

Restauration de la steppe de Crau (Bouches-du-Rhône, France): l'incertitude scientifique face aux besoins de l'ingénierie écologique

Thierry Dutoit*, Élise Buisson**, Frédéric Henry**, Christine Romermann**,
Sylvain Fadda**, Pauline Gaignard**, Arne Saatkamp**

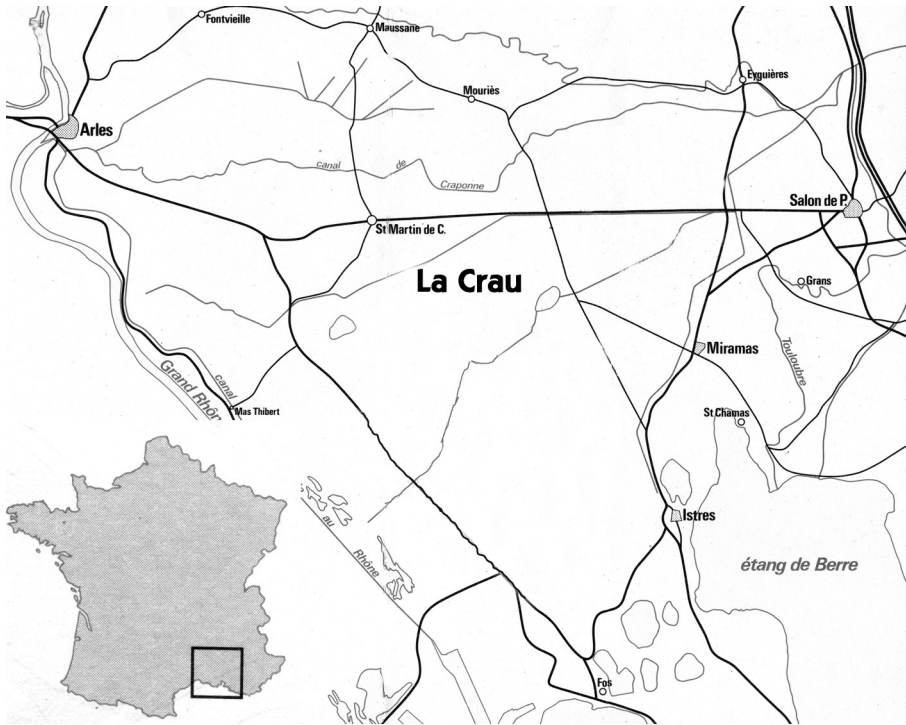
La plaine de Crau dans les Bouches-du-Rhône

La plaine de La Crau (60 000 ha) fait partie du bassin méditerranéen et constitue l'unique steppe xérique de France. Cette plaine correspond à un ancien delta qui s'est mis en place suite à plusieurs changements du lit de la Durance entre 650 000 et 12 000 ans BP. La Crau est limitée au nord par les Alpilles, au sud par la mer Méditerranée, à l'est par l'étang de Berre et à l'ouest par le delta du Rhône (figure 1). La roche mère de la plaine de La Crau est une couche imperméable de poudingue ("taparas" en provençal) de 5 à 40 m d'épaisseur, formée de galets inclus dans une matrice calcaire. Ce poudingue est présent dans le sol à 40-60 cm de profondeur. Il contribue à la sécheresse édaphique car il rend la nappe phréatique inaccessible aux racines des végétaux. Le climat y est de type méditerranéen (température moyenne annuelle: 14°C, précipitations maximales au printemps et en automne totalisant 500 mm/an, plus de 3 000 heures d'ensoleillement par an et des vents violents soufflant 334 jours/an) (Devaux *et al.*, 1983). 50 % de la surface du sol dans le centre de La Crau est recouverte de gros galets, créant un microclimat qui protège le sol des fortes variations de température (de 60°C en surface à 30°C en dessous l'été). L'ensemble de ces contraintes a façonné une végétation de type steppique. Cette végétation est dominée par des poacées comme *Brachypodium retusum* (Loisel *et al.*, 1990). Cette végétation a été également influencée par le pâturage ovin qui aurait été introduit par les Romains au début du 1^{er} siècle av. J.-C. (Badan *et al.*, 1995) et dont la pratique s'est maintenue jusqu'à nos jours.

* UMR INRA-UAPV 406, Écologie des invertébrés, Université d'Avignon, IUT, Département Génie Biologique, Site Agroparc, 84911 Avignon cedex 9, France

** UMR CNRS 6116, Institut méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie, Université Paul-Cézanne, FST Saint-Jérôme, case 462, 13397 Marseille cedex 20, France

Figure 1 : Localisation de la plaine de Crau en France (d'après Devaux et al., 1983, modifiée).



Bien que la steppe de Crau soit une formation végétale unique en France, son intérêt écologique n'a été reconnu que dans la seconde moitié du xx^e siècle. Il a donc fallu que cet espace subisse de profondes dégradations, dont certaines semblent aujourd'hui irréversibles, pour voir se multiplier les recherches en écologie sur cette plaine (Buisson *et al.*, 2004b; Buisson, 2005; Buisson et Dutoit, 2006). Quatre périodes ont pu être identifiées. Des origines à 1975, la Crau ne fait l'objet que d'observations, inventaires et études à caractère naturaliste. Les intérêts écologiques de cet écosystème sont peu ou pas identifiés. De 1975 à 1990, les intérêts de la steppe sont tout d'abord identifiés vis à vis de l'avifaune en même temps que les menaces qui pèsent sur l'écosystème. À partir de 1990, les recherches intègrent le rôle majeur du pâturage ovin traditionnel pour le maintien de l'écosystème steppique. Au xxi^e siècle, les recherches s'orientent plus sur les écosystèmes périphériques de la steppe car ils jouent un rôle complémentaire dans l'alimentation des troupeaux et la dynamique de certaines populations d'oiseaux. Dans le même temps, des recherches sur la restauration écologique des espaces dégradés par les activités agricoles et industrielles sont menées.

La destruction de la steppe par les cultures irriguées

Entre 1950 et 1966 des cultures de céréales extensives (pas de labours profonds, peu de fertilisation) ont été réalisées pour fournir des herbes de printemps aux troupeaux. Ensuite, des cultures de cucurbitacées et notamment de melons ont commencé en 1955 pour se terminer au milieu des années 80 (Buisson *et al.*, 2004a; Buisson *et al.*, 2006). Ces cultures étaient plus intensives car des labours profonds (> 40 cm) ont raclé le poudingue et ont remonté des morceaux dans le sol (Masip, 1991). De plus, ces cultures étaient irriguées, traitées contre la chlorose, l'araignée rouge, les pucerons et l'oïdium et fertilisées avec de la fumure organique et minérale. Avant 1975, des cultures de pleins champs étaient réalisées en bandes séparées par des coupe-vents de cannisse (*Arundo donax*) pour lutter contre l'action dévastatrice du mistral. Après un an de culture du melon, des céréales et de la luzerne étaient semées. Ce mélange blé/luzerne servait de complément à l'alimentation hivernale et printannière des moutons (Masip, 1991).

Ensuite les cultures de cucurbitacées et de salades ont été menées sous abris (tunnels). Cette organisation parcellaire des cultures a laissé des chemins au bout des parcelles ou des espaces entre les tunnels (Borrey, 1965). Une surface considérable de steppe a été altérée au cours de la période de production de melons (Gaignard, 2003). En effet, comme un champignon (*Fusarium oxisporum* ssp. *melonni*) parasitait les melons jusqu'à l'apparition de variétés résistantes en 1975, les cultures devaient être déplacées tous les ans à la place de champs de céréales ou de la végétation steppique préexistante. Les parcelles cultivées faisaient alors l'objet d'une rotation de dix à quinze ans avant d'être à nouveau réutilisées pour la culture de cucurbitacées (melons, courgettes, courges, potirons, concombres) et de solanacées (aubergines, tomates, piments, poivrons) afin d'éviter une nouvelle contamination par la fusariose (Borrey, 1965). À l'échelle de la zone de protection Spéciale (11 816 ha), l'analyse spatiale des trajectoires agricoles historiques entre 1955 et 1998 montre que la proportion en surface des parcelles cultivées et juxtaposées demeure cependant toujours relativement faible par rapport à celle de la végétation steppique (environ 10 %). L'hétérogénéité des types d'utilisation a seulement été accentuée pendant la phase culturale entre 1971 et 1984, avec une diminution de la taille moyenne des parcelles de végétation steppique et une légère augmentation de celle des parcelles agricoles (Gaignard, 2003).

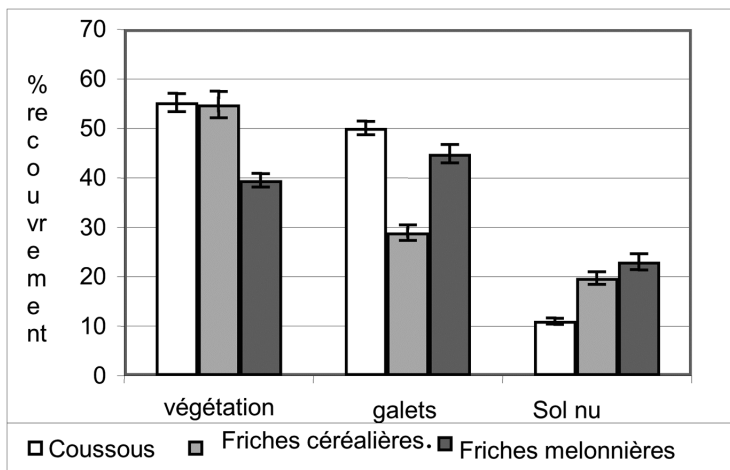
Dans la plupart de la zone d'étude, ces cultures ont été abandonnées au milieu des années 80 suite à l'apparition de nouvelles variétés résistantes (melons charentais), d'une surproduction et de conditions difficiles de vie en Crau dues à l'absence de structures d'exploitation en dur. Sur les champs abandonnés, des cultures de céréales et de luzernes ont d'abord été mises en place afin d'alimenter les troupeaux au printemps et de récu-

pérer une partie de la fumure puis, ces cultures sèches ont été à leur tour abandonnées au profit du seul pâturage ovin selon des modalités quasiment identiques à celles du pâturage de la formation végétale steppique (Dureau et Bonnefon, 1998).

Mise en évidence de l'impact des destructions sur la flore et l'entomofaune

Les résultats des études menées sur la flore montrent que les phases culturales ont entraîné des changements considérables de la texture et de la composition chimique des sols (Römermann *et al.*, 2004; Römermann *et al.*, 2005). Ces impacts sont encore visibles aujourd'hui même après plusieurs décennies d'abandon et de réintroduction du pâturage. Dans les friches melonnières et céréalières, les communautés végétales de l'écosystème de référence (steppe) ont été remplacées par des communautés d'espèces de friches culturales (espèces rudérales). Il n'en résulte pas une baisse de la richesse spécifique significative mais des changements drastiques dans la composition floristique (figure 2). La végétation des friches melonnières est très différente de la végétation steppique. Quant aux friches céréalières, elles prennent une sorte de position intermédiaire entre la steppe et les friches melonnières. La différence de composition floristique des friches est déterminée par la fertilité du sol (principalement les teneurs en phosphore, potassium et le pH), la texture du sol (teneur en argiles), le temps écoulé depuis l'abandon des pratiques culturales et la période de

Figure 2: Pourcentage de recouvrement de la végétation, des galets et du sol nu comparé entre la steppe (coussous), les friches céréalières et melonnières.



culture. Les fortes teneurs en phosphore et potassium sont à associer avec d'anciennes fertilisations minérales. Les valeurs plus fortes de pH résultent de la destruction et de la remontée de la matrice calcaire du poudingue par les labours profonds (Masip, 1991). La décroissance du rapport C/N dans les friches est à relier avec une meilleure minéralisation d'une matière organique plus riche en matière azotée totale (espèces annuelles rudérales) que celle apportée par la végétation pérenne de la steppe (*Thymus vulgaris*, *Brachypodium retusum*). Les proportions de recouvrement par les galets et d'éléments fins du sol sont en liaison avec divers types de pratiques culturales : les labours et l'irrigation ont été plus importants dans les cultures de melons (Masip, 1991).

L'augmentation du niveau de fertilité est un paramètre qui détermine, non seulement la composition floristique, mais influence aussi fortement les processus successionnels en empêchant l'installation des espèces de la steppe suite à la modification des relations de compétition entre les espèces même en bordure avec des parcelles de steppe intactes (figure 3). Si la végétation steppique est en majorité dominée par des espèces tolérantes aux stress et représente une formation végétale stable et adaptée aux conditions écologiques locales en comparaison des stades forestiers potentiels des successions méditerranéennes (Devaux *et al.*, 1983), les friches céréalières et melonnières sont plutôt dominées par des espèces rudérales (*Bromus madritiensis*, *B. rubens* and *Calamintha nepeta*, etc.). Les successions végétales secondaires de ces parcelles anciennement cultivées passent par un stade où les espèces de type compétitif et/ou rudérales dominent (*Dactylis glomerata*).

Figure 3 : Décroissance de la similitude de composition de la végétation entre les bordures de steppe intacte et une distance de 10 m dans les friches. Indice de similitude de Sorensen ($n = 3$ au seuil $p < 0.001$).

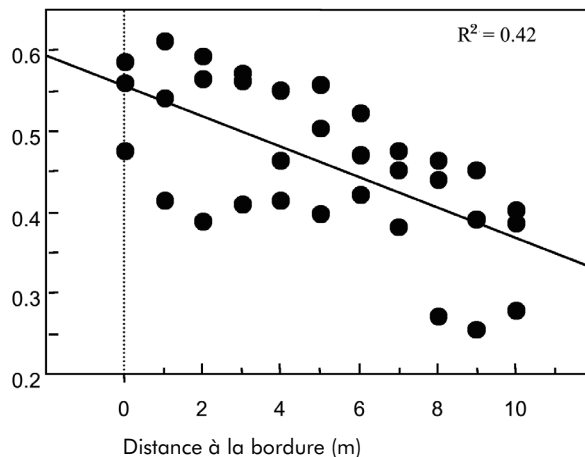
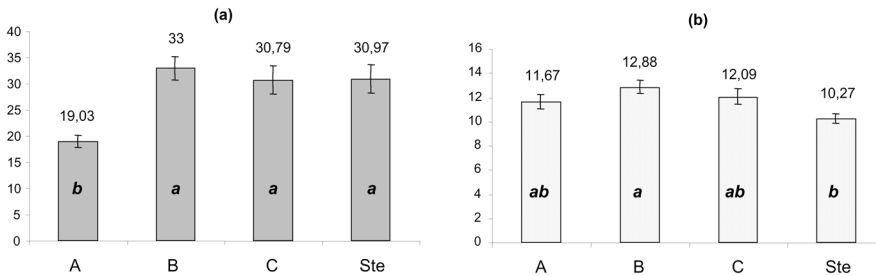


Figure 4 : Représentation de l'abondance moyenne par piège en (a) et de la richesse moyenne par piège en (b) des Coléoptères au niveau de chaque parcelle de friches étudiée (A, B et C) par rapport à la steppe (Ste), avec $n=33$ et erreur standard. Une lettre différente indique un résultat significativement différent au seuil < 0.05 .



Au niveau des assemblages de coléoptères (figure 4), il existe une relation positive entre le recouvrement de thym et la richesse en Coléoptère (Fadda *et al.*, 2004, 2007). Certaines espèces présentées comme vivant sur le thym se retrouvent en plus grand nombre au niveau des parcelles riches en thym comme *Longitarsus succineus* ou *Longitarsus oblitteratoides*. Le thym semble donc apparaître comme une espèce structurante des communautés de Coléoptères comme il l'est pour la végétation (Buisson et Dutoit, 2004b; Buisson *et al.*, 2006). De par son caractère pérenne, le thym permettrait l'installation d'espèces en offrant un grand nombre de micro-habitats. Parmi toutes les espèces de coléoptères collectées, 19 peuvent être considérées comme ayant une valeur biologique particulière, de par leur rareté, leur aire de répartition réduite, leur position en limite d'aire ou leur écologie méconnue. Ainsi, la conservation de ces espèces implique *de facto* une conservation de leur habitat. Les friches étudiées présentent une organisation des communautés de Coléoptères assez complexe et dépendante de nombreux facteurs. Cependant, les trajectoires différenciées des parcelles sembleraient être le facteur majeur de structuration des communautés, d'une part grâce une action directe sur la succession d'espèces d'insectes pionnières qui laisseraient place à des espèces d'écosystèmes plus matures, d'autre part, grâce à une action indirecte via la flore qui se structure différemment au cours du temps selon cette période. Cependant, les modalités de pâturage inégales entre les friches ne permettent pas d'affirmer la prépondérance des trajectoires agricoles historiques dans cette organisation contrairement aux résultats obtenus pour la végétation.

Restauration écologique et incertitudes des scientifiques face aux besoins de l'ingénierie écologique

Les résultats obtenus pour la végétation, la banque de graines et les assemblages de coléoptères montrent clairement qu'une dynamique successionale spontanée et rapide des friches post-culturelles en direction de la communauté végétale et animale de référence (ici la steppe) semble improbable. Même après des décennies d'abandon, les conditions abiotiques des friches post-culturelles sont toujours modifiées par la phase culturale. Une faible production de graines, une banque de graines en majorité de type transitoire, de faibles potentialités de dispersion et de colonisation des espèces de l'écosystème de référence entravent leur colonisation et leur établissement durable dans les friches. Comme cela a été démontré pour les friches céréalières et melonnières, leur complète restauration écologique semble inaccessible dans l'état des connaissances actuelles.

Après avoir identifié les impacts des phases culturelles anciennes sur les changements de fertilité du sol, la richesse et la composition floristique des friches par rapport à la steppe traditionnellement pâturée, et devant la lenteur de colonisation spontanée des espèces appartenant à la steppe vers les friches, des opérations de restauration des friches ont été mises en place par transplantation et semis d'espèces pérennes clés de la steppe (*Thymus vulgaris*, *Brachypodium retusum*). Les espèces pérennes ayant un rôle structurant dans l'écosystème sont des "ingénieurs de l'écosystème", dont les rôles attendus sont ceux d'espèces "nurses" pour d'autres espèces par les modifications qu'elles vont engendrer sur certaines variables écologiques (piégeage de sédiments, facilitation de l'installation de fourmis moissonneuses, etc.).

Les réponses de deux espèces végétales (germination, survie et croissance) ont été étudiées. Les interactions biotiques de nos plantes avec les espèces en place sur les friches (compétition/facilitation) ont été suivies. Un certain nombre de paramètres ont été manipulés en fonction du contexte environnemental et historique: le gradient de fertilité, le pâturage et le rôle des micro-habitats. En plaine de Crau, les expériences de réintroduction des espèces clés, *Thymus vulgaris* et *Brachypodium retusum*, ont été mises en place sur des friches céréalières et melonnières et sur un témoin (la steppe) constituant un gradient de fertilité. Les facteurs croisés ont été les suivants: interactions avec les espèces rudérales annuelles installées dans les friches, pâturage ovin et pourcentage de recouvrement de galets (rôle de protection des systèmes racinaires face aux hautes températures estivales et protection des plantules face aux prélèvements ovins). L'objectif est de hiérarchiser les facteurs qui peuvent expliquer la non-installation de ces plantes dans les friches alors qu'elles sont abondantes quelques mètres plus loin dans la steppe (Buisson, 2005)

Les résultats montrent que les taux de germination des graines sont trop faibles pour conseiller le semis comme une technique de réintroduction et d'enrichissement des fourrages (sursemis). La combinaison idéale de traitements inclut : 1) la restauration du recouvrement de galets ; 2) la suppression du pâturage pendant la première année pour optimiser l'installation des plantules ; 3) la suppression des espèces rudérales annuelles pour favoriser la croissance. Une fois les plantes établies, le pâturage peut être réintroduit. Ainsi, cette étude montre que la réintroduction d'espèces pérennes dans des agro-écosystèmes méditerranéens grandement dégradés est possible. Cependant, celle-ci demandera des moyens relativement lourds et coûteux.

Conclusion

En conclusion, bien que de nombreuses études scientifiques aient été menées en Crau sur l'impact des perturbations, les résultats disponibles demeurent fragmentaires. Ils répondent à un seul type de perturbation (les cultures) pour deux compartiments incomplets de la biodiversité (végétaux à fleurs et coléoptères) et à des échelles spatiales de quelques mètres carrés seulement.

Aujourd'hui, bien qu'une Réserve naturelle nationale existe depuis octobre 2001 sur 7 412 ha, de nouvelles perturbations apparaissent inhérentes à l'augmentation de carrières de granulats ou du passage de canalisation de transport souterrain (oléoduc, gazoduc, saumoduc) en liaison avec les activités de la raffinerie de Fos-Sur-Mer. En conséquence, il est demandé aux scientifiques de fournir un appui dans le cadre des mesures compensatoires ou de réduction des impacts des aménagements lors de leur réalisation.

Bien souvent, il est cependant impossible dans l'état actuel des connaissances en « ingénierie écologique » pour la plaine de Crau de fournir des mélanges de graines « clés en main » ou des *process* permettant une cicatrisation rapide de l'écosystème steppique après sa destruction. Un hiatus s'installe alors entre les attendus des ingénieurs en génie civil et les faibles potentialités à l'heure actuelle des opérations de restauration écologique lié en grande partie aux nombreuses incertitudes des scientifiques sur le fonctionnement des écosystèmes naturels et à la relative jeunesse des applications de l'écologie scientifique (écologie de la conservation et de la restauration).

En aucun cas, les opérations de génie écologique ou de « renaturation » ne peuvent donc servir d'alibi à la destruction des espaces naturels. En effet, les connaissances fondamentales et appliquées en matière d'écologie sont bien loin de permettre l'appréhension de la complexité de composition, de structure et de fonctionnement des écosystèmes naturels.

Bibliographie

- BADAN O., BRUN J.-P., CONGÈS G., 1995. Les bergeries romaines de la Crau d'Arles. Les origines de la transhumance en Provence, *Gallia*, 52, 263-310
- BORREY M., 1965. *Contribution à la connaissance des petites régions agricoles. La Crau*, Ministère de l'Agriculture, Bouches-du-Rhône
- BUISSON E., 2005. *Restauration écologique de communautés végétales herbacées méditerranéennes: exemples dans le sud-est de la France et sur la côte californienne (USA)*, Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, 233 p + annexes
- BUISSON E., DUTOIT T., 2004. Colonisation by native species of abandoned farmland adjacent to a remnant patch of Mediterranean steppe, *Plant Ecology*, 174, 371-384
- BUISSON E., DUTOIT T., 2006. Creation of the Natural Reserve of La Crau: implications for the creation and management of protected areas, *Journal of Environmental Management*, 80, 318-326
- BUISSON E., DUTOIT T., ROLANDO C., 2004a. Composition et structure de la végétation aux interfaces entre friches post-culturelles et végétation steppique dans la plaine de Crau (Bouches-du-Rhône), *Ecologia Mediterranea*, 30, 71-84
- BUISSON E., DUTOIT T., WOLFF, A. 2004b. Bilan de trente années de recherches en écologie dans la steppe de Crau (Bouches-du-Rhône, Sud-est de la France), *Ecologia Mediterranea*, 30: 7-24
- BUISSON E., DUTOIT T., TORRE F., RÖMERMANN C., POSCHLOD P., 2006. The implications of seed rain and seed bank patterns for plant succession at the edges of abandoned fields in Mediterranean landscapes, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 6-14
- DEVAUX J.-P., ARCHILOQUE A., BOREL L., BOURRELLY M., LOUIS-PALLUEL J., 1983. Notice de la carte phyto-sociologique de la Crau, *Biologie-Écologie méditerranéenne*, 10, 5-54
- DUREAU R., BONNEFON O., 1998. *Étude des pratiques de gestion pastorale des cousouls*. In *Patrimoine nature et pratiques pastorales en Crau*, CEEP Écomusée de Crau, Saint-Martin de Crau, 61-89
- FADDA S., ORGEAS J., PONEL P., DUTOIT T., 2004. Organisation et distribution des communautés de Coléoptères dans les interfaces steppe – friches post-culturelles en Crau, *Ecologia Mediterranea*, 30, 85-104
- FADDA S., ORGEAS J., PONEL P., BUISSON E., DUTOIT T., 2007. Past cultivation as a driving factor for the organisation of dry grassland beetle communities (plain of la Crau, Bouches-du-Rhône, France), *Environmental Conservation*, 34, 132-139
- GAIGNARD P., 2003. *Changements d'usages agricoles et dynamique spatio-temporelle de la steppe de Crau depuis 1955, secteur de la ZPS (Zone de Protection Spéciale)*, Mémoire de Diplôme d'Études Supérieures, Université Paul Cézanne, CEEP-Écomusée de Crau, 43 p + 17 annexes
- LOISEL R., GOMILA H., ROLANDO C., 1990. Déterminisme écologique de la diversité des pelouses dans la plaine de Crau (France méridionale), *Ecologia Mediterranea*, 16, 255-267
- MASIP A.C. 1991. *Le peuplement végétal de la réserve de Peau de Meau. Données pour la gestion*, Thèse de Doctorat, University de Barcelone, Espagne
- RÖMERMANN C., BERNHARDT M., DUTOIT T., POSCHLOD P., ROLANDO C.,

2004. Impacts de la mise en culture de la plaine de Crau sur la végétation actuelle et potentialités de ré-établissement des espèces de la steppe après abandon cultural, *Ecologia Mediterranea*, 30, 47-70

RÖMERMANN C., DUTOIT T., POSCHLOD P., BUISSON E., 2005. Influence of former cultivation on the unique Mediterranean steppe of France and consequences for conservation management, *Biological Conservation*, 121, 21-33