

Mercredi 11 février 2015  
Séance de l'Académie d'agriculture de France

# *La génomique au service de la gestion des truffières*

## Organisateurs

**Francis Martin**

*Académie d'agriculture*

**Marie-Thérèse Esquerré-Tugayé**

*Académie d'agriculture*

## Conférenciers

**Claude Murat**

*INRA-Université de Lorraine Nancy*

**Marc-André Selosse**

*Muséum national d'histoire naturelle Paris*

**Damien Berlureau**

*Agri-Truffe Saint Maixant*

**La séance se tiendra le Mercredi 11 février 2015, de  
15h00 à 17h30, à l'Académie d'agriculture de France  
18, rue de Bellechasse - 75007 Paris (accès gratuit)**

## Contact

**Corinne Migné**

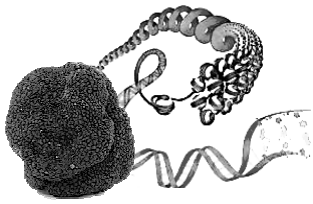
*Académie d'agriculture*

Tél. : 01 47 05 10 37

[corinne.migne@academie-agriculture.fr](mailto:corinne.migne@academie-agriculture.fr)

<http://www.academie-agriculture.fr>

## **La génomique au service de la gestion des truffières**



Pour lutter contre la disparition de la truffe, des chercheurs de l'Inra l'étudie depuis plus de quarante ans sous toutes les coutures : mycorhization contrôlée, génomique, physiologie, reproduction et écologie<sup>1</sup>. Magiques ou aphrodisiaques, on a souvent prêté à la truffe de nombreux pouvoirs. Aujourd'hui, elle est surtout appréciée par les gourmets prêts à dépenser des fortunes pour se procurer ces diamants de la cuisine. Qu'elle soit du Périgord, du Tricastin, de Teruel (Espagne) ou encore du

Piémont (Italie), la championne des champignons est rare et donc chère : la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum*) coûte en moyenne 500 €/kg. La truffe blanche du Piémont (*T. magnatum*) peut avoisiner 6000 €/kg. Son parfum varie en fonction du lieu où elle est cultivée, du terroir et de sa maturité. Grâce entre autres aux efforts de l'Inra depuis plus de quarante ans, la baisse de production observée au cours du 20<sup>ème</sup> siècle est enrayée. Les apports de l'Inra sont significatifs autant d'un point de vue scientifique, avec plus de 70 articles publiés dans des revues internationales dont deux dans la prestigieuse revue Nature, que d'un point de vue pratique avec la mise au point de l'inoculation des plants mycorhizés, qui associe en laboratoire l'arbre et la truffe, et l'amélioration des techniques culturales. Depuis 25 ans, la production est stable avec même une tendance à l'augmentation ces dernières années. Toutefois, malgré la mise en place à grande échelle de plantations de plants truffiers (environ 1000 hectares par an), ainsi que l'amélioration des techniques de gestion des truffières, nous n'avons pas encore retrouvé le niveau de production de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. La production française ne suffit plus à répondre à la demande, ce qui nécessite son importation accrue. Afin de pallier ce problème, six laboratoires et deux organisations professionnelles se sont regroupées autour du projet Systruf «*Bases d'une intensification écologique durable des écosystèmes truffiers*», financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Pendant quatre ans (2010-2013), ce programme de recherche participative entre la recherche agronomique et la filière trufficole a étudié la biologie et l'écologie de la Truffe noire du Périgord sous différents aspects complémentaires : génomique, nutrition, développement, reproduction et interactions avec les plantes, les autres champignons et les bactéries du sol. Les chercheurs nous dévoilent ainsi une partie des mystères de la truffe.

<http://www.inra.fr/Grand-public/Genetique/Tous-les-dossiers/La-truffe-etudiee-sous-toutes-les-coutures>

### **Programme**

#### **15h00-15h15 Introduction**

Marie-Thérèse Esquerré-Tugayé, Université Paul Sabatier Toulouse - Académie d'agriculture, Section des Sciences de la vie

#### **15h15 – 15h45 La génomique au service de l'écologie microbienne des truffières**

Claude Murat, INRA-Université de Lorraine Nancy

#### **15h45-16h15 De la naissance à la mort des truffières naturelles**

Marc-André Selosse, Muséum national d'histoire naturelle Paris

#### **16h15-16h45 La production de plants truffiers et diversification sylvicole**

Damien Berlureau, Agri-Truffe Saint Maixant

#### **16h45-17h15 Discussion générale animée par Francis Martin et Marie-Thérèse Esquerré-Tugayé**

#### **17h15-17h30 Conclusion**

Francis Martin, INRA-Université de Lorraine  
Académie d'agriculture, Section des Sciences de la vie

## **La génomique au service de l'écologie microbienne des truffières**

**Claude Murat<sup>1,2</sup>, Herminia De la Varga<sup>1,2</sup>, Christophe Robin<sup>3</sup>, François Le Tacon<sup>1,2</sup>, Francis Martin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR1136 Interactions Arbres-Microorganismes, F-54280 Champenoux, France

<sup>2</sup>Université de Lorraine, UMR1136 Interactions Arbres-Microorganismes, F-54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>3</sup>Université de Lorraine – INRA, UMR 1121 "Agronomie et Environnement Nancy-Colmar", BP 172, 54505 Vandoeuvre les Nancy Cedex, France

[http://mycor.nancy.inra.fr/IAM/?page\\_id=2000](http://mycor.nancy.inra.fr/IAM/?page_id=2000)

[claude.murat@nancy.inra.fr](mailto:claude.murat@nancy.inra.fr)



La conservation et l'amélioration de la production de truffes passe par une meilleure compréhension de son cycle biologique qui peut se diviser en trois grandes phases : 1) La phase saprotrophe correspondant au développement du mycélium dans le sol ; 2) la phase symbiotique correspondant à l'interaction du champignon avec la plante hôte au niveau des ectomycorhizes et 3) la phase reproductive dont le produit finale est l'ascocarpe, l'organe contenant les spores. Pour l'obtention de truffes, le trufficulteur doit principalement passer deux verrous : l'initiation de la reproduction sexuée et la croissance de la truffe reliée à l'arbre pendant plusieurs

mois. Plusieurs facteurs comme le climat, l'adaptation génétique, la biodiversité microbienne et l'entretien des truffières peuvent influencer positivement ou négativement ces verrous. L'objectif de nos recherches est de générer et d'utiliser des ressources génétiques et génomiques pour mieux comprendre ce cycle biologique. En parallèle, nous essayons aussi de mieux connaître l'écosystème truffier en utilisant des technologies innovantes, comme le séquençage à haut débit et les codes-barres d'ADN, pour caractériser la biodiversité microbienne des truffières.

Grâce aux efforts conjugués du Génoscope et du Tuber Genome Consortium, le génome de la truffe noire (*Tuber melanosporum*) a été séquencé et publié en 2010 (Martin et al., 2010, Nature, 464, 1033-1038). L'exploitation de ce génome nous a permis d'identifier: 1) les gènes de compatibilité sexuelle et 2) des marqueurs moléculaires très polymorphes permettant l'identification et le suivi des génotypes *in situ*. Une cartographie des génotypes et de leur type de compatibilité sexuelle dans une truffière pendant quatre saisons a été réalisée montrant que les truffières sont des écosystèmes dynamique.

Le sol est un réservoir important de la biodiversité sur la terre et les microorganismes y représentent une grande partie de cette biodiversité. Les progrès technologiques permettent actuellement d'avoir une vision de plus en plus détaillée de la biodiversité microbienne. Par l'utilisation de ces technologies nous avons caractérisé la biodiversité fongique dans les sols de plusieurs truffières. Cette étude a permis d'identifier plusieurs espèces indicatrices du sol des arbres producteurs par rapport au sol d'arbres non producteurs mais aussi du sol du brûlé par rapport au sol à l'extérieur du brûlé.

Pour conclure, le séquençage du génome de la truffe noire s'insère dans un projet plus ample intitulé TuberEVOLV ayant pour but l'analyse comparative des génomes des truffes pour mieux connaître leur évolution et l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne. Dans le cadre de ce projet, les génomes de *T. aestivum*, *T. borchii*, *T. brumale*, *T. indicum*, *T. lyonii* et *T. magnatum* sont en cours de séquençage au sein du Génoscope, du Joint Genome Institute du département de l'énergie des Etats-Unis et en interne à l'INRA de Nancy.

Grâce à ces ressources génomiques et aux nouvelles technologies de la génomiques nous avons mis au point des outils que nous utilisons actuellement *in situ*. Ces outils devraient rapidement être disponibles pour les trufficulteurs leur permettant ainsi de mieux suivre et gérer leurs truffières.

Claude Murat est ingénieur de recherches au sein de l'UMR Interactions Arbres-Microorganismes de l'INRA de Nancy. Claude étudie l'écologie, la biologie et la génétique des truffes depuis sa thèse de doctorat qu'il a effectué en cotutelle entre l'Université de Nancy et l'Université de Turin (2001-2004). Il a ensuite continué ces études sur les truffes jusqu'en 2008 à l'Université de Turin avant d'intégrer l'INRA de Nancy. En 2007, il a participé à la création d'une start-up, DiNAMYCODE spécialisée dans le diagnostic moléculaire des champignons. Depuis 2010, Claude est en charge du suivi de la production des plants mycorhizés dans le cadre de la licence de savoir faire entre l'INRA et deux pépiniéristes. Claude Murat a pour mission de faire le lien entre la filière truffe et l'INRA et il représente l'INRA dans le comité trufficulture de FranceAgriMer. Il a participé activement au projet ANR SYSTRUF. Il est coordinateur d'un nouveau projet ADAPTRUF soumis à l'ANR en 2015, et du projet ClimaTruf financé par le labex ARBRE. Il a publié près d'une cinquantaine d'articles de recherche et autant d'articles de vulgarisation.

### Références

- Mello A, Murat C, Bonfante P. 2006.** Truffles: much more than a prized and local fungal delicacy. *FEMS Microbiology Letters* **260**, 1-8
- Martin F, Kohler A, Murat C et al. 2010.** Perigord black truffle genome uncovers evolutionary origins and mechanisms of symbiosis. *Nature* **464**, 1033-1038  
(<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/1846.htm>)
- Payen T, Murat C, Bonito G. 2014.** Truffle phylogenomics: New insights into truffle evolution and truffle life cycle. *Advances in Botanical Research* **70**, 211-234
- Murat C. 2014.** Forty years of inoculating seedlings with truffle fungi: past and future perspectives. *Mycorrhiza*. Springer Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/s00572-014-0593-4

## De la naissance à la mort des truffières naturelles

Marc-André Selosse

Institut de Systématique, Evolution et Biodiversité (ISYEB) - UMR 7205 CNRS MNHN UPMC  
EPHE, Muséum d'histoire naturelle Paris

<http://isyeb.mnhn.fr> ; <http://isyeb.mnhn.fr/SELOSSE-Marc-Andre>

[masellosse@mnhn.fr](mailto:maselosse@mnhn.fr)



Le programme SYSTRUF, en réexaminant l'écologie de la Truffe Noire (*T. melanosporum*), a révélé plusieurs aspects de la dynamique de ce champignon, notamment dans les truffières « naturelles » où la présence de la Truffe Noire est spontanée. Le premier aspect fut d'abord trouvé inopinément et indépendamment dans des travaux analysant les résiliences des communautés mycorhiziennes aux coupes à blanc, une pratique traditionnelle qui entretenait autrefois les chênaies, notamment méridionales, par des re-cépages continus en vue de la production de bois de feu. A la suite de cette perturbation

dans une chênaie, les champignons ectomycorhiziens présent avant perturbation sont profondément renouvelés, et parmi les clades rudéraux qui s'installent figurent les truffes (*Tuber* spp.) : ces travaux, et d'autres qui seront présentés, démontrent le côté rudéral de la Truffe Noire, et son lien aux perturbations. La décrue des espaces forestiers perturbés et de l'intensité des perturbations à la suite de l'exode rural au XX<sup>e</sup> siècle, contribue sans doute à l'effondrement de la production observé depuis les années 1900.

La colonisation par la Truffe Noire des arbres hôtes potentiels est assez limitée dans les truffières naturelles étudiées : elle coexiste avec de nombreuses autres espèces sur les arbres, et tend à ne pas coloniser toutes les espèces-hôtes potentiels. En revanche, la présence de mycélium dans les racines des herbacées de nombreuses espèces a pu être montrée par des méthodes moléculaires. Bien qu'on ne connaisse pas encore avec exactitude la morphologie et la nature physiologique des interactions, des génotypes variés ont pu être identifiés sur des plantes herbacées du brûlé. Ainsi, le réseau d'interaction végétal de la Truffe Noire n'est-il pas seulement lié aux arbres ectomycorhizés. Reste à établir en quoi les interactions avec le sous-étage herbacé peut éventuellement expliquer la formation du brûlé, ou peut être un auxiliaire en trufficulture.

Enfin, bien qu'on ne contrôle pas sa reproduction, ni complètement la production de la Truffe Noire, les pratiques d'inoculations constituent un premier pas vers sa domestication. Il est donc intéressant, dans ce modèle en cours de domestication, de comparer la structure des populations de plantations et à celles de truffières naturelles. Si aucune réduction de diversité, ni aucune différence d'appariement sexuelle n'a pu être mise en évidence, sans doute parce que les plantations sont situées dans la zone d'indigénat de la Truffe Noire, des différences significatives de structuration spatiale existent.

*Marc-André Selosse est professeur au Muséum National d'histoire naturelle et professeur associé aux Universités de Gdansk (Pologne) et Viçosa (Brésil). Ses recherches portent sur l'écologie et l'évolution des associations à bénéfices mutuels (symbioses), et notamment des mycorhizes. Il a co-encadré la thèse d'E. Taschen avec F. Richard, dans le cadre du programme SYSTRUF. Président de la Société Botanique de France, il est éditeur de trois revues scientifiques internationales (Symbiosis, The New Phytologist et Acta Botanica Gallica – Botany Letters) et de la revue Espèces. Il a publié près d'une centaine d'articles de recherche et autant d'articles de vulgarisation.*

### Références

- Selosse MA, Baudoin E, Vandenkoornhuyse P. 2014.** Symbiotic microorganisms, a key for ecological success and protection of plants. *Comptes Rendus Biologies* **327**, 639-648
- Selosse MA, Richard F, He X et al. 2006.** Mycorrhizal networks: des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology & Evolution* **21**, 621-628
- Marmeisse R, Nehls U, Opik M, Selosse MA, Pringle A. 2013.** Bridging mycorrhizal genomics, metagenomics and forest ecology. *New Phytologist* **198**, 343-346
- Selosse MA, Taschen E, Giraud T. 2013.** Do black truffles avoid sexual harassment by linking mating type and vegetative incompatibility? *New Phytologist* **199**, 10-13

## **La production de plants truffiers et diversification sylvicole**

**Damien Berlureau**

AgriTruffe Saint Maixant

<http://www.truffes-de-bourgogne.fr/les-arbres/agri-truffe-les-pionniers-de-la-mycorhization.html>  
[dbsauvignon@yahoo.fr](mailto:dbsauvignon@yahoo.fr)



La truffe se cultive de manière empirique depuis le XIXème siècle. Ces techniques de culture reposant quasi exclusivement sur le « savoir faire » amèneront la production de truffe à son apogée, 1500 à 2000 tonnes en 1910 à comparer aux 60 tonnes actuelles. Ces chiffres maintes et maintes fois cités, laissent à penser que le « savoir faire », le bon sens paysan, est plus efficace que le « savoir scientifique » pour ce qui est de produire des truffes. Cependant de 1914 à 1972 tout ce « savoir faire des trufficulteurs » a été incapable d'enrayer l'extraordinaire chute de production de 98% ; avec environ 25 tonnes au milieu des années 70. Ce n'est que grâce aux recherches menées par l'INRA et qui aboutissent en 1972 à la licence truffe INRA-Agri-Truffe que la production de truffe se stabilise puis recommence aujourd'hui à croître.

Nous exposerons les hypothèses des raisons du déclin de la production avant l'arrivée des plants truffiers, leur production ainsi que leur avenir pour une trufficulture qui se diversifie, s'internationalise et a un rôle prépondérant à jouer dans l'avenir de la forêt.

*Damien Berlureau est PDG d'Agri-Truffe, N°1 mondial de la production de chènes truffiers. Il plante 400 hectares et vend 150 000 chènes truffiers par an. Sa famille fait partie des fondateurs d'Agri-Truffe qui ont breveté la processus de mycorhization avec l'INRA.*

**Pour en savoir plus**

<http://cemachampi.blogs.sudouest.fr/tag/damien+berlureau>

<http://avis-vin.lefigaro.fr/magazine-vin/o112347-des-actionnaires-payes-en-vins-et-en-truffes>