



MICROFICHE N°

09228

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE
DOCUMENTATION AGRICOLE
TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

9

Un essai de réhabilitation en zone aride. Le cas de Menzel Habib (Tunisie)

E. LE FLOC'H¹, M. NEFFATI², M. CHAÏEB³, R. PONTANIER⁴

1. CEFE/CNRS, Montpellier, France

2. IRA, Médenine, Tunisie

3. Faculté des Sciences, Sfax, Tunisie

4. ORSTOM, Tunisie

Depuis le début du siècle, on assiste en Tunisie aride, comme dans la plupart des zones similaires du monde, à une transformation accélérée des paysages ruraux sous la pression combinée de l'accroissement démographique, de la sédentarisation et de la privatisation des terres. Ces causes, avec leurs divers corollaires que sont la collecte des combustibles ligneux, l'éclatement des grands troupeaux, l'augmentation de la demande en terres pour la céréaliculture et l'arboriculture, ont entraîné de profondes modifications qualitatives et quantitatives dans la façon d'utiliser les ressources naturelles.

Les modifications sont profondes à l'échelle des paysages mais également des écosystèmes. Les steppes des glacis bénéficiant des eaux de ruissellement ont presque totalement disparu sous la pression du défrichage, et les sols limoneux qui les couvraient sont maintenant soumis à une érosion hydrique non négligeable. La céréaliculture touche aussi désormais les plaines sableuses où la végétation steppique était autrefois traditionnellement strictement réservée à un usage pastoral. Ces espaces en plaine, les plus récemment conquis par la charrue, présentent les sols les plus sensibles à l'érosion éolienne.

Le recours aux diverses techniques de télédétection permet d'obtenir assez aisément une évaluation des vitesses des transformations (mode d'utilisation du sol, dégradation des écosystèmes, régénération) durant les cinquante dernières années et, partant de là, de déterminer le niveau de sensibilité des écosystèmes aux diverses pratiques humaines. Un

tel diagnostic a été réalisé en Tunisie aride [1] et les évaluations qui en ont résulté (vitesses de transformations et sensibilité des milieux) ont permis d'analyser et de modéliser les possibilités d'évolution des écosystèmes selon différents niveaux prévisibles de pression humaine. Des aménagements basés, en particulier, sur la localisation optimale des cultures, et sur les possibilités éventuelles de régénération des formations végétales steppiques naturelles, ont été proposés.

Plus récemment, en Tunisie aride, des travaux de recherche ont été entrepris pour la réhabilitation d'écosystèmes plus ou moins gravement dégradés. Ils ont permis de forger quelques concepts facilitant la poursuite de la réflexion et l'élaboration de nouvelles propositions. Il importe toutefois de réintégrer tous ces travaux dans une même démarche globale, celle de l'écologie de la restauration et de la réhabilitation.

Un modèle régional d'aménagement

La zone d'étude

La zone d'étude (Figure 1), d'une superficie de 81260 hectares, connue comme étant la plaine de Zougrata, est située au nord-ouest de Gabès, dans la Délégation de Menzel Habib. La pluviosité moyenne annuelle y est estimée à 175 mm. Les précipitations, très irrégulièrement réparties, tombent essentiellement en saison froide (automne, hiver) et la saison sèche dure de mai à septembre. Tous les autres mois se partagent les pluies annuelles, même si le mois d'octobre est nettement le plus arrosé. Le nombre moyen annuel de jours de pluie est de 35 ; les intensités très variables peuvent, par exemple, atteindre 150 mm/heure sur 5 minutes [1]. Le déficit hydrique annuel théorique est compris entre 1 200 et 1 300 mm. Ces caractéristiques du régime pluviométrique ont comme conséquences :

- que les pluies sont utiles pour la végétation active surtout au printemps ;
- que leur caractère orageux favorise le ruissellement et l'érosion sur les surfaces les plus dégradées ;
- que la succession d'années sèches ou pluvieuses a des conséquences néfastes sur les sols privés de couverture végétale pérenne ;
- que les décalages dans les dates de début de la saison des pluies peuvent favoriser la dégradation des parcours.

Du point de vue édaphique, la zone constitue un ensemble de plaines et de plateaux façonnés dans le Quaternaire se développant sur la série sablo-argileuse gypseuse du Miopliocène, raccordée aux reliefs par des glacis d'érosion et d'accumulation. Les phénomènes érosifs, actuellement très actifs dans la région, dégagent progressivement le substrat gypseux sous-jacent et provoquent un alluvionnement marqué des bas-fonds. L'érosion éolienne affecte surtout les plaines sableuses alors que l'érosion hydrique est forte sur les glacis limoneux.

Le réseau hydrographique, assez marqué à proximité des reliefs, devient endoréique et s'achève le plus souvent dans la plaine au niveau de dépressions fermées (*garari*) pouvant être en eau durant quelques mois, au cours des années les plus arrosées.

Les sols sont généralement pauvres en matière organique (moins de 0,7 % en surface). Il s'agit pour l'essentiel de lithosols et de régosols sur les reliefs (altitude maximale

285 m), de croûtes et encroûtements calcaires, de sols isohumiques (siérozems) sablo-limoneux, souvent épais sur limons à nodules calcaires dans la plaine centrale (altitude moyenne 80 m), de sols calcomagnésimorphes avec croûtes ou encroûtements gypseux superficiels sur les bas glacis et le plateau bordant la plaine centrale au nord-ouest. Les bas-fonds, temporairement inondés, portent des sols peu évolués alluviaux, de texture moyenne à lourde, et présentent souvent des caractères d'hydromorphie et d'halomorphie.

Les types de végétation coïncident avec les grands types de milieux de la zone. Notons en particulier les steppes à chaméphytes et hémicryptophytes dominées par *Stipa tenacissima* (alfa), *Gymnocarpos decander* sur les lithosols et les régosols calcaires, par *Anarrhinum brevifolium* sur les croûtes gypseuses, par *Rhanterium suaveolens* dans l'ensemble de la plaine centrale sableuse, par *Artemisia herba-alba* sur les sols limoneux (surtout les glacis et le plateau), enfin par *Ziziphus lotus*, *Pulicaria laciniata* ou encore *Nitraria retusa* dans les situations alluviales et les bas-fonds hydromorphes plus ou moins salés. Ces grands types de végétation sont, pour la plupart, actuellement dégradés ou même très dégradés selon le niveau et l'ancienneté de l'action de l'homme, mais surtout selon leur niveau de sensibilité.

Dans une situation très perturbée, comme celle de la zone de Zougrata, on peut considérer que les écosystèmes ont entre eux des relations de "filiations". Les flux d'eau et de particules solides (produits de l'érosion) étant très importants, il s'ensuit que les transformations (dégradation ou régénération) d'un écosystème, le long d'une toposéquence donnée, entraînent des transformations au niveau d'écosystèmes voisins, même si l'utilisation de ces derniers par l'homme n'a pas, elle, été significativement modifiée. Par exemple, la mise en culture d'un endroit donné de la plaine sableuse peut entraîner l'édification de dunes mobiles à un autre endroit [1].

La population, dont la densité était en 1978 évaluée à 20 habitants/km², utilise encore les plantes ligneuses de la steppe comme principale source de combustible domestique surtout aux abords des habitations. La récolte de fibres, pour un petit artisanat familial et la construction d'abris précaires, est encore pratiquée. L'élevage reste essentiellement pastoral.

Certaines unités, comme les bas-fonds, sont cultivées en céréales et bénéficient, depuis très longtemps, d'un statut de terres privatives. Le long des talwegs, la céréaliculture et l'arboriculture, également anciennes, se pratiquent derrière des ouvrages de petite hydraulique de surface. Les croûtes calcaires ou gypseuses et les reliefs sont encore très pâturés, en l'absence de tout autre usage possible. La plaine centrale, avec ses steppes dominées par *Rhanterium suaveolens*, est le cadre favori de la forte évolution actuelle des pratiques culturales dans la région. Anciennement lieux traditionnels de parcours, ces milieux, très attractifs pour la céréaliculture, sont aujourd'hui en grande majorité défrichés. Les possibilités assez récentes de mécanisation (citernes métalliques de grande capacité et tractées) ont libéré les agriculteurs de la contrainte liée à l'absence de ressources en eau de cette plaine centrale, leur permettant ainsi de s'y installer. Toutes ces terres sont actuellement, suite à l'apurement foncier, privatisées.

Il a été procédé sur cette région [1] à un suivi, à partir de photographies aériennes, de l'évolution de l'utilisation du sol et des écosystèmes (étendue, niveau de dégradation) en 1948, 1963 et 1975. En 1985 une actualisation de ces données a été effectuée sur la base d'observations de terrain (Tableau I).

Tableau I. Évolution (en %) des terres défrichées et mises en culture à Zougrata de 1948 à 1985.

	1948	1963	1975	1985
% de la surface mise en culture	13,9	31,2	38,2	41,6

En fonction de leur sensibilité, mais également de leur situation géographique, les écosystèmes ont été diversement touchés par cette évolution ainsi que par la dégradation qui en a résulté. Suite à ce diagnostic, un certain nombre de solutions possibles ont été proposées aux aménageurs.

Une démarche et les propositions qui en découlent

L'évolution des divers écosystèmes et de l'ensemble de la région, en réponse à cinq scénarii possibles d'utilisation de l'espace par l'homme, a été simulée, pour un temps de vingt-cinq ans, grâce à l'utilisation des matrices de transition [2, 3].

Cette démarche a permis de comparer [1] l'état actuel à des états prévisibles au terme de vingt-cinq ans. Une synthèse partielle de ces données est apportée sur le Tableau II.

Tableau II. Région de Zougrata - État actuel (1975) et état prévisible de l'occupation des terres (% surface) au terme de vingt-cinq ans (2000) et pour les divers scénarii*.

	État actuel (1975)	Situation prévisible (après 25 ans)		
		scénario 1*	scénario 4*	scénario 5*
total : labours et culture	38,0	44,8	43,3	27,7
parcours dégradés	40,9	40,0	35,1	26,7
parcours bon état	21,0	15,1	21,3	45,5
surface totale parcours	61,9	55,1	56,6	72,2
surfaces désertifiées	7,4	8,7	8,6	7,4

* scénario 1 = maintien du système actuel,
scénario 4 = localisation optimale des cultures,
scénario 5 = aménagement pastoral.

Les scénarii 4 et 5 visent à la mise en place de mesures de limitation ou d'arrêt des phénomènes de dégradation, des sols et de la végétation, tout en assurant un niveau de production acceptable pour les populations locales. Dans le scénario 4, les cultures sont limitées aux zones qui leur sont les plus favorables et aux zones ayant atteint un degré tel de dégradation qu'il n'est plus possible d'y envisager une régénération des parcours par la seule mise en défens même à long terme. Le scénario 5 prévoit à la fois la limitation des cultures aux zones recevant des suppléments d'eau par ruissellement et leur élimination des zones sablauses très fragiles.

Ces deux scénarii, 4 et 5, prenaient, de fait, en compte les notions de "dynamique naturelle" des écosystèmes et de "dégradation irréversible" pour définir le contexte auquel se limitait leur application. Le terme d'écosystèmes désertisés était appliqué aux écosystèmes qui, ayant subi une dégradation trop forte, ne peuvent revenir à leur état antérieur par le seul recours à la mise en défens. Les écosystèmes dans cet état ont franchi un (ou plusieurs) seuil d'irréversibilité. Ces écosystèmes étaient considérés comme représentant la "part du désert", pour laquelle il n'y avait pas de proposition concrète d'aménagement, étant donné en particulier l'absence d'exemple de réussite de réensemencement d'espèces pastorales au dessous de l'isohyète annuel de 300 mm.

Les aménagements proposés ne concernaient donc pas les écosystèmes désertisés définis et délimités sur la base de valeurs seuils atteintes par trois critères : coefficient d'efficacité des pluies pour la recharge des réserves en eau du sol, réserve en eau utile pour la végétation, productivité primaire. Au-delà de valeurs seuils définies pour ces paramètres, un écosystème était considéré comme irréversiblement dégradé (Floret et al., 1977).

La question capitale qui restait posée pouvait dès lors se résumer comme suit : était-il possible d'envisager des interventions permettant de rétablir, sur de tels espaces désertisés, une végétation productive, aisée à gérer et présentant un intérêt pour les populations locales ?

Un programme expérimental pour la réhabilitation de parcours dégradés

Une nouvelle problématique

Un modèle général, décrivant la séquence de dégradation des écosystèmes ainsi que les voies possibles pour y porter remède, a été élaboré [4-9].

Rappelons que les notions, telles que celles relatives à la sensibilité des écosystèmes à la dégradation et à l'irréversibilité éventuelle de la dégradation, étaient déjà nettement définies. Elles permettent en particulier la distinction entre écosystèmes pouvant revenir à leur état antérieur par simple mise en défens (ou rationalisation de la gestion) suivant la voie dénommée "restauration" et écosystèmes qui, échappant à cette possibilité, doivent être soumis à de fortes interventions de l'homme pour leur réhabilitation. La notion de sensibilité peut également être appliquée pour déceler les écosystèmes pouvant, sans crainte d'érosion, être dévolus à la céréaliculture selon la voie maintenant dénommée "réaffectation".

Ne pouvant s'appuyer sur des réussites de resemis d'espèces locales, les aménageurs ont été entraînés par un engouement certain pour les cultures et les plantations d'espèces exotiques ce qui constitue un autre type de réaffectation.

La reconstitution d'écosystèmes pastoraux productifs et résilients, proposée dans la voie dite de la réhabilitation [4-9], constitue donc un enjeu des plus importants. Pour bien situer le problème, nous évoquerons la définition de la réhabilitation en nous attachant essentiellement à mettre l'accent sur ce qui la différencie des autres voies que sont la restauration et la réaffectation. La réhabilitation vise surtout à accroître la productivité de l'écosystème dégradé, auquel elle est appliquée [4, 5], en réparant aussi rapidement que

possible ses fonctions altérées (détruites, diminuées ou bloquées). Il s'agit, pour la réhabilitation, de rétablir la structure et le niveau de fonctionnement en prenant comme modèle (écosystème de référence) un état alternatif stable et autonome de l'écosystème préexistant [4, 5]. Réhabilitation et réaffectation ont en commun de nécessiter une forte intervention humaine. Cette intervention est initiatrice, dans le cas de la réhabilitation, d'un démarrage forcé (*jumpstarting*) de processus qui doivent, si possible, par la suite se poursuivre seuls et s'apparenter alors à ceux de la restauration. Il s'agit là d'une différence essentielle par rapport à la réaffectation pour laquelle il reste périodiquement nécessaire de "subventionner" l'écosystème artificiel mis en place. Par exemple, pour une plantation d'arbustes fourragers exotiques, il est nécessaire, en plus de la plantation, de procéder durant parfois plusieurs années à des irrigations périodiques, puis à des regarnis (remplacement des individus morts), éventuellement à la récolte de la production et, en fin de compte, au terme de la durée de vie de l'espèce, à l'établissement d'une nouvelle plantation.

Pour l'ensemble du sud-tunisien, mais en particulier pour notre zone d'étude fortement dégradée, il est apparu intéressant d'explorer plus avant les possibilités offertes par la réhabilitation appliquée à de vastes espaces devenus improductifs en raison principalement de la disparition des semenciers des espèces steppiques pérennes éliminées par les labours et le surpâturage. Une recherche expérimentale sur la réhabilitation, par resemis d'espèces locales, a donc été entreprise. En complément d'un grand nombre d'études conduites au laboratoire, en chambres de culture, etc., il a été procédé à des essais au champ dans le site dit de Menzel Habib, sur le plateau d'Hamilet El Babouch dans la plaine de Zougrata précédemment décrite, ainsi que dans un autre site à El Fjé près de Médenine.

L'objectif principal était de reconstituer des steppes productives et résilientes à partir d'espèces locales complémentaires dans leur utilisation des ressources hydriques rares (complémentarités des cycles biologiques et de distribution spatiale des systèmes racinaires). Réhabiliter un écosystème implique que soient d'abord recherchées les causes majeures ayant entraîné le caractère d'irréversibilité de la dégradation. Ces causes sont relativement bien cernées en zone aride tunisienne. Il s'agit, séparément ou simultanément, de la diminution du stock grainier viable du sol, de la perte de fertilité des sols, de la tronçuration des horizons superficiels et/ou de la modification des états de la surface du sol provoquant une grave réduction de l'infiltrabilité des eaux. Selon le contexte, la réhabilitation devra donc s'appuyer sur la reconstitution du stock de graines viables, la remontée de la fertilité et/ou la réactivation du fonctionnement hydrique du sol.

Un certain nombre d'hypothèses soutiennent les travaux entrepris, tant au laboratoire que sur le terrain :

- les espèces locales sont les mieux adaptées aux conditions édaphiques de la zone ainsi qu'aux fluctuations climatiques liées au climat aride ;
- quand elles sont installées, les espèces pérennes présentent la meilleure capacité d'utilisation des ressources en eau, rares en zones arides ;
- il est possible de constituer des mélanges d'espèces locales pérennes (herbacées et ligneuses basses) exploitant, complémentarément et efficacement (production végétale élevée et étalée dans le temps), la ressource en eau irrégulièrement disponible dans l'espace et dans le temps ;

- en année sèche, les espèces resteront en forte concurrence, au bénéfice cependant probable de celles susceptibles de croître durant la saison de plus grande disponibilité de cette ressource (la saison fraîche en zone ouest-méditerranéenne). En année favorable, les diverses espèces pourront réellement exprimer leurs potentialités (cycle biologique contrasté et production) au bénéfice des espèces qui, croissant en saison chaude, présentent généralement une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau du sol ;

- le semis de tels mélanges d'espèces, dénommées aussi espèces clef de voûte [4], peut aboutir à la constitution d'écosystèmes simplifiés (nombre réduit d'espèces), mais présentant cependant les traits essentiels (structure, production et résilience) de l'écosystème complexe qu'il est censé reproduire ;

- un écosystème simplifié ainsi constitué permet d'abréger de façon importante le temps nécessaire pour qu'un écosystème gravement endommagé retrouve son état antérieur (ou un état alternatif stable voisin). Cette hypothèse se base sur le fait que la mise en place de cet écosystème simplifié entraînera à la fois un piégeage des diaspores transportées par le vent (quand un couvert pérenne suffisant aura été établi) et une réactivation du fonctionnement hydrique du sol, accroissant par là même la possibilité d'expression du stock de graines viables du sol. La complexité progressivement acquise par le nouvel écosystème en augmentera et la résilience et la stabilité.

Les études entreprises

Une séquence de recherches menées durant une dizaine d'années [10, 11] a intégré des travaux menés le plus souvent conjointement au laboratoire et sur le terrain : diversité génétique du matériel végétal disponible (Ferchichi, thèse en cours), étude de germination [12-15], expérimentation sur la phase d'installation [16], étude de comportement phénologique dans diverses conditions édapho-climatiques [17], efficacité comparée vis-à-vis de la ressource hydrique [18-24], étude comparée de la réponse de mélanges de deux espèces à des régimes hydriques contrastés (Chaïeb, *op. cit.*), essai au champs de reconstitution d'un écosystème de référence [5, 21]. Tous ces travaux ayant été pour l'essentiel déjà publiés, nous n'évoquerons ici que la tentative de réhabilitation au champ, entreprise en application des lignes de recherche précédemment évoquées. C'est cette expérimentation qui a été menée sur une parcelle sise à Menzel Habib dans la plaine de Zaograta.

Le site d'étude de Menzel Habib

Le site (34°15' lat. N ; 9°39' long. E ; alt. approximative 80 m) se trouve à proximité du village de Menzel Habib. Comme l'ensemble de cette région, le site est sous bioclimat aride inférieur à hivers doux [25] (Emberger, 1953), avec une pluviométrie moyenne annuelle estimée à 175 mm [1]. Le plateau d'Hamilet El Babouch présente une pente très faible de direction nord-sud. Le sol en place est un matériau à nodules calcaires, peu épais (20 cm) et reposant sur du Miopliocène en place. Il s'agit de toute évidence d'un ancien sol limono-sableux tronqué à la suite d'une longue mise en culture [1]. Cette éventualité montre le passage possible entre la séquence des systèmes écologiques dominés par *Rhanterium suaveolens* (sur sols sableux) et ceux de la séquence à *Artemisia herba-alba* (sur sols limoneux). Le site est une zone cultivée en céréales lors des années favorables et livrée par ailleurs au pâturage, malgré l'extrême pauvreté du couvert végétal dans ces

situations. De ce fait, les témoins de la possible appartenance aux écosystèmes de la séquence à *Rhanterium suaveolens* ont aujourd'hui disparu alors qu'il subsiste encore quelques très rares individus rabougris d'*Artemisia herba-alba*.

Un second site expérimental a également été établi à El Fjé (33°31' lat. N ; 10°41' long. E ; alt. approximative 15 m). Il s'agit d'une friche post-culturale, sous même bioclimat qu'à Menzel Habib, mais sur siérozem un peu plus épais et portant antérieurement une steppe à *Rhanterium suaveolens*. Les données relatives à cette station ne seront évoquées que pour préciser ou nuancer celles discutées pour Menzel Habib.

Le protocole expérimental : initiation et mise en place

Choix des mélanges

Pour ce point crucial, notre choix était de recourir à des mélanges simples (nombre réduit d'espèces) d'espèces considérées comme complémentaires pour une utilisation optimale de la ressource hydrique et étant de surcroît de bonnes espèces pastorales (appétabilité, production). Les espèces constitutives de ces mélanges devaient être des espèces clef de voûte [4, 5] de (ou des) l'écosystème de référence retenu comme correspondant à l'écosystème en place sur le site antérieurement à sa dégradation. Dans le cas présent, puisqu'il subsistait une incertitude quant à l'écosystème de référence, deux mélanges ont été retenus, pour le site de Menzel Habib, avec comme objectif de viser à la réhabilitation d'une steppe soit à *Rhanterium suaveolens* (mélange A), soit à *Artemisia herba-alba* (mélange B). Les caractéristiques de ces deux mélanges sont rapportées sur les Tableaux III et IV.

La composition et les caractéristiques des semences d'un troisième mélange (C), semé à El Fjé, sont indiquées sur le Tableau V.

Tableau III. Caractéristiques essentielles du mélange A (Menzel Habib).

Espèces	Capacité germinative en laboratoire (%)	Poids de 1000 graines (g)	Dose de semis (kg ha ⁻¹)	Densité gr. aptes à germer (grain m ⁻²)
<i>Rhanterium suaveolens</i>	15	0,965	14	217
<i>Stipa lagascae</i>	62,5	6,590	10,5	98
<i>Cynchrus ciliaris</i>	32	2,340	10,5	143
<i>Plantago albicans</i>	51	0,872	3,5	204
Total graines aptes à germer m ⁻²				662

Tableau IV. Caractéristiques essentielles du mélange B (Menzel Habib).

Espèces	Capacité germinative en laboratoire (%)	Poids de 1000 grains (g)	Dose de semis (kg ha ⁻¹)	Densité gr. aptes à germer (grain m ⁻²)
<i>Arrhenia hexcha-alba</i>	2,5	0,68	55	232
<i>Stipa parviflora</i>	33	0,7	10,5	495
<i>Cenchrus ciliaris</i>	3,2	2,340	10,5	143
<i>Plantago albicans</i>	51	0,872	3,5	204
Total graines aptes à germer m ⁻²				1 044

Tableau V. Caractéristiques essentielles du mélange C (El Fjé).

Espèces	Capacité germinative en laboratoire (%)	Poids de 1000 grains (g)	Dose de semis (kg ha ⁻¹)	Densité gr. aptes à germer (grain m ⁻²)
<i>Rhynchospora suaveolens</i>	15	0,965	10	160
<i>Cenchrus ciliaris</i>	32	2,340	8	115
<i>Stipa lagascae</i>	62,5	6,580	6	60
<i>Lolium eretikus</i>	96,5	0,895	4	450
<i>Plantago albicans</i>	51	0,872	3,5	204
Total graines aptes à germer m ⁻²				989

Contexte climatique de la période expérimentale

Les deux sites (Menzel Habib et El Fjé) ont présenté, durant la période d'expérimentation (1989-1993), des caractéristiques climatiques très dissemblables (Tableau VI). Globalement, le site de Menzel Habib a bénéficié de conditions bien plus favorables que celui d'El Fjé. Les semis y ont été effectués en janvier 1990 dans des conditions particulièrement favorables.

Tableau VI. Pluviométrie annuelle (en mm) à Menzel Habib et El Fjé durant la période octobre 1989 à avril 1993.

Année	Menzel Habib	El Fjé
1989/1990	537	222,5
1990/1991	151,5	124,5
1991/1992	226,5	141
1992/1993	190	69,5

Dispositif expérimental : les mesures et observations

Pour les deux sites, le même principe de base retenu a été de tirer parti de la pente pour améliorer le bilan hydrique au niveau des parcelles semées. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 240 m² (40 x 6 m) et sont bordées à l'aval sur leur longueur de bandes d'impluvium de 3 m de large (Figure 2). A Menzel Habib, parmi toutes les possibilités, nous avons opté pour les choix suivants :

- un témoin externe (non clôturé) pâturé, non labouré,
- un témoin interne, clôturé, travaillé, non ensemençé,
- 3 parcelles élémentaires, clôturées, travaillées et ensemençées pour chacun des deux mélanges proposés (au total 6 parcelles). Pour ces parcelles ensemençées, il a été procédé, par la suite, à l'installation d'une clôture supplémentaire délimitant ainsi les portions soumises au pâturage et celles maintenues en défens (Figure 2).

Le semis des différentes parcelles a été effectué simultanément (21 janvier 1990) manuellement, à la volée, sur un sol préalablement scarifié à l'automne.

L'ensemble de ce dispositif a été répété sur le site d'El Fjé. Les observations et mesures effectuées sont de quatre types, à savoir : des listes floristiques et des mesures de densité, de recouvrement des espèces, de la végétation et des divers états de surface.

Résultats suivi d'"attributs vitaux" des écosystèmes réhabilités

Le document CCE [11] contenant l'ensemble des résultats obtenus, nous ne présentons ici que les résultats du suivi de quelques attributs vitaux de l'écosystème [4, 5] considérés comme importants pour juger de l'"état de santé" des écosystèmes et évaluer le succès relatif de tentatives de réhabilitation. Ces attributs sont relatifs à la flore, à la végétation et aux états de surface du sol.

Il est important, pour la lecture des résultats, de tenir compte du fait que, dans notre situation, le témoin interne et les parcelles ensemençées expérimentalement sont mis en protection depuis la fin de 1989. Au contraire le témoin externe et les données relatives aux écosystèmes de référence concernent des steppes soumises au pâturage traditionnel.

La flore et son évolution

Ce terme recouvre de fait plusieurs des attributs que l'on peut discuter et interpréter à partir de l'ensemble des données, rassemblées sur le Tableau VII, correspondant à des relevés effectués à Menzel Habib le 28 avril 1993. Les listes floristiques complètes des écosystèmes de référence ont été relevées sur des stations voisines [26].

L'attribut "stock de graines viables du sol" est abordé sous un aspect très pragmatique, celui de la flore réellement exprimée par l'ouverture d'un sol par un scarifiage. Il s'agit très précisément de la partie du stock de graines viables ayant germé dans les conditions de l'expérimentation. Sur le Tableau VIII, nous porterons notre attention aux espèces présentes dans les deux témoins et concernant le stock de graines viables exprimé. Ces résultats peuvent être résumés comme suit :

- témoin externe : 17 espèces (8 annuelles/9 pérennes) ;
- témoin interne : 32 espèces (19 annuelles/13 pérennes).

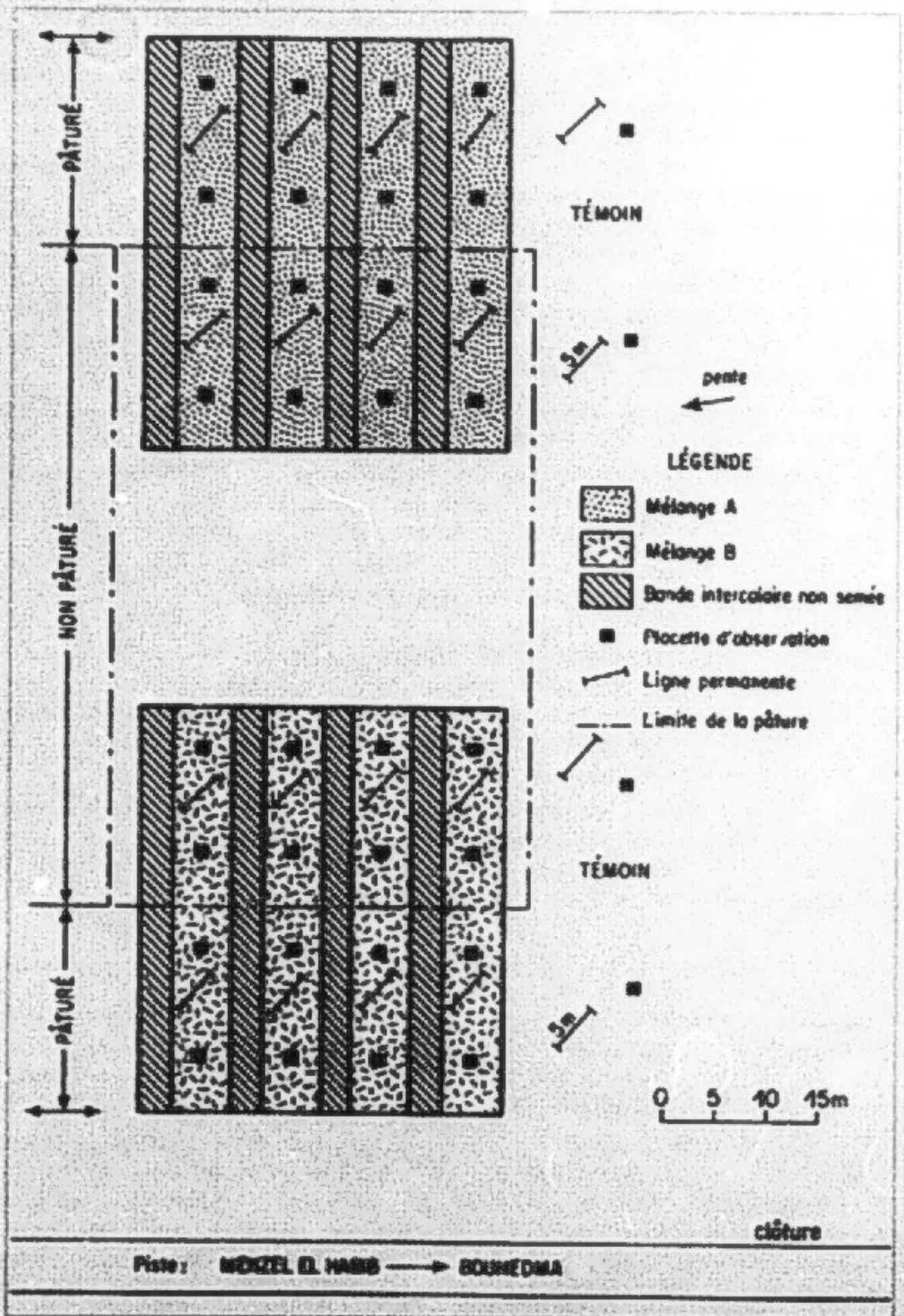


Figure 2. Dispositif expérimental des essais de réhabilitation à Mezzel Habib.

Tableau VII. Relevés floristiques / Menzel Habib (28 avril 1993).

	Témoins	Témoins	Semis		Steppes de référence	
	externe non travaillé	interne travail du sol pas de semis	Mélanges A	B	<i>Rhasterium</i> <i>saareolens</i>	<i>Artemisia</i> <i>herba-alba</i>
<i>Erodium glaucophyllum</i>	8*	1	+	+		g**
<i>Diplostaxis harrta</i>	1	3	•	•	0	0
<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	2	2	+	+	0	0
<i>Filago germanica</i>	1	1	1	1	0	0
<i>Plantago albicans</i> ***	1	2	2	2	0	0
<i>Artemisia campestris</i>	•	+	•	•	0	0
<i>Pituranthos torturatus</i>	•	+	•	•	0	0
<i>Nonoa vesicularia</i>	+	+	+	+	0	0
<i>Aspidelatus tenuifolius</i>	+	1	+	+	0	0
<i>Fagonia glutinosa</i>	+	+			0	0
<i>Herniaria fontanessi</i>	+	+			0	0
<i>Linaria aegyptiaca</i>	+	+	•	•	0	0
<i>Lamnaa resedifolia</i>	+	+	+	+	0	0
<i>Teucrium polium</i>	•			•	0	0
<i>Echium pycnanthum humile</i>	+				0	0
<i>Matricaria aurea</i>	+	+	+	+	0	0
<i>Atractylis flava</i>	+	+	•	•	0	0
<i>Astragalus cruciatus</i>		+	•	•	0	0
<i>Koeleria linearis</i>		•	•	•	0	0
<i>Haplophyllum tuberculatum</i>		•	•	•	0	0
<i>Bupleurum semicompositum</i>		•			0	0
<i>Argyrodobium uniflorum</i>		•	•	•	0	0
<i>Volularia lippii</i>		•		•	0	0
<i>Carthamus lanatus</i>		+	•	•	0	0
<i>Lotus pusillus</i>		+	+	+	0	0
<i>Hippocrepis bicondorta</i>		•			0	0
<i>Medicago truncatula</i>		+	•	•	0	0
<i>Astragalus gyzensis</i>		+	•	•	0	0
<i>Anagallis arvensis</i>		+	•	•	0	0
<i>Cotandic dichotoma</i>		•	•	•	0	0
<i>Salvia verbenaca clandest.</i>		•			0	0
<i>Centaurea farfugacea</i>		+			0	0
<i>Polygonum equisetifolium</i>		•		•	0	0
<i>Cynodon dactylon</i>		+			0	0
<i>Rhasterium saareolens</i>			15	•	0	0
<i>Stipa laguncar</i>			1	1	0	0
<i>Cenchrus ciliaris</i>			+	+	0	0
<i>Stipa retorta</i>			+	+	0	0
<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>			+	+	0	0
<i>Trigonella anguina</i>			•	•	0	0
<i>Koeleria pubescens</i>			+	•	0	0
<i>Salvia aegyptiaca</i>			•		0	0
<i>Onopordum arenarium</i>			•		0	0
<i>Picris coronopifolia</i>			•		0	0
<i>Euphorbia retusa</i>			•		0	0
<i>Artemisia herba-alba</i>				2	0	0
<i>Stipa parviflora</i>				+	0	0
<i>Trigonella striata</i>				+	0	0
espèces totales	17	32	33	36	64	91

Ne sont rapportées ici que les espèces présentes dans l'une, au moins, des parcelles du site expérimental.
 * Chiffre (exemple 8) = recouvrement % ; + = espèce ayant un couvert < 1 % ; • = espèce présente avec 1 à quelques individus isolés ; g** = espèce présente dans les écosystèmes de référence.
 Les espèces étudiées, lors de la réhabilitation, sont inscrites en gras.
 Cf. : listes complètes des steppes de référence dans Floret et Ponsier (1982).

L'année ayant été pluvieuse, la germination des espèces en a été grandement facilitée. Mais, malgré ces conditions favorables, le couvert végétal total du témoin externe non travaillé n'a atteint que 3 % de la surface du sol. Les deux témoins ont en commun 15 espèces. Fait à signaler, deux seulement des espèces pérennes (*Teucrium polium* et *Echium pycnanthum*) sont présentes dans le témoin externe et absentes du témoin interne d'où elles ont pu être éliminées lors du travail du sol. Le travail du sol a favorisé, par contre, la germination de 17 espèces non présentes dans le témoin externe. Dans cette flore révélée par le labour, il faut signaler six légumineuses (dont une pérenne).

Cette flore, émanant du stock de graines viables du sol, ne présente cependant que peu de parenté avec celles des deux écosystèmes de référence. Seules, respectivement, 13 et 21 espèces sont communes aux deux témoins et à la steppe à *Rhanterium suaveolens* (64 espèces au total). De même, seules 13 et 23 espèces sont communes respectivement aux deux témoins et à la steppe à *Artemisia herba-alba* (91 espèces au total). Neuf espèces, au total, sont communes à la fois aux deux témoins et aux deux steppes de référence. Ces stades post-cultureux n'ont donc apparemment que peu de parenté avec l'une ou l'autre des deux steppes de référence. Cette indétermination justifie le choix opéré d'expérimenter deux mélanges pour la réhabilitation de ce milieu.

Les deux parcelles semées ont également en commun sept espèces, parmi les espèces absentes des témoins. Quatre de ces espèces n'ont pas été introduites par les semis. Il n'est cependant pas possible de décider, à leur propos, s'il s'agit de l'effet d'une meilleure expression du stock de graines du sol (infiltration de l'eau améliorée, etc.) ou d'un éventuel piégeage de diaspores par le couvert mis en place.

La partie du stock de graines viables du sol, exprimée dans les conditions de l'expérimentation, s'avère déficitaire et surtout ne présente qu'une très faible parenté avec les écosystèmes de référence. L'absence, au niveau des témoins (à l'exception de *Plantago albicans*), des espèces considérées comme candidates pour une éventuelle réintroduction est un indice, malgré l'importance relative du stock grainier viable exprimé, de l'état de dégradation de ces surfaces et de leur incapacité, depuis longtemps constatée, de reconstituer la steppe de référence en l'absence d'une intervention très forte de l'homme. Il est donc justifié que soient entrepris des essais de réhabilitation par réintroduction d'espèces spontanées locales.

Le panorama général des données permettant d'aborder l'attribut "richesse floristique" est donné sur le Tableau VIII.

Tableau VIII. Richesse floristique totale, (annuelles et pérennes) pour les témoins, les parcelles ensimencées (avril 1993) et les écosystèmes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
Richesse	17	32	33	36	64	91
floristique totale	(9/9)*	(19/13)	(21/12)	(22/14)	(41/23)	(63/21)

* : le premier chiffre indique le nombre d'annuelles et le second celui des pérennes.

La lecture de ce tableau indique que la flore des parcelles ensemencées n'est pas, à la date des observations, singulièrement plus riche que celle du témoin interne (protégé, travaillé, non ensemencé). Un certain nombre d'espèces des stades post-culturels très ouverts, présentes dans ce témoin, ont disparu alors que sont apparues des espèces des stades steppiques jeunes.

Il est évident qu'à part le témoin externe toutes les formations analysées (témoin interne, parcelles semées des deux mélanges) et les deux écosystèmes de référence ont des ratios annuelles/pérennes voisins.

Le troisième attribut relevé est l'attribut vital "couvert végétal total". Les mesures sont, pour cet attribut, effectuées sur le terrain par la méthode dite "des points quadrats" [27]. Les dernières mesures relatives à cet attribut ont été effectuées le 18 avril 1994 pour les diverses parcelles du site de Menzel Habib et sont rapportées sur le Tableau IX. Ayant été effectuées lors d'une journée sans vent, et étant donc plus fiables, elles sont retenues comme référence pour le calage des données relevées les années précédentes et déjà présentées dans le rapport CCE 1973 [11]. Les résultats présentés dans ce rapport étant systématiquement surestimés doivent donc être révisés à la baisse ; les conclusions qui en ont été tirées restent cependant valables.

Tableau IX. Couvert végétal total (%) des témoins, des parcelles ensemencées (avril 1994) et des écosystèmes de référence (moyennes).

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
Couvert annuelles	0,1	0,4	0,2	0,1	15	10
Couvert pérennes	0,6	8,0	37,2	19,5	50	35
Couvert total (%)	0,7	8,4	37,6	19,6	60	40

Les parcelles ensemencées avec le mélange A (steppe à *Rhanterium suaveolens*) ont toujours présenté un couvert végétal total plus élevé que celui des parcelles ensemencées avec le mélange B (steppe à *Artemisia herba-alba*). A la date d'observation du 18 avril 1994, le couvert végétal total était sensiblement deux fois plus élevé dans les parcelles semées avec le mélange A que dans celles semées avec le mélange B. Dans le témoin externe (non protégé, non cultivé), le couvert reste négligeable. Seules la mise en culture et la protection intégrale présentent un intérêt certain pour l'accroissement du couvert végétal.

Dans ce cas de tentative de réhabilitation par resemis d'espèces, l'attribut vital espèces clef de voûte s'avère être particulièrement important à considérer. En effet, les espèces semées en mélange sont celles qui, pour la situation du site de Menzel Habib, ont été considérées comme étant potentiellement clef de voûte pour le fonctionnement des écosystèmes de référence retenus. Les résultats peuvent être analysés à partir de l'évolution soit de la densité de chacune des espèces, soit du couvert atteint par l'ensemble des

espèces introduites dans un même mélange ou bien encore en prenant les espèces une à une. Les résultats des données relevées en 1994, complémentaires de celles déjà présentées [11], sont rapportées sur les Tableaux X et XI.

Le suivi périodique de la densité de chacune des espèces est un indicateur important du succès de la réhabilitation et permet de comprendre les mécanismes de la structuration des jeunes formations steppiques. Ces données sont rapportées sur le Tableau X.

Tableau X. Densité (nb d'individus/m²) des espèces clés de voûte dans les témoins, les parcelles enssemencées (avril 1993) et les steppes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0	0	1,2	1,1	+	+
<i>Plantago albicans</i>	0	n.m.*	14,5	15,7	1	+
<i>Stipa lagascae</i>	0	0	0,2	0	0,4	+
<i>Rhanterium suaveolens</i>	0	0	4,4	0	3	0
<i>Stipa parviflora</i>	0	0	0	0,1	+	0,4
<i>Artemisia herba-alba</i>	0	0	-	1,6	0	5
total mélange	0	0	20,3	18,5	4,5	5,5

* n.m. : non mesurée

+ : très faible

Les résultats présentés ne paraissent pas devoir être significativement différents, entre les deux mélanges, si ce n'est au niveau des deux espèces (*Rhanterium suaveolens* et *Artemisia herba-alba*) devant, à terme, marquer physionomiquement les deux formations dont on souhaite l'installation. La densité des espèces semées régresse régulièrement dans tous les mélanges, à partir d'un pic atteint dès la première période de germination [11]. Les résultats doivent, dans la mesure du possible, être interprétés à la lumière de la densité des mêmes espèces dans les écosystèmes de référence. A ce sujet, Floret et Pontanier [26] rapportent pour une steppe à *Rhanterium suaveolens*, mise en défens et considérée comme étant en bon état, une densité totale de 4,5 individus d'espèces pérennes par m² avec par exemple respectivement 3 et 0,4 individus par m² pour *Rhanterium suaveolens* et *Stipa lagascae*.

Les données de densité peuvent également être comparées à la composition et aux densités des mélanges semés des Tableaux III et IV, d'où il ressort des doses totales de semis atteignant respectivement 662 et 1 044 graines au m² pour les mélanges A et B.

A El Fjé, pour le mélange C semé à la dose de semis de 989 graines au m², la densité des plantules, qui était de 113,1 au m² deux mois après l'ensemencement, tombait à 66 en fin du mois de novembre 1991 (22 mois après le semis). Suite à une étude précise effectuée à partir des données de ce site, Neffati *et al.* (sous presse) concluent à une corrélation négative (significative au seuil de 5%), dans un peuplement, entre les densités des espèces

espèces introduites dans un même mélange ou bien encore en prenant les espèces une à une. Les résultats des données relevées en 1994, complémentaires de celles déjà présentées [11], sont rapportées sur les Tableaux X et XI.

Le suivi périodique de la densité de chacune des espèces est un indicateur important du succès de la réhabilitation et permet de comprendre les mécanismes de la structuration des jeunes formations steppiques. Ces données sont rapportées sur le Tableau X.

Tableau X. Densité (nb d'individus/m²) des espèces clés de voûte dans les témoins, les parcelles enssemencées (avril 1993) et les steppes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0	0	1,2	1,1	+	+
<i>Plantago albicans</i>	0	n.m.*	14,5	15,7	1	+
<i>Stipa lagascae</i>	0	0	0,2	0	0,4	+
<i>Rhanterium suaveolens</i>	0	0	4,4	0	3	0
<i>Stipa parviflora</i>	0	0	0	0,1	+	0,4
<i>Artemisia herba-alba</i>	0	0	-	1,6	0	5
total mélange	0	0	20,3	18,5	4,5	5,5

* n.m. : non mesurée

+ : très faible

Les résultats présentés ne paraissent pas devoir être significativement différents, entre les deux mélanges, si ce n'est au niveau des deux espèces (*Rhanterium suaveolens* et *Artemisia herba-alba*) devant, à terme, marquer physionomiquement les deux formations dont on souhaite l'installation. La densité des espèces semées régresse régulièrement dans tous les mélanges, à partir d'un pic atteint dès la première période de germination [11]. Les résultats doivent, dans la mesure du possible, être interprétés à la lumière de la densité des mêmes espèces dans les écosystèmes de référence. A ce sujet, Floret et Pontanier [26] rapportent pour une steppe à *Rhanterium suaveolens*, mise en défens et considérée comme étant en bon état, une densité totale de 4,5 individus d'espèces pérennes par m² avec par exemple respectivement 3 et 0,4 individus par m² pour *Rhanterium suaveolens* et *Stipa lagascae*.

Les données de densité peuvent également être comparées à la composition et aux densités des mélanges semés des Tableaux III et IV, d'où il ressort des doses totales de semis atteignant respectivement 662 et 1 044 graines au m² pour les mélanges A et B.

A El Fjé, pour le mélange C semé à la dose de semis de 989 graines au m², la densité des plantules, qui était de 113,1 au m² deux mois après l'ensemencement, tombait à 66 en fin du mois de novembre 1991 (22 mois après le semis). Suite à une étude précise effectuée à partir des données de ce site, Neffati *et al.* (sous presse) concluent à une corrélation négative (significative au seuil de 5%), dans un peuplement, entre les densités des espèces

semées et celles des espèces spontanées (stock de graines). Les mêmes auteurs rapportent également une corrélation positive et très hautement significative entre la densité des jeunes individus au printemps et leur taux de mortalité au cours de la saison estivale qui suit. Ceci confirme que la compétition entre plantules est forte dans les milieux arides [28].

L'équilibre n'est pas encore atteint, dans les parcellesensemencées, quatre années après le semis pour la réhabilitation. Cependant, à la date du 15 avril 1993 *Rhanterium suaveolens* présentait, respectivement dans les deux mélanges (A et C) où il était semé, une densité de 4,4 et 4 individus par m². Dans les mêmes situations, *Stipa lagascae* apparaissait à la densité de 0,2 et 6,7 individus par m². Si les espèces semées se révèlent être effectivement des espèces clef de voûte, il est vraisemblable qu'une régulation s'effectue progressivement, l'accroissement du couvert et de la biomasse des espèces introduites entraînant la régression des autres espèces moins compétitives. Le temps entrainera également la disparition progressive de la flore post-culturale (y compris la raréfaction de *Plantago albicans*) installée à la faveur de l'ouverture du sol. Le pâturage conduit également à de nouveaux équilibres en fonction du niveau de pression pastorale.

Pour ce même attribut vital espèces clef de voûte il est également possible de se référer au couvert des espèces introduites (Tableau XI).

Tableau XI. Couvert (C en %) des espèces "clef de voûte" dans les témoins, les parcellesensemencées (avril 1994) et les steppes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium</i>	<i>Artemisia</i>
					<i>suaveolens</i>	<i>herba-alba</i>
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0	0	0,25	0,2	+	+
<i>Plantago albicans</i>	0	3,8	1,1	2,3	-2	+
<i>Stipa lagascae</i>	0	0	0,15	0	-2	+
<i>Rhanterium suaveolens</i>	0	0	31,3	0	-2,5	0
<i>Stipa parviflora</i>	0	0	0	0,1	< 1	< 1
<i>Artemisia herba-alba</i>	0	0	0	5	0	25
Total	0	3,8	32,8	7,6	-28	-26

+ : très faible

Le couvert atteint par les espèces du mélange A est nettement plus élevé que celui des espèces du mélange B, avec un rapport de 1 à 3. En ce qui concerne le couvert total dans les parcelles (espèces introduites et spontanées confondues), les différences sont bien moins fortes entre les deux mélanges, avec cependant un niveau d'environ 25 % plus élevé pour les parcellesensemencées avec le mélange A. Dans le cas des parcellesensemencées à partir du mélange B, il semble que les espèces spontanées tendent à s'établir dans l'espace non occupé par les espèces semées.

semées et celles des espèces spontanées (stock de graines). Les mêmes auteurs rapportent également une corrélation positive et très hautement significative entre la densité des jeunes individus au printemps et leur taux de mortalité au cours de la saison estivale qui suit. Ceci confirme que la compétition entre plantules est forte dans les milieux arides [28].

L'équilibre n'est pas encore atteint, dans les parcellesensemencées, quatre années après le semis pour la réhabilitation. Cependant, à la date du 15 avril 1993 *Rhanterium suaveolens* présentait, respectivement dans les deux mélanges (A et C) où il était semé, une densité de 4,4 et 4 individus par m². Dans les mêmes situations, *Stipa lagascae* apparaissait à la densité de 0,2 et 6,7 individus par m². Si les espèces semées se révèlent être effectivement des espèces clef de voûte, il est vraisemblable qu'une régulation s'effectue progressivement, l'accroissement du couvert et de la biomasse des espèces introduites entraînant la régression des autres espèces moins compétitives. Le temps entrainera également la disparition progressive de la flore post-culturale (y compris la raréfaction de *Plantago albicans*) installée à la faveur de l'ouverture du sol. Le pâturage conduit également à de nouveaux équilibres en fonction du niveau de pression pastorale.

Pour ce même attribut vital espèces clef de voûte il est également possible de se référer au couvert des espèces introduites (Tableau XI).

Tableau XI. Couvert (C en %) des espèces "clef de voûte" dans les témoins, les parcellesensemencées (avril 1994) et les steppes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0	0	0,25	0,2	+	+
<i>Plantago albicans</i>	0	3,8	1,1	2,3	-2	+
<i>Stipa lagascae</i>	0	0	0,15	0	-2	+
<i>Rhanterium suaveolens</i>	0	0	31,3	0	-2,5	0
<i>Stipa parviflora</i>	0	0	0	0,1	< 1	< 1
<i>Artemisia herba-alba</i>	0	0	0	5	0	25
Total	0	3,8	32,8	7,6	-28	-26

+ : très faible

Le couvert atteint par les espèces du mélange A est nettement plus élevé que celui des espèces du mélange B, avec un rapport de 1 à 3. En ce qui concerne le couvert total dans les parcelles (espèces introduites et spontanées confondues), les différences sont bien moins fortes entre les deux mélanges, avec cependant un niveau d'environ 25 % plus élevé pour les parcellesensemencées avec le mélange A. Dans le cas des parcellesensemencées à partir du mélange B, il semble que les espèces spontanées tendent à s'établir dans l'espace non occupé par les espèces semées.

Au niveau spécifique, *Rhanterium suaveolens* paraît très bien installé, de même que *Cenchrus ciliaris*. *Artemisia herba-alba* est resté très discret, le couvert des individus n'ayant pas compensé la faible densité de cette espèce. Il est reconnu que l'ouverture du sol favorise, durant au moins quelques années, les psammophytes (ex. *Rhanterium suaveolens*) et les annuelles spontanées, au détriment des limonophytes (*Artemisia herba-alba*) [29]. Il est cependant probable qu'un glaçage progressif de la surface du sol entraîne, à terme, une évolution inverse.

L'attribut vital "état de la surface du sol" a également été examiné et les résultats ont été synthétisés sur le Tableau XII.

Tableau XII. État de surface (en %) dans les témoins (externe et interne), les parcelles enssemencées (avril 1964) et les steppes de référence.

	Témoin externe	Témoin interne	Parcelles semées		Steppes de référence	
			mélange A	mélange B	<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Artemisia herba-alba</i>
			Battance	77,3	63,5	56,5
Litière	8,0	19,6	28,9	26,5	- 5	- 5
Gravier	6,6	6,2	1,5	2,0	- 1	- 35
Terre nue	6,3	2,6	2,1	2,6	- 4	- 2
Escargot	1,4	1,0	1,0	1,0	0	0
Fèces	0,4	0,2	0,0	0,0	0	0
Voile sableux	0,0	6,9	10,0	4,8	- 85	- 0

A défaut de la possibilité de suivre aisément certains flux caractérisant la dynamique de l'eau, nous avons retenu d'évaluer, en tant qu'indicateurs du fonctionnement hydrique (infiltration, ruissellement, évaporation) au niveau de l'écosystème, les états de la surface du sol [30, 31].

Si l'on considère les paramètres "état de surface" permettant de juger d'une possible évolution favorable du fonctionnement hydrique d'un écosystème (abondance de la matière organique, voile sableux), il faut constater que les parcelles enssemencées avec le mélange A présentent les meilleures performances. Ces meilleures performances du mélange A sont à lier à celles également atteintes, par le même mélange, en ce qui concerne le couvert végétal total, le couvert des espèces semées ou encore le couvert maximum atteint par une espèce (en l'occurrence *Rhanterium suaveolens*).

Cet ensemble de données et plus particulièrement le relatif insuccès du développement de la végétation dans les parcelles enssemencées à base du mélange B (*Artemisia herba-alba*) indique que la steppe à *Rhanterium suaveolens* doit vraisemblablement être considérée comme steppe de référence, sur le site de Menzel Habib.

Conclusion

Nous avons présenté la réhabilitation à travers des résultats de mesures effectuées sur un certain nombre d'attributs vitaux de l'écosystème, ignorant volontairement les divers aspects techniques des opérations entreprises (composition des mélanges semés, technique de semis, mode de gestion). Tous ces résultats, qui présentent beaucoup d'intérêt, sont exposés par ailleurs [11, 12]. En particulier, l'un des thèmes intéressants non abordé ici est celui des effets du mode gestion. Il s'agit bien, en effet, de reconstruire des écosystèmes qui puissent non seulement être pâturés, mais qui soient éventuellement favorisés par un pâturage dont l'intensité et le rythme seraient raisonnés.

La restauration, suite à la mise en défens, s'effectue par un accroissement constant de la densité et du couvert d'espèces déjà presque toutes présentes [32]. La réhabilitation par semis d'espèces clef de voûte entraîne, elle, un accroissement global très soudain de la densité des espèces et une progression globale du couvert. Par la suite, des ajustements s'opèrent par réduction parfois assez brutale de la densité globale alors que le couvert progresse. Au niveau des espèces, l'évolution de la densité peut, pour certaines d'entre elles, s'effectuer de manière plus progressive.

Il est nécessaire que la date des semis coïncide avec le moment où l'humidité et la température du sol sont à des niveaux favorables et suffisamment élevés pour que la germination puis l'émergence des plantules puissent se réaliser rapidement [28, 33] (Whyte *et al.*, 1959). Plusieurs autres précautions, dont il n'est pas toujours aisé de tenir précisément compte, peuvent, éventuellement, favoriser ou entraver l'installation de telle ou telle espèce. Ainsi, par exemple, *Rhazaria suaveolens* nécessite, pour pouvoir germer, des précipitations suffisamment élevées pour lessiver les substances inhibitrices (Neffati, 1994). La faculté germinative de certaines espèces, telles que *Artemisia herba-alba*, diminue très rapidement dans le temps [15] et l'emploi de semences déjà anciennes peut réduire les chances de succès (Tableau IV).

L'installation d'une espèce dépend, en plus de ses aptitudes à germer et à résister au stress hydrique, de son aptitude à résister à la compétition pour l'eau exercée par les autres espèces [34]. La mise en place de l'écosystème réhabilité est donc sous le contrôle, plus ou moins prolongé, des espèces spontanées présentes et plus particulièrement des espèces post-culturales. Une forte densité de ces espèces spontanées peut limiter sensiblement la capacité de survie des plantules des espèces réintroduites. Il s'agit là d'une difficulté concrète puisque l'existence d'un stock de semences viables dans le sol est à la fois un gage d'évolution floristique rapide de la nouvelle formation et une difficulté supplémentaire pour la bonne installation des espèces réintroduites. Le succès d'une réintroduction est, en quelque sorte, un test de la pertinence du choix d'espèces réellement clef de voûte pour l'écosystème en question. Ces espèces clef de voûte sont le plus souvent les meilleures compétitrices ainsi que les espèces les mieux adaptées aux perturbations et au mode de gestion des parcours dans la région.

Il est vraisemblable qu'une espèce majeure dominant physionomiquement l'écosystème final, comme *Rhazaria suaveolens* dans le site de Menzel Habib, retrouve assez rapidement sa densité optimale (densité des formations naturelles spontanées en bon état ou restaurées). L'établissement et la stabilisation, plus ou moins rapide, d'une telle espèce, à une densité sensiblement conforme à ce qu'elle est dans l'écosystème de référence, constitue vraisemblablement un test de la réussite de l'opération.

Concernant les aspects éolapho-hydriques de cette expérimentation de réhabilitation, il est évident que, pour atteindre un bon niveau de fonctionnement hydrique, le site réhabilité doit d'abord retrouver son état de surface initial, soit une couverture de voile sableux éolien de 50 % à 70 %. Une telle couverture est le gage d'une bonne infiltration, d'une réduction conséquente de l'évaporation et de bonnes conditions de germination des semences. Pour le site de Menzel Habib, il semble que cette reconstitution du voile sableux soit bien amorcée ; elle dépend cependant de la disponibilité de sable transporté par les vents. Le succès du traitement systématique de la zone contre la déflation éolienne ralentit probablement cette reconstitution du voile sableux de surface.

Les essais entrepris ici ne constituent à vrai dire qu'une étape dans la réhabilitation. Ils ont abouti à la création d'une steppe, fortement dominée par la strate des chaméphytes et hémicryptophytes, proche de la steppe de référence. Cette steppe ne se serait pas aisément réinstallée d'elle-même faute de semenciers et du fait que les milieux de ce plateau d'Hamilet El Babouch ont déjà franchi un seuil d'irréversibilité au-delà de cette steppe de référence.

Depuis lors, un autre programme, déjà engagé, nous a amené à envisager le franchissement de deux seuils et le rétablissement, dans cette situation, d'une steppe arborée dominée par *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* qui, selon toute vraisemblance, préexistait dans cette région. Il s'agit donc de réinstaller la formation pluristrate préexistante par l'introduction, en particulier, de cette légumineuse arborée dont il ne subsiste que quelques reliques très localisées. Le programme prend en compte qu'il faut considérer comme espèces clef de voûte non seulement les végétaux supérieurs, mais également les micro-organismes (*Rhizobium* ssp., etc.) qui leur sont associés. La présence de ces micro-organismes permet aux végétaux supérieurs d'accomplir pleinement leurs fonctions dans les écosystèmes simplifiés mis en place.

Références

1. Floret C., Le Floc'h E., Pontanier R. (1978). Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata. Institut des Régions Arides (Médénine, Tunisie), CEPE/CNRS (Montpellier), ORSTOM (Paris), Division des Sols de Tunisie. Doc. techn. n° 2 (74 p).
2. Leslie Ph. (1945). On the use of matrices in certain population mathematic. *Biometrics* ; 33 : 183-212.
3. Usher M.B. (1966). A matrix approach to the management of renewable resources with special reference to solution forest. *J Appl Ecol* ; 3 : 355-367.
4. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology* ; 1 (1) : 8-17.
5. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. II. Case studies in Southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology* ; 1 (3) : 168-187.
6. Aronson J., Le Floc'h E. (accepté). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems and landscapes : which way Alicante Province ? Colloque d'Alicante.
7. Aronson J., Le Floc'h E. (accepté). Restoration ecology of salt-affected, arid and semi-arid lands. Colloque d'Agadir.

8. Aronson J., Le Floc'h E. (soumis). Vital attributes of ecosystems and landscapes : new tools for restoration ecology. *Restoration Ecology*.
9. Le Floc'h E., Aronson J. (soumis). Ecologie de la restauration. Réponse des écosystèmes à la dégradation et à la fragmentation des paysages. Concepts, vocabulaire et applications. Colloque du marais d'Orx (mai, 1994).
10. CCE (Commission des Communautés Européennes) (1988). Réhabilitation des terres à pâturage et des zones affectées par l'érosion éolienne en Tunisie présaharienne. Rapport Final IRA (Tunisie), CEFE/CNRS (France) et ORSTOM (France) (179 p).
11. CCE (Commission des Communautés Européennes) (1993). Etablissement de nouvelles formations steppiques en Tunisie grâce à l'introduction d'espèces spontanées et exotiques. Rapport Final IRA (Tunisie), CEFE/CNRS (France) et ORSTOM (France) (181 p).
12. Neffati M. (1994). Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces steppiques nord-africaines. Implications pour l'amélioration pastorale. Thèse Université de Gent (Belgique).
13. Neffati M., Akrimi N., Floret C., Le Floc'h E. (1992). Stratégies germinatives de quelques espèces pastorales de la zone aride tunisienne. Conséquences pour le semis des parcours. Actes IV^e Congrès internat. Terres à Pâturages, Montpellier (1991). CIRAD/CIDARC édit. (Montpellier); Vol. 1 : 281-284.
14. Neffati M., Akrimi N., Behaeghe T. (1993). Étude des caractéristiques germinatives des semences de *Salsola vermiculata* var. *villosa* (Del.) Moq. en relation avec l'aridité. *Ecologia Mediterranea*.
15. Neffati M., Akrimi N., Le Floc'h E. (1993). L'étude des conditions de germination des espèces, une nécessité pour le succès des travaux de réhabilitation. *Ecologia Mediterranea* : XIX (1/2) : 39-47.
16. Monroy-Ata A. (1989). Installation de plantes pérennes de la zone aride soumises à des conditions hydriques contrôlées et à des coupes. Thèse de Doctorat, Université Sciences et Techniques Languedoc-Roussillon, Montpellier, France (166 p).
17. Ferchichi A., Neffati M., Le Floc'h E. (1992). Comportement comparé d'espèces pastorales de diverses provenances de la zone aride tunisienne installées en pastoretum. Actes IV^e Congrès internat. Terres à Pâturages, Montpellier (1991). CIRAD/CIDARC édit. (Montpellier); Vol. 1 : 364-367.
18. Chaieb M. (1989). Réponse écologique de trois graminées pérennes soumises à des conditions écologiques contrastées en milieu aride de Tunisie (étude en conditions naturelles semi-contrôlées et contrôlées). Thèse de Doctorat Université Sciences et Techniques du Languedoc-Roussillon (293 p).
19. Chaieb M. (1993). Réponse écophysiological de trois graminées pérennes soumises à des conditions écologiques contrôlées en milieu aride de Tunisie. Doct. d'État Université de Sfax (Tunisie) (238 p).
20. Chaieb M., Floret R., Le Floc'h E., Pontanier R. (1992). Life history strategies and water allocation in five pasture species of the tunisian arid zone. *Arid Soil Research and Rehabilitation* ; Vol. 6 : 1-10.
21. Chaieb M., Floret C., Pontanier R. (1992). Réhabilitation d'écosystèmes pastoraux par réintroduction d'espèces locales de la zone aride tunisienne. Conséquences pour le semis des parcours. Actes IV^e Congrès internat. Terres à Pâturages, Montpellier (1991). CIRAD/CIDARC édit. (Montpellier). Vol. 1 : 259-261.
22. Chaieb M., Pontanier R. (1992). Efficacité de l'utilisation de l'eau du sol pour trois graminées pérennes de la zone aride tunisienne. *Bull Soc Sc nat Tunisie* ; 20-21 : 50-53.
23. Ourcival J.M. (1992). Réponses de deux chaméphytes de la Tunisie présaharienne à différentes contraintes et perturbations. Doctorat Faculté Sciences et Techniques du Languedoc, Université Montpellier II (178 p).
24. Ourcival J.M., Floret C., Le Floc'h E., Pontanier R. (sous presse). Water relations between two perennial species in the steppes of southern Tunisia. *Journal of Arid Environments*.

25. Le Houérou H.N. (1959). Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Mémoire I.S. Inst. Rech. Sahariennes Alger, 2 Vol (228 p).
26. Floret C., Pontanier R. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. et documents de l'ORSTOM, Paris, n°150 (544 p).
27. Goodall D.W. (1952). Some considerations in the use of points quadrats for the analysis of vegetation. *Australian J of Sci Res* ; 5 : 1-41.
28. Bellotti W.D., Blair G.J. (1989). The influence of sowing method on perennial grass establishment. III. Survival and growth of emerged seedlings. *Australian J of Sc Res* ; 40 : 323-331.
29. Telahigue T., Floret C., Le Floch E. (1987). Succession post-culturelle en zone aride de Tunisie. *Acta Oecologia/Oecol Plant* ; 8 (22) n°1 : 45-58.
30. Escadafal R. (1981). Une méthode nouvelle de description de la surface du sol dans les régions arides. *Sols* ; 5 : 21-27.
31. Casenave A., Valentin C. (1989). Les états de surface dans la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM ; Didactiques, Paris (229 p).
32. Floret C. (1981). The effects of protection on steppic vegetation in the mediterranean arid zone of southern Tunisia. *Vegetatio* ; 46 : 117-119.
33. Pearson C.J., Ison R.L. (1987). *Agronomy of grasslands systems*. Cambridge Univ. Press. (169 p).
34. Reichenberger G., Pyke D.A. (1980). Impact of early root competition on fitness components of four six semiarid species. *Oecologia* ; 85 : 159-166.

FIN

22

VUES