

Evaluer la réussite de la restauration écologique par une approche intégrée de la biodiversité obscure des sols.

Dr. Thierry Dutoit, DR CNRS, UMR CNRS- IRD 7263 IMBE, IUT Avignon, Site Agroparc BP 61207, 84911 Avignon Cedex 09. Thierry.dutoit@imbe.fr

Dr Annette Bérard, ICGREF spécialiste, détachée UMR INRA/UAPV 1114 EMMAH, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 09. Annette.berard@inra.avignon.fr

Résumé :

L'objectif principal du projet a été d'expérimenter de nouvelles techniques en ingénierie écologique sur le sol et la végétation afin de restaurer une pelouse sèche sub-steppique méditerranéenne, la plaine de La Crau (Bouches-du-Rhône, France). En effet, le 07 août 2009, une importante fuite d'un oléoduc (4500 m³) est survenue au milieu de cette plaine et a détruit plus de 5,5 ha de végétation suite à l'excavation et l'évacuation du sol pollué en décharge.

Bien que des résultats encourageants aient été préalablement obtenus concernant la restauration de la richesse spécifique et de la composition en espèces végétales de la communauté sub-steppique, aucun travail de restauration écologique n'a cependant encore réussi à restaurer l'intégrité; de cet écosystème, notamment pour la communauté végétale, sa structuration spatiale et sa dynamique temporelle (Dutoit et al., 2013). Nous avons ainsi choisi dans ce travail d'opter pour une approche multi-niveaux (sol, végétation) afin de mieux appréhender les éventuelles dynamiques différentielles de réponse des différents compartiments de biodiversité étudiés et leurs interactions potentielles. Les impacts des interventions de restauration sur le sol ont ainsi été étudiés via sa diversité fonctionnelle au niveau de ses communautés microbiennes et de la dynamique de la matière organique notamment sa composante particulaire (MOP) pour mieux appréhender les capacités de réponse rapide de l'écosystème restauré. Les communautés végétales impactées ont, quant à elles, été étudiées via des descripteurs classiques (composition, richesse, diversité, similitude) mais également via l'application de nouveaux indicateurs plus intégratifs pour l'évaluation du succès de la restauration par rapport à l'écosystème de référence choisi, ici la communauté végétale sub-steppique.

La restauration écologique de ce site a alors été associée à différentes expérimentations *in situ* de remise en place du sol en l'absence du pâturage ovin traditionnel pour tester l'importance du respect de l'organisation verticale des principaux horizons pédologiques. La réalisation de ce transfert de sol s'est effectuée au printemps et en procédant à une translocation directe, selon un rapport 1 pour 1. Le respect de l'organisation verticale ou non des principaux horizons du sol a ensuite été testé lors de sa reconstitution : horizon organique A₁ (0-20cm de profondeur) + horizon minéral (B) (20-40 cm) + horizon C correspondant à la dégradation de la roche mère (> 40 cm). La compaction de la surface du sol a également été expérimentée pour limiter le foisonnement du sol et donc a priori, l'installation d'espèces non désirées, notamment celle d'anémochores ubiquistes à forte capacité de dispersion.

Concernant le sol, nos résultats ont bien confirmé que lorsque qu'il était transféré rapidement sans stockage, à la bonne période (printemps), avec une reconstitution verticale et ordonnée de tous les différents horizons pédologiques, il n'y avait alors pas de différence significative au niveau des caractéristiques physico-chimiques, de la biomasse et du fonctionnement catabolique des communautés microbiennes telluriques par rapport au sol en place dans l'écosystème de référence (Bulot et al., *in prep*). Plus précisément, un substrat caractéristique d'exsudats racinaires de plantes spécifiques de la végétation sub-steppique, sont préférentiellement dégradés par les sols échantillonnés dans la steppe de référence et dans les placettes de reconstitution verticale et

Appel d'Offre Interne ECCOREV 2013

ordonnée de tous les différents horizons pédologiques. Ces résultats suggèrent des interactions étroites entre le fonctionnement microbiologique du sol et les communautés végétales. En revanche, des différences significatives ont été mesurées pour tous les autres traitements. De plus, même trois ans après le transfert de sol, la teneur en MOP est restée significativement inférieure à celle du sol de référence pour tous les traitements. Cette baisse de la teneur en MOP pourrait être alors expliquée par une minéralisation accrue du fait du transfert. Cela démontre ainsi que, même pratiqué dans des bonnes conditions, le transfert de sol n'est sans doute pas une action sans conséquences sur l'évolution future du sol transféré, et par conséquent sur l'évolution sur le long terme de la communauté végétale associée. La réalisation de profils de sols dans les différents traitements, trois années après leur remise en place, a également montré l'absence d'échanges entre les différents horizons que ce soit au niveau racinaire ou faunistique (galeries de vers) par rapport au sol en place de la steppe de référence. Ce constat paraît relativement inquiétant vis-à-vis des capacités tampons de ce sol face aux événements extrêmes (forte sécheresse) ou de son évolution sur le très long terme.

Au niveau de la végétation, nos résultats nous ont permis de mesurer, que la plupart des modalités de transfert de sol, à l'exclusion du simple dépôt de l'horizon C, ne montraient plus aucune différence significative en 2013 avec la végétation steppique de référence (richesse spécifique, diversité, similarité). Cependant aucun de ces traitements n'a permis la restauration de l'intégralité de la structuration de la végétation sub-steppique de référence comme l'ont montré les indices intégratifs mesurés (Bulot et al, 2014). Les préconisations d'ingénierie écologique, visant à limiter le temps de transfert du sol et la reconstitution de son organisation verticale, ont ainsi permis une régénération très rapide de la végétation sans colonisation importante par des espèces non cibles.

Au travers de ce travail, nous avons donc pu mettre en évidence l'importance de prendre en considération différentes composantes (sol, végétation) dans un écosystème, et surtout leurs interactions afin de mieux évaluer la réussite d'opérations de restauration écologique. Ainsi, nous avons donc pu mesurer que la régénération de la végétation steppique pouvait se faire à très court terme (trois années) au niveau de sa richesse, de sa diversité spécifique, et de sa similarité en composition avec la steppe de référence mais au prix d'interventions de restauration à très fort coût économique et environnemental (destruction du milieu donneur). Cependant, au regard des mesures (MOP) et des observations du sol (profils pédologiques), on peut encore légitimement se poser la question de savoir comment la communauté végétale va évoluer sur le long terme avec le retour du pâturage ovin ?

Valorisation :

Articles publiés ou sous presses dans des revues indexées :

BULOT A., PROSVOT E, DUTOIT T. 2014. A comparison of different soil transfer strategies for restoring a Mediterranean steppe after a pipeline leak (La Crau plain, South-Eastern France). *Ecological Engineering* **71**: 690-702 (CI₂₀₁₃= **3.041 Q1**).

Actes de colloque :

BULOT A., PROSVOT E, DUTOIT T. 2014. Transférer le sol pour restaurer des communautés végétales: quelles leçons pour mesurer la résilience des pelouses sèches ? (Plaine de La Crau, Sud-Est de la France). *In* Actes des 9^{èmes} journées Ecoveg, Tours 03-05 avril 2013. *Acta Botanica Gallica - Botany Letters*. **161**: 287-300 (CI₂₀₁₃= **0.235 Q4**).

Publication actuellement en cours de finalisation :

BULOT A., POTARD K., BUREAU F., BERARD A., DUTOIT T. *Ecological restoration by soil transfer: impacts on organic matters and microbial activity*. *Restoration Ecology (in prep)*. (CI₂₀₁₃= **1.991 Q2**).

Chapitres d'ouvrages scientifiques :

- JAUNATRE R., BUISSON E., COIFFAIT-GOMBAULT C., BULOT A., DUTOIT T. 2014. Restoring Species-Rich Mediterranean Dry Grassland in France Using Different Species-Transfer Methods. pp. 160-181. In Kiehl K., Kirmer A., Shaw N., Tischew S. (eds) "*Guidelines for native seed production and grassland restoration*". Cambridge University press, Cambridge, 301 p.
- DUTOIT T., BUISSON E., FADDA S., HENRY F., COIFFAIT-GOMBAULT C., JAUNATRE R., ALIGNAN J.F., MASSON S., BULOT A., 2013. The pseudo-steppe of La Crau (South-Eastern France): origin, management and restoration of a Mediterranean rangeland. pp. 287-301. *In* Traba J. & Morales M. (eds.). "*Steppe Ecosystems: Biological Diversity, Management and Restoration*". Nova Publishers, USA. 347 p.
- DUTOIT T., 2014. Ingénierie écologique : un outil pour le développement durable. pp. 286-287. *In* : Euzen A., Eymard L. & Gaill F (eds.). « *Le développement durable à découvert* ». CNRS Editions, Paris. 363 p.
- DUTOIT T., 2013. L'ingénierie écologique au service de la durabilité énergétique. pp. 262-263. *In* Mosseri R & Jeandel C. (eds.). « *L'Énergie à Découvert* ». CNRS Editions, Paris. 345p.

Articles dans des revues de vulgarisation :

- DUTOIT T. 2014. Cinq ans déjà ! Premiers bilans de la fuite d'hydrocarbures en Crau. *Le Courrier de la Nature*. **283** : 14-17.

Communications orales dans un congrès :

- BULOT A., BUREAU F., BERARD A., POTARD K. & DUTOIT T., 2014. Restauration écologique par reconstitution pédologique. Quels impacts sur le sol et la végétation trois ans après. *in* « *Cinquièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER5)* », Université de Rouen, 05-06 Février 2014.
- BULOT A., PROVOST E., RENUCCI M., DUTOIT T. 2013. Soil transfer for restoring plant communities: which lessons to measure the resilience of dry grasslands (Plain of La Crau, Southeastern France). *in* 56th IAVS Symposium, Tartu, Estonia, 26-30 June 2013.
- BULOT A., PROVOST E., RENUCCI M., DUTOIT T., 2013. Transférer le sol pour restaurer des communautés végétales : quelles leçons pour mesurer la résilience de pelouses sèches (plaine de la Crau, Bouches-du-Rhône, France). *in* Neuvième colloque en Ecologie des Communautés Végétales (ECOVEG9), Université François Rabelais, Tours, 03-05 avril 2013.
- BUREAU F., POTARD K., BULOT A., BERARD A., DUTOIT T., 2014. Restauration écologique par reconstitution pédologique : cas de la réserve naturelle des Coussouls de Crau impactée par une fuite d'hydrocarbures. *In* "*12^{èmes} Journées d'Etude des Sols*". AFES, Le Bourget du Lac, 30 juin - 04 juillet 2014.
- DUTOIT T., 2013. Restoring soil biodiversity and functions: a case study in south-eastern France after a pipeline leak. *in* « *Interdisciplinary approach of soil ecological restoration* ». Sino-French Training Course. Sino-French Program for Environment and Sustainable Development, AIRECOSOLS, Nancy 14 -18 October 2013.
- DUTOIT T., BULOT A., RENUCCI M., PROVOST E., 2013. Restoring a Mediterranean steppe by using soil transfer after a pipeline leak (Plain of La Crau, Southeastern France). *in* 5th *World Conference on Ecological Restoration*. Madison, USA, October 6 - 11 2013.

Communications par affiche dans un congrès :

- DUTOIT T., BUISSON E., COIFFAIT C., BULOT A., JAUNATRE R., 2013. Réintroductions et renforcement de populations végétales pour la restauration écologique : premier bilan après dix années d'expérimentations dans la plaine de La Crau (Bouches-du-Rhône, France). *in* « *Renforcement de populations : une gestion d'avenir pour les espèces menacées* ». CEN Picardie, Beauvais, 26-28 août 2013.

Appel d'Offre Interne ECCOREV 2013

Excursions sur le site atelier:

- DUTOIT T.**, 2014. Applications de l'ingénierie écologique en plaine de Crau : chantier de la fuite d'hydrocarbures. *in* "Deuxièmes journées nationales de l'ingénierie écologique", CNRS-IRSTEA, Samedi 28 juin 2014. (55 participants).
- DUTOIT T.**, 2014. Restauration en plaine de Crau. *Sortie DESU Villes Territoires et Biodiversité*, CVRH et ENTE, Aix-en-Provence. Mardi 13 mai 2014 (50 participants).
- DUTOIT T.**, 2014. Ecologie et restauration de la plaine de Crau. *In* "Journée de l'Association des professeurs de Biologie-Géologie (APBG)". Samedi 12 avril 2014 (16 participants).

Actions de valorisation de la recherche auprès des médias (avec citation et/ou interview personnelle) :

- Des fourmis à la rescousse pour réensemencer un terrain pollué. France 3 12/13 national*, mardi 27 mai 2014.
- Insolite : des fourmis pour restaurer un écosystème menacé ? Site Web Consoglobe*, Septembre 2014.
- Les fourmis moissonneuses au secours de la steppe de Crau. Le Journal du Dimanche*, 20 avril 2014, p 18.
- Les fourmis refont une santé à la nature de la Crau. 20 minutes Marseille*. Lundi 05 mai 2014. p 3.
- Marée noire terrestre, le procès d'un désastre. Le Dauphiné Libéré*. Mardi 03 juin 2014. p 2.
- Moisson inédite dans la steppe de Crau. Le Monde* "Science et Médecine", mercredi 30 avril 2014 p 3.
- Pour restaurer la végétation de la Crau, un travail de fourmis. La Provence*. Dimanche 27 avril 2014, p 3.
- Un site restauré comme un tableau. La Provence*. Lundi 01 avril 2013, p 6.
- Une armée de fourmis pour sauver la Crau. Gens du Sud*, n°36, juin 2014, p 69.
- Utiliser la nature pour réparer la nature. FutureMag ARTE*, samedi 21 juin 2014. 13h30 à 13h40.

Thèse encadrée :

- BULOT A.**, 2011-2014. *Restauration écologique d'une pelouse sèche méditerranéenne (La plaine de La Crau, Sud-Est de la France): Du génie civil au génie écologique*. Codirection avec le Dr. Erick Provost (CR HDR IMEP, Univ. Aix-Marseille). (taux d'encadrement 50%). **Bourse cofinancée par la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (75%) et Société du Pipeline Sud Européen (25%)**. Soutenue le 08 décembre 2014.

Master 1 encadré :

- POTARD K.**, 2013. Contribution au suivi de la restauration des FERSIALSOLS d'une pseudo-steppe méditerranéenne impactée par une fuite d'hydrocarbures : cas de la réserve nationale des Coussouls de Crau. Master 1 « Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers, parcours Biodiversité. (Septembre 2013, taux d'encadrement T. **Dutoit**, 50% avec Dr. Fabrice Bureau, UPRES EA Ecodiv Rouen).

DUT encadré :

- MARCY, N.**, 2013. Fonctionnement et diversité catabolique des communautés microbiennes des sols dans un contexte de restauration écologique. Mises au point et applications de la technique MicroResp. DUT génie biologique – environnement. IUT St Etienne (taux d'encadrement A. **Bérard**, 100 %).

Suite donnée au projet :

- Dépôt en novembre 2014 d'une pré-proposition ANR-DFG Franco-Allemande, édition 2015 : RESTOGRASS: *Restoration of semi-natural grasslands: towards a better understanding of successional mechanisms, key species traits and environmental interactions*. Défi 1: « *Appropriate resource management and adaptation to climate change* ». (attente réponse pour dépôt proposition finalisée)