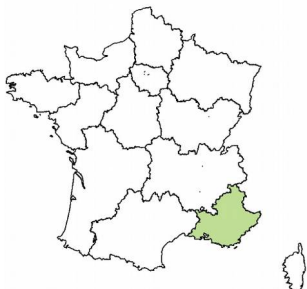




## Restauration d'une pelouse sèche méditerranéenne par transfert de sol

### Identité du site



#### Localisation :

Plaine de La Crau, Bouches-du-Rhône, Région Provence-Alpes- Côte d'Azur.

#### Spécificités du site :

Zone de réhabilitation d'un chantier de dépollution d'une fuite terrestre d'hydrocarbures (oléoduc) située au cœur de la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau

#### Enjeux identifiés :

Habitat unique en Europe, présence d'espèces endémiques (avifaune, herpétofaune, insectes).

#### Statut juridique :

Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau.

Habitat prioritaire, nombreuses espèces protégées (oiseaux, insectes, amphibiens, reptiles, etc.)

#### Pour aller plus loin...

Site internet : <http://www.univ-avignon.fr/fr/recherche/laboratoires/strlab/structure/institut-mediterranneen-decologie-de-paleoecologi.html>

### Structure porteuse

Institut Méditerranéen de Biodiversité et Ecologie (IMBE)

Milieux	Types d'action
Milieux ouverts	Etude
Milieux agricoles	Restauration / Remise en état
Milieux artificialisés (carrières, friches, infrastructures linéaires de de transport)	Suivi / évaluation

### Historique et contexte de la démarche

Le 7 aout 2009, une importante fuite de pétrole brut (4000 m3) d'une canalisation enterrée traversant la plaine de Crau a irrémédiablement détruit 5 ha de sol et d'une végétation unique au monde : la pelouse sub-steppique de la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau. En 2010, après enlèvement de la couche de sol pollué sur 40-50cm de profondeur et transfert de 72 000 tonnes de sol et substrat pollués en décharge de catégorie 1 ; s'est posé alors le problème de la restauration de la biodiversité du site décapé. L'existence à quelques kilomètres d'une carrière alluvionnaire en cours d'extension (nouveau carreau de 5 ha autorisé à la destruction avant l'accident pétrolier) a induit la possibilité d'une opération de sauvegarde de ce sol par transfert sur le site à restaurer au printemps 2011.



Épandage des différentes couches de sol au printemps 2011 (crédits : Solène Masson – IMBE)





## Présentation de l'action

### Enjeux et objectifs

Il s'agissait dans cette opération de conserver la biodiversité, notamment la végétation steppique de la zone programmée pour être détruite dans la carrière, et le fonctionnement en place du sol. Cela en transférant le sol et la végétation dans le site à restaurer à la meilleure période pour sa régénération (printemps), avec un stockage minimal et en respectant les différents horizons résultant de sa pédogénèse originelle (Ferralsol leptique tronqué encore appelé sol rouge méditerranéen). Au niveau expérimental, différentes réorganisations du sol ont été testées allant de la simple mise en place de remblais issus du substrat géologique de la Crau (cailloutis duranciens) à la reconstitution de l'intégralité de l'organisation du sol par la remise en place dans le même ordre des différents horizons prélevés.

### Moyens humains et matériels

Les moyens humains et matériels ont été mis à disposition par la Société du Pipeline Sud-Européen (SPSE) (site receveur) et la Société des Carrières de la Ménudelle (SCLM) qui gère la carrière (site donneur). Un bulldozer et un chargeur ont été utilisés pour récolter le sol en place à une profondeur de 40cm soit 42 000 tonnes prélevées sur le site donneur et 30 000 tonnes du substrat géologique (cailloutis duranciens). Un bulldozer et un rouleau compresseur ont été utilisés également pour la remise en place des différents horizons sur le site à restaurer. Durant deux mois (février-mars 2011), une noria de camions entre la carrière et le site à restaurer a donc été organisée.

### Méthodes de création, restauration, gestion

La restauration est assurée par la remise en place dans le même ordre vertical des trois horizons de sol avec tassement (5 ha) incluant un traitement expérimental sans tassement (900 m<sup>2</sup>). Cette reconstitution du profil pédologique est ensuite comparée à la steppe en place tout autour du site, à un témoin avec juste du dépôt de remblais (900 m<sup>2</sup>) et un traitement expérimental (900 m<sup>2</sup>) sans épandage de l'horizon organique de surface (0-20 cm). Dans ce dernier traitement seul l'horizon sous-jacent (20-40cm) est déposé sur le substrat géologique dépollué pour économiser la quantité de sol transféré. Voir la photo 2 pour la répartition des différents traitements.

Le transfert a été réalisé fin hiver – début printemps pour maximiser la régénération des processus biologiques (germination, reproduction, croissance, etc.) et avec un stockage minimal (quelques heures à 48 heures maximum) pour éviter la destruction des différentes composantes du sol (bactéries, champignons, pédofaune), de la végétation (graines, clones, rhizomes, etc.) et éviter aussi l'arrivée d'espèces indésirables (graines de plantes des friches ou invasives transportées par le vent). Chaque horizon collecté séparément a donc été ensuite épandu au printemps 2011, correspondant à une période humide. Le sol est tassé au final en surface pour éviter l'installation de plantes indésirables. Entre 2011 et 2014, la régénération spontanée de la végétation est protégée du pastoralisme ovin par la mise en place d'un exclos grillagé sur les 5 ha. Celui-ci a été retiré en juillet 2014, lorsque la productivité et la biomasse étaient compatibles avec la reprise du pâturage et lorsque tous les matériels de dépollution de la nappe avaient été retirés après trois années de fonctionnement (pompes, tuyaux, etc.). La reprise du pâturage vise à assurer la gestion de la végétation sur le long terme à l'image de celle pratiquée depuis des millénaires dans la steppe de Crau.

### Méthodes de suivi et d'évaluation

Les suivis de la végétation sont réalisés avec la méthode des quadrats (4m<sup>2</sup>) répliqués 9 fois dans lesquels sont inventoriés les différentes espèces et leur recouvrement estimé par la méthode des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. 40 quadrats sont donc suivis en totalité depuis 2011.

*Restauration d'une pelouse sèche méditerranéenne par transfert de sol*

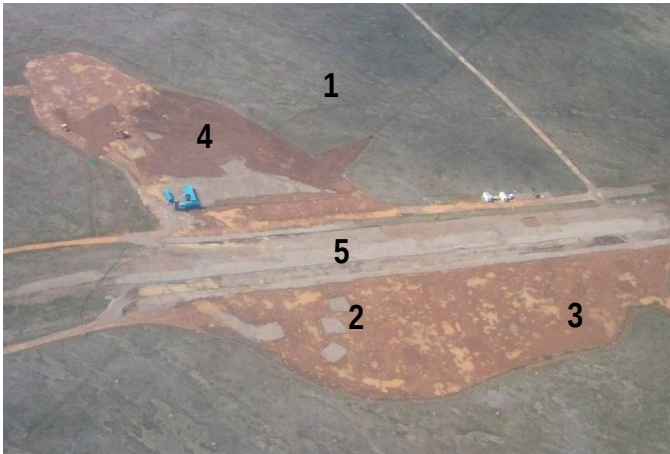
*Date de publication : novembre 2016*



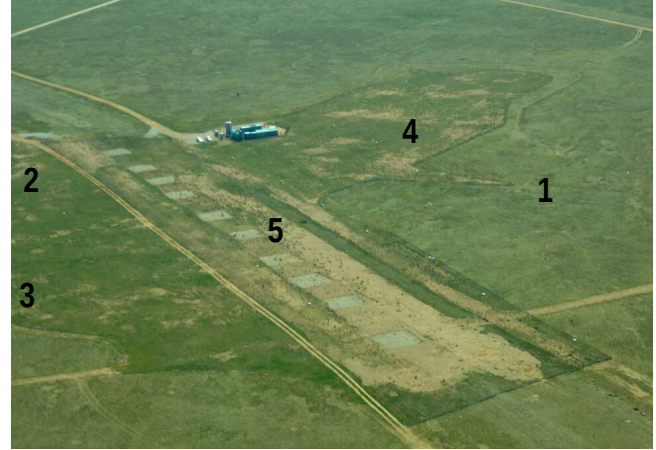


Ils sont réalisés annuellement depuis 2011 en mai. Pour chaque traitement mis en place :

- (1) steppe de référence aux alentours du site (control positif),
- (2) remise en place de tous les horizons tassés,
- (3) remise en place de tous les horizons non tassés,
- (4) remise en place seule de l'horizon minéral sous-jacent (20-40 cm),
- (5) traitement avec épandage de remblais constitués de matériaux géologiques bruts (cailloutis duranciens) issus de la même carrière mais sans sol (control négatif), traitement courant en l'absence de préconisations environnementales.



Vue aérienne du site en avril 2011, juste après l'épandage  
(crédits : SPSE)



Vue aérienne du site en 2014 (crédits : Robin Roland DREAL  
PACA)

Des analyses de sols, des profils pédologiques, de dynamique de la matière organique, des communautés microbiennes et des tests de perméabilité ont également été réalisés selon des méthodes standards. dynamique (Voir Jaunatre et al., 2014).

## Description

### Animation

Sous l'autorité de la sous-préfecture d'Arles, la coordination de la DREAL PACA et le financement de la SPSE.

### Partenaires du projets

- techniques : entreprise SPSE et bureaux d'études associés (ICP, Naturalia Environnement, IGE Environnement), CEN PACA, RNN des Coussouls de Crau, CA 13, SYMCRAU.
- scientifiques : CNRS IMBE, INRA PSH, INRA EMMAH, EA ECODIV, CEN PACA.
- financiers : SPSE, Département 13 (propriétaire du site acquis dans le cadre de la TD ENS), Région PACA, CNRS programme Ingécotech, Fédération de recherche ECCOREV, Société Fédérative de Recherche TERSYS.

### Coût de l'opération et financements

En totalité, 48 millions d'euros mais incluant la dépollution du site et les conséquences de 6 mois de fermeture de la canalisation (pas de détails communiqué par l'entreprise SPSE pour les différentes actions de restauration).

*Restauration d'une pelouse sèche méditerranéenne par transfert de sol*

*Date de publication : novembre 2016*





### Calendrier de l'action

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Été : Fuite d'hydrocarbures	Automne : Réparation de l'oléoduc, dépollution par enlèvement des 72 000 tonnes de sol et substrat géologique pollués en surface	Printemps : Transfert du sol de la carrière sur 5 ha. (42 000 tonnes)			Été : Retrait de la station de dépollution et de l'exclos.	Printemps : Retour du pâturage ovin sur le site	
Mai : Suivis de la végétation et des sols remis en place par rapport à la steppe de référence intacte aux alentours.							

### Bilan général de l'action

Sur le site en lui-même, le bilan peut être qualifié de très positif à court terme concernant la restauration de la végétation (richesse, composition) et du sol en surface (composition physico-chimique, activité bactérienne, dynamique de la matière organique). Des inquiétudes demeurent cependant sur le long terme en lien avec l'absence d'activité des vers et de colonisation des racines permettant des échanges sur l'ensemble du profil de sol restauré, qui pourraient être dues à un tassage trop important des différents horizons lors de leur mise en place au printemps 2011 ou l'absence de colonisation de la steppe avoisinante.

100% des espèces végétales typiques de la steppe sont aujourd'hui présentes dans le site restauré pour les traitements impliquant la remise en place des différentes couches de sol tassées ou non. La richesse spécifique y est même supérieure du fait du réveil de la banque de graines. Il y a une absence totale d'espèces invasives et les espèces rudérales qui se sont exprimées la première année ont quasiment disparu (chénopodes, amarantes, etc.). Par contre la distribution des populations végétales reste différente de celle de la steppe notamment du fait de la faible fréquence de l'espèce dominante, le brachypode rameux. C'est en effet une espèce surtout à multiplication clonale qui va maintenant coloniser le site petit à petit à partir des bordures et des quelques touffes qui ont survécu à la transplantation. Il n'y a hélas pas eu d'études précises sur la faune après la restauration. Les observations montrent cependant une chute de la densité des insectes (Coléoptères, Hyménoptères Formicidés, Orthoptères) et de l'Herpétofaune en lien avec l'impact du chantier.

Cette opération ne doit donc être considérée que comme une opportunité d'avoir pu sauvegarder une ressource non renouvelable qui aurait été détruite dans le cadre de l'extension autorisée de la carrière pour une opération de restauration. C'est à ce titre seulement qu'elle peut être considérée comme du génie écologique (sauvegarde d'une ressource non renouvelable) et non par rapport aux techniques utilisées (génie civil). Par contre, elle indique globalement que tout doit être fait pour conserver le sol naturel, ses composantes, son organisation et son fonctionnement en vue d'une potentielle réutilisation en restauration.





Points forts du projet	Points faibles du projet
<ul style="list-style-type: none"><li>• Opportunité de sauvegarder du sol et de la végétation de 5 ha de végétation steppique promis à la destruction suite à une extension de carrière.</li><li>• Résultats très positifs sur le court terme pour la restauration de la composition (100% des espèces de la steppe présente, pas d'espèces invasives) et de la richesse de la végétation steppique même supérieure du fait de la présence d'espèces annuelles contenues dans le stock semencier du sol et ne s'exprimant pas dans la steppe de référence.</li><li>• Résultats très positifs à court terme (5 ans) sur la dynamique de la matière organique et la diversité fonctionnelle bactérienne et fongique mais en surface seulement du sol restauré.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Noria de camions avec fort impact environnemental (émissions de polluants et consommation de ressources non renouvelables, tassement des chemins dans la steppe)</li><li>• Dangereuse due à la circulation des camions sur les routes.</li><li>• Pas de reconstitution à court terme de la structuration de la végétation restaurée à l'identique de celle de la steppe (distribution des abondances des espèces encore différente).</li><li>• Impacts négatifs sur la faune notamment les insectes (Orthoptères, fourmis, Coléoptères), les Amphibiens et Reptiles ainsi que les invertébrés du sol (vers de terre).</li><li>• Pas de prédiction possible à l'heure actuelle sur l'évolution de la végétation et des sols restaurés sur le long terme en fonction des changements climatiques.</li><li>• Coût plus élevé que d'autres opérations de restauration (transfert de foins, semis, etc.).</li></ul>

### Améliorations - Conseils pour action similaire

- Inutile de tasser les différentes couches de sol au moment de l'épandage.
- Tester le transport de plaques avec des chargeurs où la pelle permet de transplanter des ensembles homogènes structurés plutôt que le transfert en vrac selon les moyens méthodologiques disponibles.
- Possibilité de diluer la couche organique supérieure du sol avec le substrat géologique (cailloutis duranciens) ou d'en mettre moins pour éviter un rapport de transfert de 1 pour 1 et travailler avec des rapports de 1 pour 2, voire 1 pour 3 selon les types de sol.

## Perspectives

### Poursuite du projet

Les suivis de la végétation (richesse, diversité, composition, etc.) seront maintenus dans les années futures sur fonds propres du laboratoire de recherche (IMBE) car la convention de collaboration de recherche avec la SPSE ne courtait que sur trois années. La composition physico-chimique des sols et la dynamique de la matière organique (C/N, % de matières organiques particulaires, etc.) seront également analysées régulièrement (laboratoire ECODIV Rouen) en fonction des moyens financiers disponibles.

*Restauration d'une pelouse sèche méditerranéenne par transfert de sol*

*Date de publication : novembre 2016*





### Transposabilité de la démarche

Cette démarche n'est transposable que dans le cas où des sols sont irrémédiablement menacés d'être détruits à court terme sans autre alternative de sauvegarde et avec la possibilité concordante de les utiliser pour la restauration d'un site détruit dans un lieu écologiquement proche. Les autres utilisations impliquant la destruction d'un écosystème en place pour une hypothétique restauration ailleurs ne sont pas soutenables au niveau environnemental. Il aurait été intéressant au cours de ce projet de pouvoir comparer les effets du transfert de sol à d'autres traitements de restauration plus classiques comme le transfert de foins, le semis des espèces structurantes ou même la remise en place d'une succession primaire après décapage du sol pollué mais ces options n'ont pas été retenues par le comité de pilotage.

### Publications

Bulot A., Potard K., Bureau F., Bérard A, Dutoit T. 2016 Ecological restoration by soil transfer: impacts on organic matters and microbial activity. *Restoration Ecology*.

Bulot A., Provost 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.

Bulot A., Provost 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). *Acta Botanica Gallica - Botany Letters*. 161: 287-300.

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

Dutoit T., 2011. Fuite d'hydrocarbures en Crau : Mesures compensatoires, dernier acte d'une catastrophe patrimoniale ? *Le Courrier de la Nature*, 263 :7-9.

Dutoit T., Bulot A., Wolff A., 2015. Ecologiser le génie civil pour innover dans la restauration des écosystèmes : Le cas d'un chantier de réhabilitation d'une fuite d'hydrocarbures. *Sciences, Eaux et Territoires*, 17 : 12-16.

Wolff A., 2013. Risques industriels dans les espaces naturels : retour d'expérience après rupture d'un pipeline. pp. 309-323. In Tatin L., Wolff A., Boutin J., Colliot E. Dutoit T (eds). « La Crau, Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne ». Quae Editions, Paris, 352 p.

### Fiche réalisée par l'Aten et l'IMBE



Restauration d'une pelouse sèche méditerranéenne par transfert de sol

Date de publication : novembre 2016