

Écologiser le génie civil pour innover dans la restauration des écosystèmes : le cas d'un chantier de réhabilitation d'une fuite d'hydrocarbures

La réserve naturelle des Coussouls-de-Crau, milieu steppique abritant des espèces uniques en Europe, mettra des centaines d'années pour se reconstituer après la rupture en 2009 d'une canalisation d'hydrocarbures sur le site. Cet article nous montre ici comment un dialogue permanent entre les différents acteurs a permis toutefois d'élaborer et de faire accepter des protocoles innovants de réhabilitation du site, dont la réalisation d'opérations d'ingénierie écologique originales qui n'auraient pas été mises en place sans l'existence de ce dialogue, les moyens financiers et l'urgence des interventions à mener.

Les Coussouls de Crau, un espace naturel au milieu d'une zone industrielle

Depuis la fin des années 1960, les marchandises et matières arrivant au Grand Port Maritime de Marseille sur la commune de Fos-sur-Mer dans le département des Bouches-du-Rhône, doivent traverser la plaine de Crau (50 000 ha) pour être acheminées à travers toute l'Europe. Des réseaux de transport de tous types traversent donc cette plaine comprenant notamment de nombreuses canalisations enterrées. Ainsi, plus de 150 km de couloirs de pipelines y sont présents, chaque couloir pouvant contenir plusieurs canalisations parallèles. Pourtant, les pelouses sèches de la plaine de Crau, encore appelées localement « Coussoul » sont considérées comme une étendue steppique rare en Europe occidentale. Cet écosystème abrite également une faune à très fort intérêt patrimonial comprenant deux espèces endémiques d'insectes (le criquet rhodanien et le bupreste de Crau) ainsi qu'une communauté d'oiseaux steppiques particulièrement riche (Outarde canepetière, Faucon crécerélette, Oedicnème criard, etc.) dont les dernières populations françaises de Ganga cata et d'Alouette calandre. Une partie de cette formation végétale (5 811 ha) a été classée en réserve naturelle dite des « Coussouls de Crau » en 2001 (RNCC). Si les contraintes techniques et réglementaires liées à la présence de canalisations enterrées (34 km sur le territoire de la réserve) ont bien été prises en compte par l'administration et par les gestionnaires, le risque technologique y a par contre été totalement oublié.

La crise

Le 7 août 2009, vers 7 h 30 du matin, un geyser noir haut de 3 à 4 mètres surgit au milieu de la steppe. Pendant plus d'une heure trente, plusieurs milliers de m³ de pétrole brut vont se déverser dans la steppe (5 400 m³ selon la Société du pipeline sud-européen – SPSE) et noyer une surface de 4,5 hectares dont le conseil départemental des Bouches-du-Rhône est propriétaire (photo 1). Dans un premier temps, le caractère « industriel » de l'accident va être prioritaire et son impact possible sur le patrimoine naturel n'est pas pris en considération car il semble être inconnu des équipes d'intervention déléguées par l'exploitant. De plus, les gestionnaires de la RNCC ne font pas partie des organismes consultés par les services de l'État et les services de sécurité dans le traitement immédiat de l'accident. Au cours des premières heures, l'accident est donc géré comme tout accident industriel, l'accent est ainsi surtout mis sur la protection des biens et des personnes via l'établissement d'un périmètre de sécurité, la présence des services de secours et la mise en place d'une cellule de crise réunissant les services de l'État, les secours et l'industriel (Wolff, 2013).

La réaction

En complément d'une cellule de crise, le préfet des Bouches-du-Rhône met en place un comité de suivi technique et environnemental, présidé par le sous-préfet d'Arles. Le comité est ainsi créé par arrêté préfectoral le 13 août 2009. Ce comité s'adjoint trois groupes tech-



① Une vue partielle du site pollué par les hydrocarbures quelques jours après la fuite en août 2009.

© L. Tatin (CEN PACA)

niques de travail encadrés par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Provence-Alpes-Côte d'Azur (DREAL PACA) et la Direction départementale des territoires et de la mer des Bouches-du-Rhône (DDTM 13) : eau, biodiversité, canalisation (figure ①). Les co-gestionnaires de la RNCC : le Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur (CEN PACA) et la Chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône (CA 13) participent à ces réunions.

Le groupe technique consacré à la biodiversité sera composé en plus des représentants de l'administration environnementale : des gestionnaires d'espaces naturels, du représentant du propriétaire du terrain impacté (Conseil général des Bouches-du-Rhône, CG 13), de l'exploitant (SPSE), de ses bureaux d'études et des experts scientifiques nommés par les différentes parties. Le principal enjeu mis en avant par les gestionnaires de la RNCC est qu'il faut non seulement limiter l'impact de la pollution due aux hydrocarbures sur l'écosystème steppique, mais aussi contenir l'impact du chantier de dépollution et de réhabilitation. Les travaux de dépollution ne doivent donc pas occasionner une perte supplémentaire de surface steppique car de nombreuses recherches ont déjà démontré la difficulté de restaurer cet écosystème, fruit d'interactions multiséculaires entre le climat méditerranéen et la pratique du pastoralisme ovin transhumant. Les formations végétales steppiques ont en effet mis des siècles à se former du fait du pâturage et des régimes d'incendies qui ont empêché l'embroussaillage et ont été une source de diversité au niveau de la strate herbacée. Ces enjeux écologiques sont venus cependant se confronter à d'autres comme la sécurité des personnels, la protection de la nappe phréatique, la maîtrise

des coûts, l'approvisionnement en hydrocarbures des raffineries desservies par la canalisation accidentée, le déroulement de l'enquête judiciaire, etc.

Ainsi, comme la prise en compte de la biodiversité n'apparaît pas comme un objectif majeur de l'exploitant, un climat de méfiance va s'installer entre les deux parties (exploitant et gestionnaires d'espaces naturels). L'aspect judiciaire a également entraîné la dégradation des relations car, logiquement appelées à coopérer sur le terrain, elles se retrouvaient cependant opposées sur le plan judiciaire (figure ①). C'est pourtant dans ce climat que vont se décider les différentes opérations de dépollution et de réhabilitation du site, dont certaines vont s'avérer innovantes en matière de génie écologique tant pour la dépollution de la nappe que pour la restauration de la biodiversité de l'écosystème steppique. En effet, pendant toutes ces opérations, les co-gestionnaires et scientifiques participent aussi aux réunions hebdomadaires de chantier (figure ①). Celles-ci constituant des occasions de suivre la progression des travaux et de formuler des recommandations liées à la protection du site, mais aussi, de mieux dialoguer dans un contexte de résolution de problèmes de terrain. Ainsi, les techniques de réhabilitation du chantier ont pu être encadrées par les scientifiques, dans le respect de la réglementation de la RNC.

La réparation

Le comité technique va rapidement valider l'option du décaissement du sol pour évacuer les terres polluées par le pétrole vers un centre de traitement spécialisé situé sur la commune de Bellegarde dans le département du Gard à 60 km du chantier. Le sol sera ainsi totalement

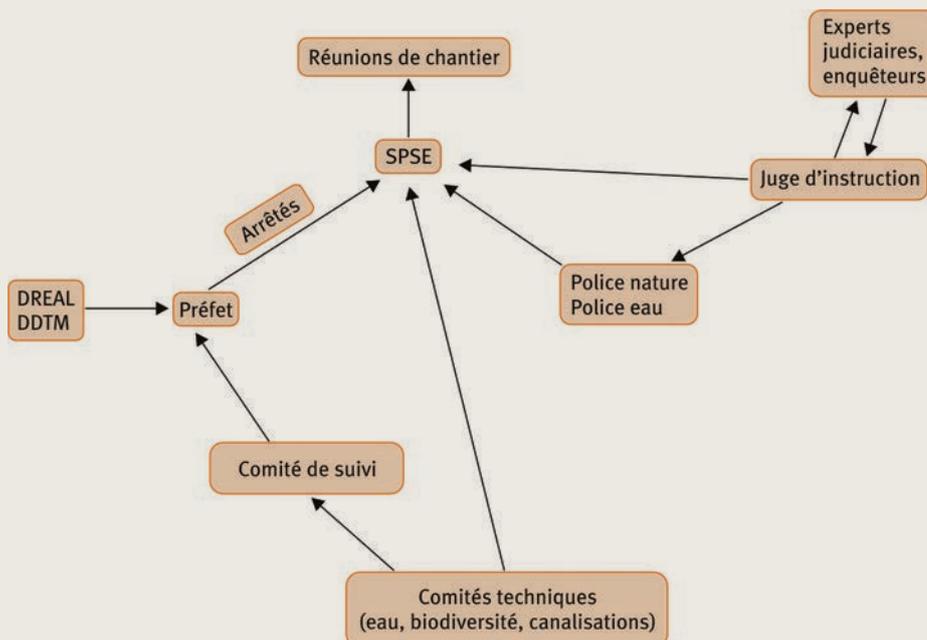
▶ décapé sur une profondeur de 40 cm à 1 m de profondeur jusqu'au « poudingue », un conglomérat calcaire situé en moyenne à 50 cm environ sous la surface du sol. Au total, 72 000 tonnes de terres seront évacuées, nécessitant plus de 3 000 rotations de camions pendant sept mois. Au niveau de la nappe phréatique, une barrière de confinement sera réalisée. Celle-ci consiste à pomper l'eau polluée en aval de l'accident grâce à un alignement de forages. Cette eau est ensuite traitée sur filtre de charbons actifs avant d'être réinjectée dans la nappe en amont du site pollué. Grâce à ce système, la nappe fonctionne localement en circuit fermé, empêchant ainsi la diffusion de la pollution vers l'aval. La mise en place d'un réseau de forages dépolluants de « pompage-écrémage » sur le site pollué permettra aussi de récupérer graduellement une partie des hydrocarbures flottant à la surface de la nappe phréatique. Cependant, ces techniques ont nécessité l'installation sur place d'une unité de dépollution des eaux et de stockage des hydrocarbures, composée de plusieurs containers et citernes. Cette unité fonctionnera jusqu'à son démantèlement en juillet 2014 et aura nécessité le creusement d'environ 70 forages et piézomètres, dont plusieurs piézomètres de contrôle éloignés de la zone polluée.

Au niveau de la réhabilitation de l'écosystème steppe, il était impossible de laisser une superficie de 4,5 ha de poudingue mis à nu. En effet, cette configuration aurait pu entraîner un transfert massif vers la nappe des hydrocarbures piégés dans le sol, par les infiltrations de pluie sur poudingue alors à découvert. Le remblaiement a donc été réalisé grâce à l'utilisation d'un sol de

composition identique, issu d'une carrière proche, dont l'extension avait été déjà autorisée par les services de l'État en 2005 (Bulot *et al.*, 2014). Cette opération a été réalisée entre janvier et avril 2011 nécessitant à nouveau 3 000 rotations de camions. Les moyens financiers mis à disposition vont alors permettre de tester à grande échelle des techniques, jusqu'alors expérimentales de transfert de sol suivant les préconisations des écologues et des gestionnaires de la RNCC. Le transfert de sol a donc été réalisé en flux direct et sans stockage pour empêcher la colonisation des stocks de sol par des espèces indésirables. Il a été effectué en respectant l'organisation des trois horizons qui caractérisent ce sol rouge méditerranéen. Enfin, il a été réalisé en fin d'hivers, période la plus favorable pour la reprise des espèces pérennes et la germination des graines contenues dans le sol, tout en limitant le dérangement des oiseaux steppiques avant la nidification (photos 2 et 3).

Bien que cette intervention ne puisse être considérée comme une opération de génie écologique non polluante, au regard des milliers de rotations de camions qui impliquent la consommation d'hydrocarbures et des pollutions atmosphériques ainsi que la destruction du sol du site donneur de la carrière, il s'agit cependant d'une première en matière de réhabilitation d'un chantier de dépollution d'hydrocarbures suite à une fuite terrestre. En effet, les choix de la fin de l'hiver (janvier-mars 2011) pour éviter le dérangement des oiseaux steppiques qui nichent au sol à partir d'avril, du transfert en flux direct sans stockage et de la reconstitution intégrale des différents horizons de sol peuvent être considérés comme

1 Représentation des interactions entre les différents acteurs et pilotage des opérations de dépollution de la fuite d'hydrocarbures survenue dans la plaine de Crau (Bouches-du-Rhône en août 2009).



une véritable « écologisation » des pratiques classiques de génie civil. L'accident a donc été une opportunité pour :

- mettre en place à une grande échelle (5 ha) des techniques dont les résultats étaient connus seulement au niveau expérimental et à petite échelle pour la plaine de Crau (transfert de sol) ;
- tester expérimentalement de nouvelles techniques d'ingénierie écologique comme l'utilisation de la biodégradation naturelle sous surveillance pour la nappe phréatique et l'utilisation de fourmis moissonneuses pour la restauration de l'organisation spatiale de la végétation steppique.

Mise en place des expérimentations d'ingénierie écologique

Les actions expérimentales en matière d'ingénierie écologique ont pu être réalisées dans le cadre des mesures d'accompagnement, de réduction d'impact et de suivis scientifiques imposées à l'exploitant et retranscrites dans l'arrêté préfectoral le 1^{er} août 2011. Pour les expérimentations en ingénierie écologique et d'atténuation naturelle sous surveillance, deux thèses de doctorat ont été cofinancées par la SPSE, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) entre 2011 et 2014 respectivement en collaboration avec le Laboratoire de chimie de l'environnement de Marseille et l'Institut méditerranéen de biodiversité et écologie. Outre le cofinancement des thèses, la SPSE a financé certains coûts liés aux expérimentations autres que ceux qu'elle pouvait gérer directement (tri des terres), soit un montant de cent-vingt mille euros.

Retour d'expérience

En février 2014, au niveau de la nappe, 36 m³ de pétrole ont pu être récupérés après quatre années de fonctionnement, soit seulement 3,5% des 800 à 900 m³ résiduels estimés. Seuls 200 m³ auraient été encore récupérables par cette technique, le reste étant définitivement piégé dans la porosité de la roche. Comme la lentille de pétrole résiduel est stabilisée localement, l'unité de dépollution a été démontée en juillet 2014 et remplacée par des suivis sur une période de vingt années. Les opérations de bio-stimulation qui ont consisté à injecter dans la nappe des micro-organismes, des oxydants (oxygène) et des nutriments (phosphates, sulfates, nitrates) pour dégrader les hydrocarbures se sont avérées concluantes au niveau expérimental en microcosme et *in situ*, mais pas au niveau opérationnel car il aurait fallu alors creuser beaucoup plus de puits pour avoir une action significative à l'échelle de la lentille de pétrole résiduel (Ponsin *et al.*, 2014).

Au niveau de la réhabilitation de l'écosystème steppique, les premiers résultats ont montré une très bonne restauration de la composition et de la richesse spécifique de la végétation steppique grâce au transfert de sol (Bulot *et al.*, 2014). En effet, après cinq années (2011-2015), toutes les espèces caractéristiques de la steppe y sont bien présentes et le site n'a pas été envahi par des plantes opportunistes, rudérales ou encore des espèces exotiques envahissantes. Par contre l'organisa-

Restoration du site après enlèvement des terres polluées par les hydrocarbures.



Vue aérienne du chantier en 2012 montrant les placettes expérimentales et l'unité de dépollution des eaux de la nappe phréatique.



tion spatiale des différentes populations végétales est encore loin de ressembler à celle de la steppe. C'est pourquoi la clôture qui protégeait les installations du site mis en place en 2011, a été retirée en juillet 2014 pour favoriser le retour du pâturage ovin qui a un rôle majeur *via* les prélèvements et le piétinement sur la distribution des populations végétales. Il a été aussi décidé de réintroduire dans le sol transféré plusieurs dizaines de reines fondatrices d'une espèce de fourmi moissonneuse (*Messor barbarus* L.), très commune dans la steppe. Les nids de cette espèce peuvent contenir de 8000 à 20000 individus et sont présents à une densité de 100 nids par hectare. S'il est estimé que ces fourmis consomment 20% des graines produites par 70% des espèces présentes dans la steppe, de nombreuses graines sont cependant perdues le long de leurs pistes (jusqu'à 30 m de long) ou déposées dans les dépotoirs à l'entrée des nids, qui contiennent alors plus de graines et d'espèces que les espaces sans dépotoirs.

▶ La capture des individus s'est faite après le vol nuptial automnal et les reines fondatrices capturées ont été immédiatement déposées dans des petites caches recouvertes de galets dans la zone à restaurer. Après deux années de transplantation, plus de 40 % des reines fondatrices ont fondé un nid qui contient à ce jour plusieurs centaines d'ouvrières. Ce chiffre est encore insuffisant pour avoir une action significative sur la végétation et il faudra certainement encore plusieurs années pour confirmer l'hypothèse d'une action favorable des fourmis pour accélérer la restauration de la répartition spatiale des populations de plantes annuelles.

La prévention future

Pour éviter le climat de méfiance entre les différents intervenants, une meilleure connaissance mutuelle des industriels et des gestionnaires d'espaces naturels doit exister pour pallier au manque de culture commune et progresser en matière de techniques innovantes dans le domaine de l'ingénierie écologique (Clément et Notarianni, 2011). Celle-ci pourrait se construire au sein de plusieurs instances d'échanges comme :

- la participation des industriels aux comités de pilotage des espaces naturels (Natura 2000, réserve naturelle...) au travers d'une structure représentative (groupement d'industriels) ;
- l'organisation de réunions de travail sur les problématiques mutuelles (entretiens d'installations dans les espaces naturels, plan de surveillance et de maintenance, plan de sécurité et d'intervention...). Ces travaux pourraient alors mener à l'interpénétration des documents de gestion des installations et de la réserve ;
- la mise en place de « journées de sensibilisation » bilatérales, permettant d'améliorer la culture commune entre gestionnaires et entreprises. En effet, dans notre cas, c'est bien la mobilisation constante et les échanges entre les différentes parties sur le terrain qui ont été à l'origine de l'acceptation des innovations en matière de génie écologique (Wolff *et al.*, 2011). ■

Les auteurs

Thierry DUTOIT et Adeline BULOT

UMR IMBE CNRS-IRD, Avignon Université,
Aix-Marseille Université
Site Agroparc – BP 61207 – F-84911
Avignon Cedex 09 – France

✉ thierry.dutoit@univ-avignon.fr

✉ adeline.bulot@univ-avignon.fr

AXEL WOLFF

Réserve naturelle des Coussouls de Crau
Maison de la Crau
2 Place Léon Michaud
13310 Saint Martin de Crau – France

✉ axel.wolff@cen-paca.org

Remerciements

Les auteurs remercient le CNRS (programme Ingecotech de son institut Écologie et Environnement), la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Conseil général des Bouches-du-Rhône, la Société du pipeline sud-européen, la Fédération de recherche ECCOREV, la Structure fédérative de recherche TERSYS et les co-gestionnaires de la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau pour leurs aides respectives à la réalisation des recherches sur ce sujet.

EN SAVOIR PLUS...

📖 **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*, n° 161, p. 287-300.

📖 **CLEMENT, G., NOTARIANNI PH.**, 2011, Prise en compte de la nature dans l'exploitation des canalisations de transport du gaz et guide de bonnes pratiques à destination des transporteurs, in : « 17^e Forum des gestionnaires des espaces naturels », ATEN, Nantes, 12-13 décembre 2011. Disponible sur : http://forumdesgestionnaires.espaces-naturels.fr/sites/default/files/2011/s13_g_clementp.notarianni_riquesindustriels_guide_gesip_aten.pdf (consulté le 10/07/2015).

📖 **PONSIN, V., MAIER, J., GUELORGET, Y., HUNKELER, D., BOUCHARD, D., VILLAVICENCIO, H., HÖHENER, P.**, 2014, In situ biostimulation of petroleum hydrocarbon degradation by nitrate and phosphate injection using a dipole well configuration, *Journal of Contaminant Hydrology*, n° 171, p. 22-31.

📖 **WOLFF, A., BOUTIN, J., COLLIOT, E.**, 2011, Rupture d'une canalisation d'hydrocarbures dans un espace protégé en Crau : la perspective des co-gestionnaires de la réserve naturelle, in : « 17^e Forum des gestionnaires des espaces naturels », ATEN, Nantes, 12-13 décembre 2011. Disponible sur : http://forumdesgestionnaires.espaces-naturels.fr/sites/default/files/2011/S32_A.Wolffj.BoutinE.Colliot_PollutionCrau.pdf (consulté le 10/07/15).

📖 **WOLFF, A.**, 2013, Risques industriels dans les espaces naturels : retour d'expérience après la rupture d'un pipeline, in : *La Crau, Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne*, TATIN, L., WOLFF, A., BOUTIN, J., COLLIOT, E., DUTOIT, T., p. 309-321, Quae Éditions, Paris, 352 p.



Les pelouses sèches de la plaine de Crau, appelées localement « Cousoul » : une étendue steppique rare en Europe occidentale.