri Poincaré à Nancy par Yongjin Wang, sous la direction de François Le Tacon, avec la collaboration de Sylvain Jeandroz et de Claude Murat. Ce travail a aussi bénéficié de la collaboration de Zhuming Tan et de Da Chen Zhang. Cette thèse a fait l'objet de trois articles publiés. Un quatrième est en cours de soumission (Molecular phylogeny and historical biogeography of the genus *Tuber*).

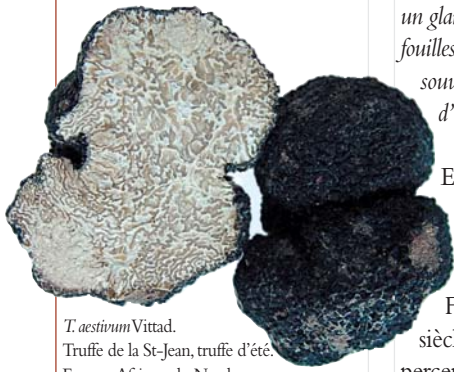
▼ Truffes d'Europe



T. brumale Vittad.



T. mesentericum Vittad. = *T. bituminatum*



T. aestivum Vittad.
Truffe de la St-Jean, truffe d'été.
Europe, Afrique du Nord.



Tuber melanosporum Vittad., truffe noire
du Périgord. France, Italie, Espagne.

❶ Dans ses célèbres *Souvenirs entomologiques* [2],

Fabre, qui a découvert que des insectes pouvaient être utilisés pour localiser les truffes, ajoute :

À diverses reprises, j'ai eu la bonne fortune d'accompagner un chien des mieux experts en son métier. Certes il ne payait pas de mine, l'artiste que je désirais tant voir travailler : chien quelconque, placide et réfléchi, disgracieux, mal peigné, non admissible aux intimités du coin du feu. Talent et misère fréquemment vont de pair.

Son maître, célèbre rabassier (Rabasso est le nom provençal de la truffe, d'où le terme de rabassier pour désigner un chercheur de truffes) du village, convaincu que mon dessein n'était pas de lui dérober ses secrets et de lui faire un jour concurrence, m'admit en sa compagnie, gracieuseté non prodiguée. Du moment que je n'étais pas un apprenti, mais un simple curieux qui dessinait et mettait par écrit les choses végétales souterraines, au lieu d'apporter à la ville mon sachet de trouvaillies, gloire de la dinde aux fêtes de la Noël, l'excellent homme se prêta de son mieux à mes vues.

Ainsi conduite, l'herborisation souterraine fut très fructueuse. De son nez perspicace, le chien me fit indifféremment récolter le gros et le menu, le frais et le pourri, l'inodore et l'odorant, le parfumé et l'infect. J'étais émerveillé de ma collection, comprenant la majeure partie des champignons hypogés de mon voisinage.

Quelle variété de structure et surtout de fumet, qualité primordiale en cette question de flair ! Il y en a sans rien autre d'appréciable qu'un vague relent fongique, qui partout se retrouve, plus ou moins net. Il y en a qui sentent la rave, le chou pourri ; il y en a de fétides, capables d'apantir l'habitation du collectionneur. Seule la vraie truffe possède l'arôme cher aux gourmets.

relevée de petites éminences ou vernues prismatiques. C'est au commencement de l'hiver qu'elle arrive à maturité. Alors sa surface est très noire et couverte de fines vernues, sa chair est noirâtre et marbrée de veines blanchâtres, son parfum est décidé. Les truffes viennent au voisinage d'un grand nombre d'arbres très différents, mais principalement des chênes et des châtaigniers. Elles préfèrent les terrains argileux, mêlés de sable et de parties ferrugineuses, où la chaleur et la pluie pénètrent aisément. Celles du Périgord sont les plus estimées.

Rien n'indique la présence des truffes dans le sol, si ce n'est une odeur particulière difficilement sensible pour l'homme, mais très sensible pour les porcs, qui recherchent ces champignons avec une avidité extrême. On conduit donc ces animaux dans les terrains à truffes ; aussitôt qu'ils fouissent en un lieu plus particulièrement, on accourt, on les éloigne et avec une petite bêche on déterre la truffe. On récompense l'animal avec un gland pour l'encourager à continuer ses recherches et ses fouilles. Comme il faut une grande surveillance du porc, qui souvent dévore la truffe avant que l'on ait eu le temps d'accourir, on dresse des chiens à cette recherche. (voir ❶)

En 1857, on ne savait pas encore que les truffes vivaient en symbiose avec les arbres. L'hypothèse d'une association avec les chênes (chênes truffiers) avait cependant déjà été émise, mais Fabre n'y croyait pas. À la fin du dix-neuvième siècle, un forestier allemand, Frank, est chargé de percer le mystère des truffes afin d'en améliorer la production dans son pays. En 1885, il découvre les associations symbiotiques entre arbres et champignons et appelle *mycorhizas* les organes mixtes que forment les racines des arbres et leurs associés fongiques. À peu près au même moment, Chatin suggère à nouveau que les truffes sont le fruit d'une association symbiotique avec des arbres.

Taxonomie

Après la Renaissance, l'Italie devient le berceau des travaux de recherches sur la truffe. Au début du dix-huitième siècle, Micheli crée le genre *Tuber* et décrit deux espèces. À la fin du dix-huitième siècle, De Borsch publie à Milan un ouvrage sur les truffes et

reconnait trois espèces dont les truffes noires et les truffes blanches. Toujours à Milan, Vittadini fait faire des progrès considérables à la taxonomie des truffes en décrivant 13 nouvelles espèces [3]. Un peu plus tard, c'est au tour de François, les Frères Tulasne, de se pencher sur la classification des truffes. Ils prennent en compte divers caractères macroscopiques ou microscopiques dont l'ornementation des spores et aboutissent à la différenciation de vingt et une espèces. En 1938, un autre Français, Malençon, propose 32 taxons. Depuis, le nombre d'espèces référencées s'est multiplié, en particulier avec la découverte des espèces d'Amérique du Nord et de Chine. *Index Fungorum* répertorie 227 espèces, sous-espèces ou variétés. Cependant, beaucoup d'espèces ont été mal identifiées ou mal décrites et le nombre d'espèces valides sur le plan taxonomique ne devrait pas dépasser 70. Selon nos propres travaux et ceux d'autres auteurs [4], toutes les espèces s'organisent en huit groupes (voir ❷).

❷ Les huit groupes de *Tuber*

- **Macrosporum** (Europe) Ce groupe comprend une espèce comestible, la truffe lisse, *T. macrosporum*.
- **Magnatum** (Europe) Ce groupe ne comprend qu'une seule espèce, comestible, la prestigieuse truffe blanche du Piémont, *T. magnatum*.
- **Panniferum** (Europe) Ce groupe ne comprend qu'une espèce sans intérêt gastronomique, *T. panniferum*.
- **Aestivum** (Europe et Afrique du Nord) Ce groupe comprend trois espèces comestibles, la truffe d'été *T. aestivum* (Europe et Afrique du Nord), la truffe de Bourgogne *T. uncinatum* (Europe) et la truffe mésentérique *T. mesentericum* (Europe). Scientifiquement, *T. aestivum* et *T. uncinatum* semblent ne former qu'une seule espèce [6]. Le dernier accord interprofessionnel INTERPEL "truffes fraîches" du 16 octobre 2006 les distinguent.
- **Excavatum** (Europe et Afrique du Nord) Ce groupe ne comprend qu'une espèce sans intérêt gastronomique, *T. excavatum*.
- **Rufum** (Asie, Europe, Afrique du Nord, Amérique du Nord) Ce groupe est organisé en au moins cinq sous-groupes et ne contient pas d'espèces comestibles.
- **Melanosporum** (Europe et Asie) Ce groupe, divisé en deux sous-groupes, comprend plusieurs espèces comestibles, la truffe noire du Périgord *T. melanosporum* (Europe), la truffe brumale *T. brumale* (Europe) et les truffes noires d'Asie, *T. indicum* et *T. pseudoexcavatum*.
- **Puberulum** (Asie, Europe, Afrique du Nord, Amérique du Nord) Ce groupe est organisé en au moins quatre groupes. Il comprend deux espèces comestibles, en Europe, la blanquette, *T. borchii* et en Amérique du Nord, la truffe d'Oregon, *T. gibbosum*.

Répartition

Le genre *Tuber* ne se rencontre que dans l'hémisphère nord entre 25° et 60° de latitude dans des climats très différents : tropicaux d'altitude, méditerranéens, tempérés ou tempérés froids, continentaux ou continentaux froids. Le développement des ascocarpes¹ nécessite de bonnes conditions d'alimentation hydrique. Les truffes n'existent donc pas dans les climats arides, encore qu'il soit possible d'en trouver en Mongolie intérieure dans des conditions où la pluviosité annuelle est voisine de 350 mm.

Les truffes d'Europe

Les huit groupes de truffes sont représentés en Europe avec 32 espèces taxonomiquement valables [5]. Les groupes *Panniferum*, *Macrosporium* et *Magnatum* se rencontrent uniquement en Europe. Une des latitudes les plus nordiques (57°) est celle de l'île de Gotland en Suède où *T. aestivum* a été récemment étudié [6]. *T. rufum* a cependant été trouvé en Norvège à une latitude encore plus élevée (60°) [5]. La plupart des truffes européennes se rencontrent sur des sols carbonatés à pH supérieur à 7. La truffe d'été se rencontre cependant sur des sols plus acides à pH inférieur à 7 et jusqu'à des pH de 6, voire plus acides de 5,5. Les deux espèces les plus prisées sur le plan gastronomique sont la truffe blanche du Piémont, *T. magnatum* et la truffe noire du Périgord, *T. melanosporum*².

Les truffes d'Afrique du Nord

Actuellement il n'existe que peu de données sur les espèces de *Tuber* se développant en Afrique du Nord.



Quatre groupes (*Aestivum*, *Excavatum*, *Puberulum* et *Rufum*) sont présents avec pour l'instant seulement cinq espèces répertoriées : *T. aestivum*, *T. excavatum*, *T. oligospermum*, *T. puberulum* et *T. rufum*. En Afrique du Nord, on consomme principalement les truffes du désert qui ne sont pas des *Tuber* mais des *Terfezes* (genre *Terfezia*).

Les truffes d'Asie

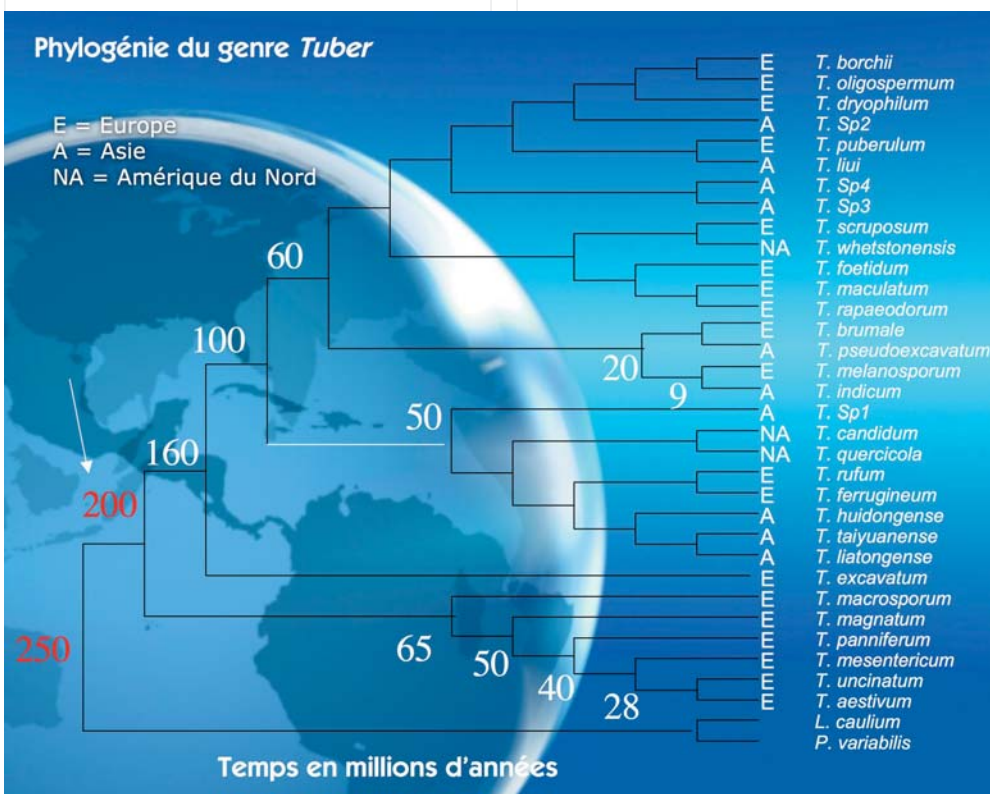
Trois groupes, *Melanosporium*, *Puberulum* et *Rufum* sont représentés en Asie avec 15 à 20 espèces, la plupart découvertes ces vingt dernières années. *T. indicum*, la truffe noire asiatique, a cependant été décrite à la fin du dix-neuvième siècle en Inde.



Ascocarpes de *T. indicum* dans leur gangue de sol juste après la récolte, région de Huidong.

¹ Corps fructifères des champignons Ascomycètes auxquels appartient le genre *Tuber*. L'ascocarpe produit des ascospores ou spores sexuées par méiose.

² À l'automne 2006, le prix moyen de la truffe blanche à Alba (Italie) était de 3 000€/kg (<http://www.tuber.it/>), mais en fonction de la production et de la taille (quelques dizaines de grammes à plus de 1 kg), elle peut être vendue beaucoup plus cher. Par exemple, le 13 octobre 2005 à Londres, une société de Hong Kong a acheté une truffe blanche du Piémont de 1,2 kg pour la somme de 64 000 livres (92 500€). La plus grosse truffe blanche, jamais mise aux enchères a été adjugée en novembre 2006, en Italie à Grinzane Cavour. D'un poids de 1,5 kg, elle a été adjugée à 125 000€. En décembre 2003, après la sécheresse, la truffe noire du Périgord atteignait 1 500€ le kg sur le marché de Périgueux et 3 000 à Paris. Fin novembre 2006, aux marchés de gros, la truffe noire du Périgord ne dépassait pas 400€ le kg dans le Sud de la France (600€ le kg au détail). Mais, au moment des fêtes de fin d'année, les prix ont tendance à augmenter. En octobre 2006, la truffe de Bourgogne atteignait 400€ le kg sur le marché de Pulnoy, près de Nancy, ou sur celui de Pont-à-Mousson.



▼ Truffes d'Asie



T. indicum
Cooke & Massee.
Truffe noire d'Asie, Chine.



T. pseudoexcavatum
Wang et al.

³ La truffe noire de Chine peut se négocier actuellement en France aux environs de 40€ le kg.

⁴ Codant pour la région 5.8S-ITS2, la bêta-tubuline, la protéine Kinase C et le facteur d'élongation EF-1alpha.

⁵ La truffe blanche d'Oregon se négocie en moyenne à 150 US \$ par livre (238€ le kg). Une truffe noire d'Oregon (*Leucangium carthusianum*), qui n'appartient pas au genre *Tuber*, se négocie actuellement entre 100 et 200 US \$ par livre.

Sur le plan morphologique, *T. indicum* se différencie difficilement de *T. melanosporum*. Son parfum est très proche mais moins intense. Les ascocarpes qui arrivent en Europe ont perdu leur parfum d'origine pendant le transport et n'ont aucun intérêt gastronomique. Souvent, ces ascocarpes, récoltés depuis plusieurs semaines, présentent même une odeur désagréable. Les contreforts de l'Himalaya (Inde, Bengladesh, Pakistan, Chine) sont très favorables à la production de la truffe noire asiatique. *T. indicum* peut se développer jusqu'à 3500 m d'altitude en Inde et en Chine. L'altitude moyenne est de l'ordre de 2500 m. En Chine, à ces altitudes, entre 25 et 30° de latitude nord, la température moyenne annuelle est de 15°C. Au mois de janvier, à la maturation des ascocarpes, la température moyenne est comprise entre 6 et 8°C. Au-delà de 3000 m, il peut cependant geler. La pluviosité est élevée. Le plus souvent, elle est de l'ordre de 1100, mais peut dépasser 2000 mm au-dessus de 3000 m d'altitude. D'autre part, il n'y a pas de stress hydrique au moment de la différenciation des ascocarpes en juin et juillet. En effet, les pluies sont concentrées pendant les mois d'été où, de plus, la température n'est jamais excessive. Les sols sont rarement carbonatés. Ce sont le plus souvent des oxysols ou des oxysols brunifiés, la plupart du temps saturés. Nous avons cependant récolté *T. indicum* dans des sols ayant un pH inférieur à 5.

Les conditions édaphiques et climatiques du Yunnan et du Sichuan, deux provinces du centre et du sud de la Chine, sont particulièrement favorables à la production d'espèces appartenant au groupe des truffes noires asiatiques. Des millions d'hectares de formations forestières ouvertes et pâturées produisent d'énormes quantités de truffes noires, exportées depuis une vingtaine d'années en Europe et au Japon ³.

Les conditions écologiques d'autres régions de Chine, comme la Mongolie intérieure ou les provinces du Liaoning, Beijing, Hebei, Shanxi, Gansu et Xizang sont beaucoup moins favorables à la fructification des truffes. On y rencontre des espèces appartenant à d'autres groupes.

Des analyses phylogénétiques basées sur 4 gènes ⁴ nous ont permis de montrer que *T. pseudoexcavatum*,

bien que sans parfum, appartient au groupe des truffes noires. Cette espèce est aussi récoltée et commercialisée avec *T. indicum*. Génétiquement, *T. pseudoexcavatum* est proche de l'espèce européenne *T. brumale*, alors que le complexe *T. indicum* est proche de *T. melanosporum* [7,8]. Les 4 espèces de truffes noires de Chine *T. indicum*, *T. sinense*, *T. himalayense* et *T. pseudohimalayense*, ne semblent pas pouvoir être distinguées morphologiquement, ni microscopiquement. Les études phylogénétiques et de populations, que nous avons effectuées, montrent que ces 4 espèces pourraient n'en former qu'une, *T. indicum*, présentant en Chine deux écotypes liés à une recolonisation post-glaciaire du Sud vers le Nord.

Les autres truffes de Chine ont été étudiées grâce aux spécimens conservés en herbier et récoltés depuis 25 ans dans toute la Chine. L'analyse des régions nucléaires ITS1, ITS2 et de la large unité mitochondriale (mt LTRNA) montre que tous ces échantillons se répartissent en deux groupes, le groupe *Rufum* et le groupe *Puberulum* [9]. Au moins trois espèces ou sous-espèces chinoises appartiennent au groupe *Rufum* : *T. liaotungense*, *T. taiyuanense* et *T. huidongense*. Dans le groupe *Puberulum*, les espèces de Chine appartiennent aussi au moins à trois espèces ou sous-espèces.

Les truffes d'Amérique du Nord

En Amérique du Nord, les truffes se rencontrent au Canada, aux États-Unis et au Mexique. Elles ne semblent exister que sur la côte ouest. Les premières espèces du genre *Tuber* ont été décrites en Californie à la fin du dix-neuvième siècle. Il existe un peu plus d'une vingtaine d'espèces actuellement reconnues, appartenant à deux groupes, les groupes *Rufum* et *Puberulum*. Une espèce, *T. gibbosum*, ou truffe blanche d'Oregon, appartenant au groupe *Puberulum*, est depuis peu commercialisée. Cette espèce est essentiellement associée au Douglas *Pseudotsuga menziesii*. On la rencontre dans les Rocheuses, du Canada à la Californie, entre 500 et 1500 m d'altitude, sur des sols non carbonatés, d'origine volcanique. Son parfum alliacé et son goût sont très proches de ceux de la truffe blanche du Piémont mais moins puissants ⁵.



Région de Huidong, zone productrice de truffes noires (*T. indicum* et *T. excavatum*) sur parcours à bovins à *Pinus yunnanensis*.

Une espèce récemment découverte en Amérique du Nord [10], *T. sylviae*, pourrait appartenir au groupe *Melanosporum*, ce qui reste cependant à confirmer.

Recherches sur l'histoire de leurs origines et de leurs migrations

Les reconstructions phylogénétiques couplées aux informations concernant les aires de distribution actuelles des espèces peuvent permettre de reconstituer la biogéographie historique d'un groupe taxonomique, c'est-à-dire de retracer la succession des événements (historiques) qui ont conduit à la répartition géographique actuelle des espèces. Ces analyses consistent dans un premier temps à déterminer les aires de distribution ancestrales au niveau des différents nœuds de l'arbre phylogénétique en prenant en compte un nombre minimal d'événements de type dispersion, vicariance ⁶ ou extinctions.

L'utilisation d'analyses dites de l'horloge moléculaire, basées sur le taux de mutation constant de gènes comme la bêta-tubuline, a permis également de dater la divergence entre les principaux groupes du genre *Tuber*. L'ensemble des données ainsi obtenues nous a permis de construire un scénario biogéographique probable.

Il semble avoir existé un berceau commun, euro-asiatique ou européen, à toutes les espèces du genre *Tuber*. Nous avons estimé l'apparition de l'ancêtre commun du genre *Tuber* à environ 250 millions d'années, probablement avant la séparation de la Laurasia du Gondwana. Deux lignées semblent avoir rapidement divergé, une lignée strictement européenne et une lignée asiatique.

La lignée européenne, qui ne comprenait pas les truffes noires, s'est diversifiée et a donné naissance à quatre groupes toujours situés en Europe, *Aestivum* (comprenant la truffe d'été), *Panniferum*, *Magnatum* (comprenant la truffe blanche du Piémont) et *Macrosporum* (comprenant la truffe lisse). La truffe d'été a ensuite tardivement migré vers l'Afrique du Nord en contournant la Méditerranée.

La seconde lignée, asiatique, a conduit aux quatre autres groupes : *Excavatum*, *Rufum*, *Melanosporum* et *Puberulum*. À l'intérieur de ce phylum, le groupe *Excavatum* s'est d'abord individualisé et a gagné l'Europe, puis l'Afrique du Nord, tout en s'éteignant en Asie. Les échanges Asie-Europe ont ensuite été rendus impossibles par l'existence du détroit de Turgai qui séparait la Sibérie de l'Europe. Après la disparition de ce détroit, il y a environ 30 millions d'années, les échanges ont repris entre l'Europe et l'Asie. C'est ainsi que les groupes *Rufum* et *Puberulum* ont gagné l'Europe et l'Afrique du Nord, tout en se diversifiant en Asie. Nous proposons un berceau commun Euro-asiatique ou Asiatique pour l'ensemble des truffes

noires avec deux migrations successives anciennes vers l'Ouest et vers l'Est, l'une datant d'environ 20 millions d'années (séparation *T. brumale* de *T. pseudoexcavatum*) et l'autre de 9 millions d'années (séparation *T. indicum* de *T. melanosporum*).

Aux termes de nos dernières analyses, il ne semble pas que la colonisation de l'Amérique du Nord se soit faite par le pont qui unissait l'Europe à l'Amérique du Nord avant la formation complète de l'Atlantique Nord (50 millions d'années). La colonisation de l'Amérique du Nord par le groupe *Rufum* (différencié il y a environ 50 millions d'années) et le groupe *Puberulum* (différencié vers environ 40 millions d'années) semble s'être faite par une autre voie, le passage terrestre de Behring qui unissait, lors d'une phase de climat chaud en partie forestière, l'Asie et l'Amérique du Nord entre moins 16 millions et moins 3,5 millions d'années. Ces échanges à travers le passage de Behring sont extrêmement complexes. Le modèle que nous avons utilisé n'exclut pas des passages dans les deux sens et même la recolonisation de l'Europe par des espèces du groupe *Puberulum* ayant préalablement migré vers l'Amérique via l'Asie.

Une collaboration vient de s'établir avec les États-Unis d'Amérique, la France, la Chine et l'Italie. Nous disposerons dans les mois qui viennent de nombreuses séquences supplémentaires d'espèces américaines, ce qui nous permettra d'affiner l'histoire très complexe du genre *Tuber*. Une comparaison des séquences entières du génome de plusieurs espèces de truffes permettra de mieux résoudre l'évolution des truffes. Un premier pas dans cette direction sera bientôt réalisé grâce à la prochaine disponibilité de la séquence du génome de la truffe noire du Périgord, travaux réalisés au Genoscope, sous la responsabilité de Francis Martin, par plusieurs chercheurs de l'INRA, associés à des universités italiennes et belges.

François Le Tacon, Sylvain Jeandroz,
Claude Murat et Yongjin Wang

⁶ Vicariance : deux espèces sont dites vicariantes lorsqu'elles sont phylogénétiquement très proches, mais occupent des régions éloignées ou très éloignées. Nous pouvons considérer que la truffe noire du Périgord, *T. melanosporum*, et la truffe noire de Chine, *T. indicum*, sont des espèces vicariantes.



François Le Tacon
INRA, UMR 1136,
INRA/université Henri Poincaré,
Interactions arbres micro-organismes, Nancy
le_tacon@nancy.inra.fr

Sylvain Jeandroz
UMR 1136, INRA/université Henri Poincaré,
Interactions arbres micro-organismes,
Faculté des Sciences et Techniques,
Vandœuvre-les-Nancy

Claude Murat
Dipartimento di Biologia Vegetale
dell'Università di Torino, Viale Mattioli, Italy

Yongjin Wang
Emerging Viruses Unit, Institut Pasteur
of Shanghai / Chinese Academy of Sciences,
Shanghai, China

Biblio

- [1] Fabre H. (1857). Notes sur le mode de reproduction des truffes. In *Bulletin de la Société d'Agriculture et d'Horticulture du Vauchuse*, Avignon.
- [2] Fabre H. (1879 à 1907) Souvenirs entomologiques, 10 volumes.
- [3] Vittadini C. 1831. *Monographia Tubercanum*. Éd. Rusconi, Milano.
- [4] Rioussel, G., Rioussel, L., Chevalier, G. and Bardet, M.C. (2001) *Truffes d'Europe et de Chine*. INRA Paris.
- [5] Ceruti, A., Fontana, A. and Nosenzo, C. (2003) *Le Specie Europee del Genere Tuber, Una revisione storica*. Museo regionale di scienze Naturali, monographie XXXVII.
- [6] Weden, C., Danell E., Camacho F.J. and Backlund A. (2004) The population of the hypogeous fungus *Tuber aestivum* syn. *T. uncinatum* on the island of Gotland. *Mycorrhiza*, 14, 19 – 23.
- [7] Wang, Y.J., Tan, Z.M., Zhang, D.C., Murat, C., Jeandroz, S. and Le Tacon, F. (2006a) Phylogenetic relationships between *Tuber pseudoexcavatum*, a Chinese truffle, and other *Tuber* species based on parsimony and distance analysis of four different gene sequences. *FEMS Microbiology Letters*, 259, 269–281.
- [8] Wang, Y.J., Tan, Z.M., Zhang, D.C., Murat, C., Jeandroz, S. and Le Tacon, F. (2006b). Phylogenetic and populational study of the *Tuber indicum* complex. *Mycological Research*, 110, 1034–1045.
- [9] Wang, Y.J., Tan, Z.M., Murat, C., Jeandroz, S. and Le Tacon, F. (2007) Molecular taxonomy of Chinese truffles belonging to the *Tuber rufum*- and *Tuber puberulum*-groups. *Fungal Diversity*, in press.
- [10] Bonito, G., Vilgalys, R., Isikhuemhen, O.S., Trappe, J.M. (2006) Phylogeny of North American Truffles. North Carolina Agricultural and Technical State University, Greensboro; Duke University, Durham, Oregon State University, Corvallis. Joint Meeting of the American Phytopathological Society, Canadian Phytopathological Society, Mycological Society of America, July 29–August 2, Quebec City, Qc, Canada.