

Alcalinité et structure des sols déterminent la production truffière en régions pyrénéennes

par Benoît JAILLARD^a, Dominique BARRY-ETIENNE^b, Carlos COLINAS^{cd}, Ana-Maria DE MIGUEL^e, Laurent GENOLA^f, Aline LIBRE^a, Pascal NEVEU^g, Daniel OLIACH^d, Williams SAENZ^f, Mauricio SAEZ^h, Xavier SALDUCCIⁱ, Gérard SOUCHE^a, Pierre SOURZAT^f et Manon VILLENEUVE

Le programme de recherche "Typologie des stations truffières des Régions pyrénéennes" (TrufPyr, 2009-2011) visait à préciser les conditions écologiques qui favorisent la croissance et la fructification de *Tuber melanosporum*. Ce programme s'est appuyé sur l'étude de 212 truffières de chênes-verts, sauvages et plantées, en Navarre, Catalogne, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon, et a permis de préciser les propriétés écologiques des truffières les plus productives. Les résultats confirment que *T. melanosporum* est un champignon ubiquiste, c'est-à-dire qu'il est capable de se développer dans des sols variés. La présence du champignon est évidemment nécessaire, mais elle ne suffit pas à déterminer l'entrée en production de la truffière. Par contre, nous avons montré que l'alcalinité et la structure du sol sont des propriétés qui déterminent la production de truffes. Ces résultats nous amènent à développer une approche probabiliste de la fructification de *T. melanosporum*, c'est-à-dire à estimer le risque pour un trufficulteur de produire ou de ne pas produire de truffes étant données les propriétés de sa parcelle. Cette approche permet de mieux comprendre l'effet sur la production de pratiques culturales comme l'amendement organique ou le travail superficiel du sol des truffières, pratiques qu'il est urgent de réhabiliter et d'encourager pour modifier si besoin l'alcalinité du sol et maintenir à des niveaux élevés la stabilité structurale des sols truffiers, et donc la production de truffes.

Qu'est-ce que l'alcalinité d'un sol ?

L'alcalinité d'une solution est le nom donné à sa capacité à neutraliser un acide. Son inverse est l'acidité. Par extension, l'alcalinité d'un sol est sa capacité à neutraliser un acide. Cette grandeur détermine donc la manière dont le sol réagit à un apport d'acide. Chaque organisme vivant a des besoins spécifiques en terme d'alcalinité/acidité de son environnement : il est adapté à des milieux plus ou moins alcalins, neutres ou acides.

Le pH d'une solution aqueuse est lié à son alcalinité. Mais le pH_{eau} d'un sol (extraction par l'eau) ne mesure que l'alcalinité de sa solution à l'équilibre. Pour combler cette lacune, on mesure souvent le pH_{KCl} (extraction par une solution concentrée de KCl) qui prend de plus en compte l'alcalinité portée par le complexe d'échange du sol : sa valeur est toujours inférieure à celle du pH_{eau} . La mesure du calcaire actif (extraction par l'oxalate d'ammonium) prend en compte l'alcalinité des minéraux carbonatés très réactifs. La capacité d'échange (CEC) du complexe argilo-humique est mesurée par extraction à l'acétate d'ammonium. En sol calcaire, cet extractant solubilise aussi une fraction active des minéraux carbonatés : le rapport $(\text{Mg} + \text{Ca})/\text{CEC}$ est donc un bon indicateur de l'alcalinité "réactive" d'un sol.

POURQUOI LE PROGRAMME DE RECHERCHE TRUFFYR ?

Concernant l'écologie de *Tuber melanosporum*, la plupart des auteurs s'accordent sur trois points. Le premier point est que l'eau doit s'écouler librement dans le sol et que les excès soient évacués par drainage interne des couches de surface où vivent les racines et le champignon^(1,2). Une conséquence est que **les sols truffiers sont bien structurés, poreux et aérés**^(5,12), et qu'ils sont le plus souvent développés sur des substrats filtrants^(4,5,14).

Le second point est que le **pH des sols truffiers est compris entre 7.0 et 8.9**^(7,15), c'est-à-dire depuis des sols neutres^(8,11) jusqu'à des sols très calcaires. Tous les sols truffiers ne sont pas calcaires, mais beaucoup le sont^(14,16).

Le dernier point est que **les sols truffiers sont organiques**, leur matière organique étant bien décomposée et stabilisée (C/N voisin de 10)^(3,12). L'écologie de *Tuber melanosporum* reste toutefois incertaine car les données disponibles sont généralement issues d'études très détaillées qui ont été menées sur quelques sites particuliers. Les grandes collections de données issues d'un nombre important de truffières sont rares, ce qui limite l'**approche statistique**^(7,13). Le programme de recherche TrufPyr visait à combler cette lacune. D'une durée de 3 ans, il reposait sur l'enquête de 212 truffières de chênes-verts, sauvages et plantées, pour définir statistiquement les

conditions écologiques les plus favorables à la croissance et la fructification de la truffe. La région choisie était les Régions pyrénéennes, Navarre, Catalogne, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon, parce que la Communauté de Travail des Pyrénées appuyait cette démarche et que, dans ces Régions, les sols varient depuis un pôle acide, représenté par des granites et des schistes, jusqu'à un pôle alcalin, représenté par des marnes et calcaires marneux. Cette grande diversité de sols s'est retrouvée dans la collection de truffières étudiées. Les méthodes mises en œuvre sont représentées sur la figure 1.

DES SOLS ALCALINS PLUTÔT QUE CALCAIRES

L'analyse statistique a permis de répartir les sols des truffières en quatre groupes (figure 2a).

Le premier groupe correspond à des **sols acides ou neutres** : la teneur en calcaire est nulle, le pH est compris entre 5.5 et 8, et le complexe d'échange du sol (c'est-à-dire son "complexe argilo-humique") est souvent saturé par le magnésium (Mg) et le calcium (Ca). Les sols acides sont développés sur granit et schiste dans les Pyrénées-Orientales, sur grès dans le Gard. Ils représentent moins de 8 % des truffières étudiées. Un deuxième groupe correspond à des **sols dolomitiques** : la teneur en calcaire est faible et la teneur en calcaire actif inférieure à 1 %, le pH est proche de 8, et le complexe d'échange du sol est saturé par Mg et Ca. Une spécificité des sols dolomi-

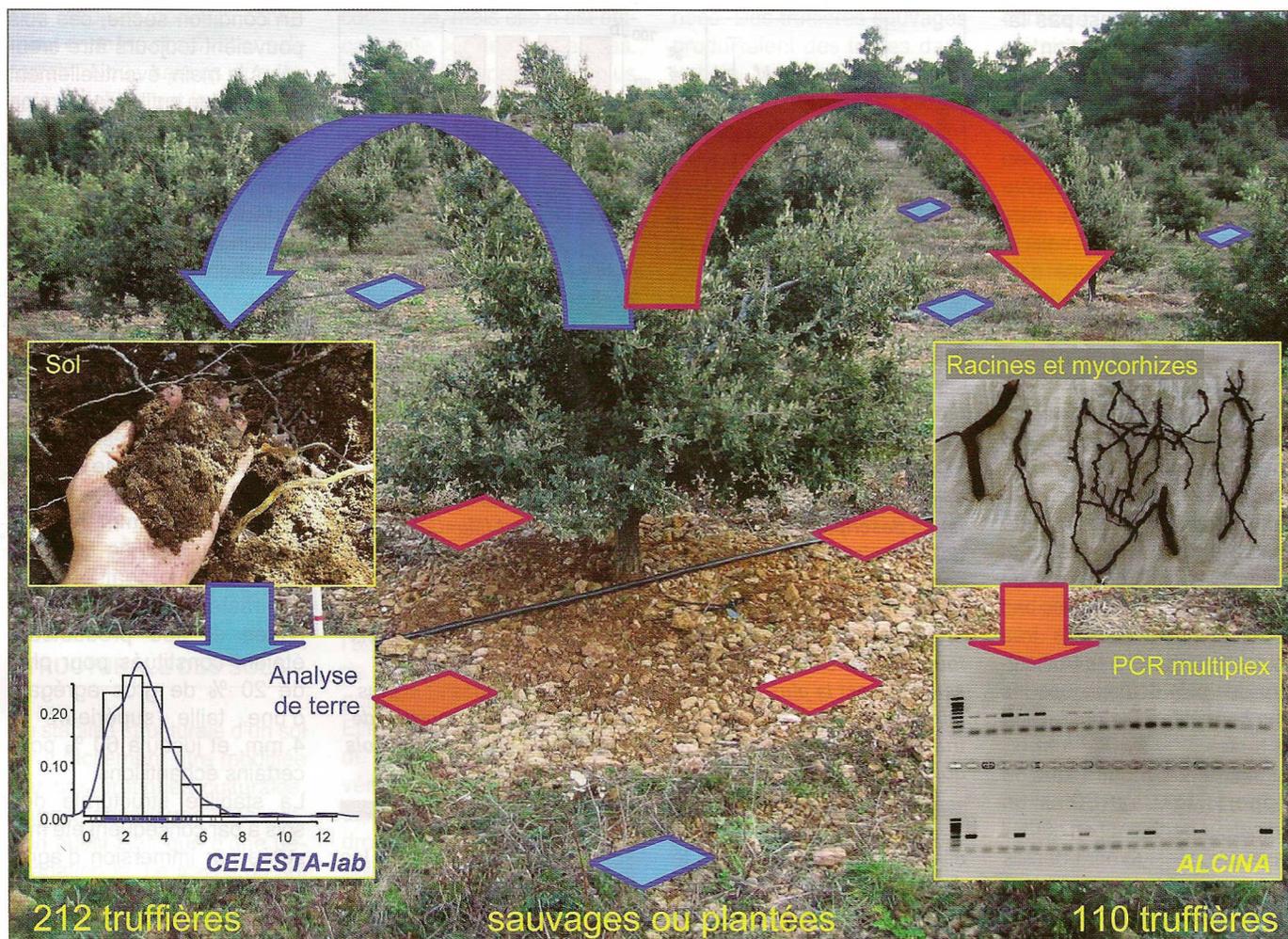


Figure 1. Méthode d'étude des truffières. Le programme de recherche TrufPyr a reposé sur l'enquête de 212 truffières de chênes verts, sauvages et plantées, situées dans les régions pyrénéennes : questions sur l'environnement, historique des truffières, origine des plants, techniques de plantation et pratiques culturales des trufficulteurs. Chaque truffière visitée a été échantillonnée : prélèvement d'échantillons composites de sol dans l'inter-rang (à 5-15 cm de profondeur, en bleu), prélèvement de racines et de mycorhizes en bordure intérieure des brûlés (à 5-15 cm de profondeur, en rouge). Les sols ont été analysés par le LCA via Celesta-lab, les racines et mycorhizes ont été observées et analysées par Alcina.

tiques est une teneur en magnésium élevée. Ces sols sont développés sur les calcaires dolomitiques des Pyrénées orientales et de l'Hérault. Ils représentent 20 % des truffières étudiées. Les sols acides saturés et les sols dolomitiques sont alcalins sans toutefois être calcaires.

Les troisième et quatrième groupes correspondent aux **sols calcaires**, qui forment à eux seuls plus de 72 % de tous les sols étudiés. Leur pH est de 8.3. On peut distinguer les sols modérément calcaires qui contiennent en moyenne 21 % de calcaire total et 5 % de calcaire actif, et les sols très calcaires qui contiennent en moyenne 57 % de calcaire

total et 12 % de calcaire actif. Les sols modérément et très calcaires représentent respectivement 47 et 25 % des truffières étudiées.

Les **truffières sauvages** constituent 9 % des truffières étudiées, les truffières plantées productives 69 % et les truffières plantées non-productives moins de 22 % (figure 2b). Nous avons considéré comme non-productive une truffière qui n'a jamais produit de truffe, ou qui en produit par-ci par-là et de temps en temps. Toutes les truffières sauvages sont productives. La figure 2b montre que plus de 70 % des sols acides ou neutres échantillonnés sont producteurs de

truffe. La proportion de truffières sauvages est la plus élevée sur les sols dolomitiques, et la plus faible sur les sols très calcaires. Parallèlement, la proportion de truffières plantées non-productives est la plus faible sur les sols dolomitiques, et la plus élevée sur les sols très calcaires. Par conséquent, la proportion de truffières plantées qui produisent est de 83 % sur sols dolomitiques, et de seulement 46 % sur sols très calcaires. Et la proportion de **truffières productives**, plantées ou sauvages, est supérieure à 91 % sur sols dolomitiques, alors qu'elle était inférieure à 55 % sur sols très calcaires.

LE RAPPORT (Mg+Ca)/CEC MESURE L'ALCALINITÉ DES SOLS

Ces observations montrent donc que, dans les Régions pyrénéennes, les sols (acides ou) neutres produisent aussi bien que les sols modérément calcaires, et que les sols dolomitiques sont les plus favorables à la production de truffes, tant en sauvage qu'en plantation. Ils montrent enfin que les sols très calcaires sont les moins favorables à la production de truffes, et que les truffières sauvages y sont rares. La **teneur en calcaire** d'un sol est donc une donnée insuffisante, et une teneur en

calcaire élevée n'est pas favorable à la production de truffes. L'affirmation commune que les sols calcaires sont de bons sols truffiers doit être remise en question, ou tout au moins sérieusement nuancée. La question qui se pose alors est : dispose-t-on d'un meilleur indicateur de l'alcalinité d'un sol (voir encadré) ? Le pH du sol est un indicateur souvent utilisé. Toutefois, il ne permet pas de discriminer les sols peu calcaires des sols très calcaires car sa valeur est de 8.3 quelle que soit la teneur en calcaire du sol. La teneur en calcaire actif a souvent été évoquée^(6,7,8), mais elle est nulle en sol acide et dolomitique : elle ne permet donc pas de discriminer les sols très acides impropres à la trufficulture des sols dolomitiques les plus favorables à la production de truffes.

La figure 2a montre que le rapport (Mg+Ca)/CEC est un indicateur pertinent : en effet, il varie progressivement depuis les sols acides ou neutres dont le complexe d'échange est tout juste saturé, jusqu'aux sols très calcaires dont le complexe d'échange est sur-saturé et qui contient des teneurs élevées en calcaire actif. Cet indicateur correspond à la somme des teneurs en magnésium (Mg) et calcium (Ca) "échangeables", rapportée à la capacité d'échange cationique du sol (CEC). En sol calcaire, cette mesure intègre en fait à la fois Mg et Ca liés au "complexe argilo-humique" du sol, et Mg et Ca solubles ou très réactifs :

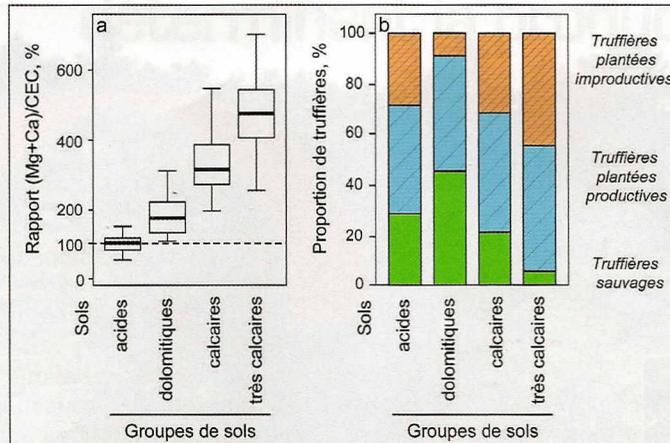


Figure 2. Alcalinité et productivité des truffières. L'analyse statistique a permis de définir 4 groupes de sols : des sols acides, dolomitiques, calcaires et très calcaires.

(a) Le descripteur le plus pertinent est le rapport (Mg+Ca)/CEC, dont la valeur varie continûment de 80 à plus de 600 % selon les sols.

(b) Les truffières étaient classées en sauvages, plantées productives et plantées non-productives, selon les informations fournies par les trufficulteurs. La proportion de truffières sauvages est la plus élevée sur les sols dolomitiques et la plus faible sur les sols très calcaires. Parallèlement, la proportion de truffières plantées non-productives est la plus faible sur les sols dolomitiques et la plus élevée sur les sols très calcaires.

elle estime donc à la fois le degré de saturation du "complexe argilo-humique" et la réactivité du calcaire du sol. Le rapport (Mg+Ca)/CEC est donc un bon estimateur de l'alcalinité totale d'un sol. De plus, la CEC et les teneurs en Mg et Ca échangeables sont généralement analysées dans une analyse de terre classique, mais le rapport (Mg+Ca)/CEC n'est pas mentionné : il pourrait facilement être calculé pour les trufficulteurs. En écologie truffière, le rapport (Mg+Ca)/CEC devrait donc être préféré à d'autres descripteurs de l'alcalinité du

sol, et calculés dans les feuilles d'analyse de sol.

DES SOLS STRUCTURÉS DONT LA STRUCTURE RESTE STABLE DANS L'EAU

La visite sur le terrain des 212 truffières a par ailleurs montré que les parcelles identifiées par les trufficulteurs comme les plus productives étaient généralement caractérisées par une structure particulière, grumeleuse ou polyédrique sub-anguleuse (voir encadré).

En condition sèche, ces sols pouvaient toujours être creusés à la main, éventuellement à l'aide d'un outil léger comme un couteau de poche. La structure du sol nous est progressivement apparue comme un facteur déterminant la production de truffes.

Au laboratoire, nous avons constaté que, une fois séchés, la plupart des sols collectés sur des truffières productives conservait une **structure granulaire**, sableuse ou pseudo-sableuse : le tamis de 4 mm ne retenait que des cailloux, tandis que le tamis de 2 mm retenait moins de 20 % de sol sous forme d'agrégats. Par contraste, les sols très calcaires et peu producteurs étaient constitués pour plus de 20 % de gros agrégats d'une taille supérieure à 4 mm, et jusqu'à 60 % pour certains échantillons.

La stabilité structurale des sols a par conséquent été mesurée par immersion d'agrégats de 2 à 4 mm pendant 10 minutes dans l'eau⁽⁹⁾. Les résultats du test d'immersion ont permis de diviser les sols en trois groupes. Le premier groupe est constitué de sols graveleux des Pyrénées-Orientales. Ils paraissent très stables dans l'eau, mais les "agrégats" sont en fait des graviers d'une dimension comprise entre 2 et 4 mm. Seul 41 % de ces sols sont producteurs de truffe. Le second groupe correspond à des sols dont les agrégats sont très stables dans l'eau : une fois immergés, les agrégats restent cohérents. Ces sols sont formés de petits agrégats d'une taille comprise entre 1 et 2 mm, et ont donc une structure "pseudo-sableuse" : 73 % de ces sols relèvent de truffières productives. Le troisième groupe correspond à des sols instables. Les agrégats éclatent dans l'eau et leur structure s'"effondre" en formant une boue constituée de micro-agrégats de taille inférieure à 0.5 mm : moins de 50 % de ces sols sont producteurs de truffes.

Pépinières TENOUX

Plants truffiers mycorhizés
par *tuber melanosporum* ou *uncinatum*
contrôlés et certifiés par le CTIFL

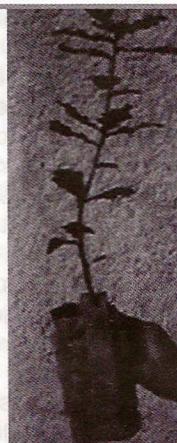


Alliance du savoir-faire
et de la technique depuis 15 ans

05150 BRUIS

Tél. 04 92 66 03 92 - 06 83 55 03 21

E.mail : contact@pepinierestenoux.fr - Site : www.pepinierestenoux.fr



Les résultats obtenus confirment donc les observations de terrain. Nous savons que les sols instables ont la fâcheuse propriété de prendre en masse lors de leur dessèchement et de s'effondrer lors de leur humidification. A l'inverse les sols stables et bien structurés conservent leur structure granulaire quelles que soient les conditions d'humidité. Ils restent donc légers, souples et friables tout au long de l'année. Les truffières les plus productives poussent sur **des sols structurés et stables dans l'eau**.

LES AMENDEMENTS ORGANIQUES AMÉLIORENT LA STABILITÉ STRUCTURALE DES SOLS

La stabilité structurale d'un sol peut facilement être modifiée par des pratiques culturales, dans le sens d'une amélioration aussi bien que d'une dégradation⁽⁹⁾. Le travail du sol est la pratique la plus commune : elle est recommandée en trufficulture⁽¹⁷⁾. Le chaulage est une autre pratique

commune, mais elle n'est efficace que sur des sols acides. Finalement, la pratique la plus couramment utilisée est l'**apport de matières organiques** bien décomposées qui augmente considérablement la stabilité structurale des sols^(9,10). Cette pratique culturale expliquerait pourquoi, historiquement, des sols très calcaires ont été favorables à la production truffière dans le Périgord et le Quercy à la fin du XIX^e : la gestion de la fertilité des sols passait alors par l'apport massif de matière organique. Elle expliquerait aussi pourquoi les potagers sont souvent truffiers.

À l'inverse, la structure d'un sol se dégrade rapidement en l'absence d'un apport régulier de matière organique. La figure 3 illustre bien ce propos. Elle présente la photographie de deux mottes de sol prélevées à quelques mètres de distance seulement : le sol de droite a été prélevé dans un bois clair herbacé, tandis que le sol de gauche a été prélevé dans un champ cultivé adjacent, un peu argileux et non amendé depuis plusieurs an-

nées. Des truffières sauvages produisaient des truffes dans le bois. Mais le sol du champ cultivé a désormais besoin d'importants amendements organiques. L'amélioration reste bien évidemment possible, mais cela demandera des années d'efforts pour que la structure du sol redevienne favorable à la production de truffes. Un **travail superficiel modéré du sol** et une meilleure **gestion des matières organiques** doivent être encouragés en trufficulture pour maintenir à des niveaux élevés la stabilité structurale des sols.

UN CHAMPIGNON UBIQUISTE QUI PERSISTE DANS DES SOLS VARIÉS

Parmi les analyses réalisées, le **taux de mycorhization** des racines par *T. melanosporum* mérite d'être rapporté. Rappelons que toutes les truffières sont aujourd'hui plantées avec des plants préalablement mycorhizés, le plus souvent certifiés. Or, la présence de mycorhizes de *T. melanosporum* et les proportions de my-

corhizes de *T. melanosporum* n'étaient pas différentes entre truffières sauvages et truffières plantées, ni entre truffières productives et truffières non-productives, ni même entre les quatre groupes de sols. *T. melanosporum* a été observée sur 73 % des chênes-verts analysés, et la proportion de mycorhizes de *T. melanosporum* était en moyenne de 53 % des mycorhizes identifiées.

Nos résultats montrent donc que *T. melanosporum* persiste sous forme de mycorhizes aussi bien dans des sols acides que dans des sols très calcaires, que les truffières soient productrices de truffes ou qu'elles ne le soient pas. Ces données suggèrent que *T. melanosporum* est un champignon ubiquiste, c'est-à-dire capable de se développer, ou tout au moins de persister sous forme de mycorhizes dans des sols variés. La plantation de plants préalablement mycorhizés permet donc l'installation du champignon, qui peut persister de nombreuses années sur les racines des arbres, mais il ne fructifie pas nécessairement. Il est en conséquence capital de distinguer la phase végétative, mycorhization et développement du mycélium de truffe, de la phase de fructification, sexualisation et production des ascocarpes de truffe. Ce résultat conforte la plantation de plants mycorhizés comme une pratique essentielle en trufficulture. Il souligne l'importance du sol en tant que milieu de développement du champignon, mais surtout en tant que milieu **favorable à la fructification** de *T. melanosporum*.

UNE APPROCHE PROBABILISTE POUR DÉTERMINER LES CHANCES DE PRODUIRE DES TRUFFES

La figure 4 résume les résultats du programme de recherche TrufPyr sous la forme d'un graphe en deux dimensions qui



Sol cultivé

Sol sous forêt claire

Figure 3. Photographie d'un même sol prélevé (de part et d'autre d'une clôture) sous un bois clair enherbé (à droite) et sous une terre cultivée (à gauche). La différence de structure du sol résulte d'une différence de teneur en matière organique. Un apport régulier de matière organique contribue à améliorer la structure des sols et leur stabilité dans l'eau. Il est urgent de réhabiliter cette pratique culturale, associée à un travail superficiel du sol des truffières.

définit des aires de probabilité qu'une truffière soit productive, c'est-à-dire le **risque pour un trufficulteur de produire ou de ne pas produire de truffes** étant donné les propriétés de sa parcelle.

L'axe horizontal représente les **propriétés physiques du sol** : le sol doit être bien structuré et sa structure doit être stable à l'eau. Si l'on mesure le rayon moyen des agrégats stables à l'eau, l'optimum se situe entre 1.2 et 2.2 mm, ce qui correspond à une structure granulaire ou pseudo-granulaire, en "marc de café". Un sol instable a une faible probabilité de voir fructifier *T. melanosporum*, quand bien même le champignon persiste sous forme de mycorhizes.

L'axe vertical représente les **propriétés chimiques du sol** : le sol doit être alcalin mais modérément alcalin. Si l'on mesure le rapport (Mg+Ca)/CEC, l'optimum se situe entre 120 et 220 %, ce qui correspond aux sols dolomitiques. Si la structure du sol est stable, des sols acides et les sols calcaires sont de bons producteurs de truffes. Un sol acide désaturé a une probabilité nulle de voir fructifier *T. melanosporum*, et un sol très calcaire a une probabilité moindre de voir fructifier *T. melanosporum* : il doit im-

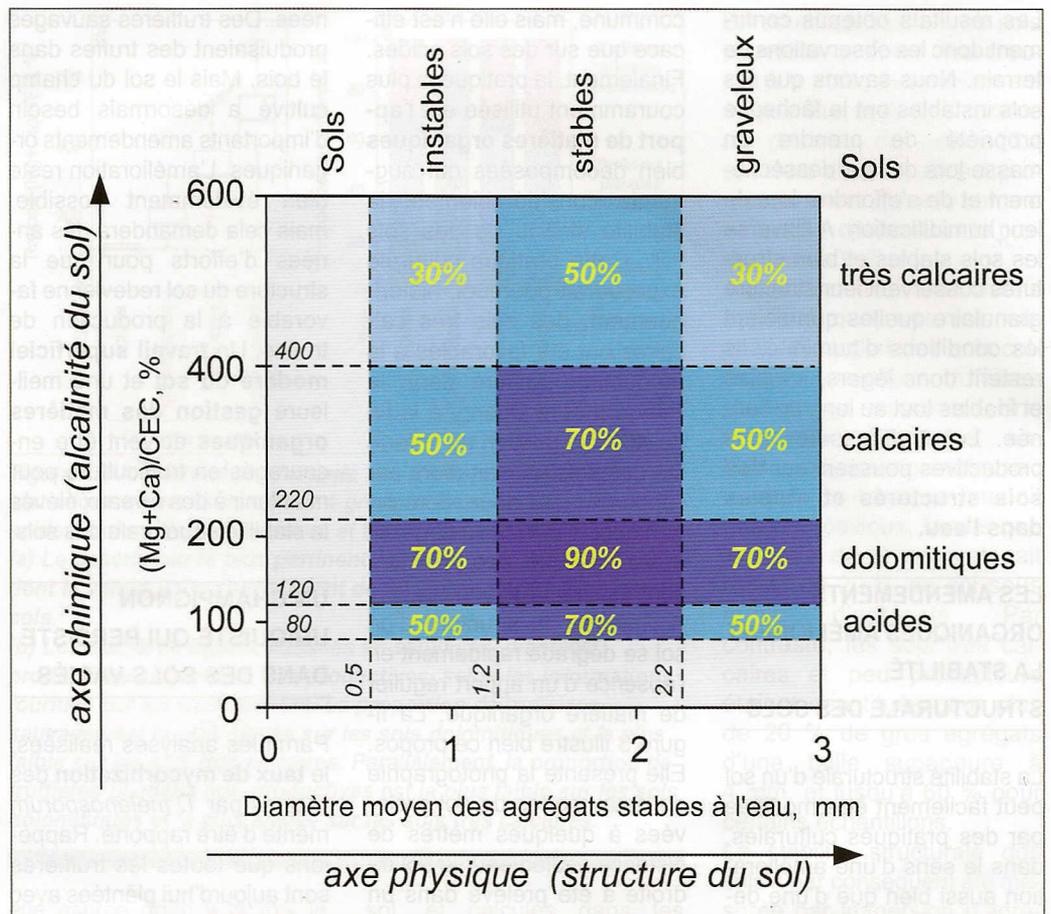


Figure 4. Probabilité de produire ou de ne pas produire de truffes étant donné les propriétés du sol de sa truffière. La production des truffières dépend des propriétés chimiques et physiques des sols. L'alcalinité, mesurée par le rapport (Mg+Ca)/CEC, doit idéalement être comprise entre 80 et 400 %. La stabilité structurale, mesurée par le diamètre moyen des agrégats stables à l'eau, doit idéalement être supérieure à 1,2 mm. La probabilité la plus élevée d'observer des truffières productives correspond donc aux sols ayant une alcalinité modérée et une structure sableuse ou granulaire stable dans l'eau.



Qu'est-ce que la structure d'un sol ?

La structure d'un sol est le nom donné à l'organisation des particules minérales et organiques qui constituent le sol : on l'observe sur le terrain. L'absence d'organisation des particules du sol donne une structure particulière. Les sols dont les particules sont organisées en agrégats ont des structures grenues, grumeleuses ou polyédriques. La structure est plus ou moins stable et durable. Elle a pour origine tout constituant (argiles, oxydes métalliques et matières organiques) ou processus (chaulage, activité biologique, cycles de dessiccation/humectation) qui agrègent les particules de sol.

La texture d'un sol est le nom donné à la distribution en taille des particules minérales qui constituent le sol : sa mesure nécessite donc de détruire au préalable la structure du sol. La texture renseigne sur la manière dont le sol est susceptible de se structurer compte-tenu de son histoire, des amendements minéraux et organiques qu'il a reçu, des pratiques culturales... La texture contribue à, mais ne détermine pas, la structure du sol.

pérativement être bien structuré et stable dans l'eau pour produire des truffes.

Cette vision probabiliste donne finalement une image de la flexibilité de l'environnement de la truffe. Les propriétés des sols ne sont pas immuables : elles peuvent être modifiées par des pratiques culturales appropriées, dans le sens d'une amélioration aussi bien que d'une dégradation. L'alcalinité d'un sol augmente avec l'apport de chaux ou de carbonates de calcium ou de magnésium, et elle diminue avec l'apport d'argile ou de matière organique peu décomposée et riche en carbone. La structure du sol est améliorée par l'apport de ma-

tières organiques bien décomposées, mais elle diminue en l'absence d'amendement organique et de travail du sol. Il est donc essentiel de **caractériser son sol** avant toute intervention sur sa parcelle.

Notre enquête a montré que la plupart des trufficulteurs s'abstiennent de toutes pratiques culturales dès l'entrée en production de leur truffière de peur de perturber l'écosystème truffier. Il est urgent de réhabiliter l'amendement organique et le travail superficiel du sol des truffières, pour modifier si besoin l'alcalinité du sol et maintenir à des niveaux élevés sa stabilité structurale, et donc pour maintenir ou améliorer la production de truffes.

Remerciements

Les auteurs remercient la Gobierno de Navarra, Departamento de Innovacion, Empresa y Empleo, l'Agencia de Gestio d'Ajuts Universitaris i de Recerca, Catalonia, la Région Languedoc-Roussillon et la Région Midi-Pyrénées, qui ont financé le programme Typologie des stations truffières en Régions pyrénéennes (2009-2011) dans le cadre de la Communauté de Travail des Pyrénées.

Ils tiennent aussi à remercier la Fédération Régionale des Trufficulteurs du Languedoc-Roussillon et les Syndicats des Trufficulteurs des départements de l'Aude, du Gard, de l'Hérault, de Lozère et de Midi-Pyrénées pour avoir incité leurs adhérents à contribuer à cette enquête, et tous les trufficulteurs de Navarre, Catalogne, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon, qui nous ont ouvert leurs truffières et leurs archives pour faire progresser ensemble la connaissance de l'écologie de la truffe.

Références

- ¹ Callot G. 1999. La truffe, la terre, la vie. INRA éditions, Paris. 210 pp.
- ² Callot G, Jaillard B. 1996. Incidences des caractéristiques structurales du sol sur l'entrée en production de *Tuber melanosporum* et d'autres champignons mycorrhiziens. *Agronomie*, 16, 405-419.
- ³ Callot G, Salducci X. 1998. La truffe, une histoire de terre. *Le Trufficulteur français*, 22, 11-14.
- ⁴ Colinas C, Capdevila JM, Oliach D, Fischer CR, Bonet JA. 2007. Mapa de aptitud para el cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Cataluña. Ed. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, 134 p. ISBN : 978-84-611-7637-3.
- ⁵ Delmas J, Poitou N. 1974. La truffe et ses exigences écologiques. *Pépiniéristes Horticulteurs Maraichers*, 144, 33-39.
- ⁶ Demerson J. 2012. CO₂, carbonate et calcaire actif dans le sol des truffières. *Le Trufficulteur français*, 81, 13-14.

⁷ García-Montero LG, Casermeiro MA, Hernando I, Hernando J. 2007. Effect of active carbonate, exchangeable calcium, and stoniness of soil on *Tuber melanosporum* carpospore production. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35, 139-146.

⁸ Jaillard B, Barry-Etienne D, Diette S, Moundy P-J, Plassard C, Salducci X, Callot G. 2008. Relation entre carbonates, matière organique et pH des sols truffiers. *Le Trufficulteur français*, 64, 8-10.

⁹ Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437.

¹⁰ Lulli L, Bragato G, Gardin L. 1999. Occurrence of *Tuber melanosporum* in relation to soil surface layer properties and soil differentiation. *Plant Soil*, 214, 85-92.

¹¹ Oliach D, Saez M, Genola L, Saenz W, Villeneuve M, Souche G, Barry-Etienne D, Salducci X, Colinas C, de Miguel A-M, Sourzat P, Jaillard B. 2013. Truffe en Pyrénées : alcalinité, structure et statut organique des sols y conditionnent la production truffière. *Le Truffi-*

culteur français, 82, 13.

¹² Poitou N. 1988. Les sols truffiers. Choix du sol : prélèvement, analyse, correction, oligo-éléments. In : Journées Nationales de la Truffe, St-Paul-Trois-Châteaux, Drôme, France. 2190.

¹³ Raglione M, Spadoni M, Cavelli S, Lorenzoni P, De Simone C. 2001. Les sols des truffières naturelles de *Tuber melanosporum* Vitt. dans l'Apennin Central (Italy). In : Actes du V^e Congrès International, Science et Culture de la Truffe, 4-6th March 1999, Aix-en-Provence, France. 5.276-5.280.

¹⁴ Reyna S. 2000. Trufa, trufficultura y selvicultura trufera. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

¹⁵ Sáez R, De Miguel A. 1995. Guía práctica de trufficultura. Ed. I.T.G. Agrícola S.A. y Universidad de Navarra, Pamplona.

¹⁶ Sourzat P. 2002. Guide pratique de trufficulture. Ed. Station d'expérimentation sur la truffe, Lycée professionnel agricole et viticole de Cahors, Le Montat, France, 20 pp.

¹⁷ Sourzat P. 2012. Petit guide de trufficulture. 2nd éd. Station d'expérimentation sur la truffe, Lycée professionnel agricole et viticole de Cahors, Le Montat, France, 20 pp.

Testez vous-même votre sol.

Le calcul du rapport (Mg+Ca)/CEC nécessite l'analyse de la capacité d'échange cationique du sol (CEC par la méthode Metson) et de la composition de ce complexe en cations échangeables. Les trois grandeurs impliquées, CEC, Mg et Ca échangeables doivent être exprimées dans la même unité. Les feuilles d'analyse de terre donnent généralement la CEC en centimoles de charges par kg de sol (noté cmol_c/kg, cmol_e/kg ou még/100g), et Mg et Ca échangeables en grammes d'oxyde par kg de sol (noté MgO ou CaO g/kg) : Mg et Ca échangeables doivent donc être convertis en cmol_c par kg de sol. Les masses en oxyde (notées respectivement mMgO et mCaO) doivent être divisées par la masse molaire des oxydes (40 et 56 g, respectivement), multipliées par la valence des ions Mg²⁺ et Ca²⁺ (2 charges pour ces deux ions divalents), et rapportées en centimoles de charges par kg de sol (facteur 100) soit : (Mg+Ca)/CEC = 2x100 x(mMgO/40 + mCaO/56)/CEC en cmol_c par cmol_e, valeur que l'on peut ensuite exprimer en % (x100) (voir les figures 2a et 4).

L'estimation de la stabilité structurale d'un sol nécessite un tamis de 2 mm et un verre rempli d'un fond d'eau. Tamisez un échantillon de sol sec pour isoler des agrégats, immergez ces agrégats dans l'eau durant 10 min. Si les agrégats restent intacts, la structure du sol est très stable à l'eau. Si les agrégats se brisent mais restent visibles à l'œil nu, la structure du sol est plutôt stable dans l'eau. Si les agrégats s'effondrent, la structure du sol est très instable.

Adresses

- ^a Institut National de la Recherche Agronomique, Eco&Sols UMR 1222, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 2, France
- ^b Alcina, 10 rue des Amaryllis, 34070 Montpellier, France
- ^c Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Ctra. Sant Llorenç de Moruns, km 2, 25280 Solsona, Spain
- ^d Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain
- ^e Universidad de Navarra, Dpt. Biología Ambiental, Facultad de Ciencias, 31080 Pamplona, Spain
- ^f Station d'Expérimentation sur la Truffe, Lycée professionnel agricole, Lacoste, 46090 Le Montat, France
- ^g Institut National de la Recherche Agronomique, MISTEA UMR 0729, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France
- ^h Instituto Técnico y de Gestión Agrícola, Carretera Sadar s/n, Edificio el Sar, 31006 Pamplona, Spain
- ⁱ Celesta-lab, 154 rue Georges Guynemer, 34130 Mauguio, France
- ^j Institut de Recherche pour le Développement, Eco&Sols UMR 1222, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 2, France