



PROTECTION
ET VÉGÉTALISATION
DES ZONES
DE MARNAGE
DES PLANS D'EAU



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

LES ÉTUDES DES AGENCES DE L'EAU N°66

P R É F A C E

Le ministère chargé de l'Environnement a publié en 1994 un guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Il s'agissait de concilier les besoins de protection des berges avec l'impératif d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et du respect des écosystèmes aquatiques.

Le présent guide technique aborde l'aspect de la végétalisation des berges de plans d'eau soumis à des oscillations et à des variations de niveau de la ligne d'eau.

Actuellement, de nombreux barrages réservoirs utilisés pour le soutien d'étiage, l'hydroélectricité, l'irrigation, l'eau potable ou d'autres usages connaissent d'importantes variations saisonnières du niveau d'eau. Peu d'espèces végétales résistent à ce type de contraintes et les zones de marnages de ces plans d'eau présentent souvent un aspect dénudé, qui altère la qualité écologique et paysagère de ces milieux.

Le « verdissement » des zones de marnage des plans d'eau est un enjeu socio-économique fort, d'abord en termes d'aménagement et de stabilisation des berges, mais aussi en termes de biodiversité et de paysages.

La décision de la végétalisation de zones de marnages requiert à la fois une haute technicité dans le diagnostic, la définition des zones susceptibles d'être végétalisées, le choix des espèces végétales, la mise en oeuvre et la définition claire des objectifs de l'opération par la prise en compte des préoccupations des intérêts des gestionnaires et des utilisateurs. Une grande vigilance est nécessaire pour assurer la réussite de ces actions, surtout lorsqu'il s'agit de plans d'eau existants.

Ce guide a été élaboré dans le cadre d'un partenariat entre le ministère, les agences de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et Adour-Garonne ainsi qu'Électricité de France.

Je souhaite que sa diffusion permette le développement de ces techniques et des savoir-faire liés à leur mise en oeuvre et ainsi favoriser l'extension du domaine d'application du génie écologique, donc des métiers afférents.



Pierre Roussel
Directeur de l'Eau



T. Fraissé, février 1990

PROTECTION ET VÉGÉTALISATION DES ZONES DE MARNAGE DES PLANS D'EAU



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Document réalisé par les agences de l'Eau

Directeur de publication : Pierre Roussel
Agence de l'Eau réalisatrice de l'étude : Rhône-Méditerranée-Corse

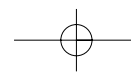
Réalisation :
Thierry Fraissé, docteur en écologie

Comité de pilotage :
Roger Battistel, EDF Lyon
Alexis Delaunay, ministère de l'Environnement
Yannick Galvin, ministère de l'Environnement
Gisèle Merle, EDF Paris
Joseph Rivas, agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
Delphine Tardif, ministère de l'Environnement
Dominique Tesseyre, agence de l'Eau Adour-Garonne

Mise en forme et infographie : Graphies, Meylan
Christian Couvert, Alexandre Kosnicarevic, Virginie Vuchot
(charte graphique des agences de l'Eau, règles typographiques de l'Imprimerie nationale)

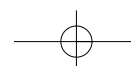
Impression : imprimerie des Deux Ponts, Gières

ISSN : 1161-0425
Tiré à 3 000 exemplaires, juin 1999



SOMMAIRE

	AVANT-PROPOS	4
	Le contexte historique L'objectif du document et les cibles recherchées Les limites de l'ouvrage	
1	GÉNÉRALITÉS	6
1.1	Classement et principales caractéristiques des plans d'eau naturels et artificiels	6
	Préambule Typologie des plans d'eau naturels Typologie des plans d'eau artificiels Les points communs et les différences entre les plans d'eau naturels et les plans d'eau artificiels	
1.2	Le marnage dans les plans d'eau artificiels	13
	Les différents types de marnage Les conséquences du marnage pour la végétation des berges Typologie des zones de marnage à l'échelle de la berge	
1.3	Historique et fondement des principes d'intégration écologique	17
	Enseignements du génie écologique issu d'autres milieux dégradés déjà étudiés Transposition des acquis technologiques à la problématique des zones de marnage Modèles naturels d'évolution Prise en compte des exigences des maîtres d'ouvrage	
2	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION	20
2.1	Les contraintes	20
	Les contraintes inhérentes à des facteurs physiques Les contraintes inhérentes à la gestion hydraulique Les contraintes inhérentes à des facteurs biologiques Les contraintes réglementaires	
2.2	Les avantages	28
	Les avantages écologiques et paysagers Les avantages sociaux-économiques	
3	LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE	32
3.1	Végétation spontanée et dynamique de colonisation à l'échelle du plan d'eau marnant	32
	La dynamique de colonisation Modalités d'implantation et végétation spontanée	



S O M M A I R E

3.2	Végétation spontanée et dynamique de colonisation à l'échelle de la berge	33
	Les berges sableuses Les berges escarpées Les replats vaseux	
3.3	Caractéristiques biologiques des végétaux spontanés des zones de marnage et modalités d'utilisation	34
	Objectif recherché et choix de l'outil végétal L'établissement des critères de choix Les caractéristiques biologiques des végétaux choisis	
	<i>Eleocharis palustris</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Deschampsia cespitosa</i> <i>Carex hirta</i> <i>Mentha pulegium</i>	<i>Rorippa sylvestris</i> <i>Lysimachia vulgaris</i> <i>Lythrum salicaria</i> <i>Cyperus eragrostis</i> <i>Scirpus maritimus</i>
4	LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION	48
4.1	La classification des techniques	48
	Les techniques de génie civil Les techniques mixtes Les techniques de génie écologique	
4.2	La chronologie des actions et les règles à respecter	49
	Le diagnostic écologique préalable La prise en compte de la gestion hydraulique La prise en compte des contraintes d'usage et économiques Le choix de l'outil végétal Le choix des techniques de génie écologique La mise en œuvre d'essais préalables	
4.3	Techniques de génie écologique et techniques mixtes	51
	La végétalisation temporaire La végétalisation permanente à partir d'espèces herbacées adaptées au marnage Les techniques de végétalisation classiques transposées aux zones de marnage Les aménagements permanents à partir de techniques mixtes	
4.4	Les causes d'échecs	60
	Une méconnaissance du contexte écologique L'utilisation de techniques inadaptées Un diagnostic écologique erroné L'utilisation d'espèces inadaptées aux contraintes du site Une période de mise en œuvre non adaptée au régime hydrique Un mauvais stockage des matériaux L'absence de soins ou de protection après les travaux Une sous-estimation du facteur économique	



S O M M A I R E

5	QUELQUES EXEMPLES DE REALISATIONS	62
5.1	La Montagne noire	62
	Les problèmes soulevés et les objectifs Les solutions proposées Les résultats phytoécologiques Récapitulatif du constat Les enseignements recueillis	
5.2	Serre-Ponçon	67
	Les problèmes soulevés et les objectifs Les solutions proposées Les appréciations	
5.3	Monteynard	68
	Les problèmes soulevés Les solutions proposées Les appréciations Traitement des hauts de berges par génie écologique classique Schémas d'aménagement des hauts de berges à partir de végétaux spontanés Traitement des hauts de berges à partir de végétaux spontanés Traitement de la zone basse des berges à partir de végétaux spontanés	
5.4	Puylaurent	77
	Les problèmes soulevés Les solutions proposées Dynamique évolutive de zones de marnage traitées et non traitées Résultat du suivi phytoécologique Les appréciations	
5.5	L'Arrêt-Darré, Puydarrieux et Aussoue	81
	Présentation générale Stratégies d'actions communes La retenue de Puydarrieux La retenue de l'Aussoue La retenue de l'Arrêt-Darré	
	CONCLUSION	88
	LEXIQUE	90
	BIBLIOGRAPHIE	94



■ LE CONTEXTE HISTORIQUE

On peut constater, depuis ces dernières années, de la part des maîtres d'ouvrage et des organismes gestionnaires des plans d'eau, une volonté d'aménagement des milieux dégradés qui fait de plus en plus appel à des techniques végétales qui permettraient une meilleure intégration au milieu naturel que le génie civil.

Ces techniques, employées depuis la seconde moitié du vingtième siècle chez nos voisins germaniques, n'ont été mises en œuvre que depuis les années quatre-vingts en France, souvent en lieu et place de techniques de génie civil (enrochements, gabions, palplanches) jugées plus traumatisantes pour l'environnement.

Plus récemment encore (au cours des années quatre-vingt-dix), le génie végétal a fait, en France, l'objet de publications et de guides d'utilisation, souvent plus axés sur la description technique des ouvrages que sur l'étude préalable du milieu et le choix des végétaux à utiliser.

De nombreux espaces remaniés par les travaux (passages d'infrastructures, pistes de ski, carrières, etc.), ou dégradés naturellement par de fortes contraintes (zones désertiques, zones d'altitude), sont susceptibles d'être réhabilités par des interventions de type génie écologique.

Les zones de marnage des plans d'eau artificiels s'inscrivent dans le cadre de ces espaces dégradés auxquels des actions de réhabilitation végétale peuvent donner une « seconde vie ».

■ L'OBJECTIF DU DOCUMENT

Ce guide s'adresse, en particulier, aux concepteurs et aux gestionnaires de plans d'eau artificiels marnants. Il a donc pour objectif de guider leur action d'aménagement et de gestion par l'utilisation de techniques innovantes appropriées. Pour cela, nous présenterons au lecteur les multiples intérêts de la végétalisation de berges de retenues, mais aussi, et ceci afin de limiter les échecs, les problèmes écologiques rencontrés et les limites d'application des techniques proposées.

Dans cet ouvrage, le cheminement de la pensée scientifique fait apparaître une chronologie d'actions cohérentes qui devra être suivie par les concepteurs ou les gestionnaires, afin d'optimiser leurs chances de réussite.

Ainsi, dans un premier temps, notre objectif est de familiariser tous les corps de métier touchant à l'eau avec l'environnement lacustre et le phénomène du marnage.

Pour cela, nous proposons une approche générale du thème, tout d'abord sous l'angle réglementaire afin d'évaluer le contexte législatif, puis sous l'angle scientifique, à l'échelle du réservoir et de la berge. Dans ce cadre, nous aborderons notamment les fondements des principes d'intégration et les conditions de réussite afin de faire prendre conscience au lecteur de l'existence des contraintes dues au marnage et des avantages générés par l'aménagement.

Notre second objectif est d'exposer les caractéristiques biologiques de certains végétaux des zones de marnage en soulignant leur formidable adaptation aux milieux et leurs possibilités d'utilisation en tant qu'« outil végétal ». Afin de guider la réflexion du lecteur et de lui fournir une clef d'entrée pour l'action, ce guide présentera également un descriptif des techniques de base, complété par une chronologie d'interventions et des règles à respecter.

Enfin, l'examen de quelques réalisations concrètes viendra illustrer le propos afin de familiariser le lecteur avec le génie végétal et de le sensibiliser aux problèmes écologiques liés au marnage.

■ LES LIMITES DE L'OUVRAGE

En premier lieu, nous tenons à rappeler que ce guide n'est en aucun cas un livre de recettes susceptible de fournir au lecteur la matière lui permettant de se substituer à l'expert. En effet, les zones de marnage font partie des milieux perturbés à fortes contraintes, dont l'aménagement nécessite une connaissance pluridisciplinaire, notamment en botanique, en écologie, en hydraulique et en pédologie. Plus que pour tout autre milieu, l'extrême sévérité de ces contraintes exige des aménagements spécifiques et innovants, utilisant un outil végétal adapté au marnage.

Pour toutes ces raisons, cet ouvrage se veut une aide à l'action pour les gestionnaires afin d'éviter les erreurs susceptibles de détruire l'environnement lacustre, et seulement une aide à la connaissance et non à la conception directe par les aménageurs. En effet, ce guide ne peut être utilisé comme un cahier des charges précis et applicable directement, sans une expertise environnementale complémentaire.

Il est également important de signaler que cet ouvrage est principalement axé sur l'aménagement des systèmes lenticques afin de répondre au mieux aux problèmes spécifiques des concepteurs et des gestionnaires de retenues artificielles. Toutefois, comme en témoigne certains passages du guide, la même approche reste valable pour les systèmes courants et a été testée avec succès à plusieurs reprises par l'auteur.

Cette chronologie d'action contribue dans tous les cas à faire reculer les limites de faisabilité en génie écologique.

Thierry Fraissé



GÉNÉRALITÉS

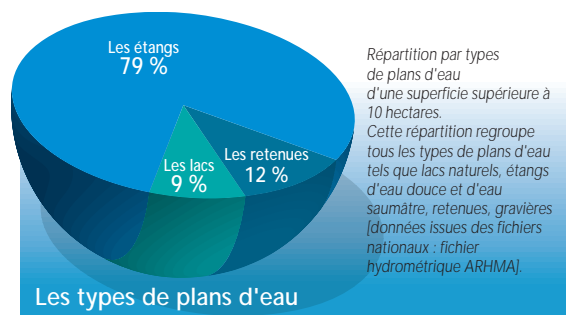
1

1.1 CLASSEMENT ET PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PLANS D'EAU NATURELS ET ARTIFICIELS

■ PRÉAMBULE

Les zones humides continentales forment un ensemble de systèmes aquatiques qui peuvent être définis selon plusieurs critères : eaux de surface ou eaux souterraines, eaux stagnantes ou eaux courantes, eaux douces ou eaux salées, eaux pérennes ou eaux temporaires, etc. Toutes les combinaisons existent et leur seul point commun est l'eau.

La France, grâce à ses caractéristiques géologiques, hydrauliques et topographiques, possède une collection de plans d'eau particulièrement riche et variée.



Dans cet ouvrage, on s'intéressera préférentiellement à une seule catégorie de ces systèmes aquatiques, **les systèmes aquatiques d'eau douce, artificiels et marnants**. Cependant, pour des raisons de similitude au niveau du contexte physique ou au niveau du fonctionnement, on pourra être amené à s'intéresser également aux lacs naturels à niveau constant, ou, de façon plus courante, aux zones de marnage des grands fleuves.

L'environnement lacustre des systèmes aquatiques, dont nous parlons, abrite une multitude d'organismes variés dans leurs tailles, leurs comportements et leurs exigences respiratoires et nutritives. L'ensemble de ces organismes forme des chaînes trophiques cohérentes

dont les principaux maillons sont les bactéries, les champignons, les algues, les phanérogames, les protistes, les invertébrés et les vertébrés.

La chaîne de vie, constituée par ces organismes, peut rapidement être bouleversée lorsqu'un paramètre physique inhabituel, et, le plus souvent d'origine anthropique, intervient. Ceci est le cas des réservoirs artificiels marnants pour lesquels les variations du niveau de l'eau, induites par la gestion hydraulique, compromettent les dynamiques de colonisation végétale et animale.

Les grands fleuves, malgré leur appartenance aux systèmes courants, possèdent, au niveau de leurs bras morts ou au niveau des zones d'élargissement du lit, des zones de marnage dont les caractéristiques écologiques sont très proches de celles des retenues artificielles. Toutefois, pour des raisons de facilités de colonisation engendrées par le courant, ils possèdent souvent une biodiversité supérieure à celle des plans d'eau artificiels.

On verra, dans ce chapitre, que la classification des plans d'eau naturels ou artificiels n'est pas aisée car elle est fonction de nombreux critères tels que leur altitude, leur forme et leur profondeur, la nature du substrat et des apports nutritifs, leur régime hydraulique naturel ou pas, leur fonction et leurs usages, leurs modalités de colonisation végétale.

C'est la combinaison de l'ensemble de ces critères qui va déterminer le type de plan d'eau résultant.

Afin de les différencier et d'établir une typologie cohérente avec l'objectif de la démarche scientifique (végétalisation des retenues marnantes), on ne se contentera pas de reprendre simplement la classification habituelle des plans d'eau établie sur leurs apports nutritifs. On proposera également un classement en fonction de leur origine naturelle ou artificielle, de leurs usages et de leurs modalités de colonisation par la végétation.

■ TYPOLOGIE DES PLANS D'EAU NATURELS

Les plans d'eau d'origine naturelle seront classés selon une typologie basée sur leurs paramètres physiques et sur la végétation qu'ils abritent.

Ainsi, on rencontre principalement quatre grands types de plans d'eau pouvant être d'origine naturelle : les lacs, les étangs naturels, les marais et les marécages et les bras morts et les zones d'élargissement du lit des grands fleuves. Le graphique de la page précédente

montre la répartition des plans d'eau d'une superficie supérieure à 10 ha, d'origine naturelle (les lacs) ou artificielle (les retenues), au niveau national. Le cas des étangs est plus complexe car ils peuvent être d'origine naturelle (étang d'eau saumâtre) ou artificielle.

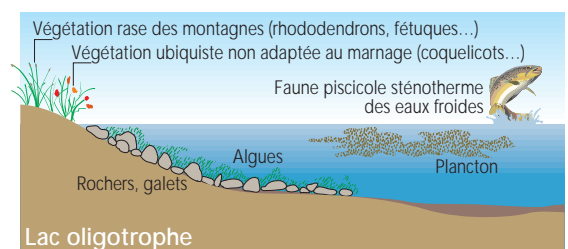
• Les lacs

Les lacs sont des plans d'eau d'origine naturelle pour lequel une durée de séjour des eaux relativement longue et une profondeur suffisante permettent de définir une zone pélagique (pleine eau) où s'établit, à certaines époques de l'année, une stratification thermique stable.

Les lacs naturels sont couramment classés en fonction de leur niveau de trophie qui détermine généralement la végétation spontanée qu'ils abritent. Ainsi, à l'échelle géologique, l'évolution des lacs naturels est un phénomène lent qui entraîne l'eutrophisation graduelle de ces plans d'eau, et, par comblement progressif, leur transformation en étang et marais pour atteindre un état d'équilibre définitif, un climax terrestre (G. Balay, 1985).

Cette dynamique d'évolution lacustre détermine une typologie de leur végétation spontanée.

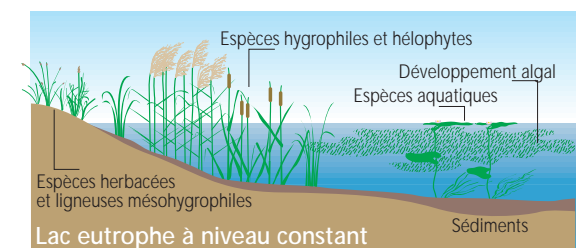
Les lacs oligotrophes comprennent les lacs alpins et de moyenne montagne, oxygénés en profondeur et n'ayant pas de vase organique sur le fond. Leurs eaux sont caractérisées par une faible température, du fait de leur situation altitudinale élevée.



Le règne végétal est représenté par un phytoplancton à diatomées abondantes, une couverture d'algues vertes sur les galets des berges immergées remplaçant la ceinture de phanérogames qui, ici, est quasi inexistante. Cette ceinture de phanérogames, lorsqu'elle existe, est composée d'espèces ubiquistes, non adaptées au marnage, telles que le coquillot, les gnaphales, etc. La faiblesse de cette diversité végétale

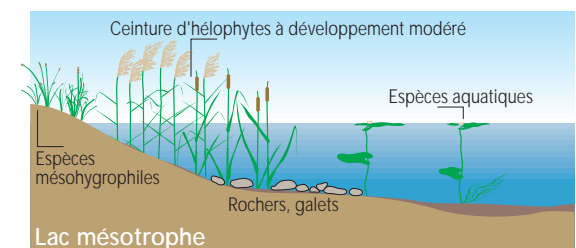
s'explique par le fait que ces réservoirs sont situés en amont des principaux systèmes de colonisation, que sont les rivières et les fleuves.

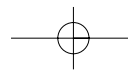
Les lacs eutrophes sont généralement des lacs de plaine dont les eaux sont alcalines. Leurs fonds sont recouverts d'une couche de sédiments qui résulte de la dégradation de la matière organique et qui est responsable de la disparition de l'oxygène en profondeur.



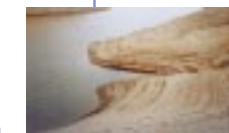
Le règne végétal est représenté par un phytoplancton à diatomées en hiver et à cyanophycées en été et par une surabondance, parfois cyclique, d'algues vertes. La ceinture à phanérogames est également importante, mais varie selon que le lac est de type « marnant » ou « à niveau constant ». La colonne d'eau peut également être envahie par un développement luxuriant de plantes aquatiques indésirables, telles que les jussies ou les myriophylles.

Les lacs mésotrophes présentent des caractéristiques intermédiaires entre les lacs eutrophes et oligotrophes ; ceci se traduit principalement par un apport en matières nutritives moyen et une bonne oxygénation des eaux. Ces lacs présentent un stade d'évolution écologiquement intéressant car ils possèdent une relative harmonie entre le monde biologique et le monde minéral. Leurs situations altitudinales sont variées ainsi que la température de leurs eaux ; la chaîne trophique de ces réservoirs est bien diversifiée et bien équilibrée à tous les échelons.





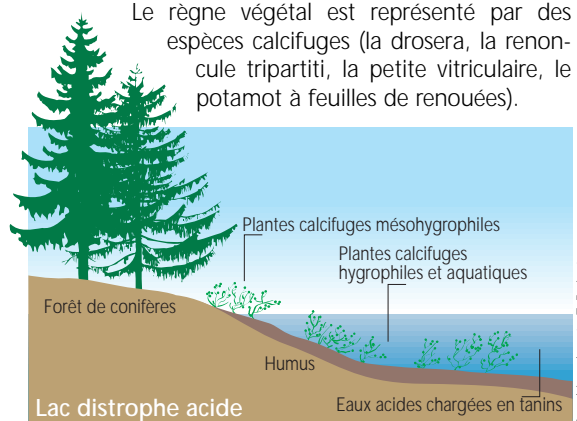
GÉNÉRALITÉS



Le réseau végétal est représenté par un cortège d'espèces similaires à celui des lacs eutrophes, si ce n'est qu'il n'y a pas de surabondance algale ou de développement exagéré d'hélophytes ou de plantes aquatiques dans la colonne d'eau.

Les lacs dystrophes acides sont classés à part car ils présentent des caractéristiques tout à fait particulières, liées à l'acidité de leurs eaux (pH compris entre 5 et 6,5). En effet, ces lacs, riches en humus, se rencontrent généralement dans les forêts de conifères.

Le règne végétal est représenté par des espèces calcifuges (la drosera, la renouée tripartite, la petite vitriculaire, le potamo à feuilles de renouées).

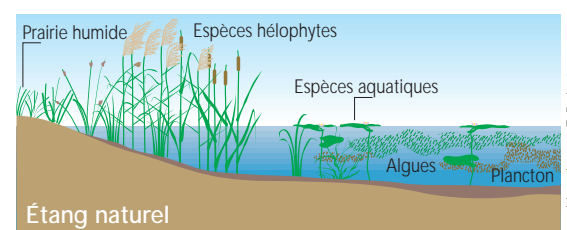


• Les étangs naturels

Dans cette catégorie, on range habituellement les plans d'eau de faible profondeur.

Leur description sera traitée brièvement ici car il s'agit de milieux naturellement riches, soumis à de faibles contraintes. En effet, leurs régimes hydriques, du fait de leurs faibles profondeurs, sont moins contraignants vis-à-vis de la flore.

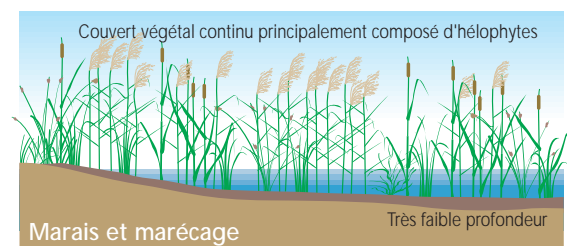
Le règne végétal est bien représenté et comporte un grand nombre d'hélophytes telles que les joncs, les carex, les massettes, etc. La partie d'eau libre est souvent colonisée par des espèces aquatiques et des



algues vertes et rouges. Le phytoplancton est représenté par des diatomées.

• Les marais ou marécages

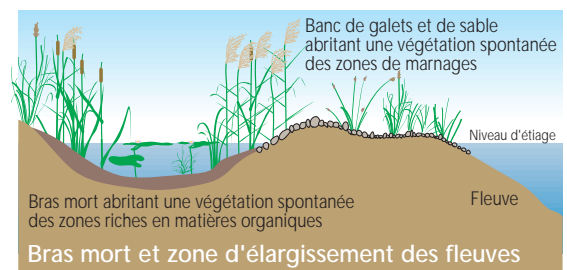
Ce type de milieu se rapproche beaucoup des étangs naturels, si ce n'est que ces collections d'eau possèdent une plus faible profondeur qui facilite la mise en place d'un couvert végétal continu.



Ainsi, le règne végétal est souvent représenté par de grandes étendues monospécifiques d'espèces hélophytes, telles que les joncs, les carex et les phragmites.

• Les bras morts et les zones d'élargissement du lit des grands fleuves

Les berges et le lit moyen des grands fleuves, au niveau des zones d'élargissement, possèdent des biotopes comparables à ceux décrits précédemment. En effet, ces zones sont soumises à un marnage dû à l'alternance des crues et des étiages, ce qui se traduit par des phases consécutives d'immersion et d'émersion.



Le règne végétal, très diversifié, est dépendant des caractéristiques physiques de ces milieux. Ainsi, les bras morts et les zones de sédimentation, riches en matières organiques, possèdent une végétation très dense, rappelant celle des étangs et des marais peu profonds. On notera la présence de l'iris d'eau, du jonc sylvestre, du myosotis des marais et du peuplier

noir. Les zones de dépôts sableux et les bancs de galets, souvent présents dans le lit mineur du fleuve, accueillent une végétation semblable à celle des retenues hydroélectriques. On y trouve ainsi des espèces spontanées des substrats lessivés, telles que la menthe pulé, le phalaris, le roripe des forêts.

■ TYPOLOGIE DES PLANS D'EAU ARTIFICIELS

La création de retenues d'eau artificielles est une pratique très ancienne, l'existence de tels ouvrages quatre mille ans avant J.-C. ayant été démontrée. (Biswas, 1975 - Balvay, 1985).

Ce qui distingue le plus les plans d'eau artificiels des plans d'eau naturels, c'est la faculté qu'ont les premiers d'avoir une fonction utilitaire ayant motivé leur création. À ce titre, nous classerons les plans d'eau artificiels en fonction de leurs usages tout en indiquant pour chaque catégorie leur dynamique de colonisation végétale spécifique.

En effet, contrairement aux collections d'eau naturelles, les plans d'eau artificiels, du fait de la contrainte de marnage induite par leur gestion hydraulique, peuvent présenter des difficultés à acquérir une végétation naturelle. Il peut donc être judicieux d'aider leur intégration écologique par la mise en œuvre de techniques de végétalisation.

• Les retenues hydroélectriques

Ce sont des plans d'eau artificiels dont la vocation prioritaire est la production hydroélectrique. Ces retenues peuvent être classées en fonction de leur capacité de stockage par rapport aux apports d'eau qu'elles reçoivent. Ainsi, plus le rapport est grand, plus il est loisible de stocker ou de relâcher de l'eau sans tenir compte des fluctuations dans les apports (A. Poirel et al.). On peut donc proposer le classement suivant :

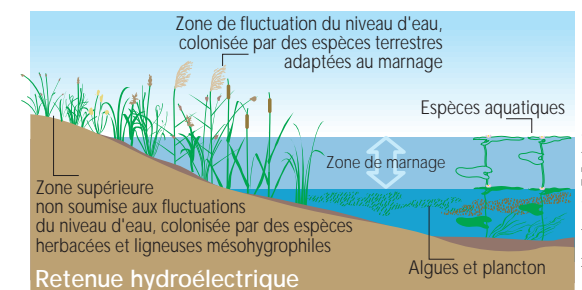
- **les retenues hydroélectriques journalières** possèdent un volume d'eau de l'ordre de grandeur des apports moyens quotidiens, ce qui induit un régime hydrique de type journalier ;

- **les retenues hydroélectriques saisonnières** dont le volume d'eau est de l'ordre de grandeur des apports de la saison des forts débits. L'eau est stockée pendant la saison des forts débits et utilisée en période de forte consommation, ce qui induit un régime hydrique de type saisonnier ;

- **les retenues hydroélectriques interannuelles** dont le volume d'eau est supérieur au volume des apports annuels. Ce type de retenue permet de stocker de l'eau pendant une année humide pour la restituer pendant une année sèche, ce qui induit un régime hydrique de type annuel ou pluriannuel.

Quelles que soient les modalités de stockage en eau des retenues hydroélectriques, celles-ci sont soumises à des fluctuations de niveau d'eau qui ralentissent leur intégration écologique.

Ainsi, le règne végétal, à l'exception des végétaux aquatiques se développant dans la colonne d'eau, ne peut être représenté que par de rares espèces adaptées au marnage. Ces végétaux sont des espèces terrestres dont les plus remarquables sont les espèces pérennes. La rareté de ces espèces et leurs modalités de développement tout à fait particulières, les réservent aux retenues marnantes les plus anciennes ou aux retenues plus récentes, mais situées en aval des systèmes de colonisation tels que les rivières et les fleuves.

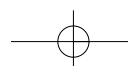


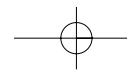
Toutefois, on verra de façon plus précise au chapitre 1.2, consacré au marnage, que les stratégies de colonisation et les végétaux spontanés des berges de retenues hydroélectriques diffèrent en fonction des caractéristiques du marnage.

• Les retenues collinaires

Ce sont des plans d'eau artificiels dont la vocation prioritaire est l'irrigation. Ces retenues peuvent être classées en fonction de leurs modalités d'alimentation en eau. Ainsi, on peut proposer le classement suivant :

- **les retenues collinaires sur talweg** : du point de vue hydrologique, ces retenues ne sont pas connectées par définition à un réseau hydrographique identifié. L'écoulement à l'entrée et à la sortie de la retenue est donc étroitement dépendant du régime des pluies ;

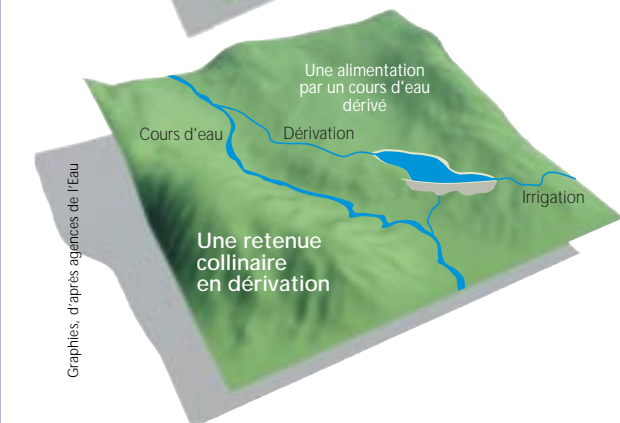
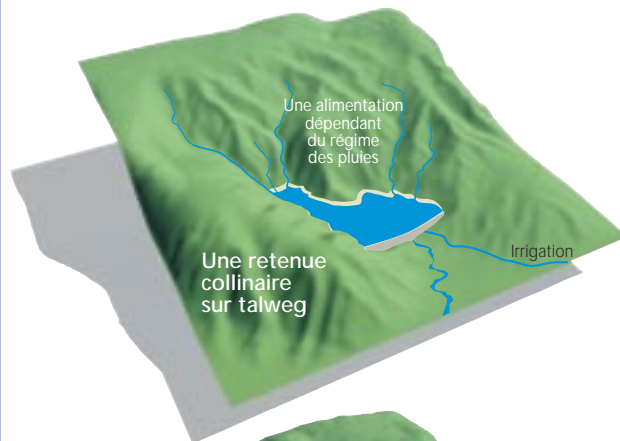




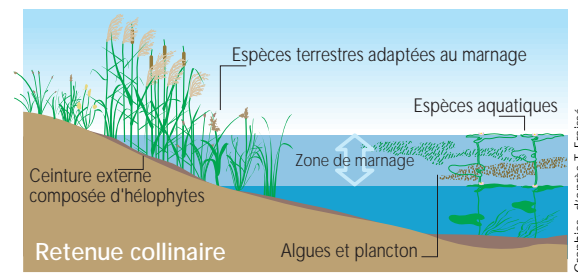
GÉNÉRALITÉS



- les retenues collinaires barrant un cours d'eau temporaire ou pérenne : il s'agit de retenues possédant un tributaire et un exutoire bien identifiés pouvant s'assécher en période d'étiage sévère ;
- les retenues collinaires en dérivation, comme leur nom l'indique, sont alimentées par la dérivation d'un cours d'eau pérenne ou temporaire.



Les retenues collinaires, en raison de leur superficie généralement inférieure et de leur situation altitudinale de plaine, sont à rapprocher des étangs, même si elles en diffèrent par leur profondeur plus marquée. Cette profondeur de cuvette induit des contraintes de marnage similaires à celles rencontrées sur les berges des retenues hydroélectriques, ce qui compromet leur intégration écologique par une colonisation végétale naturelle. De plus, les retenues collinaires étant des créations et non des biotopes naturels, il peut s'avérer nécessaire de les aménager par végétalisation.



Le règne végétal présente, une fois l'équilibre atteint, une ceinture végétale externe comparable à celle des étangs et composée d'hélophytes. La zone de marnage est colonisée par des espèces semblables à celles rencontrées sur les berges des retenues hydroélectriques.

• Les retenues pour l'eau potable

Ce sont des plans d'eau le plus souvent artificiels, qui ne se distinguent des retenues hydroélectriques et des retenues collinaires que par leurs usages.

Toutefois, ces retenues sont rarement à usage exclusif d'eau potable mais plutôt à usages multiples d'eau potable et irrigation ou d'eau potable et hydroélectricité, ce qui rend leur distinction encore plus difficile.

Ce type de retenue est soumis, le plus souvent, à un marnage de faible amplitude, tributaire de la consommation quotidienne en eau, des variations hydrologiques locales ou de déplacements massifs et saisonniers de population.

Lorsqu'il s'agit de création et non de biotopes naturels, il peut s'avérer nécessaire d'aménager ces retenues par végétalisation. Leurs modalités de colonisation par la végétation spontanée sont similaires à celles des retenues hydroélectriques.

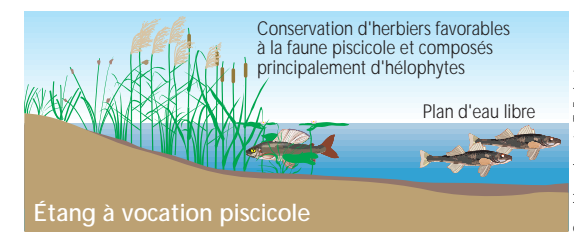
• Les étangs à vocation piscicole

Ce sont des plans d'eau, le plus souvent artificiels, utilisés à des fins piscicoles et dont la faible profondeur exclut toute stratification thermique stable.

Ces collections d'eau artificielles sont très proches, du point de vue écologique, des étangs naturels et n'en diffèrent pratiquement que par leurs usages à vocation piscicole. Ainsi, contrairement aux étangs naturels, les étangs artificiels sont constitués d'eau douce car sans liaison plus ou moins directe avec la mer. Ils possèdent des systèmes de vidange permettant le contrôle et la récolte des populations de poissons.

Le règne végétal peut également différer de celui des étangs naturels dans la mesure où l'homme intervient de façon à garantir un bon développement piscicole.

Ainsi, contrairement aux retenues hydroélectriques et aux retenues collinaires qui nécessitent une intégration écologique par végétalisation, les étangs artificiels, en raison de leur faible profondeur et leur régime hydrique peu contraignant, sont des milieux naturellement très favorables à la colonisation végétale. Dans ce cas, l'homme doit veiller à limiter cette colonisation végétale en conservant des plages d'eau libre nécessaires à la vie piscicole. Des herbiers sont cependant conservés en tant que zones de frayère, sources de nourriture ou zones de refuge et de protection contre les prédateurs (cormorans).



• Les gravières et les ballastières

Ce sont des plans d'eau d'origine artificielle, créés par des extractions de granulats et alimentés, essentiellement, par la nappe souterraine.

Ces plans d'eau sont caractérisés par le fait qu'ils ne présentent pas d'émissaires ni d'affluents permanents visibles en surface, et que leur niveau est en relation avec celui de la nappe phréatique dont l'excavation artificielle a recoupé le toit. Ces collections d'eau, dont la taille varie entre quelques hectares et quelques dizaines d'hectares, ont des berges très abruptes et



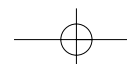
une profondeur assez uniforme, ne dépassant que rarement une dizaine de mètres. L'ensemble de ces caractéristiques physiques rend ces plans d'eau difficilement colonisables par la végétation sans la mise en œuvre préalable d'un minimum d'aménagement visant à favoriser leur intégration écologique. En effet, il est nécessaire d'opérer un retalutage des berges afin d'obtenir une pente plus douce et régulière, favorable à l'installation de ceintures végétales comparables à celles rencontrées sur les berges des retenues collinaires. Si la ceinture externe est composée d'hélophytes, il est possible de rencontrer également des espèces de zones de marnage lorsque la nappe est régulièrement soumise à des fluctuations de niveau d'eau.

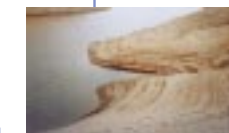
■ LES POINTS COMMUNS ET LES DIFFÉRENCES ENTRE LES PLANS D'EAU NATURELS ET LES PLANS D'EAU ARTIFICIELS

• Les niveaux de trophie

Quelles que soient l'origine des plans d'eau (naturels ou artificiels) et leur nature (lacs, étangs, marais) ou quel que soit leur usage (retenue hydroélectrique, collinaire, gravière, etc.), tous subissent une dynamique d'évolution trophique comparable, débutant par une prédominance des facteurs physiques et chimiques (plans d'eau oligotrophes) et aboutissant à un enrichissement en matières nutritives (plans d'eau eutrophes).

Toutefois, il existe des différences entre les plans d'eau au niveau de la rapidité de réalisation de cette dynamique d'évolution trophique. Ainsi, les étangs sont caractérisés par une évolution très rapide, qui, sur une échelle de temps très courte, présente les mêmes phénomènes que l'on peut observer à très long terme dans un lac ou dans une retenue. À l'inverse, l'évolution d'un lac naturel est un phénomène très lent, qui entraîne, à l'échelle géologique, l'eutrophisation graduelle de ces plans d'eau par comblement progressif et





transformation en étangs et en marais, avant d'atteindre un état d'équilibre définitif correspondant à un climax (G. Balvay, 1985).

• Le temps de renouvellement des eaux

Il diffère selon l'origine des plans d'eau, leur nature et leurs usages. Le temps de séjour (TS) des eaux dans un volume donné, dépend du volume considéré, du débit des affluents et, dans le cas des retenues artificielles, du régime d'utilisation des eaux stockées (A. Poirrel et al., 1996) :

$$TR = \frac{1}{TS}$$

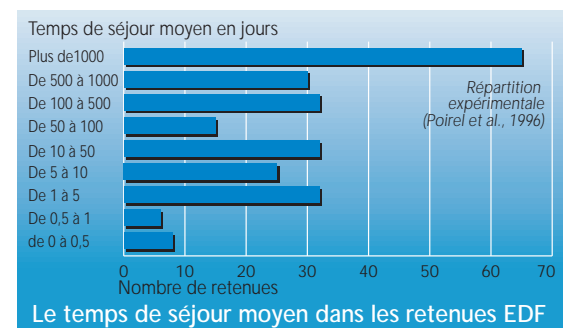
et

$$TS = \frac{\text{Volume de la cuvette}}{\text{Débit des affluents ou de l'exutoire}}$$

TR = Taux de renouvellement
TS = Temps de séjour hydraulique

Ainsi, dans les lacs naturels, le temps de séjour moyen est généralement important et peut atteindre 1 700 ans dans le cas du lac Tanganyika.

Dans les retenues, le temps de séjour dépend de l'importance et de la nature du soutirage par rapport au volume d'eau accumulé et varie de quelques heures à plusieurs années.



Ainsi, plus le renouvellement est rapide (temps de séjour court), plus le milieu est semblable à une rivière. Inversement, plus le renouvellement est lent (temps de séjour long), plus la retenue acquerra des caractéristiques de lacs naturels.

• La position de l'émissaire

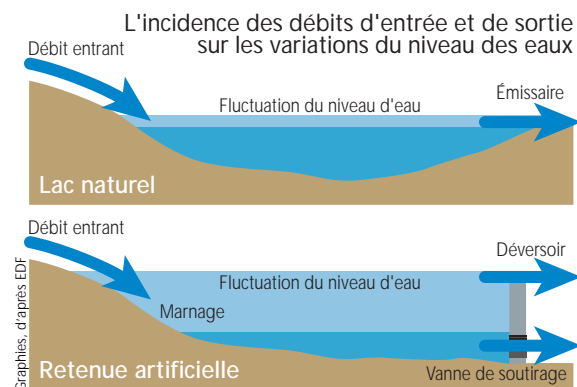
Ce paramètre oppose également les plans d'eau artificiels aux plans d'eau naturels. En effet, l'émissaire d'un

lac naturel est, généralement, situé en surface et évacue donc en permanence les eaux de surface. À l'inverse, dans une retenue ou un étang artificiel, la prise d'eau peut être située à une profondeur variable, ce qui influence le mouvement et la qualité des différentes couches d'eau, mais aussi augmente les fluctuations du niveau de l'eau donc les contraintes liées au marnage.

Toutefois, certains lacs de Haute-Savoie, ainsi que les gravières et les ballastières, ne présentent ni émissaire ni affluent car leur niveau est en relation avec celui de la nappe.

• Les débits d'entrée et de sortie

Une différence essentielle entre un lac et une retenue artificielle, réside dans l'incidence du débit d'entrée et de sortie sur les variations du niveau des eaux.



Ainsi, dans le cas d'un lac, les affluents contribuent au remplissage de la cuvette, ce qui fait monter le niveau de l'eau et entraîne une augmentation du débit de l'émissaire. Cette évacuation accrue ramène le niveau de l'eau à un état d'équilibre qui ne peut être inférieur au seuil de l'émissaire (G. Balvay, 1985).

À l'inverse, dans une retenue hydroélectrique ou d'alimentation en eau potable, c'est le soutirage qui conditionne le niveau des eaux en l'abaissant, et ce sont les débits entrants qui permettront de faire remonter le niveau des eaux s'ils sont supérieurs au soutirage.

L'importance des soutirages conditionne le volume d'eau soutiré par rapport au volume d'eau stocké, ce qui entraîne par conséquent un marnage plus ou moins important.

• Le marnage

Pour les organismes aquatiques et notamment la flore lacustre, le marnage est le critère qui différencie le plus les lacs naturels des retenues artificielles.

En effet, comme nous l'avons signalé précédemment, un temps de renouvellement des eaux artificialisé permet de caractériser les retenues artificielles en agissant sur la fréquence et l'amplitude des fluctuations de niveau d'eau qui peut varier d'un mètre à plusieurs dizaines de mètres. Ce sont ces mêmes fluctuations du niveau d'eau qui soumettent les berges de retenues à des successions d'émersions et d'immersions appelées « marnage ». La portion des berges soumise à ce marnage est alors appelée « zone de marnage ». Compte-tenu de leurs caractéristiques physiques en tant que cuvettes plus chenalées et creusées (cours d'eau à l'origine), les retenues artificielles possèdent généralement une zone de marnage beaucoup plus marquée que celle des lacs naturels.

D'autres causes naturelles peuvent également être à l'origine du marnage. Ainsi, le marnage est naturellement dû à l'alternance des crues et des étiages pour les fleuves, ce qui se traduit, s'il n'y a pas de soutirage artificiel, par des phases de remplissage et de vidange pour les plans d'eau. La sécheresse par exemple, l'évaporation et la percolation augmentent les baisses de niveau de l'eau alors que les précipitations et le ruissellement en accentuent les hausses.



Zone de marnage du réservoir des Cammazes situé en Montagne noire occidentale.

1.2 LE MARNAGE DANS LES PLANS D'EAU ARTIFICIELS

L'importance du marnage, dans les retenues artificielles, crée de sévères contraintes, ce qui limite leur intégration écologique par la végétation spontanée. Toutefois, il faut distinguer deux aspects du marnage susceptibles de nuire aux organismes aquatiques : son amplitude totale et sa variabilité temporelle (Poirrel et al., 1996). En effet, certaines espèces seront gênées pour se reproduire ou se développer, soit par la profondeur d'immersion, soit par la période à laquelle s'effectue cette immersion, un développement à contre-saison (hiver) étant toujours très difficile pour les espèces végétales. Le volume sur lequel s'effectue le marnage est dénommé « volume utile de la retenue » (la partie résiduelle étant le « culot »).

Selon les critères établis ci-dessus, il est possible de distinguer plusieurs types de marnage.

■ LES DIFFÉRENTS TYPES DE MARNAGE

On distingue différents types de retenues en fonction de leur gestion hydraulique et de leur marnage.

• Les retenues interannuelles

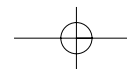
Elles sont caractérisées par un volume utile supérieur au volume des apports annuels. Leur temps de séjour est élevé et elles présentent un marnage de grande amplitude, avec des variations de cotes lentes et régulières, d'une année sur l'autre (comme dans le cas de la retenue de Serre-Ponçon, illustré page suivante).

Ce type de retenue permet de stocker de l'eau pendant une année humide pour la restituer pendant une année sèche.

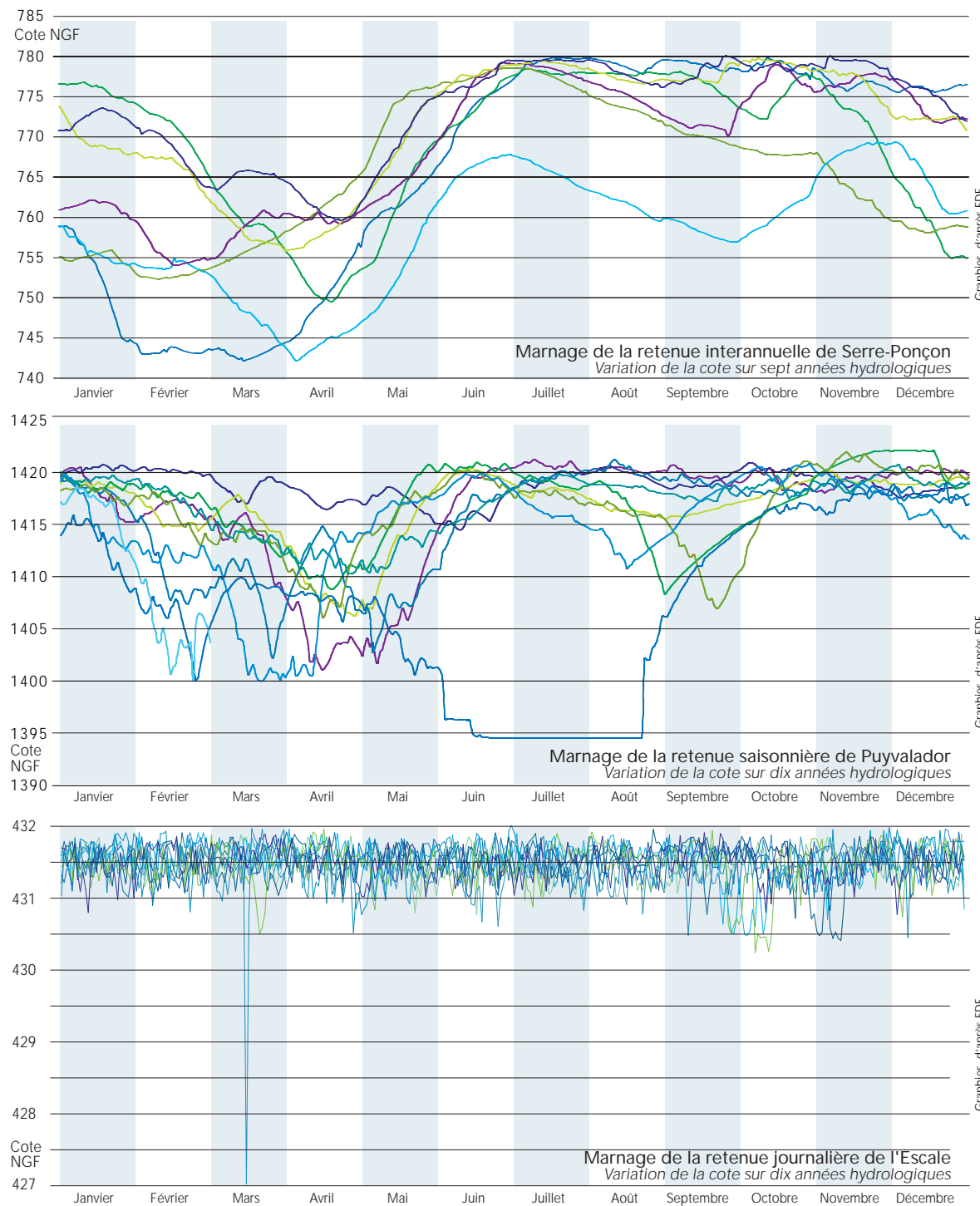
• Les retenues saisonnières

Elles sont caractérisées par un volume utile de l'ordre de grandeur des apports de la saison des forts débits. Leur temps de séjour est plus court que dans le cas des retenues interannuelles avec plusieurs périodes de stockage et de déstockage par an.

Leur marnage est également moins régulier et fluctue en fonction des crues saisonnières et des périodes de fortes consommations (comme dans le cas de la retenue de Puyvalador, illustré page suivante).



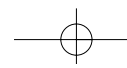
GÉNÉRALITÉS



Graphiques, d'après EDF

Graphiques, d'après EDF

Graphiques, d'après EDF



• Les retenues journalières

Elles sont caractérisées par un volume utile de l'ordre de grandeur des apports moyens journaliers. Leur temps de séjour est court, ce qui induit des variations fréquentes et rapides de la cote.

Leur marnage est caractérisé par une fréquence importante mais aussi par une faible amplitude (comme dans le cas de la retenue de l'Escale, illustré ci-contre).

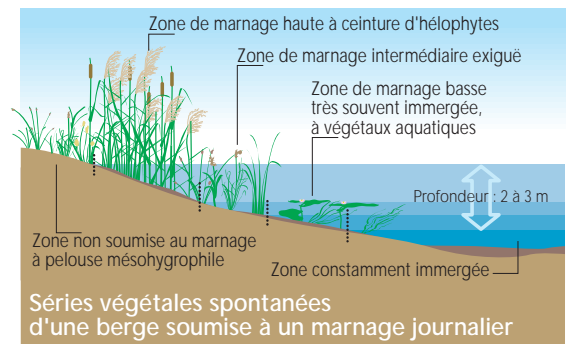
■ LES CONSÉQUENCES DU MARNAGE POUR LA VÉGÉTATION DES BERGES

Quel que soit le type de marnage, (journalier, saisonnier ou interannuel), les variations de niveau d'eau représentent un facteur dommageable pour la dynamique de colonisation végétale des retenues, tant au point de vue de la diversité que de l'abondance.

Ainsi, la végétation a du mal à s'implanter et à former une couverture homogène et protectrice, ce qui augmente la sensibilité des berges à l'érosion (Pautou, 1978), les rend inhospitalières vis-à-vis de la faune et peu attrayantes du point de vue touristique et paysager. Toutefois, certains végétaux ont pu développer des adaptations particulières et spécifiques à chaque type de marnage, notamment en fonction de sa variabilité temporelle et de son amplitude totale.

• Le marnage journalier

Une amplitude faible et une variabilité temporelle élevée permettent, du fait de la proximité de l'eau et de sa disponibilité, le développement en haut de berges, d'une ceinture végétale comparable à celle des lacs et composée principalement d'hélophytes. Le bas des berges est, quant à lui, le plus souvent colonisé par des espèces aquatiques capables de résister à de courtes et



Graphiques, d'après T. Fraissé

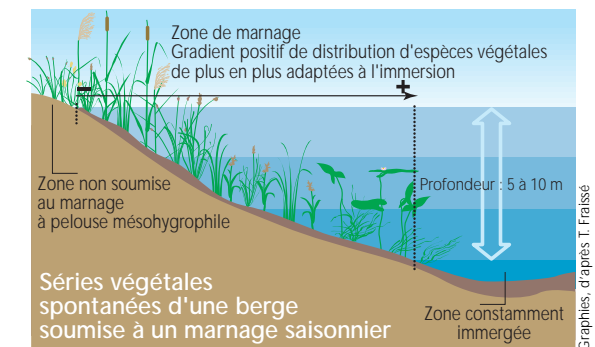
fréquentes périodes d'émersion. Entre ces deux extrêmes, la zone de marnage exigüe n'abrite que rarement des espèces terrestres adaptées.

Le facteur limitant principal de ce marnage, vis-à-vis du développement végétal, est ici constitué par la haute variabilité temporelle des niveaux d'eau.

• Le marnage saisonnier

Il est caractérisé par une amplitude importante (souvent supérieure à dix mètres) et par une fréquence de fluctuations inférieure à celle de la saison car influencée par les périodes de crues et de fortes consommations (de l'ordre de trois à quatre mois).

Ce marnage a des conséquences particulièrement contraignantes pour la végétation lacustre. En effet, il est irrégulier et oblige les végétaux à s'adapter très rapidement à des conditions de stress hydrique opposées. Les végétaux doivent ainsi supporter plusieurs fois par an des immersions profondes durant plusieurs mois ou, à l'inverse, un stress de xéricité sévère d'une durée équivalente.



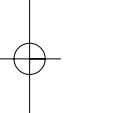
Graphiques, d'après T. Fraissé

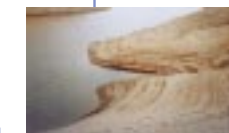
De même, il leur est souvent imposé de se développer et de boucler leur cycle phénologique à la fin de l'automne ou au début du printemps, soit à contre-saison.

La zone de marnage de ces réservoirs ne possède généralement pas de ceinture haute d'hélophytes ni de ceinture basse de plantes aquatiques mais un gradient positif d'espèces terrestres de plus en plus adaptées à l'immersion et distribuées de haut en bas de la berge.

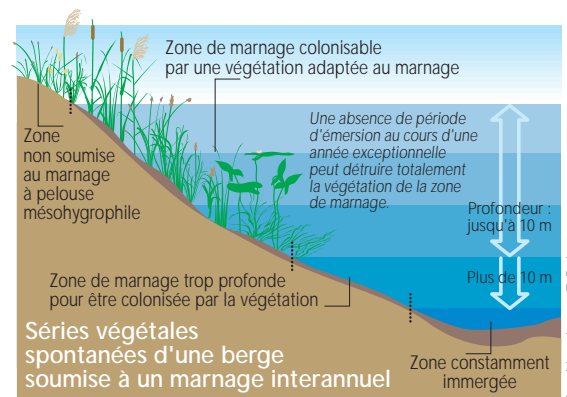
• Le marnage interannuel

Il est caractérisé par une amplitude très importante pouvant dépasser trente mètres et par une faible fréquence de fluctuations supérieure à la saison ou même





de l'ordre de l'année. Cette faible fréquence de fluctuations du niveau d'eau, lorsqu'elle est régulière et d'une durée de l'ordre de six mois, permet le développement d'une végétation adaptée au marnage et comparable à la végétation spontanée des berges de retenues saisonnières. Le développement végétal est freiné lorsque la période d'émersion coïncide avec la période hivernale, ce qui oblige les végétaux à boucler leur cycle phénologique à contre-saison.



À l'inverse, cette végétation, composée de végétaux terrestres, peut être complètement détruite lorsque la période d'immersion est exceptionnellement longue et excède une année. Ce cas de figure peut arriver, par exemple, lorsque l'on stocke de l'eau pendant une année humide afin de la restituer pendant une année sèche.

En effet, les végétaux de zones de marnage, même s'ils résistent à une immersion de durée importante, ont besoin chaque année d'une période d'émersion supérieure à quatre mois pour pouvoir boucler leur cycle phénologique à l'air libre.

Une absence de période d'émersion au cours d'une année exceptionnelle peut détruire totalement la végétation de la zone de marnage.

■ TYPOLOGIE DES ZONES DE MARNAGE À L'ÉCHELLE DE LA BERGE

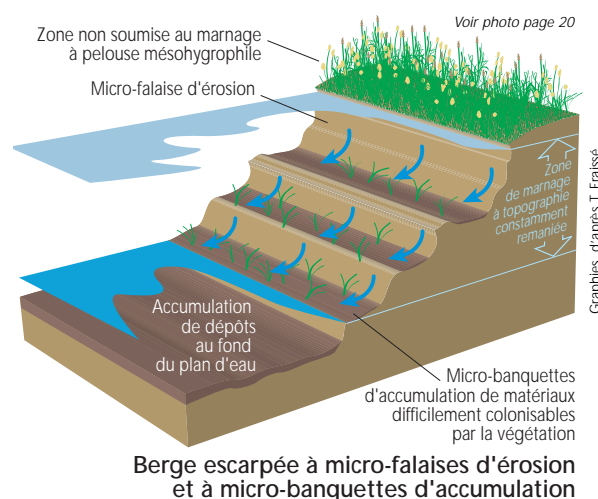
L'étude des plans d'eau montre qu'ils peuvent être classés en fonction de différents critères dépendants, entre autres, de leur origine naturelle ou artificielle, de leurs modalités de régime hydrique, de la taille ou de la forme de la cuvette réceptrice.

Toutefois, quelle que soit la catégorie à laquelle ils appartiennent et lorsqu'ils sont soumis à un régime hydrique saisonnier, ces plans d'eau (auxquels on peut associer les grands fleuves) possèdent, au maximum, les trois grands types de zones de marnage suivantes.

• Les berges escarpées

Les berges à roche mère apparente et à microfalaise d'érosion ont une topographie marquée et un substrat de nature varié. Elles sont soumises à une érosion régressive très sévère, qui modèle fortement le paysage et laisse peu de place à la colonisation végétale et animale ; cette érosion contribue fortement à l'accumulation de dépôts au fond du plan d'eau.

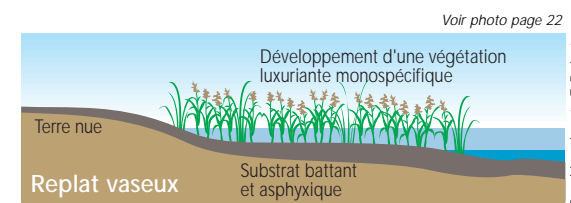
Ces berges présentent un aspect paysager austère de milieu perturbé et remanié par l'érosion. Elles peuvent constituer, à terme, un danger pour le tourisme et la randonnée (risques d'effondrement).



• Les replats vaseux

La topographie de ces replats est tributaire des processus de sédimentation. Les conditions écologiques générées par cette sédimentation sont peu variées, ce qui confère un aspect paysager monotone à ce type de berge. Malgré la battance de leur substrat, elles peuvent faire l'objet d'une colonisation végétale luxuriante et monospécifique.

Ces berges peuvent également constituer des zones de couvert, de nourriture et de reproduction pour la faune terrestre et la faune aquatique.

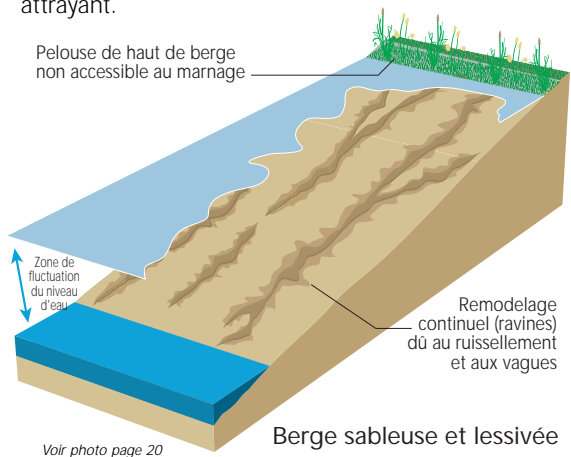


Pour les grands fleuves et rivières, ainsi qu'au niveau des queues de retenues, ces zones de sédimentation, du fait de la force du courant, peuvent être constituées par des matériaux sablonneux ou caillouteux plus lourds.

• Les berges sableuses et lessivées

La déclivité plus douce de ces berges est modelée par les eaux de ruissellement et le clapotis des vagues.

En raison de l'extrême pauvreté de leur substrat lessivé, ces berges sont peu favorables à la colonisation végétale ou animale. De plus, le remodelage continu dont elles font l'objet, leur donne un aspect lunaire peu attrayant.



1.3 HISTORIQUE ET FONDEMENT DES PRINCIPES D'INTÉGRATION ÉCOLOGIQUE

■ ENSEIGNEMENTS DU GÉNIE ÉCOLOGIQUE ISSU D'AUTRES MILIEUX DÉGRADÉS DÉJÀ ÉTUDIÉS

Si les principes fondamentaux du « génie écologique » existent depuis fort longtemps, leur réutilisation contemporaine, en temps que technique douce non traumatisante pour l'environnement, est intimement liée au nom du professeur autrichien H.M. Schiechtel.

Toutefois, il est important de remarquer que la remise au goût du jour de ces techniques s'est opérée, en premier lieu, dans des secteurs prioritaires et indispensables à l'activité humaine, tels que l'aménagement des talus de route, des carrières ou des pistes de ski.

Ainsi, même si les milieux traités sont différents, les enseignements issus de leur réhabilitation peuvent servir de modèle pour l'aménagement des zones de marnage. Toutefois, les techniques utilisées sont rarement directement transposables.

■ TRANSPPOSITION DES ACQUIS TECHNOLOGIQUES À LA PROBLÉMATIQUE DES ZONES DE MARNAGE

La restauration écologique des zones de marnage s'inscrit, mais plus tardivement, dans ce processus de restauration des milieux remaniés par les grands travaux ; elle s'inscrit également dans celui des milieux à fortes contraintes, tels que les cours d'eau et les zones désertiques.

Cependant, contrairement à certains milieux dégradés, les contraintes exceptionnellement sévères des zones de marnage ont fortement réduit le succès de leur végétalisation à partir de techniques classiques et de végétaux commercialisés, comme peuvent en témoigner les expérimentations menées sur les retenues de la Montagne noire (voir photographies page suivante) ou sur la retenue de Monteynard (voir chapitre 5.3).

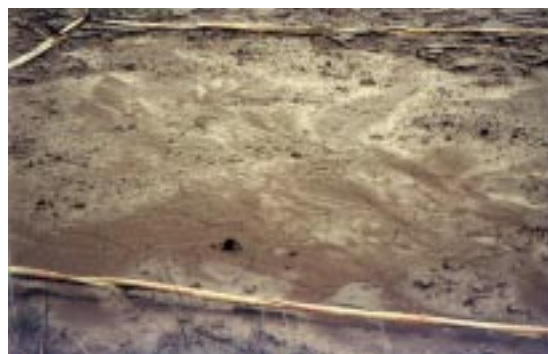
En effet, la mise en œuvre d'essais de végétalisation utilisant des mélanges de semences commerciaux a



montré, dès 1990, que ces mélanges étaient inadaptés pour la végétalisation des zones de marnage. Ils étaient pourtant composés de variétés rustiques, couramment utilisées pour la végétalisation des talus d'infrastructures terrestres.

La transposition directe des acquis technologiques issus de la végétalisation d'autres milieux dégradés étant limitée, il a donc été nécessaire d'évaluer les limites d'utilisation de ces techniques classiques et de comprendre les stratégies de végétalisation des zones de marnage.

Pour cela, il a été indispensable de rechercher des zones de marnage déjà végétalisées naturellement afin d'étudier leurs modalités de colonisation et leurs diversités végétales. Les données recueillies sur ces sites de référence ont permis d'analyser les adaptations au marnage de végétaux spontanés afin d'opérer des choix permettant leur utilisation en végétalisation.



Réservoir de la Montagne noire : comptage floristique concernant les essais de végétalisation des berges à partir de mélanges commerciaux. Très peu de plantules ont réussi à se développer.

■ MODÈLES NATURELS D'ÉVOLUTION

Les rares exemples d'intégration naturelle, à long terme, de plans d'eau, sont représentés par les berges des retenues marnantes très anciennes de la Montagne noire occidentale. En effet, ces retenues ont été construites il y a plus de deux siècles afin de servir au soutien d'étiage du canal du Midi, ce qui les soumet à de fortes variations annuelles du niveau de l'eau depuis leur mise en service. Cependant, malgré ce régime hydrique contraignant, des communautés de plantes adaptées ont eu le temps de s'implanter sur leurs berges vaseuses, sableuses ou escarpées.



Saint-Ferréol : berge de retenue ancienne, végétalisée naturellement et attrayante pour la faune et le tourisme.

Le deuxième exemple d'intégration naturelle est représenté par les berges des grands fleuves car ils constituent, depuis des temps immémoriaux, des voies de colonisation et d'échanges pour la flore des zones humides.

Ces modèles d'évolution que sont les retenues anciennes, les grands fleuves et les rivières ont permis d'étudier leur dynamique de colonisation végétale. Ils constituent également des zones de collecte et de prélèvement de végétaux spontanés des zones de marnage. La récupération dans la nature, puis la mise en culture de ces végétaux sauvages, ont permis la production d'un « outil végétal » idéal car adapté au marnage.

■ PRISE EN COMPTE DES EXIGENCES DES MAÎTRES D'OUVRAGE

Consécutivement à l'obtention d'un « outil végétal » performant, il s'est avéré nécessaire d'élaborer des principes d'aménagement innovants, à la fois adaptés aux contraintes du milieu et pouvant satisfaire aux exigences d'aménagement des maîtres d'ouvrage.

En effet, les concepteurs et les gestionnaires de plans d'eau peuvent avoir des attentes variées, notamment sur les plans :

- paysager : création d'un paysage bocager amphibie ;
- fonctionnel : lutte contre l'érosion des berges, amélioration de la qualité de l'eau ;
- écologique : création de biotopes, stimulation de la chaîne trophique, augmentation des potentialités piscicoles.

Ces attentes spécifiques nécessitent une orientation des processus d'intégration, rendue possible à l'heure actuelle par un grand choix de techniques et de végétaux adaptés au marnage.

Ce choix, dans la réponse, est plus largement développé au chapitre 2.2, consacré aux avantages inhérents à la végétalisation des zones de marnage.



AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION

2

Les contraintes spécifiques des zones de marnage sont tellement fortes, diversifiées et interdépendantes qu'il est difficile de prévoir précisément à l'avance quelles espèces et techniques de mise en œuvre seront les plus adaptées et les plus efficaces.

Cependant, une bonne connaissance des caractéristiques écologiques de ces milieux et le respect d'une chronologie d'actions bien pensées peuvent permettre de limiter les causes d'échec. Ainsi, dans tous les cas, la végétalisation des zones de marnage demeure une affaire de spécialistes capables, lors du diagnostic écologique préalable, de définir les contraintes susceptibles de représenter un obstacle majeur à l'aménagement. Seule une prise en compte des contraintes, dans toutes leurs diversités et intensités, permet d'optimiser les chances de réussite et de définir des principes d'aménagement adéquats.

2.1 LES CONTRAINTES

L'environnement lacustre des plans d'eau marnants est soumis à des contraintes d'origines différentes, ayant une incidence négative sur la faune et la flore de cet environnement. Ainsi, on rencontre des contraintes d'origines physique et biologique auxquelles viennent se superposer des contraintes d'origine anthropique, inhérentes à la gestion hydraulique ou au cadre réglementaire. En outre, les manifestations de l'ensemble de ces contraintes sont tributaires de la contrainte climatique locale du moment.

■ LES CONTRAINTES INHÉRENTES À DES FACTEURS PHYSIQUES

• Les contraintes liées aux types de plans d'eau

Ces contraintes physiques peuvent être classées en deux groupes suivant qu'elles sont spécifiques à un type de plan d'eau ou qu'elles sont la conséquence des effets du marnage.

On se contentera de rappeler brièvement, dans les tableaux ci-contre, les principales contraintes physiques inhérentes aux différents types de plan d'eau d'origine naturelle ou artificielle. On se reportera au chapitre 1.1 pour le classement et les principales caractéristiques des plans d'eau.

• Les contraintes liées aux types de berges

Les berges de retenues sont caractérisées par des paramètres écologiques tels que la topographie, la pédologie, la pierrosité, le régime hydrique saisonnier, qui, combinés, déterminent un gradient de contraintes spatiales et temporelles distribué perpendiculairement au rivage (Fraissé, 1994).

Quel que soit le type de retenue, nous pouvons considérer qu'elle abrite trois principaux types de berges bien différenciées et soumises à des contraintes différentes. Ainsi, l'on rencontre :

- **les berges sableuses** qui sont plus particulièrement soumises aux contraintes de sécheresse et d'érosion superficielle, liées à leur substrat drainant et sans cohésion. Ce substrat est également caractérisé par une extrême pauvreté en matières organiques et minérales ;

- **les berges escarpées** qui subissent les contraintes d'érosion les plus marquées du fait de leur topographie très accentuée et de l'action conjuguée du batillage. Ceci provoque la création de microfaisces d'arrache-



Berge sableuse sur la retenue du Lampy présentant de nombreuses ravines creusées par les eaux de ruissellement.



Berge escarpée sur la retenue de Villerest présentant des microfaisces d'arrachement et des microbanquettes d'accumulation, créées par le clapotis des vagues.

ment et de microbanquettes d'accumulation de matériaux, qui ont pour conséquence de remodeler totalement la surface du sol chaque année. Le haut de ces berges est également soumis à une érosion régressive

très marquée, qui a pour conséquence le glissement du sol en place au fond des retenues ;

- **les berges envasées**, à l'inverse des deux précédents types de berges, subissent des contraintes de

Les plans d'eau d'origine naturelle

Type de système aquatique

Les lacs

Contraintes physiques

- Elles varient en fonction de l'âge, de la situation altitudinale et du niveau de trophie du lac.
- Ainsi, les contraintes physiques ayant une incidence négative sur le développement de la végétation lacustre sont représentées par :
 - les basses températures pour les lacs oligotrophes ;
 - l'excès de sédimentation pour les lacs eutrophes ;
 - l'acidité excessive des eaux pour les lacs dystrophes acides ;
- Les lacs mésotrophes sont caractérisés par un équilibre harmonieux entre le monde physique et biologique n'engendrant pas de contraintes particulières.

Les étangs naturels, les marais et les marécages

- Importante amplitude thermique due à leurs faibles profondeurs. Leurs liaisons, plus ou moins directes, avec la mer leur confèrent souvent une salinité variable.
- Les caractéristiques physiques favorisent le développement de grandes étendues monospécifiques de végétaux plus ou moins halophiles.
- Les marais et marécages, en raison de leur très faible profondeur, peuvent être colonisés de façon continue.

Les berges des grands fleuves

- En plus des contraintes liées au marnage, ces berges subissent des contraintes inhérentes à la vitesse du courant.

Les plans d'eau d'origine artificielle

Type de système aquatique

Les retenues hydroélectriques

Contraintes physiques

- En plus des contraintes inhérentes aux lacs naturels, elles sont soumises à une contrainte très sévère, le « marnage », qui remanie constamment la topographie de leurs berges et limite leur colonisation végétale. L'impact du marnage, sur la végétation, diffère selon que ces retenues subissent un régime hydrique de type journalier, saisonnier ou interannuel.

Les retenues collinaires

- En plus de la contrainte de marnage liée à leurs usages et à leurs modalités d'alimentation en eau, ces retenues présentent des eaux chaudes, souvent turbides, dues à leur localisation en plaines agricoles.
- Ces contraintes favorisent le développement d'espèces peu exigeantes vis-à-vis de la qualité et de l'oxygénation de l'eau.

Les retenues d'eau potable

- Ces retenues subissent généralement un marnage de faible amplitude, tributaire de la consommation en eau.
- Les contraintes physiques qui leur sont associées sont très proches de celles qui caractérisent les retenues hydroélectriques journalières ou saisonnières.

Les étangs piscicoles

- Leurs contraintes physiques sont semblables à celles qui caractérisent les étangs naturels si ce n'est qu'ils sont généralement d'eau douce et sans liaison avec la mer

Les gravières et les ballastières

- Leurs berges sont souvent abruptes et leur profondeur assez uniforme, ce qui les rend difficilement colonisables par la végétation.
- Leur niveau d'eau est en rapport avec celui de la nappe phréatique.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION



sédimentation qui provoquent un enfouissement saisonnier des matériaux de surface. Elles sont également caractérisées par un substrat compact et asphyxique, qui interdit une bonne pénétration racinaire.



Berge envasée, sur la retenue du Lampy, à topographie peu marquée et à substrat compact et asphyxique. On peut noter la présence de parcelles d'essais de végétalisation.

Globalement, l'incidence de l'ensemble de ces contraintes se manifeste sur le milieu physique mais également sur la flore et la faune des zones de marnage. Ainsi, l'impact principal sur le milieu physique, quel que soit le type de berge, est un remodelage plus ou moins profond de la surface du sol, soit par emprunt, soit par dépôt. Ce phénomène confère aux zones de marnage un caractère de milieu constamment remanié, donc souvent inhospitalier pour la faune et la flore.

D'autres incidences peuvent concerner soit l'augmentation de la turbidité de l'eau par l'action mécanique du battillage sur un substrat vaseux, soit l'érosion régressive des hauts de berges, ce qui provoque une extension de la zone de marnage.



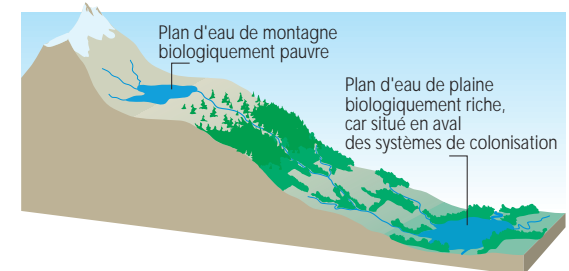
Erosion régressive de haut de berges, sur la retenue de Monteynard, provoquant une extension de la zone de marnage par décapage du sol en place.

• Les autres types de contraintes physiques

Les contraintes inhérentes aux facteurs stationnels sont principalement d'ordre altitudinal ou géographique.

La contrainte altitudinale a une action sur la température de l'eau et les modalités de colonisation. En effet, les plans d'eau d'altitude sont biologiquement pauvres car, d'une part ils sont situés en amont des systèmes de colonisation, et, d'autre part, la faible température de leurs eaux a tendance à ralentir les cycles vitaux, donc la colonisation végétale.

La contrainte géographique peut avoir une action sur les dynamiques de colonisation et sur la qualité des eaux. En effet, une retenue située dans un milieu boisé et fermé subira une colonisation naturelle plus limitée qu'une retenue située en plaine dans un milieu ouvert. De plus, les apports considérables de feuilles dont elle fait l'objet ont une incidence sur la qualité de ses eaux.



La contrainte climatique du moment peut accentuer la sévérité de la plupart des contraintes physiques. Ainsi, de fortes pluies peuvent accroître, par exemple, les contraintes d'érosion par ruissellement ou le lessivage des sols en place. À l'inverse, une sécheresse excessive peut détruire la végétation riveraine et, de ce fait, augmenter les risques d'érosion.

La contrainte climatique peut également agir sur le régime hydrique de la retenue et contrarier le bon déroulement des cycles vitaux (périodes de fraie, de floraison et de fructification).

Les contraintes géologique et pédologique peuvent avoir une action négative sur la colonisation végétale si les substrats sont trop battants et asphyxiques, ou, au contraire, trop poreux. De même, le pH des sols peut avoir une action sur la végétation, bien que celle-ci soit moins marquée que pour les milieux secs, probablement à cause de l'effet tampon de l'eau.

À l'inverse, la richesse des sols conditionne le bon développement végétal (comme le prouve la végétation luxuriante des replats vaseux, riches en matières organiques) qui s'oppose à la végétation clairsemée des berges sableuses lessivées.

■ LES CONTRAINTES INHÉRENTES À LA GESTION HYDRAULIQUE

• Les contraintes de gestion liées à la fonction première de la retenue

Ce type de contraintes est directement lié aux modalités de gestion de la retenue, donc à sa fonction première qui peut être la production d'électricité, la production d'eau potable ou l'irrigation.

Ces modalités de gestion vont déterminer un régime hydrique saisonnier qui sera plus ou moins contraignant pour la végétation et l'environnement lacustre. Ce régime hydrique saisonnier peut, par exemple, contraindre la végétation de la zone de marnage à se développer à contre-saison du fait que le niveau d'eau du réservoir est maximum durant la saison printanière et estivale (cas de la plupart des retenues vouées à l'irrigation).

La sévérité de ce régime hydrique peut également être accentuée par des conditions climatiques locales. Ainsi, une pluviosité excessive peut contraindre le gestionnaire à garder une ligne d'eau maximale toute une année, et détruire, de ce fait, la végétation pérenne de la zone de marnage. À l'inverse, une période de sécheresse inhabituellement longue peut entraîner un destockage excessif, et, par là même, faire mourir de soif la végétation riveraine. Toutefois, si la végétation est incapable de résister à ces stress hydriques extrêmes tout au long d'une année, certaines espèces peuvent adapter leur cycle phénologique en fonction des opportunités d'un régime hydrique chaotique. Ainsi, ces espèces peuvent fleurir et monter en graines très tôt au printemps ou très tard à l'automne, à l'occasion d'une période d'émersion passagère.

• Les contraintes de gestion liées à des objectifs seconds

Les contraintes liées au tourisme : certaines retenues marnantes voient leur période estivale marquée par un maintien volontaire des hautes eaux, uniquement à des fins touristiques. En effet, ces hautes eaux

camoufflent l'aspect inesthétique des zones de marnage. Les végétaux, terrestres et spontanés des zones de marnage, devront se satisfaire de cette contrainte et boucler rapidement leur cycle phénologique tard dans la saison.

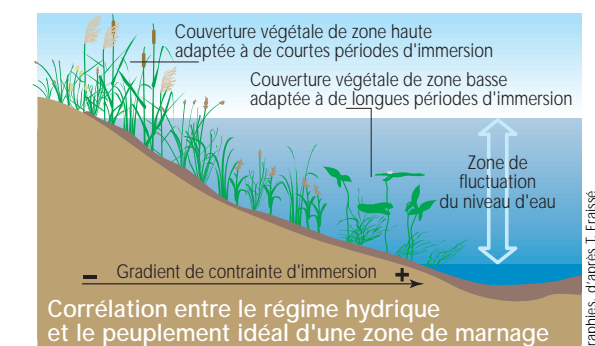
Les contraintes liées à des objectifs piscicoles : il est parfois nécessaire de veiller au maintien d'une cote suffisamment élevée lors des périodes de reproduction des poissons, afin que ceux-ci aient accès aux herbiers situés, généralement, en partie haute des zones de marnage. Cette pratique contraint la végétation à subir une immersion printanière, ce qui retarde son développement.

Les contraintes liées à la vidange : la plupart des retenues hydroélectriques sont soumises, par la réglementation française, à des contrôles de sûreté des ouvrages qui nécessitent une vidange totale du plan d'eau tous les dix ans, sauf dérogation.

Dans le cas de plans d'eau végétalisés, les zones traitées ne seront pas sujettes à une érosion importante pendant la phase d'abaissement du plan d'eau et donc pourront contribuer à la diminution des quantités de sédiments qui sont déplacés lors de ces opérations.

Il faudra ensuite veiller, pendant la phase d'à-sec du plan d'eau qui peut durer plusieurs mois si des travaux importants sont programmés sur le barrage, à protéger et à entretenir les zones végétalisées, par exemple, en prévoyant des arrosages et/ou en interdisant l'accès à ces zones fragilisées par l'à-sec.

Les contraintes favorisant le développement de la végétation lacustre : le peuplement végétal idéal d'une zone de marnage comprend, de haut en bas de la berge, une succession d'espèces végétales de plus en plus adaptées à une contrainte d'immersion de longue durée.



AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION



Afin de garantir la pérennité de cette succession d'espèces végétales, il est souhaitable d'établir un régime hydrique saisonnier susceptible de respecter le déroulement du cycle phénologique de chaque espèce. Ainsi, ce régime hydrique devra être le plus régulier possible et devra permettre, à la fois aux espèces de zone haute de se développer durant la période d'émergence estivale, et aux espèces de zone basse de ne pas être découvertes trop longtemps afin de ne pas souffrir de la sécheresse.

■ LES CONTRAINTES INHÉRENTES À DES FACTEURS BIOLOGIQUES

• La prédation

La végétation des zones de marnage peut représenter une source de nourriture pour la faune sauvage mais aussi pour les espèces domestiques terrestres. Cet état de fait ne présente pas d'inconvénient tant qu'il reste limité dans la durée et dans l'espace.

À l'inverse, certains ravageurs, tels que les ragondins, peuvent, lorsqu'ils sont en surpopulation, faire des dégâts et menacer la pérennité du couvert végétal. Ceci peut créer un déséquilibre biologique grave, notamment pour les oiseaux qui ont besoin d'une couverture végétale bien développée pour se nourrir et faire leurs nids (cas du réservoir de Puydarrieux).

On peut également noter que la végétation est plus sensible à la prédation et à la fauche lorsque celles-ci sont réalisées peu de temps avant l'immersion. En effet, des végétaux récemment coupés ont du mal à cicatriser sous l'eau et sont donc davantage sujets aux maladies.

• Le piétinement

Cette contrainte, lorsqu'elle est excessive, peut représenter un danger pour la couverture végétale, quel que soit le biotope considéré. Toutefois, certaines espèces spontanées des zones de marnage résistent mieux que d'autres au piétinement. Ainsi, les espèces stolonifères ou gazonnantes peuvent être foulées aux pieds, contrairement aux héliophytes, à développement vertical prononcé. Cette constatation devra être prise en compte par les aménageurs pour répondre à des volontés d'aménagement d'ordre fonctionnel (création de plaquettes touristiques foulables aux pieds, fixation des berges ou création de zones de couvert).

• L'isolement et l'exposition solaire

Les plans d'eau situés en milieux fermés et boisés sont peu favorables à la colonisation végétale pour deux raisons essentielles :

- les arbres représentent un obstacle physique à la colonisation et à la pollinisation, ce qui limite la diversité végétale des espèces herbacées ;
- les espèces spontanées des zones de marnage sont pour la plupart des espèces héliophiles, dont les individus adultes ont besoin de soleil pour se développer et les semences pour germer. Ainsi, les berges ensoleillées présentent une abondance et une diversité végétale bien supérieures à celles des berges situées à proximité d'une zone boisée.

• Les successions végétales spontanées

Les milieux soumis à de sévères contraintes (zones désertiques, haute montagne) sont caractérisés par des successions végétales qui se répartissent dans l'espace en fonction du gradient de contraintes.

Ainsi, les espèces possèdent des adaptations de plus en plus prononcées, au fur et à mesure que la contrainte augmente (voir dessin page précédente). Il en est de même pour les zones de marnage où les végétaux des bas de berges sont plus adaptés à la contrainte d'immersion que ceux des hauts de berges. L'aménageur averti, s'il veut espérer quelques chances de succès, devra impérativement tenir compte de ces successions végétales dans ses prescriptions d'aménagement.

■ LES CONTRAINTES RÉGLEMENTAIRES

Seuls sont traités ici les problèmes juridiques spécifiquement liés à la faisabilité d'un projet de végétalisation. Sont donc exclus de l'étude :

- les aspects liés à la construction et à l'exploitation d'un barrage n'ayant pas d'incidence sur la végétalisation ;
- les aspects juridiques relatifs à la valorisation du projet (valorisation piscicole : modification des plans de pêche, valorisation touristique : règles pour la sécurité des personnes aux abords du barrage, etc.) qui ne présentent pas de spécificités juridiques particulières liées à l'existence ou non de la végétalisation.

Deux idées de fond seront développées :

- la réalisation des travaux et le maintien de végétalisation doivent se faire dans le respect du cahier des

charges de l'exploitant, qui est souvent le maître d'ouvrage, et avec son accord ;

- le maître d'ouvrage et l'exploitant sont tenus de prendre certaines précautions pour éviter que leurs responsabilités puissent être recherchées du fait de l'exécution des travaux. Et, outre les interdictions ou réglementations d'activités (comme la planche à voile), les travaux peuvent avoir des conséquences susceptibles d'engager la responsabilité du maître d'ouvrage vis-à-vis des riverains (problème du retalutage vis-à-vis du bornage) ou de la société (pollution des eaux sanctionnées pénalement par l'article 22 de la « loi sur l'Eau » qui crée un délit de pollution). Aussi, il apparaît fondamental de privilégier au maximum la concertation lors de la préparation de l'opération et de prévenir tout risque de pollution des eaux.

La conjugaison de ces deux éléments amènera à s'interroger sur les incidences juridiques de la végétalisation sur la gestion des berges et sur la protection de l'environnement.

• Les incidences juridiques de la végétalisation sur la gestion des berges

Quelle que soit la nature juridique du plan d'eau, domanial ou non domanial, toute action à mener de la part d'une tierce personne sur les dépendances immobilières rattachées à un aménagement déterminé, nécessitera une démarche auprès de l'exploitant et du maître d'ouvrage, afin de leur faire connaître non seulement la nature du projet des travaux à accomplir mais aussi en vue d'obtenir leur accord pour la mise en œuvre. Cela nécessitera l'élaboration d'un document type convention entre les parties concernées.

Cependant, si la rencontre des consentements entre les parties s'avérait nécessaire, elle ne serait pas pour autant suffisante car le gestionnaire du plan d'eau serait soumis au respect de certaines obligations, tant à l'égard de certains organismes qui devront être consultés pour avis ou accord qu'à l'égard des propriétaires mitoyens des berges du plan d'eau.

Les relations entre le gestionnaire du plan d'eau et des organismes locaux et/ou nationaux : quand bien même le plan d'eau en cause ne connaît aucune vocation touristique, il faudra se poser la question de savoir si le maître d'ouvrage et l'exploitant devront, préalablement à tout engagement de leur part, obtenir l'avis ou l'accord de l'autorité de tutelle chargée de la police des eaux (Drire, DDE, DDAF).



C. Couvert - Graphies

D'autres interrogations pourront s'ajouter, comme, par exemple, la nécessité de requérir l'avis de tel ou tel organisme concerné par le foncier et/ou l'usage ou les usages des eaux (Voies navigables de France, service de la Navigation, DDE, Diren, etc.).

En outre, si le plan d'eau concerné est appelé à connaître des usages à des fins de loisirs, il faudra prendre en considération l'incidence économique du projet de végétalisation particulièrement en ce qui concerne la phase des travaux. Celle-ci pourra en effet entraîner une suspension des activités de loisirs pendant une durée assez longue, engendrant, de ce fait, des impacts négatifs sur les retombées financières. Les collectivités locales, comités d'entreprises, associations, particuliers, etc., bénéficieront avec l'exploitant du plan d'eau de conventions les autorisant à occuper les berges de cette retenue afin d'accéder à l'eau.

Les relations entre le gestionnaire du plan d'eau et les propriétaires mitoyens : certaines phases de travaux nécessaires à la végétalisation peuvent entraîner, à certains endroits de la retenue, des dégradations de berges pouvant accélérer des phénomènes d'érosion existants, voire même, altérer à son tour la configuration des lieux appartenant au propriétaire voisin. Ce peut être le résultat d'un éboulement de terre par exemple.

Il peut également y avoir, au préalable à toute intervention d'une entreprise de travaux, un différend quant à l'implantation *in situ* de la limite divisoire de deux propriétés (exploitant/voisin) par l'absence de bornage. En général, le tènement immobilier constituant le foncier du plan d'eau fait l'objet d'un bornage sur la totalité de son périmètre. En cas d'absence de celui-ci, il s'avérera indispensable de le réaliser en sollicitant les compétences d'un géomètre-expert. Dès

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION



lors, se posera la question du coût du bornage et de la prise en charge des frais et honoraires.

Il est donc vivement conseillé de veiller à ne pas provoquer d'altérations au terrain dont on ne possède pas la maîtrise et de vérifier, avant toute intervention, que l'on a la maîtrise des terrains et des accès pour effectuer le chantier.

• Les incidences juridiques de la végétalisation sur la protection de l'environnement

En ce qui concerne les aspects strictement « droit de l'environnement », ce type d'opération s'inscrit parfaitement dans une perspective de développement durable (qui concilie la préservation des milieux et le développement économique) mise en avant par la « loi Barnier » du 2 février 1995 sur le renforcement de la protection de l'environnement. Il n'en reste pas moins que la réalisation des travaux peut avoir divers impacts sur l'environnement, qu'il convient d'évaluer. Il est, de ce point de vue, important de connaître la réglementation applicable pour organiser les travaux.

Sur ce sujet, on verra que ce type d'opération n'est soumis à aucunes contraintes réglementaires spécifiques. Cependant, il sera fait diverses propositions d'ordre institutionnel ou juridique pour connaître et prévenir au mieux les impacts négatifs possibles de la réalisation des travaux sur le milieu aquatique.

L'absence de « contraintes réglementaires environnementales » concernant la réalisation des travaux (retalutage, déplacement des galets en dessous de la zone à végétaliser, réalisation des plantations herbacées ou ligneuses, avec ou sans caisson) : on verra que les différents textes environnementaux auxquels on pouvait penser *a priori* ne sont pas applicables à ce type d'opération.



C. Couvert - Graphies

Le retalutage et le déplacement des galets ne relèvent pas de la réglementation issue de la « loi Carrières » du 4 janvier 1993 puisque cette législation ne s'applique que « lorsque les matériaux extraits sont commercialisés ou utilisés à des fins autres que la réalisation de l'ouvrage sur l'emprise duquel ils ont été extraits ».

Dans la quasi-totalité des cas, ce type d'opération ne donne pas lieu à étude d'impact au titre de la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature qui ne vise que les opérations dont le programme général des travaux est supérieure à douze millions de francs.

En ce qui concerne les plantations :

- l'utilisation d'engrais n'est pas soumise à des règles particulières (le produit doit simplement être homologué, ce qui est le cas de tous les produits en vente ; par ailleurs, le « code de bonne pratique agricole » prévu par l'arrêté du 22 novembre 1993 ne concerne pas ce type d'opération puisqu'il a trait uniquement à l'agriculteur) ;

- l'utilisation des espèces envisagées, que l'on trouve sur le territoire français, n'appelle pas d'observations.

Par ailleurs, cette opération n'est soumise ni à déclaration ni à autorisation auprès des services de police des eaux (DDAF, DDE ou service Navigation selon les cas). En effet, elle ne correspond à aucune des rubriques indiquées dans le décret 93-743 du 29 mars 1993 (dit « décret Nomenclature ») d'application de la « loi sur l'Eau » du 3 janvier 1992.

Enfin, d'un point de vue paysager, ce type d'opération n'est évidemment soumis à aucune restriction. Au contraire, il peut constituer un outil pour la mise en œuvre d'une politique paysagère qui est, dans certains cas, définie par une directive de protection et de mise en valeur des paysages prévue par la « loi Paysage » du 8 janvier 1993. Ces directives, approuvées par décret en Conseil d'État* déterminent les orientations et principes fondamentaux pour la protection et la mise en valeur des paysages. Un cahier des recommandations plus précis, portant par exemple sur les espaces prioritaires à protéger, peut, notamment, les accompagner. Dans ce cas, il conviendrait de se référer au contenu de ces documents pour en faire un des critères pertinents à retenir pour déterminer les zones à végétaliser.

On évoque parfois les difficultés que soulèverait la mise en défens momentanée de la zone végétalisée au regard de la servitude de passage dite « sentier des douaniers » imposée par le « loi Littoral » du 3 janvier 1988.

Ce problème n'en est pas un. En effet, la « loi Littoral » institue une servitude de trois mètres « à compter de la limite du domaine public maritime ». Il convient d'interpréter cette disposition pour les plans d'eau maritimes, par hypothèse non « maritimes ». Le domaine public maritime comprend les rivages de la mer qui sont délimités côté côte par la laisse de haute mer (à marée haute). Par analogie, on peut considérer que cette servitude s'applique, pour nos plans d'eau, au-delà de la cote la plus haute de la retenue. Elle ne joue donc pas pour la végétalisation qui se fera par hypothèse en deçà.

Pour information plus générale, la « loi Littoral » ne concernera que les plans d'eau d'une superficie de plus de 1 000 ha et le préfet a la possibilité, en application de l'article L 180-8 du code de l'Urbanisme, de modifier le tracé de cette servitude et même de la suspendre à titre exceptionnel.

Le respect de quelques règles de bon sens : si aucune règle environnementale ne s'impose, il est toutefois très vivement recommandé, la responsabilité du maître d'ouvrage pouvant être engagée, de développer une importante concertation locale et de prendre certaines dispositions pour prévenir les pollutions :

- **développer la concertation locale :** le maître d'ouvrage devra prendre régulièrement des contacts informels avec l'ensemble des acteurs et collectivités concernés, pour expliquer au mieux l'intérêt et le déroulement de l'opération. Si nécessaire, d'une façon plus générale, une information du public peut être envisagée pour justifier les conséquences des travaux constituant la suspension momentanée de certains usages ;

- **prévenir les pollutions :** d'une part, les différents services de l'État, gestionnaires des milieux aquatiques (Diren, agence de l'Eau, mais aussi services chargés de la police des eaux) seront utilement associés. D'autre part, une réflexion sur l'impact environnemental, bien que non réglementairement obligatoire, est hautement souhaitable.

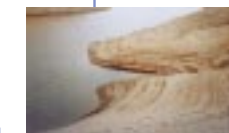
Cette étude s'attachera, en particulier, à démontrer que les risques de pollution du milieu aquatique (par matières en suspension suite au retalutage, par assainissement en cas d'échec, etc.) sont mineurs. Elle proposera, le cas échéant, des mesures à respecter.

* Deux directives ont, jusqu'à présent, été approuvées : l'une dans les Alpilles (Bouches-du-Rhône), et l'autre sur les côtes de la Meuse et de la Petite Woèvre (Meuse).



C. Couvert - Graphies

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION



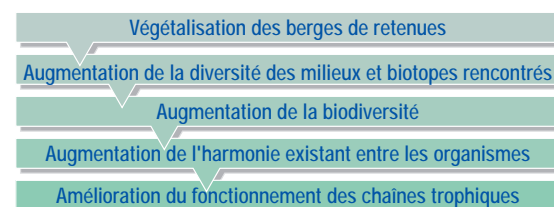
2.2 LES AVANTAGES

La végétalisation des berges des plans d'eau marnants augmente les potentialités écologiques mais aussi les potentialités touristiques et paysagères de ces mêmes plans d'eau. On essaiera, dans ce chapitre, de mettre en évidence les avantages acquis par la mise en œuvre de ces techniques.

■ LES AVANTAGES ÉCOLOGIQUES ET PAYSAGERS

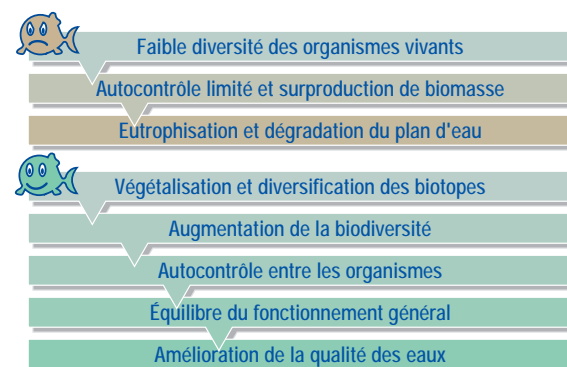
• L'activation des chaînes trophiques

La végétalisation des berges de retenues marnantes a pour effet de favoriser la diversité du milieu. Cette augmentation de biotopes potentiels favorise, à son tour, la biodiversité, donc l'équilibre existant entre les organismes vivants aquatiques. De ce fait, les chaînes trophiques sont mieux équilibrées en raison des actions limitantes qu'exercent les organismes les uns vis-à-vis des autres. Ceci concourt à l'équilibre général de la biomasse (*Valorisations touristique et écologique des plans d'eau, BRL, ministère de l'Environnement, 1995*). Des campagnes de prélèvement de la faune aquatique, réalisées un an après la mise en place d'essais de végétalisation sur la retenue de Monteynard, ont montré l'effet positif de la végétalisation sur l'abondance du benthos et du zooplancton (*voir les exemples de quelques réalisations au chapitre 5*).



• La contribution à la lutte contre les risques d'eutrophisation

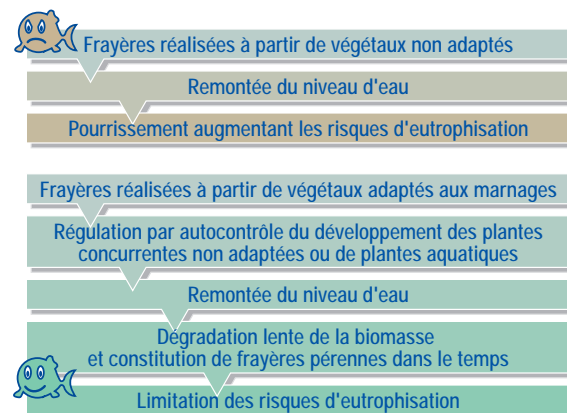
L'eutrophisation est due à un apport excessif de nutriments qui provoque une prolifération incontrôlée de la végétation aquatique. Ce déséquilibre vital induit de fortes variations de pH (forte production d'oxygène le jour, et forte production de gaz carbonique la nuit) provoquant ainsi la mort d'une grande partie des végétaux et, par voie de conséquence, la dégradation du plan d'eau.



La végétalisation des zones de marnage, à l'aide de différentes espèces végétales adaptées au marnage, limite la réalisation de ce processus en maintenant une grande diversité (*BRL, ministère de l'Environnement, 1995*). De ce fait, l'autocontrôle entre les organismes vivants est plus rigoureux, ce qui équilibre le fonctionnement général du plan d'eau.

• La création de zones de frayère

La végétalisation temporaire des zones de marnage, dans le but de réaliser des frayères pour les poissons, est une pratique couramment employée depuis de nombreuses années. Toutefois, cette pratique utilise le plus souvent des végétaux non adaptés au marnage, qui ont tendance à pourrir massivement dès la remontée du niveau d'eau, accentuant ainsi les risques d'eutrophisation. De plus, cette pratique est fastidieuse et coûteuse car elle doit être recommencée chaque année.

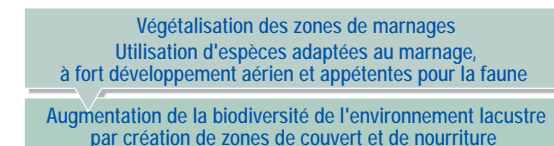


À l'inverse, l'utilisation de végétaux vivaces spontanés des zones de marnage permet de réaliser des frayères pérennes dans le temps, donc constamment utilisables par les poissons. La biomasse aérienne des végétaux utilisés ne se dégrade que très progressivement après la remontée du niveau d'eau, ce qui limite les risques d'eutrophisation et de colonisation par des espèces aquatiques envahissantes.

• La création de zones de couvert et de nourriture pour la faune terrestre et la faune ailée

Comme pour la création de frayères, il est possible de végétaliser de façon pérenne les zones de marnage afin de créer des zones de couvert et de nourriture pour la faune terrestre et pour la faune ailée.

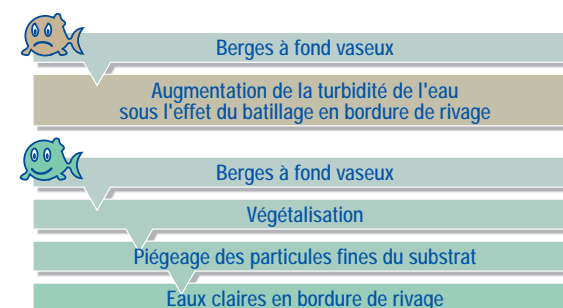
Cependant, les végétaux utilisés seront, dans ce cas, d'espèces différentes et on privilégiera leur développement aérien et leur appétence.



• L'amélioration localisée de la turbidité de l'eau

Les queues des retenues hydroélectriques et des retenues collinaires possèdent des berges dont le substrat vaseux peut facilement être mis en suspension par le battillage des vagues, augmentant ainsi la turbidité de l'eau au niveau de la bordure du rivage.

La mise en place d'une couverture végétale adaptée au marnage et l'utilisation judicieuse d'un géotextile peuvent permettre, localement, de lutter efficacement



contre ce phénomène. L'obtention d'une eau claire, en bordure de rivage, représente un avantage sur le plan touristique.

• L'amélioration paysagère

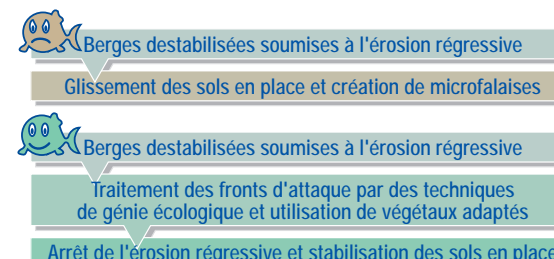
La végétation joue un rôle considérable dans l'esthétique de l'environnement lacustre. En effet, l'élément végétal est complémentaire de l'eau et les différents tons de vert s'associent bien aux diverses nuances de l'eau (*Valorisations écologique et touristique des plans d'eau artificiels, BRL, ministère de l'Environnement, 1995*). La végétalisation des zones de marnage permet d'éviter le contraste d'effets visuels des zones dégradées en créant une continuité dans le paysage.



• La limitation des risques naturels

Les zones de marnage, et, plus particulièrement, celles qui ont une topographie marquée, sont soumises à des contraintes d'érosion qui ont tendance à déstabiliser les sols en place et à les faire glisser au fond de la retenue. Cette instabilité des sols en place est susceptible d'être dangereuse pour les touristes et les riverains.

L'utilisation de techniques de génie écologique performantes, associées à un outil végétal adapté, permettent d'enrayer cette érosion régressive et de stopper l'avancée des microfaisces d'arrachement ainsi créées (*voir les essais de végétalisation de la retenue de Monteynard au chapitre 5.3*).



AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉGÉTALISATION



LES AVANTAGES SOCIO-ÉCONOMIQUES

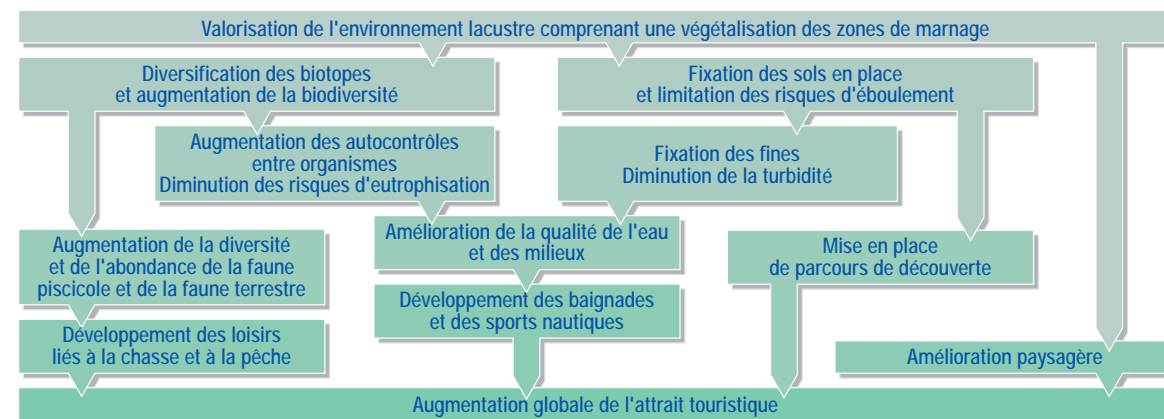
• L'augmentation de l'attrait touristique

Il semble qu'aucune étude n'a encore chiffré l'incidence de la valorisation écologique de plans d'eau sur leurs fréquentations touristiques. Toutefois, et bien que chaque retenue soit un cas particulier, on peut supposer qu'une amélioration générale du fonctionnement écologique du milieu lacustre a un impact global positif sur son attrait touristique.

Ainsi, un simple rappel des faits examinés précédemment, nous permet de suggérer la chronologie d'incidences suivante :



C. Couvert - Graphies



• La mise en cultures saisonnières des zones de marnage

Cette pratique, en utilisant des végétaux non adaptés au marnage, peut avoir une incidence négative sur la qualité de l'eau en période estivale, en augmentant les risques d'eutrophisation. En effet, ceux-ci pourrissent massivement dès la remontée du niveau d'eau, ce qui entraîne des relargages importants d'éléments nutritifs.

Toutefois, dans les régions pauvres et accidentées où les bonnes terres agricoles sont rares, les zones de marnage, et plus particulièrement les replats vaseux, peuvent présenter, en raison de leurs richesses édaphiques, un complément de terres cultivables non négligeable.





LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE

3

Dans ce chapitre, seront uniquement traités les systèmes aquatiques marnants (retenues artificielles, grands fleuves) car leurs modalités de colonisation et leurs végétations sont spécifiques et totalement différentes de celles des systèmes aquatiques à niveau constant.

En effet, les systèmes aquatiques à niveau constant ne présente pas de réelles difficultés d'aménagement par végétalisation, du fait de la disparition des contraintes liées au marnage. De plus, les caractéristiques concernant leur colonisation ont déjà été abordées en début d'ouvrage, au chapitre 1.1 traitant de la typologie des systèmes aquatiques continentaux.

Le guide ne présente pas une liste exhaustive de la flore spontanée des zones de marnage. On se contentera ici de présenter, tout d'abord, les principales caractéristiques du couvert végétal avec son cortège d'espèces pérennes et annuelles spontanées des zones de marnage.

Dans un deuxième temps, on s'attardera plus largement sur certaines espèces particulièrement bien adaptées au marnage et utilisables en technique végétale.

Toutefois, il faut rappeler ici que l'utilisation de tels végétaux demeure une affaire de spécialistes car elle nécessite une grande connaissance de leurs exigences écologiques. En effet, dans le cadre de l'aménagement des milieux à sévères contraintes, toute mauvaise appréciation d'un paramètre écologique ou mise en œuvre d'une technique d'aménagement mal adaptée peut être responsable de l'échec.



Un début de colonisation à partir d'espèces annuelles pionnières non adaptées au marnage, sur la retenue de Puylaurent après sa première année de mise en eau.

3.1 VÉGÉTATION SPONTANÉE ET DYNAMIQUE DE COLONISATION À L'ÉCHELLE DU PLAN D'EAU MARNANT

■ LA DYNAMIQUE DE COLONISATION

La dynamique de colonisation des collections d'eau marnantes est très lente. Ainsi, les rares exemples d'intégration naturelle à long terme de plans d'eau marnants sont représentés par les berges des retenues marnantes très anciennes de la Montagne noire occidentale.

Cependant, malgré ce régime hydrique contraignant, des communautés de plantes adaptées au marnage ont eu le temps de s'implanter sur leurs berges vaseuses, sableuses ou escarpées. Le deuxième exemple d'intégration naturelle de systèmes marnants est représenté par les berges des grands fleuves car ils constituent, depuis des temps immémoriaux, des voies de colonisation et d'échanges pour la flore des zones humides.

■ MODALITÉS D'IMPLANTATION ET VÉGÉTATION SPONTANÉE

Les collections d'eau marnantes sont soumises à un régime hydrique saisonnier qui crée un gradient de contraintes spatiales et temporelles distribuées perpendiculairement au rivage. Ce gradient de contraintes



Une retenue en voie de colonisation (retenue de Puydarrieux dix ans après sa première année de mise en eau) : apparition de plaques d'espèces pérennes adaptées au marnage parmi un couvert végétal de type annuel.



Un couvert végétal pérenne adapté au marnage sur la retenue de Saint-Ferréol plus de 350 ans après sa première année de mise en eau.

engendre, de haut en bas des berges, une distribution spatiale d'espèces végétales de plus en plus adaptées à la contrainte d'immersion.

Ainsi, la colonisation végétale débute toujours par les hauts de berges où les espèces annuelles apparaissent en premier, suivies, dans un deuxième temps, par des espèces pérennes adaptées à des périodes d'immersion de courte durée. Ces espèces annuelles sont généralement des espèces ubiquistes et pionnières, dont les modalités de reproduction (cycle phénologique court, constitution de banques de semences) les rendent très performantes pour la colonisation de milieux neufs ou remaniés par les contraintes. Par la suite, cette colonisation descend progressivement vers les bas de berges, toujours précédée par l'apparition d'espèces annuelles. Les espèces pérennes de bas de berges apparaissent plus tard et sont de plus en plus adaptées à la contrainte d'immersion. Finalement, cette distribution spatiale d'espèces végétales détermine des ceintures de colonisation différentes et visibles à l'œil.

3.2 VÉGÉTATION SPONTANÉE ET DYNAMIQUE DE COLONISATION À L'ÉCHELLE DE LA BERGE

La caractérisation sommaire des principaux types de zones de marnage réalisés au chapitre 1.2 (typologie des zones de marnage) va servir de support pour évaluer leurs modalités de colonisation par une végétation adaptée. Ainsi, la végétation des berges sableuses, vaseuses et escarpées a été étudiée *in situ*, au moyen de relevés floristiques. Les résultats de ces investigations ont permis d'évaluer leurs coefficients de recouvrement au sol et leur richesse en espèces.

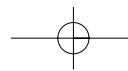
■ LES BERGES SABLEUSES

Les berges sableuses présentent un substrat particulièrement xérique et pauvre en matières nutritives, donc peu favorable à la colonisation végétale. Leur recouvrement végétal est médiocre et leur richesse spécifique est faible en espèces annuelles et moyenne en espèces pérennes.

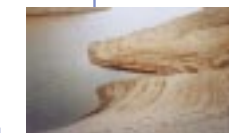
Ainsi, seul le fond commun d'espèces pérennes, représenté sur tous les types de zones de marnage et appartenant à l'alliance du *Bidention tripartiti*, peut s'y implanter (ces espèces sont représentées par *Rorippa sylvestris*, *Mentha pulegium*, *Carex hirta*, *Plantago major*).



Berge sableuse de la retenue de Saint-Ferréol : pauvre et xérique, elle ne permet que l'installation de quelques touffes de plantes très adaptées.



LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



■ LES BERGES ESCARPÉES

Les berges escarpées sont caractérisées par une forte pierrosité de surface et une topographie variée qui favorisent l'hétérogénéité végétale par piégeage des semences. Leur recouvrement végétal est faible suite à la forte pierrosité, mais la richesse spécifique est forte en espèces annuelles rudérales et pionnières, et moyenne en espèces pérennes. Les espèces couramment rencontrées sont celles de l'alliance du *Bidention tripartiti* auxquelles peuvent s'ajouter des espèces pionnières telles que *Rumex acetosella*, *Gnaphalium luteo album*, *Linaria repens*, *Solanum nigrum*, *Bidens radiata*.



T. Fraissé, février 1990

Berge escarpée de la retenue de Cammazes présentant un début de colonisation par des espèces adaptées.

■ LES REPLATS VASEUX

Du fait de leurs caractéristiques physiques homogènes, les replats vaseux hébergent un petit nombre d'espèces qui peuvent se développer vigoureusement. Leur recouvrement peut être très important et leur richesse



T. Fraissé, février 1995

Berge vaseuse de la retenue de Saint-Ferréol possédant un couvert végétal vigoureux.

spécifique en espèces annuelles et pérennes est moyenne. On y rencontre les espèces de l'alliance du *Bidention tripartiti*, qui peuvent être supplantées par des peuplements denses et monospécifiques de grands héliophytes tels *Phalaris arundinacea*, *Lysimachia vulgaris*, *Typha latifolia*, ou des espèces amphibies telles *Eleocharis palustris* et *Juncus bulbosus*.

L'ensemble de ces investigations a permis de comprendre dans leur globalité les dynamiques de fonctionnement et d'évolution des zones de marnage. Toutefois, les espèces responsables de ces dynamiques de fonctionnement ne se limitent pas au tronc commun appartenant à l'alliance du *Bidention tripartiti*. En effet, certaines espèces, moins communes, peuvent jouer un rôle décisif et indispensable dans l'intégration écologique de certaines retenues. Ainsi, seul un diagnostic écologique préalable du site à aménager, réalisé par un spécialiste, pourra déterminer ces espèces afin de garantir le succès de l'aménagement.

3.3 CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DES VÉGÉTAUX SPONTANÉS ET MODALITÉS D'UTILISATION

■ OBJECTIF RECHERCHÉ ET CHOIX DE L'OUTIL VÉGÉTAL

Pour pouvoir végétaliser avec succès une zone de marnage, il est indispensable de choisir judicieusement la technique de mise en œuvre mais aussi les espèces végétales les plus adaptées aux contraintes du milieu. C'est dans ce but qu'ont été étudiées les caractéristiques biologiques de certaines espèces de zones de marnage, ceci afin de pouvoir faire un choix qui renseignera sur leurs utilisations futures.

L'étude de la couverture végétale des zones de marnage montre qu'il existe deux types d'espèces végétales spontanées :

- un cortège d'espèces annuelles possédant un mode de vie opportuniste et résistant à la phase d'immersion uniquement sous forme de semences ;

- un cortège d'espèces pérennes adaptées au marnage grâce à certaines caractéristiques biologiques.

Les espèces annuelles sont des herbacées pionnières d'origine rudérale qui profitent d'une période de conditions favorables, située juste au début de la phase d'émersion, pour germer et se développer rapidement. Une fois adulte, ces espèces ne présentent aucune adaptation biologique leur permettant de résister aux variations de niveau d'eau. Leur seul mode de propagation et de colonisation réside dans leurs semences, qui peuvent, pour certaines, résister à l'immersion. Ainsi, ces espèces, en raison de leurs caractéristiques éphémères, ne présentent aucun intérêt pour la végétalisation. De plus, leurs développements aérien et racinaire sont très faibles et leur appétence vis-à-vis de la faune est souvent limitée.

À l'inverse, les espèces pérennes adaptées au marnage présentent de nombreuses caractéristiques biologiques qui leur permettent de résister aux variations de niveau d'eau, aussi bien au stade adulte qu'au stade de plante ou de semence. Ces espèces pérennes sont donc potentiellement intéressantes pour la végétalisation.

■ L'ÉTABLISSEMENT DES CRITÈRES DE CHOIX

L'étude de la couverture végétale des zones de marnage et la prise en compte des sévères contraintes inhérentes au marnage ont amené à établir des critères de choix pour déterminer les espèces les plus intéressantes pour la végétalisation. L'établissement de ces critères a également tenu compte des acquis technologiques issus de l'aménagement d'autres types de milieux à sévères contraintes (déserts, haute montagne) et des résultats de travaux internationaux concernant la biologie de certaines espèces de zones de marnage (*Barclay et Crawford, 1982 ; Born et Stephenson, 1973 ; Conchou et Fustec, 1988 ; Panetta, 1985, Van den Valk, 1981, Schiechtel, 1980*).

Les critères de choix finalement retenus à l'issue de ces investigations sont les suivants :

- la **résistance potentielle à l'immersion** : les espèces présentant la meilleure résistance à l'immersion sur le terrain ont été choisies ;
- la **durée de vie** : seules des espèces pérennes sont sélectionnées ;
- le **mode de multiplication** : les espèces pouvant se multiplier de façon végétative et sexuée sont

privilegiées car elles ont une stratégie de colonisation plus agressive sur le terrain ;

- l'**appartenance phytosociologique** : les espèces appartenant à l'alliance du *Bidention tripartiti* sont privilégiées car elles forment un fond commun d'espèces sur les trois types de berges.

Des espèces ont été retenues sur la base de ces critères et dix d'entre elles seront présentées ici car elles ont été particulièrement testées, à la fois en serre, en laboratoire et sur différentes zones de marnage afin d'analyser leurs caractéristiques biologiques et d'établir leurs degrés de résistance à la contrainte : *Eleocharis palustris*, *Phalaris arundinacea*, *Deschampsia cespitosa*, *Carex hirta*, *Mentha pulegium*, *Rorippa sylvestris*, *Lysimachia vulgaris*, *Lythrum salicaria*, *Cyperus eragrostis*, *Scirpus maritimus*.

■ LES CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DES VÉGÉTAUX CHOISIS

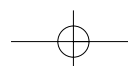
En premier lieu, sont exposées les constatations concernant les caractéristiques biologiques communes à l'ensemble des espèces pérennes étudiées. Dans un second temps, des fiches d'identification sont consacrées à chaque espèce.

Les dix espèces étudiées ne constituent pas une liste exhaustive. Elles ont été choisies car leur utilisation en végétalisation offre une efficacité complémentaire pour résoudre les problèmes de base inhérents au marnage et répondre aux principaux desiderata des maîtres d'ouvrage.

• Les caractéristiques biologiques communes

La capacité de résistance des plantes adultes à une immersion de longue durée : les espèces pérennes adaptées au marnage peuvent résister, pour certaines d'entre elles, à une immersion de plus de sept mois sous une hauteur d'eau pouvant dépasser cinq mètres. Ceci est dû à des adaptations biologiques qui interviennent à différents stades du cycle phénologique de la plante.

Les plantes adultes arrivent à résister à l'immersion car leur appareil racinaire ne meurt pas, même si l'appareil aérien peut être complètement nécrosé après six mois d'immersion. Cependant, chez certaines espèces telles *Rorippa sylvestris*, *Lysimachia vulgaris*, *Eleocharis palustris* et *Mentha pulegium*, on constate la survie de fragments de partie aérienne possédant déjà des racines



LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



adventives. Cette adaptation supplémentaire permet à ces espèces de coloniser les berges plus rapidement, par multiplication végétative. À l'inverse, la plupart des jeunes plantules, issues de semis, n'ont pas un réseau racinaire suffisant pour pouvoir résister à une immersion consécutive (de plus d'un mois).



T. Fraissé, octobre 1992

Une touffe de *Rorippa sylvestris* (in situ) après une immersion de plus de sept mois, sous une profondeur d'environ cinq mètres d'eau (retenue du Lampy).



T. Fraissé, laboratoire CNRS-CESAC, 1992

Une touffe de *Mentha pulegium* après quatre mois d'immersion en piscine, sous un mètre d'eau : on constate l'apparition de fragments de partie aérienne possédant des racines, indiquées par des flèches. Ces fragments peuvent se dissocier de la plante mère et coloniser rapidement des berges éloignées.

La capacité de résistance au stress de sécheresse : les plantes adultes des espèces étudiées ont la capacité d'exploiter la réserve hydrique du sol jusqu'à une humidité très inférieure au point de flétrissement permanent. Cette résistance est due au réseau racinaire qui s'atrophie mais ne meurt pas, alors que le réseau aérien est complètement flétri. Cette particularité permet à ces espèces de se pérenniser dans des milieux caractérisés par des contraintes antagonistes extrêmes (sécheresse, immersion).

La tolérance vis-à-vis du substrat : les espèces de zones de marnage ont une amplitude de tolérance forte vis-à-vis des substrats, si ceux-ci ne représentent pas une contrainte insurmontable les rendant impropres à la colonisation végétale. Ainsi, certaines espèces peuvent s'accommoder du substrat asphyxique et compact des replats vaseux, et d'autres, du substrat minéral très lessivé de certaines berges sableuses. Des espèces étudiées peuvent même se rencontrer indifféremment sur ces deux types de substrat dans la nature.

L'adaptabilité du cycle phénologique au régime hydrique saisonnier : certaines espèces de zones de marnage, telles *Rorippa sylvestris* et *Mentha pulegium*, ont la faculté d'adapter certaines phases de leur cycle phénologique au régime hydrique saisonnier qu'elles sont contraintes de subir. Ainsi, elles peuvent germer, fleurir et fructifier soit tôt au printemps (avril), soit tard en automne (novembre), durant la période de l'année pour laquelle l'émergence le permet. Cette adaptabilité est indispensable à leur pérennité, principalement sur les berges de retenues possédant un régime hydrique de type irrégulier, pouvant donc varier considérablement d'une année à l'autre.

L'adaptabilité des modalités de reproduction au régime hydrique saisonnier : certaines espèces de zones de marnage, telles *Lysimachia vulgaris* et *Rorippa sylvestris*, peuvent se reproduire par multiplication sexuée durant les périodes d'émergence, mais également par multiplication végétative durant les phases d'immersion, surtout si celles-ci ont lieu en été.

La capacité de résistance des semences à l'immersion : les semences des espèces pérennes des zones de marnage ont une capacité de résistance à l'immersion variable et fonction de la solidité ainsi que de l'épaisseur de leurs téguments. Ainsi, des expérimentations de laboratoire montrent que les semences à tégument épais (appartenant principalement à la famille des cypéracées) ne souffrent pas d'une immersion prolongée, mais, au contraire, en ont besoin pour germer rapidement et massivement lors de la prochaine émergence. Ce sont d'ailleurs les zones situées au-dessous de deux mètres de profondeur qui obtiennent les densités de germination les plus fortes au moment de l'émergence. À l'inverse, les semences de certaines graminées possèdent un tégument plus fin qui ne leur permet pas de supporter une immersion excessive, mais qui favorise

leur germination et leur implantation au niveau des zones de marnage les plus hautes.

Ces adaptations, à différentes hauteurs d'immersion, vont conditionner le choix des mélanges lors de la végétalisation des zones de marnage.

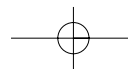
• Fiches d'identification individuelles

Ces fiches décrivent les caractéristiques biologiques des dix espèces étudiées ainsi que leurs modalités d'utilisation spécifiques. Le tableau ci-dessous recense leur principales caractéristiques et potentialités en matière de végétalisation.

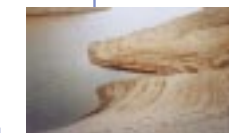
Tableau récapitulatif des caractéristiques des dix espèces étudiées

Nom scientifique (Famille)	Préférences écologiques Affinité vis à vis du substrat (■) Ceinture d'implantation (■)	Résistance à la contrainte Immersion (■) Sécheresse (■) Sédimentation (■)	Attentes et intérêts en végétalisation
Eleocharis palustris (Cypéracées)	■ Replats vaseux et zones de dépôts, sols battants ■ Ceinture médiane	■ Bonne (5 à 6 mois sous 3 à 4 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Bonne (3 à 4 cm)	Écologique (appétence) Fonctionnel (maintien des sols)
Phalaris arundinacea (Graminées)	■ Sols sableux ou battants ■ Ceintures haute, médiane et basse	■ Très bonne (6 à 7 mois sous 3 à 7 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence, frayère, couvert) Fonctionnel (maintien des sols) Touristique (fauchable, foulable)
Deschampsia cespitosa (Graminées)	■ Sols sableux ou battants ■ Ceinture haute	■ Moyenne (3 à 4 mois sous 1 à 3 m) ■ Moyenne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence) Fonctionnel (maintien plus ou moins bon des sols en place)
Carex hirta (Cypéracées)	■ Berges sableuses et rocheuses ■ Ceintures haute, médiane et basse	■ Très bonne (6 à 8 mois sous 3 à 8 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence limitée) Fonctionnel (maintien des sols) Touristique (fauchable, foulable)
Mentha pulegium (Labiées)	■ Sols sableux ou vaseux ■ Ceintures haute, médiane et basse	■ Très bonne (6 à 7 mois sous 3 à 7 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Faible (<1 cm)	Touristique (foulable)
Rorippa sylvestris (Crucifères)	■ Sols sableux, rocheux ou vaseux ■ Ceintures haute, médiane et basse	■ Très bonne (5 à 7 mois sous 3 à 8 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence) Fonctionnel (contribue à fixer les fines)
Lysimachia vulgaris (Primulacées)	■ Sols battants, parfois sols sableux ■ Ceintures haute et médiane	■ Bonne (4 à 5 mois sous 1 à 3 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Bonne (3 à 4 cm)	Touristique (intérêt esthétique et paysager)
Lythrum salicaria (Lythracées)	■ Sols sableux, rocheux ou vaseux ■ Ceinture haute	■ Bonne (5 à 6 mois sous 1 à 3 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Bonne (>1 à 2 cm)	Fonctionnel (maintien des sols) Touristique (intérêt esthétique et paysager)
Cyperus eragrostis (Cypéracées)	■ Sols sableux ■ Ceinture médiane	■ Bonne (5 à 6 mois sous 3 à 4 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence) Fonctionnel (maintien des sols) Touristique (intérêt esthétique et paysager)
Scirpus maritimus (Cypéracées)	■ Replats vaseux, parfois sols sableux ■ Ceintures haute et médiane	■ Bonne (5 à 6 mois sous 1 à 4 m) ■ Assez bonne (1 à 2 mois au delà du P.F.P.) ■ Moyenne (1 à 2 cm)	Écologique (appétence) Fonctionnel (maintien des sols)

(P.F.P. : point de flétrissement permanent)



LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



Eleocharis palustris

FAMILLE : **CYPERACÉES**

GENRE : **ELEOCHARIS**

ESPÈCE : **PALUSTRIS**

Auteur : Robert BROWN

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien
Plante à épillets solitaires à l'extrémité de tiges rondes et dressées. Elle se développe en petites touffes qui peuvent atteindre 60 cm de hauteur.

Floraison : mai-août.

Morphologie du réseau racinaire
Réseau racinaire dense, puissant et traçant.

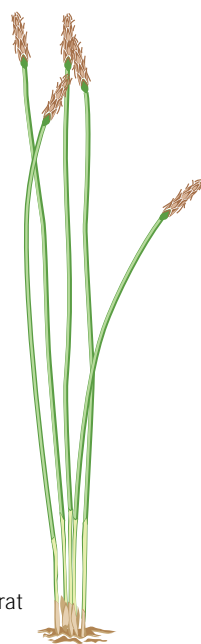
ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Replats vaseux et zones de dépôts à substrat riche et battant.
- Ceinture médiane de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 5 à 6 mois sous 3 à 4 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : bonne ; 3 à 4 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : difficile car semences à tégument épais et cireux nécessitant des pré-traitements longs et énergiques.
- Multiplication végétative : dominante car elle permet de créer rapidement des individus adultes et capables de résister au marnage.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Fouable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+

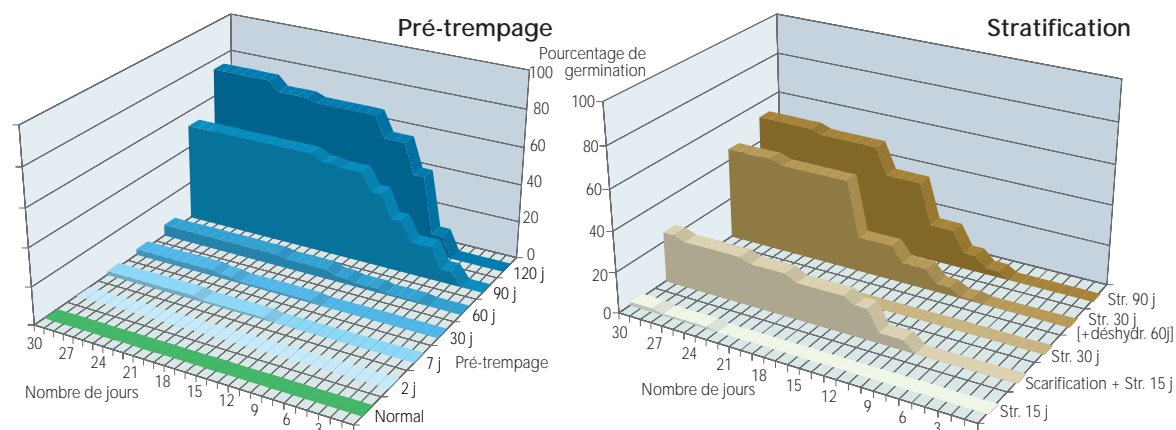
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 80 % après quatre mois de pré-trempage.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

Vitesse de croissance

- Lente, les plantules restant longtemps à un stade juvénile.



Phalaris arundinacea

FAMILLE : **GRAMINÉES**

GENRE : **PHALARIS**

ESPÈCE : **ARUNDINACEA**

Auteurs : LINNÉ
DUMORTIER

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien
Grande graminée vivace, robuste, à souche rampante, pouvant atteindre deux mètres de hauteur, à inflorescence lobée et compacte.

Floraison : juin-août.

Morphologie du réseau racinaire
Réseau racinaire profond, puissant et traçant.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Sols sableux et drainants comme les sols plus asphyxiques en bordure de marécages.
- Ceintures haute, médiane et basse de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 6 à 7 mois sous 3 à 7 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : moyenne ; 1 à 2 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : les semences ne nécessitent pas de longs pré-traitements pour germer.
- Multiplication végétative : mode de multiplication non négligeable et complémentaire de la reproduction sexuée.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	+
Fouable au pied	+
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+
Création de frayères	+
Création de zones de couverts	+

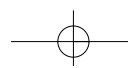
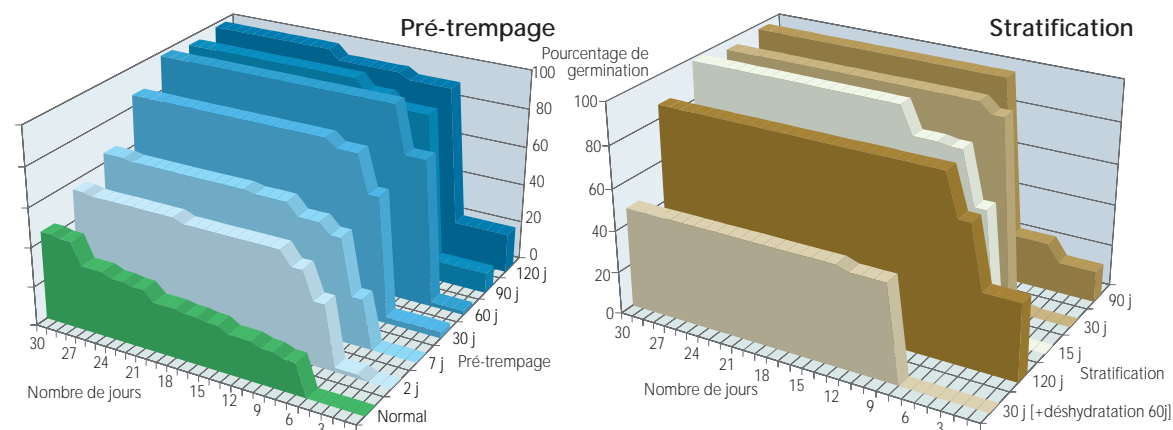
Modalités de production

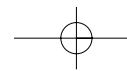
Test de germination le plus efficace

- 80 % après un mois de pré-trempage.
- L'éclatage de souches est un système de production efficace.

Vitesse de croissance

- Rapide, les plantules restant 2 à 3 mois à un stade juvénile.





LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



Deschampsia cespitosa

FAMILLE : GRAMINÉES

GENRE : DESCHAMPسيا

ESPÈCE : CESPITOSA

Auteur : PALISOT DE BEAUVOIS

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Grande graminée formant des touffes denses pouvant atteindre deux mètres de hauteur.

Panicule étalée à épillets argentés ou violacés.

Floraison : juin-août.

Morphologie du réseau racinaire

Réseau racinaire dense, puissant et traçant.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Sols sableux et drainants comme les sols plus asphyxiques en bordures de marécages.
- Ceinture haute de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 3 à 4 mois sous 1 à 3 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : moyenne ; 1 à 2 cm par an.

MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : les semences ne nécessitent pas de longs pré-traitements pour germer.

- Multiplication végétative : limitée car elle provoque surtout un épaississement des souches.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	+
Fouable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+/-

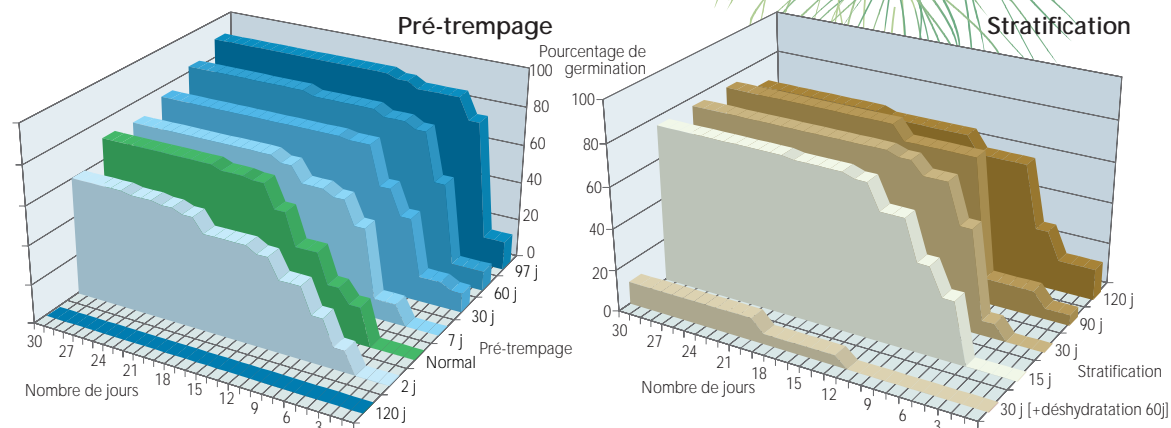
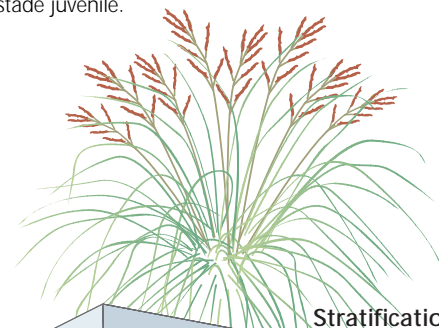
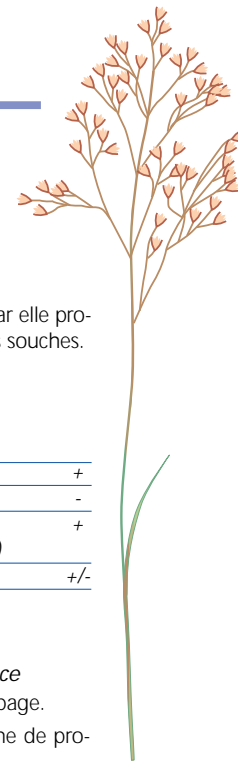
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 90 % après trois mois de pré-trempage.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

Vitesse de croissance

- Moyenne, les plantules restant assez longtemps (3 à 4 mois) à un stade juvénile.



Carex hirta

FAMILLE : CYPERACÉES

GENRE : CAREX

ESPÈCE : HIRTA

Auteur : Robert BROWN

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Aisément reconnaissable à ses feuilles velues, à ses épis femelles de taille importante et à ses souches rampantes.

Floraison : juin-juillet.

Morphologie du réseau racinaire

Réseau racinaire puissant, traçant et stolonifère.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Berges sableuses et rocheuses à stress de xéricité marqué.
- Ceintures haute, médiane, basse de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 6 à 8 mois sous 3 à 8 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : moyenne ; 1 à 2 cm par an.

MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : très difficile car semences à tégument très épais qui nécessite une scarification et une stratification énergétique afin de lever la dormance tégumentaire.

- Multiplication végétative : dominante car elle permet de créer rapidement des individus adultes et capables de résister au marnage.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	+
Fouable au pied	+
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+/-
Maintien efficace des sols en place	+

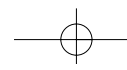
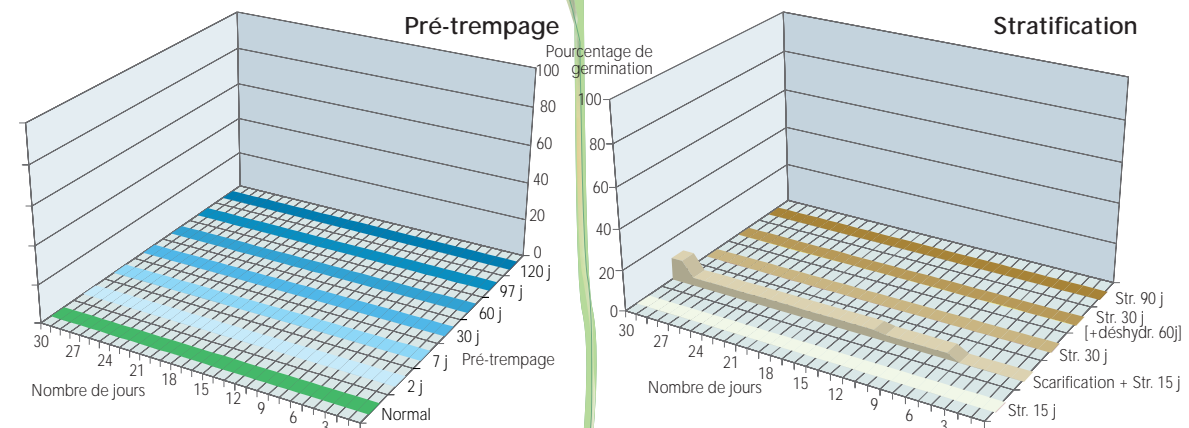
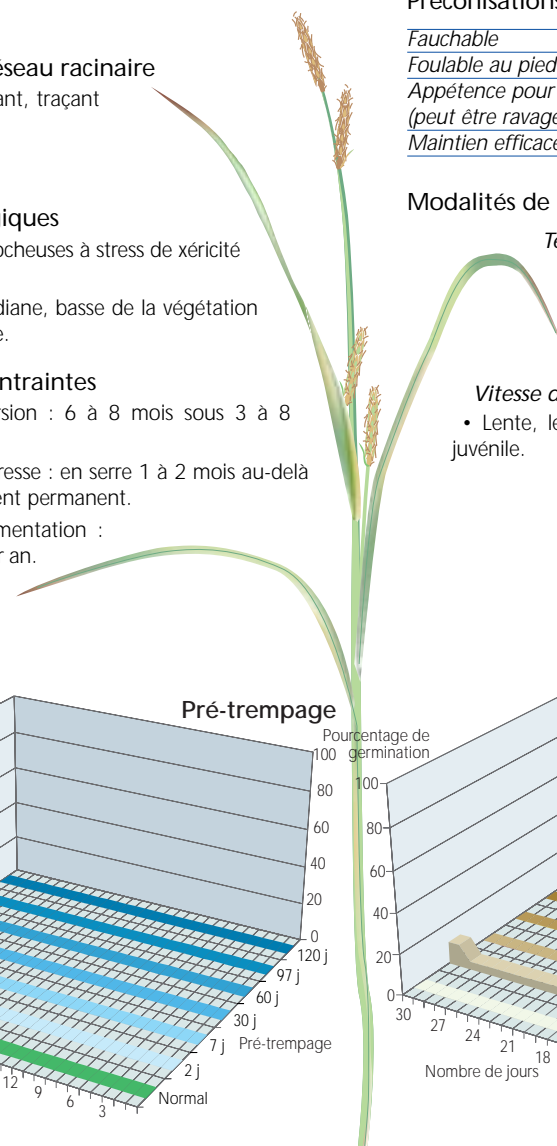
Modalités de production

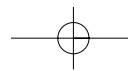
Test de germination le plus efficace

- 5 % après scarification et 15 jours de stratification.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

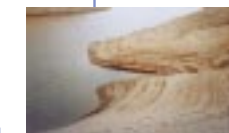
Vitesse de croissance

- Lente, les plantules restant longtemps à un stade juvénile.





LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



Mentha pulegium

FAMILLE : LABIÉES

GENRE : MENTHA

ESPÈCE : PULEGIUM

Auteurs : LINNÉ et MILLER

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Petite plante couchée, poilue et aux tiges florales érigées, à saveur très piquante ; feuilles petites, elliptiques, étroites à ovales sur court pétiole, entières ou à quelques dents éloignées.

Floraison : juillet-octobre.

Morphologie du réseau racinaire

Réseau racinaire stolonifère mais peu profond, à chevelu dense.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Large amplitude allant du substrat sableux au substrat vaseux.
- Ceintures haute, médiane, basse de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 6 à 7 mois sous 3 à 7 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : faible ; moins de 1 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : semences très petites à faible pouvoir germinatif. Toutefois, la forte abondance des semences fait que ce mode de reproduction demeure privilégié.
- Multiplication végétative : importante par dispersion dans l'eau de fragments de tiges pré-racinées.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Fouable au pied	+
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+/-
Maintien efficace des sols en place	+/-
Intérêt esthétique et odeur agréable	

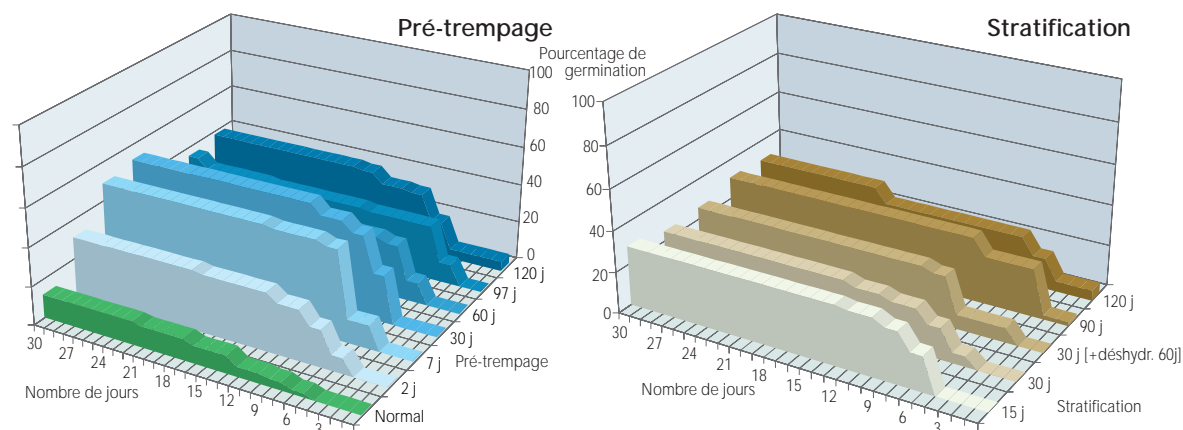
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 80 % après quatre mois de pré-trempage.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

Vitesse de croissance

- Assez rapide ; trois mois suffisent pour l'obtention d'individus subadultes.



Rorippa sylvestris

FAMILLE : CRUCIFÈRES (BRASSICÉE)

GENRE : RORIPPA

ESPÈCE : SYLVESTRIS

Auteur : Robert BROWN

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Plante à tiges de 20 à 40 cm, diffuses ou tombantes, à feuilles pennatiséquées.

Floraison : mai-octobre.

Morphologie du réseau racinaire

Souches rampantes, horizontales, grêles mais assez solides.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Amplitude large allant des substrats sableux et rocheux aux substrats vaseux.
- Ceintures haute, médiane, basse de végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 5 à 7 mois sous 3 à 8 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : moyenne ; 1 à 2 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : semences très petites à faible pouvoir germinatif et nécessitant des pré-traitements longs et énergiques.
- Multiplication végétative : importante par dispersion dans l'eau de fragments de tiges pré-racinées.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Fouable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+/-

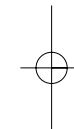
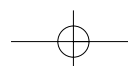
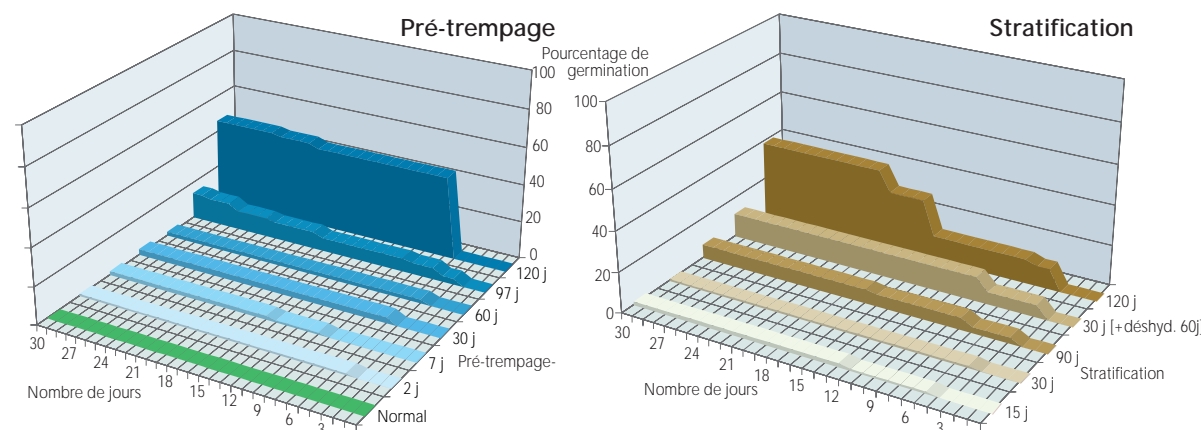
Modalités de production

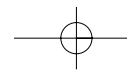
Test de germination le plus efficace

- 45 % après quatre mois de pré-trempage ou de stratification.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

Vitesse de croissance

- Moyenne pour les plantules ; 3 à 4 mois pour l'obtention d'individus subadultes.





LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



Lysimachia vulgaris

FAMILLE : PRIMULACÉES

GENRE : LYSIMACHIA

ESPÈCE : VULGARIS

Auteur : LINNÉ

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Plante de 0,5 à 1 m de hauteur, pubescente, à tige dressée à peine creuse, peu rameuse, à feuilles oblongues, lancéolées, opposées ou verticillées ; fleurs jaunes en panicule pyramidale.

Floraison : juin-août.

Morphologie du réseau racinaire

Souche rampante, stolonifère.

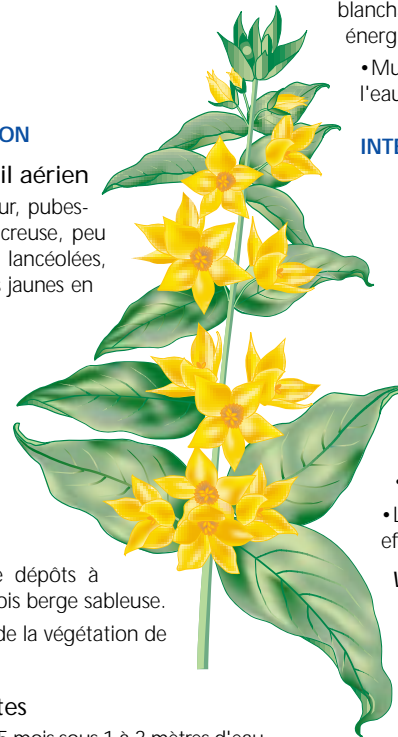
ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Replats vaseux et zones de dépôts à substrat riche et battant ; parfois berge sableuse.
- Ceintures haute et médiane de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 4 à 5 mois sous 1 à 3 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : bonne ; 3 à 4 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

• Reproduction sexuée : difficile car semences à tégument blanchâtre épais nécessitant des pré-traitements longs et énergiques.

• Multiplication végétative : possible par dispersion dans l'eau de fragments de tiges pré-racinées.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Foulable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+/-
Maintien efficace des sols en place	+/-
Intérêt esthétique et paysager	+

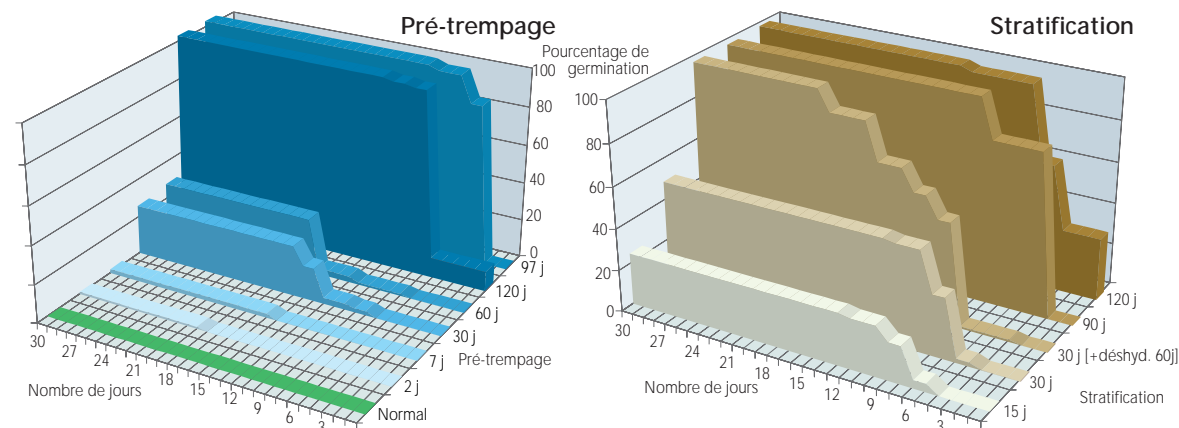
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 95 % après trois mois de stratification.
- L'éclatage de souches est un système de production efficace.

Vitesse de croissance

- Lente, les plantules restant longtemps à un stade juvénile.



Lythrum salicaria

FAMILLE : LYTHRACÉES

GENRE : LYTHRUM

ESPÈCE : SALICARIA

Auteur : LINNÉ

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Plante de 0,5 à 1 m de hauteur, dressée, robuste, pubescente en haut, à feuilles lancéolées, en cœur à la base, sessiles, opposées ; fleurs rouges-violettes en épis terminal.

Floraison : juin-septembre.

Morphologie du réseau racinaire

Réseau racinaire dense, puissant et traçant.

ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Peu d'exigence écologique vis-à-vis du substrat.
- Ceinture haute de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 5 à 6 mois sous 1 à 3 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : bonne ; 1 à 2 cm par an.

MODALITÉS DE REPRODUCTION

• Reproduction sexuée : ne nécessite pas de pré-traitement long et énergique.

• Multiplication végétative : moins efficace que la reproduction sexuée.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Foulable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+/-
Maintien efficace des sols en place	+
Intérêt esthétique et paysager	+

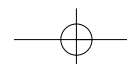
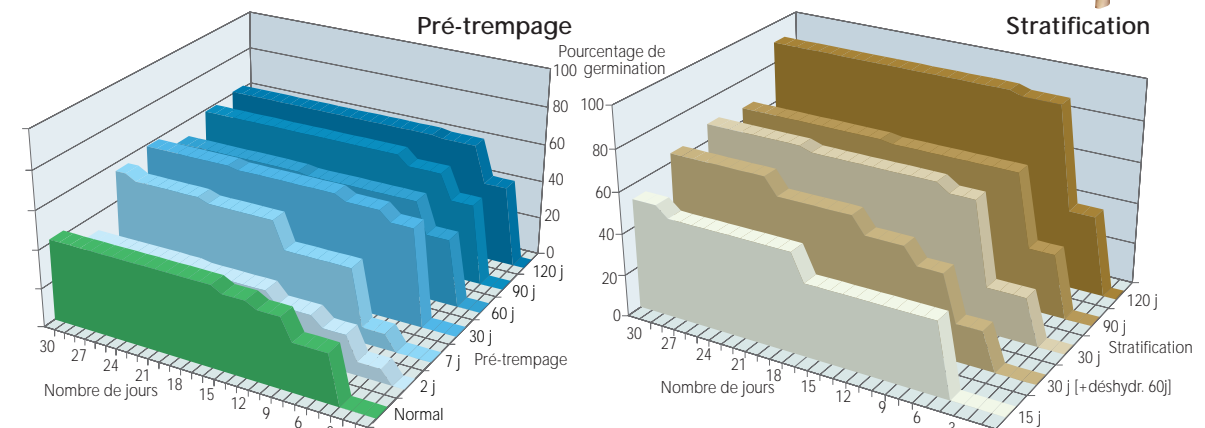
Modalités de production

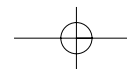
Test de germination le plus efficace

- 80 % après quatre mois de stratification.
- L'éclatage de souches est un système de production efficace.

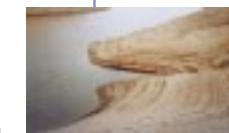
Vitesse de croissance

- Lente, les plantules restant longtemps à un stade juvénile.





LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ZONES DE MARNAGE



Cyperus eragrostis

FAMILLE : **CYPERACÉES**

GENRE : **CYPERUS**

ESPÈCE : **ERAGROSTIS**

Auteur : **WILLDENOW**

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Plante de 0,4 à 1 m de hauteur ; feuilles longues, larges de 4 à 10 mm, carénées et rudes ; inflorescence en ombelle, grande, à nombreux rayons dressés, inégaux, dépassés par 4 à 7 longues feuilles.

Floraison : mai-août.

Morphologie du réseau racinaire

Souche épaisse très rameuse et non traçante.

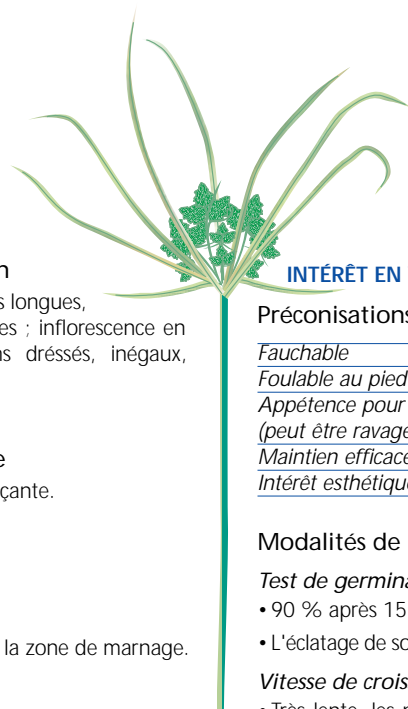
ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Substrat sableux.
- Ceinture médiane de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 5 à 6 mois sous 3 à 4 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : 1 à 2 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : semences à bon pouvoir germinatif ne nécessitant pas de pré-traitement.

- Multiplication végétative : faible et moins efficace que la reproduction sexuée.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	+/-
Foulable au pied	+/-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+
Intérêt esthétique et paysager	+

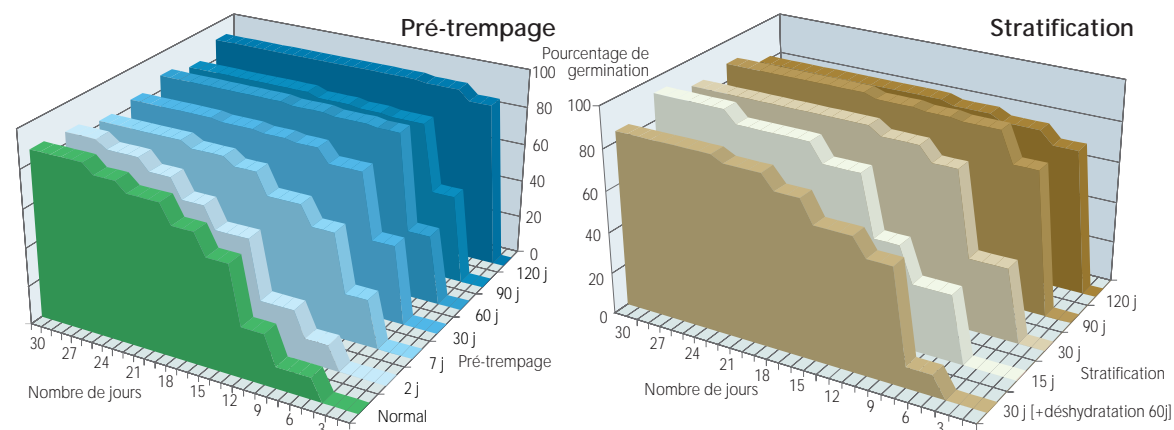
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 90 % après 15 jours de stratification.
- L'éclatage de souches est un système de production efficace.

Vitesse de croissance

- Très lente, les plantules restant très longtemps à un stade juvénile



Scirpus maritimus

FAMILLE : **CYPERACÉES**

GENRE : **SCIRPUS**

ESPÈCE : **MARITIMUS**

Auteur : **LINNE**

MODALITÉS D'IDENTIFICATION

Morphologie de l'appareil aérien

Plante de 0,5 à 1 m de hauteur, glabre, à tiges fasciculées, triquetées, à faces planes, lisses feuillées ; feuilles longues, larges de 3 à 8 mm ; épillets rous-sâtres, en ombelle simple ou en glomérule, longuement dépassés par 2 ou 3 bractées.

Floraison : mai-août.

Morphologie du réseau racinaire

Souche rampante, puissante et renflée ; noueuse çà et là.

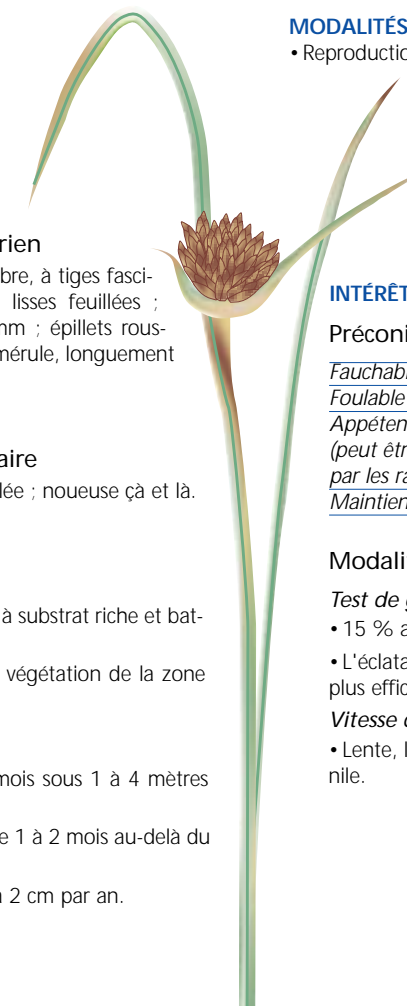
ÉCOLOGIE

Préférences écologiques

- Replats vaseux et zones de dépôts à substrat riche et battant, parfois sableux.
- Ceintures haute et médiane de la végétation de la zone de marnage.

Adaptation aux contraintes

- Résistance à l'immersion : 5 à 6 mois sous 1 à 4 mètres d'eau.
- Résistance à la sécheresse : en serre 1 à 2 mois au-delà du point de flétrissement permanent.
- Résistance à la sédimentation : 1 à 2 cm par an.



MODALITÉS DE REPRODUCTION

- Reproduction sexuée : très difficile car semences à tégument épais et cireux nécessitant des pré-traitements longs et énergiques (hypochlorite de sodium, scarification).

- Multiplication végétative : dominante car elle permet de créer rapidement des individus adultes et capables de résister au marnage.

INTÉRÊT EN VÉGÉTALISATION

Préconisations d'utilisation

Fauchable	-
Foulable au pied	-
Appétence pour la faune (peut être ravagée par les ragondins)	+
Maintien efficace des sols en place	+

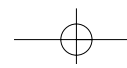
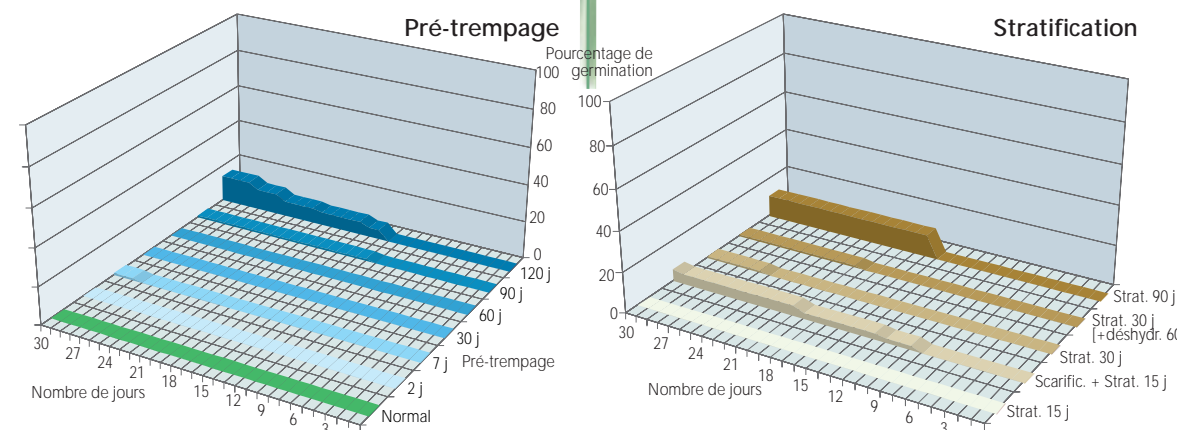
Modalités de production

Test de germination le plus efficace

- 15 % après quatre mois de pré-trempage.
- L'éclatage de souches est le système de production le plus efficace.

Vitesse de croissance

- Lente, les plantules restant longtemps à un stade juvénile.





LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION

4

4.1 LA CLASSIFICATION DES TECHNIQUES

Les techniques d'aménagement des berges de réservoir et de cours d'eau se regroupent en trois catégories distinctes : les techniques de génie civil, les techniques de génie écologique et les techniques mixtes.

La mise en œuvre de ces techniques et leurs objectifs prioritaires sont totalement différents.

■ LES TECHNIQUES DE GÉNIE CIVIL

Dans ce guide, on s'attardera peu sur ces techniques déjà décrites dans de nombreux ouvrages d'aménagement de génie civil.

Ces techniques font appel exclusivement à des matériaux de construction inertes, ce qui limite la variabilité des éléments constitutifs des berges, et, par là même, leur biodiversité. Néanmoins, ces types d'aménagement peuvent être nécessaires lorsque la sévérité des contraintes du milieu interdit l'utilisation de matériaux vivants de construction.

Ainsi, dans le domaine de la protection des berges, l'on rencontre principalement trois techniques de génie civil :

- **L'enrochement** consiste à disposer sur une berge retalutée (afin de la protéger de l'érosion), une ou plusieurs couches de pierres de calibre défini en fonction des contraintes hydrauliques du milieu.

Berge enrochée de la Dordogne au niveau de la ville de Souillac.



T. Fraissé, octobre 1994



Mise en œuvre d'un rang de gabions sur la Lez à Montpellier.

T. Fraissé, décembre 1996

- **Les gabions** sont des structures modulaires parallélépipédiques constituées d'un grillage à double torsion rempli de pierres.

Il existe aussi des gabions cylindriques pour les fondations de défenses longitudinales et des gabions à cellules multiples, de grande surface et de faible épaisseur, appelés matelas de gabions.

- **Les palplanches** sont des structures métalliques, de faible épaisseur, s'emboîtant mutuellement et pouvant être fichées dans le sol afin de constituer un mur de protection.

Ce type de technique est mis en œuvre lorsque les hauteurs à traiter sont importantes et les largeurs d'emprise, disponibles pour la construction de l'ouvrage, très faibles.



Mise en œuvre de palplanches de protection sur les berges de la Lèze à Labarthe-sur-Lèze.

M. Dubreuil, février 1996

Si les deux premières techniques peuvent faire l'objet d'une opération supplémentaire d'intégration écologique, cette troisième technique demeure très difficilement intégrable écologiquement.

■ LES TECHNIQUES MIXTES

Les techniques mixtes, qui demeurent encore peu connues, tentent de concilier les exigences de protection contre l'érosion, assurées par les techniques de génie civil, et les exigences actuelles de protection de l'environnement, assurées par les techniques de génie écologique.

Ces techniques, tout à fait innovantes, devraient se développer dans le futur : en effet, en utilisant des techniques de génie civil, elles rassurent les maîtres d'ouvrage sur leur solidité et leur capacité à protéger de l'érosion, tout en garantissant un bon niveau d'intégration écologique des zones traitées.

Ces techniques consistent principalement en une intégration écologique des enrochements et des gabions par confortement végétal ou par nappage. Elles sont détaillées au chapitre 4.3 de ce guide.



T. Fraissé, décembre 1994

Exemple d'intégration par nappage de l'enrochement sur la berge de la Dordogne à Souillac, illustré page précédente.

■ LES TECHNIQUES DE GÉNIE ÉCOLOGIQUE

Les techniques de génie végétal permettent de garantir une grande variabilité des éléments constitutifs de la berge, donc sa biodiversité naturelle. De plus, l'intérêt de ces techniques réside dans leur mise en œuvre économique. Elles sont facilement réalisables, utilisant principalement, comme matériaux de construction, des végétaux herbacés ou ligneux, le plus souvent prélevés sur le site ou dans ses environs. Ces techniques sont détaillées notamment au chapitre 5 consacré à la présentation d'essais de végétalisation.

Toutefois, ces techniques utilisées de longue date dans le domaine de l'aménagement des berges de cours d'eau ou de talus routiers, n'ont fait l'objet que de quelques essais de transposition sur les zones de marnage, sans donner pour l'instant de bons résultats. Il est nécessaire de mener d'autres investigations afin d'établir des principes d'aménagement spécifiques aux zones de marnage et d'utiliser des végétaux adaptés à la contrainte (B. Lachat, ministère de l'Environnement, 1994).

4.2 LA CHRONOLOGIE DES ACTIONS ET LES RÈGLES À RESPECTER

L'analyse des avantages et des inconvénients de la végétalisation inhérents aux zones de marnage exposée au chapitre 2, va permettre de déterminer la chronologie d'actions à mener pour limiter les échecs. Pour cela, la procédure conseillée comprend la réalisation d'un diagnostic écologique préalable à toute prescription d'aménagement ou de gestion.

■ LE DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE PRÉALABLE

Dans un premier temps, l'étude écologique du site va permettre d'évaluer les contraintes engendrées par le marnage et de déterminer les espèces spontanées susceptibles d'être intéressantes pour la végétalisation. On analysera tout particulièrement l'importance des zones et des phénomènes à traiter. Ainsi cette étude prendra en compte :

- **des paramètres physiques** : les modalités de gestion, le substrat, le climat, le type de berge (sableuse, vaseuse ou escarpée), la sédimentation ;
- **des paramètres biologiques** : la végétation spontanée, la dynamique trophique spécifique du réservoir (analyse de la macrofaune benthique et planctonique et de la faune pisciaire et aviaire) ;
- **des objectifs des maîtres d'ouvrage** : aménagement à but touristique, paysager ou faunistique.

À la suite de cette étude préalable et pour maximiser les chances de réussite, il sera judicieux de réaliser quelques essais expérimentaux de végétalisation afin de valider le bien-fondé des futures recommandations.

LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION



Dans un deuxième temps, l'analyse de l'ensemble des données obtenues va amener à prescrire des recommandations de gestion, des prescriptions techniques d'aménagement et une liste d'espèces végétales à introduire.

■ LA PRISE EN COMPTE DE LA GESTION HYDRAULIQUE

Il est très difficile de faire des recommandations de gestion car, quelle que soit la fonctionnalité de la retenue, sa végétation riveraine représente rarement une priorité. En effet, la production d'électricité, d'eau potable, ou l'irrigation représentent souvent un intérêt vital pour la collectivité, ce qui interdit toute modification importante dans la gestion des débits.

On se contentera donc de recommander une adaptation maximale aux contraintes de gestion et de signaler simplement les actions favorables à l'intégration écologique.

Ainsi, les recommandations de gestion pour la mise en place, puis la conservation d'une couverture végétale de type pérenne sur la zone de marnage vont dépendre des cas de figure suivants :

- la mise en place d'un couvert végétal par plantation nécessite que la portion de berge végétalisée puisse bénéficier d'une période d'émersion, de préférence printanière ou estivale, d'environ trois mois consécutifs ;
- la mise en place d'un couvert végétal par ensemencement nécessite que la portion de berge végétalisée puisse bénéficier d'une période d'émersion, de préférence printanière ou estivale, d'au moins six mois consécutifs ;
- la conservation, de façon pérenne, d'un couvert végétal sur une zone de marnage nécessite que la portion de berge recouverte par la végétation puisse bénéficier d'un régime hydrique saisonnier, comportant une ou plusieurs périodes d'émersion, dont la durée annuelle cumulée représentera environ cinq mois.

Le non-respect, même exceptionnel, de ces modalités de gestion et surtout le fait qu'une retenue reste en cote maximale toute une année durant, interdit toute végétalisation à partir d'espèces pérennes adaptées. Dans ce cas, seul des techniques de végétalisation temporaire peuvent étre mises en œuvre avec succès.

■ LA PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES D'USAGE ET ÉCONOMIQUES

Avant l'établissement des principes d'aménagement, il est important de vérifier leur conformité par rapport aux contraintes d'usage exposées au chapitre 2.1 concernant le cadre réglementaire. Cette mise en conformité concernera notamment la faisabilité du projet, mais également sa future valorisation.

Parallèlement, une étude concernant la faisabilité du projet sur le plan économique pourra être effectuée.

■ LE CHOIX DE L'OUTIL VÉGÉTAL

Les résultats du diagnostic écologique préalable seront confrontés aux attentes du maître d'ouvrage et aux contraintes d'usage afin de choisir « l'outil végétal » le plus adapté. Cette confrontation permettra, entre autres, d'affiner, puis d'orienter le choix de façon à ce qu'il réponde aux attentes du maître d'ouvrage, tant sur le plan paysager que sur les plans fonctionnel et écologique.

En effet, les investigations réalisées depuis une dizaine d'années sur la végétalisation des zones de marnage, permettent de disposer d'un grand choix de techniques et de végétaux pouvant, notamment, répondre aux attentes suivantes :

- l'attente paysagère : possibilité d'utiliser différentes strates végétales adaptées au marnage (herbacées rases, herbacées hautes, ligneux buissonnants, arbustifs ou arborés) afin de recréer des paysages variés et diversifiés ;
- l'attente écologique : possibilité de recréer des biotopes différents à partir d'un outil végétal varié (zones de frayère pour les poissons, zones de couvert et de nourriture pour la faune terrestre et l'avifaune) ;
- l'attente fonctionnelle :

- création de zones ouvertes foulables aux pieds, à partir d'une couverture végétale rase et amphibie ;
- protection des berges et fixation des terres en place à partir d'espèces végétales à fort développement racinaire ;
- amélioration de la qualité de l'eau et diminution de la turbidité à partir d'espèces végétales capables de piéger les fines du sol et produisant peu de nécromasse au moment de l'immersion.

■ LE CHOIX DES TECHNIQUES DE GÉNIE ÉCOLOGIQUE

Tout comme le choix de l'outil végétal, le choix des techniques à mettre en œuvre devra, en premier lieu, être adapté aux conditions du milieu puis répondre aux exigences du maître d'ouvrage. Dans tous les cas, ces techniques devront être adaptées aux contraintes spécifiques des zones de marnage.

Le type de technique choisi sera fonction du degré de sévérité des contraintes. Ainsi, lorsque la sévérité des contraintes est extrême et limite l'utilisation de matériaux de construction vivants, il sera judicieux de préconiser des techniques mixtes d'aménagement. À l'inverse, lorsque la sévérité des contraintes autorise une utilisation exclusive de matériaux vivants de construction, il vaudra mieux préconiser des techniques innovantes de génie écologique. Par la suite, comme pour le choix de l'outil végétal, une concertation avec le maître d'ouvrage permettra d'affiner et d'orienter les préconisations d'aménagement en fonction de ses attentes sur les plans paysager, fonctionnel et écologique.

■ LA MISE EN ŒUVRE D'ESSAIS PRÉALABLES

La réalisation d'essais préalables à la mise en œuvre d'un aménagement en vraie grandeur permet de valider le choix de l'outil végétal et des prescriptions techniques d'aménagement. Ainsi, même si l'on a une grande connaissance du milieu, il est très difficile de déterminer à l'avance les espèces les plus adaptées aux multiples contraintes des zones de marnage. En effet, les retenues étant souvent récentes, leurs berges sont, la plupart du temps, dépourvues de végétation pérenne pouvant être indicatrice, car celle-ci ne s'installe naturellement qu'au bout d'une période très longue, de plusieurs dizaines d'années. Dans ce cas, la réalisation d'essais de végétalisation préalables, utilisant un grand nombre d'espèces spontanées des zones de marnage, permet de déterminer plus sûrement les espèces les plus rustiques et les plus résistantes aux contraintes spécifiques du milieu à aménager.

4.3 TECHNIQUES DE GÉNIE ÉCOLOGIQUE ET TECHNIQUES MIXTES

Ces techniques utilisent presque exclusivement des matériaux vivants de construction ou de protection. Suivant la sévérité des contraintes, elles pourront avoir une action temporaire ou permanente.

■ LA VÉGÉTALISATION TEMPORAIRE

Présentation et choix

Une végétalisation temporaire des zones de marnage est la seule technique envisageable lorsque le régime hydrique saisonnier d'une retenue est totalement chaotique et qu'il ne comporte, certaines années, aucune baisse de niveau d'eau, interdisant ainsi l'utilisation d'espèces pérennes.

À l'inverse, il est possible, durant la période d'émersion, d'ensemencer la zone de marnage par des moyens traditionnels et avec des espèces commerciales à développement rapide, ou tout simplement de réaliser des cultures céréalières ou fourragères.

Champ d'application

Cette technique est généralement mise en œuvre sur les zones de marnage à topographie peu marquée et à substrat riche en matières nutritives telles que les replats vaseux. Les berges escarpées et les berges sableuses ont un substrat trop lessivé et une topographie trop accidentée pour que cette technique soit utilisée.

Cette technique ne peut, en aucun cas, jouer un rôle durable dans la lutte contre l'érosion de la retenue. En effet, le développement aérien et le réseau racinaire de ces végétaux sont limités.



Végétation temporaire de la retenue de Pareloup, en Aveyron, lors de sa dernière vidange.

LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION



Cette technique est souvent utilisée aux États-Unis pour réaliser des cultures à gibier (*D.X. Fowler et J.B. Madox, 1974 - E.J. O'Neill, 1972*). En Europe, les fédérations de pêche la préconisent régulièrement pour constituer des zones de frayère temporaires pour les poissons, comme cela a été récemment le cas lors de la dernière vidange de la retenue de Pareloup.

Avantages

- La mise en œuvre permet d'obtenir une récolte fourragère ou céréalière supplémentaire, de servir de culture à gibier ou de zones de frayère, ou de jouer un rôle bénéfique momentané pour la chaîne trophique de la retenue ;
- le coût de revient et les difficultés de mise en œuvre sont faibles ;
- cette technique reste applicable pour des conditions extrêmes de régime hydrique.

Inconvénients

- Les bienfaits engendrés par la mise en œuvre de cette technique sont très limités et éphémères ;
- la mise en œuvre de cette technique doit être renouvelée chaque année, ce qui représente une entreprise fastidieuse dans la répétition de l'action, et onéreuse dans le temps ;
- cette technique nécessite une préparation préalable du terrain qui augmente les risques d'érosion, la réservant ainsi essentiellement aux zones de dépôts ;
- le pourrissement massif des végétaux, lors de la remontée du niveau d'eau, peut avoir une action négative sur la qualité de l'eau.

Descriptif technique et chronologie d'actions

Une préparation préalable du terrain peut être nécessaire par griffage et régalaie du sol. En effet, ce sol doit être aéré et rendu plus favorable à la pénétration racinaire et au développement végétal.

Dans un second temps, l'ensemencement peut être réalisé manuellement ou mécaniquement à l'aide d'un semencier hydraulique. Lors de cette opération, le mélange et la fertilisation sont épanchés simultanément.

Afin de limiter les risques d'érosion lors de la remontée des eaux, on évitera, au cours de la préparation du terrain, de scarifier le sol en profondeur. Ainsi, seuls les deux ou trois centimètres supérieurs seront griffés pour accueillir les semences.

Descriptif qualitatif des travaux

L'outil végétal : les espèces utilisées pour composer le mélange sont d'origine commerciale mais varient en fonction des objectifs fonctionnels souhaités par le maître d'ouvrage.

Ainsi, si le maître d'ouvrage souhaite réaliser une culture de rapport ou une culture à gibier, les espèces utilisées seront des céréales telles que l'orge, l'avoine, le blé, etc. Si le maître d'ouvrage désire créer une prairie appétente pour la faune terrestre ou une zone de frayère temporaire pour les poissons, on pourra employer un mélange rustique spécifique des prairies humides dont la composition de base peut comporter l'achillée, l'agrostis stolonifère, le dactyle, le plantain lancéolé, le trèfle rampant, la fléole des prés.

L'engrais : la fertilisation est effectuée à partir d'un engrais organo-minéral ou d'une fumure naturelle.

Descriptif quantitatif des travaux

Le mélange de semences est épanché à raison de :

- 150 kg/ha pour les zones les plus fertiles,
- 200 kg/ha pour les zones moins favorables au développement végétal.

L'engrais organo-minéral et la fumure naturelle sont épanchés à dose réduite (maximum 300 kg/ha) uniquement dans les secteurs les moins riches en matières nutritives, et le plus longtemps possible avant la remontée du niveau d'eau. On veillera ainsi à limiter tout risque d'eutrophisation ou de dégradation de la qualité de l'eau.

Choix des matériaux d'accompagnement

Cette technique ne nécessite pas l'utilisation de géotextile ou de géonatte de protection car elle est réservée aux surfaces peu pentues et favorables au développement végétal.

Entretien et gestion associée

Le caractère temporaire et saisonnier de cette mise en œuvre élimine d'emblée les contraintes d'entretien et de gestion. Toutefois, on veillera, durant les premières années de traitement, à ce que cette technique n'ait pas d'influence négative sur la qualité de l'eau.

■ LA VÉGÉTALISATION PERMANENTE À PARTIR D'ESPÈCES HERBACÉES ADAPTÉES AU MARNAGE

Seules les techniques de base de la végétalisation des zones de marnage sont présentées ici. Elles se répartissent en deux catégories principales : l'utilisation de semences et l'utilisation de végétaux adultes (en godets ou à racines nues).

Toutefois, la végétalisation des zones de marnage ne se résume pas à ces deux techniques et l'aménageur saura les combiner afin qu'elles répondent parfaitement aux exigences suivantes :

- exigences inhérentes aux caractéristiques physiques de la zone de marnage (berges escarpées, sableuses et replats vaseux) ;
- exigence du maître d'ouvrage (attentes paysagère, fonctionnelle et écologique) ;
- exigences inhérentes aux niveaux d'implantation sur la berge (ceintures haute, moyenne et basse) ;
- exigences inhérentes à la gestion hydraulique du réservoir.

Ainsi, seuls une parfaite connaissance du milieu et un savoir-faire de longue date dans le domaine de la végétalisation permettront de choisir l'outil végétal le plus adapté et la technique appropriée.

• Les techniques d'ensemencement utilisant des semences adaptées au marnage

Présentation et choix

Contrairement à la technique précédente, cette technique permet d'obtenir des résultats pérennes dans le temps. Sa mise en œuvre permet de constituer, suivant la volonté du maître d'ouvrage, des aménagements paysagers, des zones de frayère ou des zones de couvert pour la faune terrestre. De même, la rusticité des végétaux utilisés et leur pérennité peuvent servir à maintenir les sols en place et à limiter l'érosion régressive des berges.

Les semences utilisées varient en fonction des conditions du milieu. Ainsi, les zones soumises à des immersions particulièrement longues doivent être traitées avec des semences à téguments très épais. En effet, ce tégument est capable de protéger efficacement la semence et de garder l'embryon vivant même après six mois d'immersion.

À l'inverse, le traitement de la partie haute des berges doit être effectué à partir de semences à téguments

fins, permettant une germination rapide. Ainsi, les semences resteront peu de temps sur la berge et ne seront pas mangées par les animaux ou emportées par les eaux de ruissellement.

Champ d'application

Cette technique est généralement mise en œuvre :

- pour végétaliser la zone d'érosion régressive de la partie haute de la zone de marnage, au niveau des microfalaises d'arrachement. Toutefois sa mise en œuvre nécessite un retalutage de cette partie afin d'obtenir une pente compatible avec le maintien d'un couvert végétal ;
- pour végétaliser la zone de marnage proprement dite, après préparation de la surface du sol (épierrage, etc.).

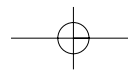
Il est important de noter que, pour le traitement des zones à contraintes les plus sévères, cette technique est généralement combinée à des techniques de plantations afin d'accélérer la formation d'un couvert végétal continu et protecteur.

Avantages

- La mise en œuvre est très rapide et le coût de revient est plus faible que celui des autres techniques de plantation ;
- c'est la technique idéale pour introduire des espèces adaptées au marnage sur des berges de retenues avant leur mise en service. Ceci peut donc constituer un traitement préventif des retenues avant leur mise en eau (*voir chapitre 5.4 « Essais de végétalisation de la retenue de Puylaurent »*).

Inconvénients

- La gestion du volume d'eau indispensable afin de laisser six mois d'émersion printanière et estivale pour que le couvert végétal s'installe et puisse résister au marnage ;
- les mauvais résultats des ensemencements tardifs ou à contre-saison (en hiver), les plantules n'arrivant pas à se développer ;
- la nécessité d'épandre deux mélanges différents entre les zones de marnage haute et basse, ce qui sous-entend deux applications ;
- la nécessité de pré-traiter très longuement les semences à tégument épais afin qu'elles puissent germer si la végétalisation est réalisée juste après l'immersion. À l'inverse, si la végétalisation est réalisée juste avant la remontée des eaux, les semences seront



LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION



T. Fraissé, septembre 1995

Végétalisation permanente par ensemencement d'une retenue avant la première mise en eau après décapage au bulldozer de la végétation spontanée non adaptée au marnage. Le sol des parcelles est travaillé au motoculteur puis régalié avant l'épandage des semences. Exemple de la retenue de Puylaurent en Lozère.

traitées naturellement durant la phase d'immersion consécutive ;

- les semences à utiliser sont rares et chères, car elles ne sont pas encore commercialisées.

Descriptif technique et chronologie d'actions

Cette technique consiste en un épandage de semences sur un sol préalablement travaillé afin de favoriser les conditions de germination. Cet épandage peut être réalisé, soit à sec et à la volée si les risques de lessivage et les surfaces à traiter sont faibles, soit par ensemencement hydraulique et, dans ce cas, l'utilisation d'un fixateur permet de limiter les phénomènes de lessivage.

Les mélanges utilisés varient en fonction des conditions du milieu (ceinture haute, moyenne ou basse) et des attentes des maîtres d'ouvrage, afin de créer un couvert végétal pouvant être ras, haut, etc.

Après l'épandage du mélange, la mise en œuvre d'un géotextile biodégradable peut être judicieuse afin de limiter le lessivage des semences ou le déchaussement des jeunes plantules par le ruissellement.

Dans le cas du traitement de l'érosion régressive des hauts de berges, il peut être recommandé d'utiliser une géogrille de protection, renforcée et non biodégradable.

Descriptif qualitatif des travaux

L'outil végétal : les espèces utilisées pour composer ces mélanges doivent être, dans tous les cas, d'origine sauvage et des écotypes spécifiques des zones de marnage.

Ces espèces varient en fonction des attentes du maître d'ouvrage :

- **attente paysagère :**
 - . possibilité de composer une atmosphère paysagère à partir d'espèces à fleurs et d'espèces ligneuses adaptées au marnage ;
- **attente écologique :**
 - . création d'une zone de frayère en ceinture basse : les espèces les plus appropriées sont les cypéracées, voire des espèces capables de boucler leur cycle phénologique sous l'eau,
 - . création d'une zone de couvert en ceinture haute : les espèces les plus adaptées à ce traitement sont les graminées à germination rapide ;
- **attente fonctionnelle :**
 - . fixation des sols et limitation de l'érosion régressive des hauts de berges : les espèces les plus appropriées sont les graminées et les cypéracées à développement racinaire important,
 - . création d'une plagette foulable aux pieds : possibilité d'utiliser des graminées et des cypéracées à développement gazonnant.

L'engrais : la fertilisation est effectuée à partir d'un engrais organo-minéral ou d'une fumure naturelle.

La géogrille renforcée : cette protection contre l'érosion est une géogrille traditionnelle en polypropylène (stabilisée UV, épaisseur 20 mm), intégrant dès la fabrication un grillage métallique galvanisé à mailles hexagonales (double torsion, mailles de 60 x 80 mm).

Le géotextile doit être biodégradable mais avec une bonne résistance à l'eau. La pérennité souhaitée pour ce géotextile est de deux années afin de laisser à la végétation le temps de s'implanter. Les spécifications du géotextile sont les suivantes : bourre composée de 100 % de coco à 300 grammes par mètre carré dessous et dessus, à fort débit de mailles de polypropylène dégradables.

Les agrafes de fixation sont en fer forgé de cinq millimètres de diamètre. Elles sont à doubles branches, de type 100 x 2 x 400 millimètres ou monobranchée de type 100 x 2 millimètres.

Descriptif quantitatif des travaux

Les mélanges de semences sont épandus à raison de 200, voire 250 kg/ha.

L'engrais organo-minéral est épandu à dose réduite (maximum de 300 kg/ha) uniquement dans les secteurs les moins riches en matières nutritives (berges sableuses ou escarpées).

Les agrafes sont posées à raison de trois unités par mètre carré.

Entretien et gestion associée

Ce type de traitement ne nécessite aucun entretien obligatoire. Toutefois, ces couvertures végétales peuvent être fauchées si le maître d'ouvrage le souhaite.

Coûts

Les coûts de réalisation dépendent principalement de la rareté momentanée des semences que l'on veut utiliser. En effet, à l'heure actuelle, les semences de ces espèces ne peuvent être obtenues que par des collectes dans le milieu naturel. Toutefois, on peut faire l'estimation des coûts suivants :

Pour un mètre carré de berge traitée

• Mise en œuvre et fournitures	4 F/m ²
• Semences zones hautes	3 à 6 F/m ²
• Semences zones basses	10 à 30 F/m ²
• Géotextile	9 F/m ²
• Géogrille renforcée	30 F/m ²

• Les techniques de plantation d'espèces herbacées adaptées au marnage

Présentation et choix

Cette technique est utilisée parce qu'elle permet d'obtenir rapidement un couvert végétal continu et protecteur, même lorsque le réservoir est ancien et soumis à un régime hydrique saisonnier. Elle est couramment employée en complément de la technique de végétalisation par ensemencement, notamment au niveau des zones aux contraintes sévères.

Champ d'application

Cette technique est préconisée en lieu et place des techniques d'ensemencement lorsque le délai d'installation du couvert végétal est limité à trois mois au plus. Comme pour la technique d'ensemencement, le terrain doit recevoir une préparation consistant en un retalutage des microfalaises d'arrachement de zones hautes et en un épierrement des zones basses.

Avantages

- La vitesse d'implantation du couvert végétal : trois mois d'émergence suffisent, ce qui, dans la plupart des cas, ne nécessite pas de modification de gestion ;
- la possibilité de réaliser des schémas de plantation plus fins qu'avec les techniques d'ensemencement, donc plus proches des *desiderata* des maîtres d'ouvrage et répondant mieux aux conditions du milieu ;
- la possibilité, afin de réduire les coûts de revient, d'utiliser la technique de l'écocellule, c'est-à-dire de végétaliser seulement une partie de la surface à traiter.

Inconvénients

- Le coût et le temps nécessaire à la production des plants en godets ;
- le coût et la lourdeur des opérations de plantation (main-d'œuvre importante) ;
- le coût de l'entretien des plantations afin d'optimiser leur reprise (arrosages et mises en défens).

Descriptif technique et chronologie d'actions

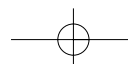
Ces techniques peuvent être utilisées en lieu et place des techniques d'ensemencement lorsque le régime hydrique saisonnier du réservoir est très contraignant et que la gestion de son volume ne peut être modifiée.

Elles consistent à mettre en place des végétaux herbacés ou ligneux dans des trous préalablement creusés et selon un schéma de plantation défini (possibilité d'utiliser la technique de l'écocellule). Afin d'optimiser les conditions de reprises, il est recommandé de :

- employer des végétaux en godets, âgés de deux à trois mois, et non des végétaux à racines nues qui ont tendance à se dessécher rapidement ;
- arroser les plantations afin d'optimiser l'implantation du couvert végétal avant la prochaine remontée du niveau de l'eau.

Pour les chantiers importants, une mécanisation des plantations est souhaitable et possible. Elles consistent à ouvrir des sillons à l'aide d'une charrue puis à planter à l'intérieur et à reboucher manuellement.

L'utilisation de géotextile biodégradable peut être judicieuse pour limiter le déchaussement des plants par le ruissellement ou le battillage, et pour favoriser leurs reprises. En partie haute, l'utilisation d'une géogrille peut être nécessaire.



LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION



Mécanisation de la végétalisation permanente lors de la plantation des berges de la retenue de Monteynard en Isère.

Descriptif qualitatif des travaux

L'outil végétal : cette technique fait appel aux mêmes espèces que celles utilisées pour les techniques d'ensemencement. Le choix des espèces dépendra ici également des conditions du milieu (ceinture haute, moyenne ou basse) et des attentes du maître d'ouvrage (attentes paysagère, écologique et fonctionnelle).

Les matériaux d'accompagnement (engrais, géo-grille renforcée, géotextile, agrafes) sont identiques à ceux utilisés pour les techniques d'aménagement avec des semences adaptées.

Descriptif quantitatif des travaux

Densité des plantations : 9 plants par mètre carré pour les écocellules plantées, soit 4,5 plants par mètre carré si la surface plantée représente 50 % de la surface initiale ;

Engrais : au maximum, 300 kg/ha ;

Agrafes : 3 unités par mètre carré.

Entretien et gestion associée

Consécutivement à la mise en œuvre des plantations et afin d'optimiser la reprise des végétaux, il est nécessaire de prévoir plusieurs campagnes d'arrosage. De même, leur mise en défens peut s'avérer nécessaire pour les protéger des promeneurs et de la faune sauvage.

Coûts

Les coûts dépendent du coût du matériel végétal et de la mise en œuvre. La mécanisation et l'utilisation de trames de plantation aérées de type écocellule permettent de diminuer grandement le coût de revient à l'hectare. Malgré cela, l'opération de végétalisation en vraie grandeur, réalisée en mai 1995 sur les berges de la

retenue de Monteynard, a coûté deux cent mille francs pour une superficie d'environ un demi-hectare.

■ TECHNIQUES DE VÉGÉTALISATION CLASSIQUES TRANSPOSÉES AUX ZONES DE MARNAGE

Il n'est concevable d'utiliser ces techniques, adaptées à l'aménagement des berges de cours d'eau et de talus de route, que sur la partie supérieure des zones de marnage, moins soumise à la contrainte d'immersion, afin de limiter la dynamique évolutive des microfalaises d'érosion et le glissement des sols en place.

Certaines de ces techniques ont déjà été testées avec plus ou moins de succès sur la retenue du Monteynard. La chronologie de réalisation de ces essais ainsi que les campagnes de suivis phytoécologiques dont ils ont fait l'objet sont décrites au chapitre 5 consacré à la présentation de quelques exemples de réalisation.

■ LES AMÉNAGEMENTS PERMANENTS À PARTIR DE TECHNIQUES MIXTES

Ces techniques récentes utilisent à la fois le savoir-faire des techniques de génie civil telles que la mise en œuvre des gabions et des enrochements et le savoir-faire des techniques de génie biologique employant des matériaux vivants de construction ou de protection.

Dans ce chapitre, ne sont présentées que les techniques mixtes de base consistant en une intégration écologique des enrochements par confortement végétal ou par nappage. Des procédés similaires peuvent être employés pour l'intégration écologique des gabions.

• Intégration écologique des enrochements par confortement végétal

Présentation et choix

Les enrochements, jadis laissés nus, peuvent aujourd'hui être intégrés écologiquement par confortement végétal ou par nappage.

Le confortement végétal des enrochements consiste à ficher, entre les blocs de pierre, des végétaux ligneux pré-racinés ou des boutures ; ces végétaux, en se développant, masquent l'enrochement. Cette technique a donc plus un intérêt paysager qu'un intérêt écologique ou de protection.

Champ d'application

Cette technique peut être utilisée en milieu urbain pour cacher des enrochements existants sur une rivière ou sur des berges de retenues. Le confortement végétal peut également être réalisé simultanément à la mise en œuvre d'un enrochement neuf.

Avantages

- Cette technique masque les enrochements nus dont la présence dans le paysage peut être indésirable ;
- elle crée des zones d'ombre et de caches à poissons en périodes d'immersion ;
- elle peut être utilisée pour les collections d'eau closes ou les collections d'eau courantes.

Inconvénients

- Cette technique peut rétrécir dangereusement la section d'écoulement des cours d'eau étroits ;
- elle a une action négative vis-à-vis du coefficient de rugosité des berges ;
- elle présente un intérêt écologique limité car le végétal est en contact direct avec la pierre ;
- elle peut représenter une barrière végétale difficilement franchissable au niveau des berges de retenues ;
- elle utilise généralement des végétaux ligneux, ce qui nécessite un entretien (taille, élagage, etc.).

Descriptif technique et chronologie d'actions

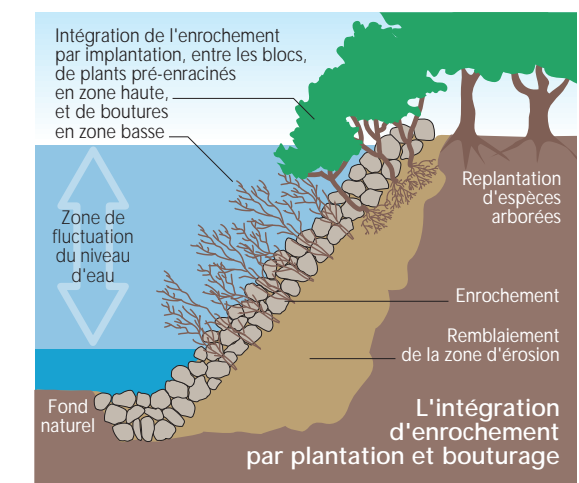
Que le confortement végétal soit réalisé simultanément à la construction d'un enrochement neuf ou sur un enrochement ancien, les végétaux employés doivent posséder une tige suffisamment longue pour traverser la couche enrochée et atteindre le substrat de la berge. Pour des questions de disponibilité en eau, des plants pré-racinés sont utilisés pour cacher la partie supérieure de l'enrochement alors que des boutures sont réservées pour cacher la partie inférieure, moins soumise à la contrainte de sécheresse.

Descriptif qualitatif des travaux

L'outil végétal de la zone supérieure de l'enrochement : les espèces utilisées sont des espèces buissonnantes afin que leurs développements ne remettent pas en cause la stabilité de l'enrochement (trunks trop gros). Ces espèces peuvent être, entre autres, *Salix aurita*, *Salix cinerea*, *Salix purpurea*, *Sambucus nigra*, *Viburnum opulus*.

L'outil végétal de la zone inférieure de l'enrochement : les boutures sont des segments de branches des trois espèces de saules citées précédemment (*aurita*, *cinerea*, *purpurea*) et doivent avoir une taille suffisante pour traverser la couche d'enrochement. On veillera à ce que leurs bases soient enfoncées dans le sol, à un niveau situé en dessous de la ligne d'eau d'étiage (diamètre de 4 à 6 cm, longueur inférieure à 1,50 m).

Les matériaux d'accompagnement (engrais, géo-grille renforcée, géotextile, agrafes) sont identiques à ceux décrits pour les techniques d'aménagement.



Graphies, d'après T. Fraisse

Descriptif quantitatif des travaux

Pour un mètre carré de berge traitée

• Plants de végétaux ligneux pré-racinés	1 plant par m ²
• Boutures	1 bouture par m ²
• Terre de comblement	10 litres par m ²

Entretien et gestion associée

Un élagage ou un recépage des végétaux peuvent être effectués, tous les deux ou trois ans, afin de conserver, dans le cas de systèmes aquatiques courants, une section d'écoulement et un coefficient de rugosité convenables.

Coûts

Pour un mètre carré de berge traitée

• Matériaux de construction, environ	35 F/m ²
• Mise en œuvre des matériaux de construction	20 F/m ²

LES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE VÉGÉTALISATION



• Intégration écologique des enrochements par nappage et revégétalisation

Présentation et choix

Cette technique est nettement plus onéreuse que la précédente mais elle permet une intégration écologique complète de l'enrochement par enfouissement. Toutefois, la bonne tenue du nappage est fonction de la déclivité de l'enrochement : une pente à trois pour deux paraît être un maximum toléré.

Champ d'application

Cette technique peut être utilisée aussi bien sur des berges de rivières que sur des berges de retenues. Elle peut être réalisée simultanément à la mise en œuvre d'un enrochement ou sur un enrochement déjà existant.

Avantages

- Cette technique intègre, écologiquement et paysagèrement, les enrochements ;
- elle crée une berge dont l'entretien est aussi facile que celui d'un talus de route ou d'une autoroute ;
- elle peut être utilisée pour les collections d'eau closes ou les collections d'eau courantes ;
- elle garantit la section d'écoulement des rivières et améliore le coefficient de rugosité des berges.

Inconvénients

- Cette technique est onéreuse à mettre en œuvre ;
- elle est tout à fait innovante donc encore difficile à valider sur le plan hydraulique bien que l'auteur l'ait déjà mise en œuvre sur plusieurs rivières (Dordogne, Tarn, Dourbie, Loire).

Descriptif technique et chronologie d'actions

Mise en œuvre de l'enrochement : dans le cas de la réalisation d'un enrochement devant subir un nappage, il est nécessaire de créer un décrochement à la hauteur du niveau d'étiage. Ce décrochement, de cinquante centimètres d'épaisseur, permet de stabiliser la terre de nappage et de réaliser une chaussette de fixation.

Mise en œuvre de la géogrille et du géotextile : on veillera à réaliser un repli en pied de berge. Ce repli est fixé à l'enrochement, par des agrafes, de façon à constituer une chaussette.

Mise en œuvre du nappage : une fois réalisée, la chaussette est remplie par une couche de terre végétale. Cette terre est également épanchée sur toute la hauteur de l'enrochement, sur une épaisseur d'environ cinquante centimètres.

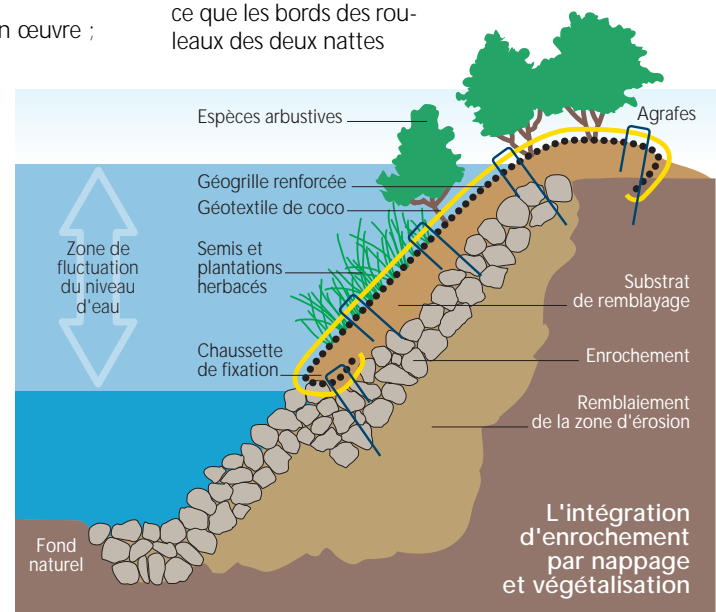
Mise en œuvre d'un ensemencement et d'une fertilisation : une fois l'épandage terminé et avant de dérouler et de fixer les nattes de protection vers le haut, on effectue un ensemencement manuel à partir du mélange choisi. On veillera à effectuer simultanément un épandage d'engrais. Le dosage des fournitures utilisées pour cet ensemencement est le suivant :

• Mélange de semences	200 kg/ha
• Engrais organo-minéral	300 kg/ha

L'ensemble des deux opérations doit être réalisé de façon homogène sur toute la surface, afin de limiter les risques de pelades pouvant survenir par la suite.

Lorsque ces deux opérations sont terminées, les deux nattes de protection sont déroulées vers le haut de l'enrochement et fixées à l'aide d'agrafes.

Au préalable, on veillera à ce que les bords des rouleaux des deux nattes



Graphies, d'après T. Fraissé

se recouvrent de vingt centimètres sans offrir de résistance au courant.

Mise en œuvre des plantations herbacées et ligneuses : les plantations herbacées sont effectuées, dans la moitié inférieure de l'enrochement nappé, à raison de six plants par mètre carré. Les plantations d'espèces ligneuses sont effectuées, dans la moitié supérieure de l'enrochement, à raison d'un plant par mètre carré.

La géogrille renforcée et le géotextile sont troués, par une incision en croix, sur une largeur d'environ quinze centimètres. Les pans de cette incision sont rabattus sur les côtés.

Par la suite, un trou d'environ vingt centimètres de profondeur est réalisé dans le sol. Le végétal est introduit dans le trou et la terre d'excavation épanchée autour de lui, puis tassée. Finalement, les pans coupés de l'incision des deux nattes sont rabattus et fixés par deux agrafes de part et d'autre du végétal introduit.

Descriptif qualitatif des travaux

La terre de nappage utilisée doit présenter une composition en éléments chimiques et organiques favorables à la croissance d'espèces végétales. Elle doit, en outre, ne pas contenir de semences d'espèces indésirables, susceptibles de concurrencer, ou de nuire, au développement des espèces introduites. Afin de diminuer les coûts de réalisation, cette terre est, si possible, prise sur place, à partir de résidus de retalutage ou de décapage de l'horizon supérieur de la zone de délaisés.

La géogrille renforcée : la protection contre l'érosion sera assurée par une géogrille traditionnelle polypropylène (stabilisée UV, épaisseur de 20 mm) intégrant, dès la fabrication, un grillage métallique galvanisé à mailles hexagonales (double torsion, mailles de 60 x 80 mm).

Le géotextile doit être biodégradable, mais avec une bonne résistance à l'eau. La pérennité souhaitée est de deux années afin de laisser à la végétation le temps de s'implanter.

Les spécifications du géotextile sont les suivantes : bourre composée de 100 % de coco à 300 grammes par mètre carré dessus et dessous, à fort débit de mailles de polypropylène dégradables.

Les agrafes de fixation sont en fer forgé de cinq millimètres de diamètre. Elles sont à doubles branches, de type 100 x 2 x 400 millimètres ou monobranchée de type 100 x 2 millimètres.

L'engrais : la fertilisation, effectuée simultanément à l'enherbement, doit être réalisée exclusivement à partir d'engrais organo-minéraux.

Le mélange de semences doit être composé d'espèces pérennes spontanées de zones de marnage, possédant un réseau racinaire puissant et profond.

Les plants de végétaux ligneux et herbacés : les végétaux ligneux sont âgés de deux ans et fournis en godets de neuf centimètres. Ils sont implantés dans la moitié supérieure de l'enrochement. Les espèces à utiliser sont *Salix aurita*, *Salix cinerea*, *Salix purpurea*, *Sambucus nigra*, *Viburnum opulus*.

Des végétaux herbacés sont ajoutés dans la moitié inférieure de l'enrochement afin d'accélérer la recolonisation végétale. Les végétaux, âgés de six mois, sont fournis en godets de six centimètres. Les espèces utilisées doivent appartenir aux familles des graminées et des cypéracées.

Quantitatif des travaux

Pour un mètre carré de berge traitée

• Terre végétale	0,5 m ³ /m ²
• Géogrille renforcée	1 m ²
• Géotextile biodégradable	1 m ²
• Agrafes	4 par m ²
• Semences	20 g/m ²
• Plants herbacés	6 par m ²
• Plant ligneux	1 par m ²

Entretien et gestion associée

Ce type de technique exige un entretien tout à fait simple, comparable à celui d'un talus de route.

Coûts

Ce coût s'entend sans la fourniture et la mise en œuvre de l'enrochement.

Pour un mètre carré de berge traitée

• Mise en œuvre	130 à 180 F/m ²
-----------------	----------------------------



4.4 LES CAUSES D'ÉCHECS

■ UNE MÉCONNAISSANCE DU CONTEXTE ÉCOLOGIQUE

On ne rappellera jamais assez que la végétalisation des milieux à sévères contraintes (zones désertiques, haute montagne, zones de marnage) nécessite une connaissance pluridisciplinaire.

En effet, ce type d'intervention nécessite une grande connaissance du milieu et un savoir-faire de longue date dans le domaine de la végétalisation afin de pouvoir élaborer un cahier des charges adapté au contexte écologique et susceptible de satisfaire les attentes du maître d'ouvrage.

L'ensemble des investigations antérieures montre qu'une méconnaissance du contexte écologique ne peut déboucher que sur un échec.

■ L'UTILISATION DE TECHNIQUES INADAPTÉES

Tout comme le choix de l'outil végétal, le choix de la technique est primordial pour le succès de l'opération. Ainsi, ces techniques doivent être adaptées aux contraintes très spécifiques des zones de marnage.

En effet, une simple transposition de techniques, utilisées couramment pour l'aménagement des autres types de milieux sans adaptation spécifique aux contraintes des zones de marnage, ne peut déboucher que sur un échec.



Confortement de berges sur la Loire à Couargues, à partir d'une protection de pied par fascines et d'un remblayage de la loupe d'affaïssement. Cette technique, très sensible vis-à-vis des contraintes d'immersion, aurait pu être avantageusement remplacée par la mise en œuvre d'une technique mixte similaire à celle proposée page 58.

■ UN DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE ERRONÉ

Même si l'on a conscience que la réalisation d'un diagnostic écologique est un préalable indispensable à l'élaboration du cahier des charges d'aménagement, il est indispensable que ce diagnostic soit exact afin de pouvoir espérer quelques chances de succès.

Ainsi, une mauvaise appréciation d'un paramètre physique tel que la contrainte de sédimentation ou la puissance érosive du batillage, engendrera irrémédiablement l'échec.

■ L'UTILISATION D'ESPÈCES INADAPTÉES AUX CONTRAINTES DU SITE

Les milieux à sévères contraintes, dont font partie les zones de marnage, ne peuvent être végétalisés durablement qu'à partir d'espèces sauvages spontanées de ces milieux, et non à partir d'espèces d'origine commerciale, inadaptées aux contraintes.

Le choix de l'outil végétal est donc primordial pour le succès de l'opération et il ne peut être réalisé que par un spécialiste, lors d'un diagnostic écologique préalable.

■ UNE PÉRIODE DE MISE EN ŒUVRE INADAPTÉE

La période de mise en œuvre joue un rôle très important dans la végétalisation des zones de marnage. Elle doit être choisie judicieusement en fonction du régime hydrique saisonnier, afin de laisser aux végétaux le temps de se développer.

Il est également important de vérifier que le régime hydrique saisonnier n'oblige pas les végétaux à se développer à contre-saison, c'est-à-dire durant la période hivernale.

■ UN MAUVAIS STOCKAGE DES MATÉRIAUX

Lors de la mise en œuvre des techniques d'aménagement, il est important de vérifier le bon stockage des matériaux et, principalement, des matériaux vivants de construction.

Ainsi, les quelques suggestions suivantes peuvent permettre de limiter les causes d'échec :

- éviter de laisser les semences en pleine lumière, dans un endroit trop chaud, sous la pluie ou à l'humidité ;

- éviter de laisser les plants ou les portions de végétaux (boutures ou pieux vivants) au soleil en été ou sans protection contre le gel en hiver ;

- éviter de laisser les géotextiles biodégradables à la pluie.

■ L'ABSENCE DE SOINS OU DE PROTECTION APRÈS LES TRAVAUX

La végétalisation des zones de marnage, par ensemencement ou plantation, peut nécessiter, durant les semaines voire les mois qui suivent la mise en œuvre, des opérations d'entretien telles que :

- une mise en défens des zones traitées, afin de les protéger du piétinement ou d'une prédation éventuelle ;
- des arrosages, afin de maximiser les chances de reprise et de stimuler le développement végétal.

■ UNE SOUS-ESTIMATION DU FACTEUR ÉCONOMIQUE

Une sous-estimation du facteur économique peut être une cause d'échec au moment de la mise en œuvre ou de l'entretien.

Les végétaux peuvent dépérir en restant des mois à l'air libre, en attendant le déblocage des fonds financiers permettant leur plantation.

La réalisation d'une étude préalable de faisabilité, intégrée au cahier des charges d'aménagement, peut éviter ce type de désagréments et conseiller efficacement le maître d'ouvrage.



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS

5

Les exemples de réalisation qui suivent illustrent des applications qui répondent aux contraintes particulières subies par les berges de retenues marnantes.

Ce chapitre ne représente pas un récapitulatif exhaustif de l'ensemble des opérations d'aménagement déjà réalisées. En effet, seuls quelques exemples de réalisation, pouvant représenter des modèles-types d'aménagement, ont été choisis pour leur intérêt pédagogique.

5.1 LA MONTAGNE NOIRE

Essais de végétalisation par ensemencement de deux retenues dans le Tarn

■ LES PROBLÈMES SOULEVÉS ET LES OBJECTIFS

Les retenues du Lamy et des Cammazes sont situées en Montagne noire occidentale, dans le sud de la France. Elles occupent l'emplacement naturel de cuvettes arénisées en zone de moyenne montagne.

Alors que la roche mère apparaît au niveau des berges érodées de type sableux ou escarpé, les ruisseaux d'alimentation apportent des sédiments fins et des matières végétales qui s'accumulent à l'amont de ces retenues, formant des replats vaseux.

CARACTÉRISTIQUES DES RETENUES

Fonctions principales	LES CAMMAZES	LE LAMPY
	Réserve d'eau potable	Soutien d'étiage pour le canal du Midi
• Surface de la retenue pour le niveau maximum (en ha)	90,00	23,50
• Capacité totale (en million de m ³)	18,80	1,70
• Capacité utilisable (en millions de m ³)	18,80	1,60
• Altitude maximale de la retenue (en NGF)	567,40	647,71
• Roche mère	Schisteuse	Granitique
• Type de berges	Escarpé, replat vaseux	Sableux, replat vaseux

Bien que d'utilités différentes, ces deux retenues sont marquées par de fortes variations annuelles du niveau de l'eau. Elles subissent en particulier toutes deux un marnage d'automne qui oblige les plantules à se développer à contre-saison (période d'émersion hivernale).

De plus, chaque type de berges se caractérise par des contraintes physiques importantes, rendant difficile leur colonisation végétale (voir chapitre 2).

CARACTÉRISTIQUES DES BERGES

TYPE	CONTRAINTES
• Berges sableuses	• Forte érosion superficielle • Extrême pauvreté nutritive • Xéricité élevée
• Berges vaseuses	• Sédimentation et transformation de la microtopographie • Caractère asphyxique du substrat
• Berges escarpées	• Remodelage très marqué de la topographie • Xéricité élevée

Les retenues du Lamy et des Cammazes ayant des caractéristiques écologiques très similaires, ce sont les types de berges qui s'avèrent être le facteur le plus déterminant dans les modalités de colonisation végétale de ces deux sites.

Les résultats sont donc présentés en fonction des trois types de berges rencontrés et sur lesquels ont été réalisés des essais de végétalisation.

Les opérations de végétalisation ont été pilotées par les organismes suivants :

LES CAMMAZES

Maitrise d'ouvrage : Institution interdépartementale pour l'aménagement hydraulique de la Montagne noire

Maitrise d'œuvre : Centre d'écologie des systèmes aquatiques continentaux CESAC - CNRS Toulouse

LE LAMPY

Maitrise d'ouvrage : Service de la navigation de Toulouse

Maitrise d'œuvre : Centre d'écologie des systèmes aquatiques continentaux CESAC - CNRS Toulouse

■ LES SOLUTIONS PROPOSÉES

L'objectif recherché a été de tester, sur ces trois types de berges, la résistance des semences face aux différents régimes hydriques saisonniers.

Une étude préalable de la végétalisation existante sur les différents types de berges, fut suivie d'expérimentations en laboratoire et en serre portant sur la faculté d'adaptation au marnage de semis et de plants adultes issus de ces sites ou du commerce. Ces investigations préalables ont contribué à élaborer une stratégie de colonisation des retenues puis à effectuer un choix d'espèces résistantes au marnage et utilisables en végétalisation.

La démarche a consisté à appliquer *in situ* des ensemencements à partir d'un mélange commercial comprenant dix-sept espèces, en 1990, et à partir d'un mélange de dix espèces sauvages en 1991.

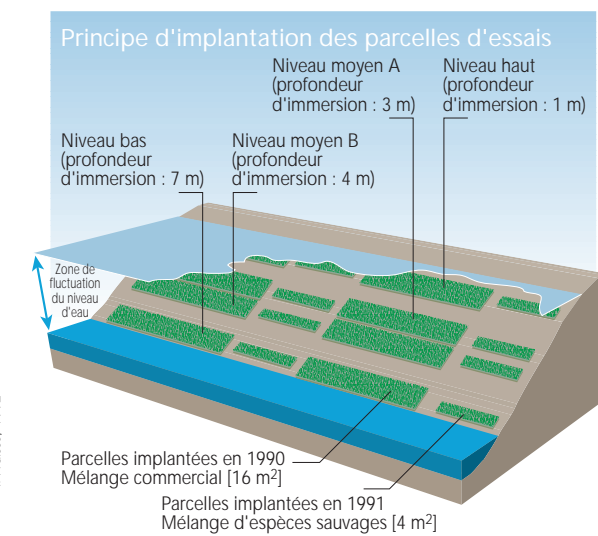
Pour chaque type de berges, les ensemencements ont concerné, dans la mesure du possible, quatre zones de niveau d'eau respectif et réparties sur une colonne d'eau de sept mètres de profondeur.



Expérimentation de serre permettant de tester la résistance des espèces à la contrainte hydrique sur différents substrat.



Expérimentation de serre permettant de tester la résistance des espèces à une immersion prolongée en piscine.



Jeunes plantules provenant du mélange sauvage (suivi floristique de la retenue du Lamy).

• Ensemencement à partir d'un mélange commercial, en automne 1990

Méthode utilisée

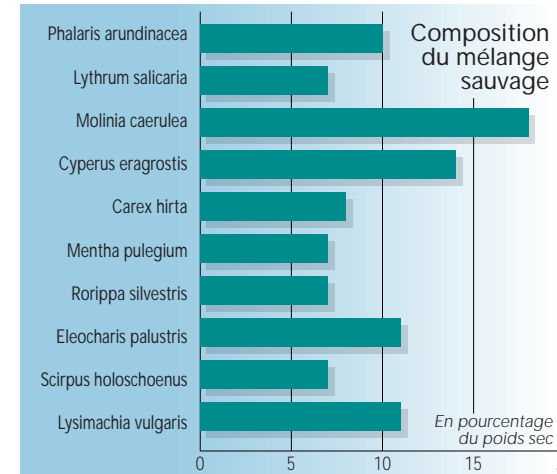
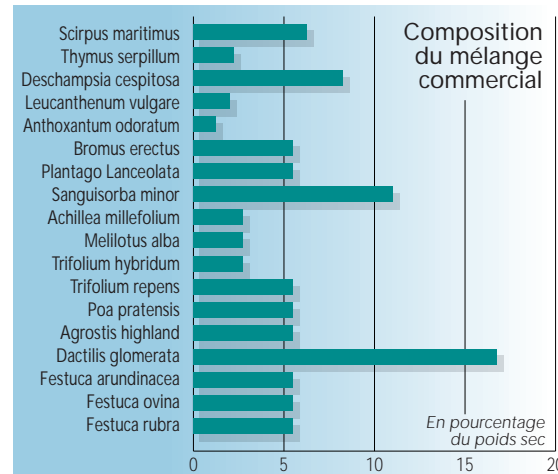
Le mélange commercial composé de dix-sept espèces auxquelles a été rajouté *Scirpus maritimus* (espèce commune des marais littoraux peu profonds), a été ensemencé sur des parcelles de 4 m x 4 m, à raison de 15 g/m².

• Ensemencement à partir d'un mélange d'espèces sauvages adaptées au marnage, en automne 1991

Méthode utilisée

Le mélange sauvage a été ensemencé sur des parcelles de 2 m x 2 m, à raison de 14 g/m². Il comprenait dix espèces sauvages issues des communautés naturelles endémiques des berges étudiées.

QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



LES RÉSULTATS PHYTOÉCOLOGIQUES

• Mélange commercial

Un suivi phytoécologique en deux étapes :

- un premier relevé floristique, effectué un an après la mise en œuvre a consisté à dénombrer les germinations ;
- un deuxième inventaire a permis de rendre compte de l'évolution de la couverture végétale après deux années de régime hydrique saisonnier.

Premier relevé floristique en novembre 1991

Bien que le régime hydrique saisonnier fût normal durant l'année 1990-1991, seules les semences de quelques espèces commerciales ont pu résister à l'immersion estivale et germer.

Deuxième relevé floristique en décembre 1992

Seuls les plants adultes de *Deschampsia caespitosa* se maintiennent sur les hauts de berge. Bien qu'il s'agisse d'une variété commerciale, elle a dû conserver des facultés biologiques de l'espèce sauvage spontanée des zones humides. Ces aptitudes, ajoutées à un coût de revient faible, rendent cette variété intéressante pour végétaliser les parties hautes des zones de marnage.

De façon générale, les variétés commerciales sélectionnées pour leur capacité à se développer rapidement, restent propices à une végétalisation des hauts de berges soumis à une immersion n'excédant pas quelques semaines.

• Mélange sauvage

Un suivi phytoécologique en deux étapes :

- un premier suivi réalisé un an après la mise en œuvre a évalué les germinations ;
- un second relevé floristique, intervenu deux mois après, a intégré la croissance des différentes espèces durant l'hiver 1992, soit à contre-saison.

Premier relevé floristique en octobre 1992

Réalisé trois semaines après l'émersion des parcelles les plus basses, cet inventaire n'a permis d'identifier que cinq groupes de végétaux au stade cotylédonaire. Ceci traduit la difficulté, pour les plantules, à se développer à contre-saison.

Deuxième relevé floristique en décembre 1992

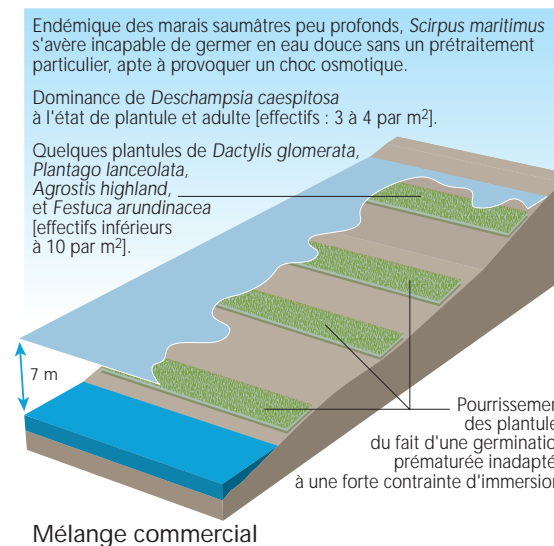
Il apparaît qu'une végétalisation des zones de marnage, à partir d'espèces spontanées, est la plus efficace. Leur utilisation est d'autant plus judicieuse que ces espèces naturelles ont pour caractéristique biologique de ne germer qu'après une immersion de longue durée. Ce phénomène permet aux semences de constituer, en zones basses, des banques de graines pouvant attendre le marnage suivant pour germer massivement et rapidement.

À l'inverse, l'utilisation d'espèces sauvages, en zones de marnage hautes, nécessite un pré-traitement des semences afin de lever leur dormance tégumentaire.

RÉCAPITULATIF DU CONSTAT

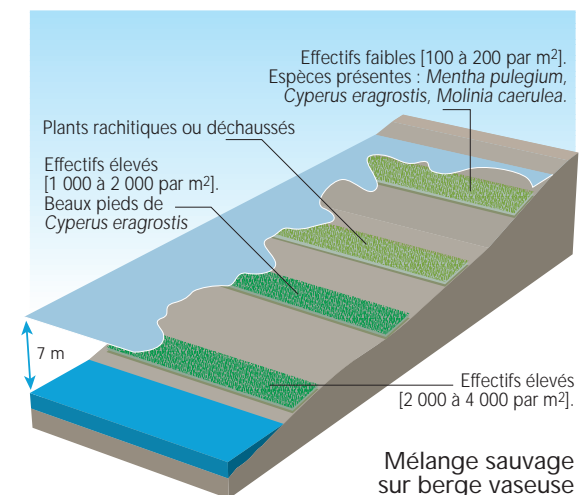
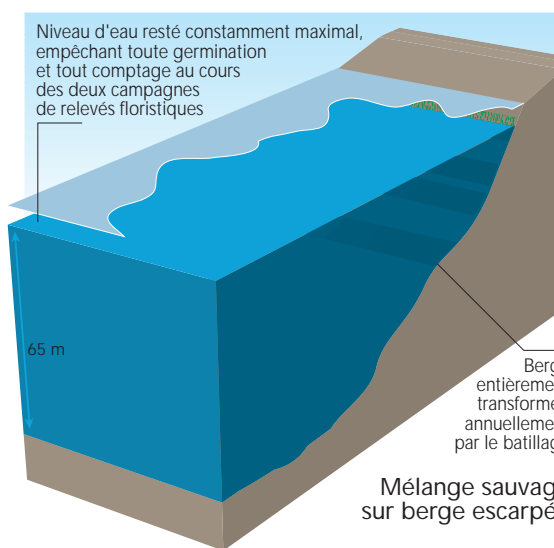
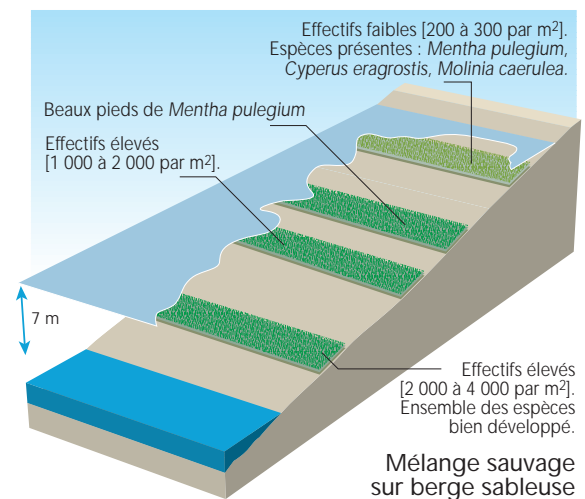
• Mélange commercial

Quel que soit le type de berge traité, le mélange commercial a donné des résultats comparables.



• Mélange sauvage

En raison des adaptations spécifiques des espèces qui le composent, le mélange sauvage a donné des résultats différents en fonction des hauteurs d'implantation et des trois types de berges traitées.



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



LES ENSEIGNEMENTS RECUEILLIS

Le choix des espèces

Il apparaît nécessaire d'utiliser différents mélanges d'espèces selon la zone haute, moyenne ou basse à végétaliser. Ces mélanges seront constitués d'espèces sauvages adaptées au marnage (tableau ci-dessous).

Les appréciations

• Le faible recouvrement obtenu sur les berges du Lampy et des Cammazes confirme qu'il reste très difficile de végétaliser par ensemencement une retenue qui impose une croissance végétale à contre-saison.

• Il paraît nécessaire de compléter ces méthodes d'ensemencement par l'emploi de techniques de génie

écologique faisant appel à des plantations, notamment afin d'accélérer l'implantation du couvert végétal.

• Coût estimatif de l'opération : *non estimé car réalisé bénévolement dans le cadre d'une thèse de doctorat.*

• Surfaces traitées :

- concernant le mélange commercial :

3 berges x 12 parcelles x 4 m² = 144 m²

- concernant le mélange sauvage :

3 berges x 12 parcelles x 16 m² = 576 m²

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

Thierry Fraissé

Carex Environnement Toulouse

13 rue des Hauts de Goyrans, 31120 Goyrans

Tél : 05 61 73 82. 93, Rép : 05 61 76 74 07

Niveau d'implantation	Adaptations requises	Espèces végétales retenues
<ul style="list-style-type: none"> Zone haute (0 à 50 cm d'eau) 	<ul style="list-style-type: none"> Croissance rapide sans pré-traitement Dormance tégumentaire brève Résistance à la sécheresse (++) et à l'immersion (+) 	<ul style="list-style-type: none"> Deschampsia cespitosa Lythrum salicaria Molinia caerulea Phalaris arundinacea Scirpus holoschoenus
<ul style="list-style-type: none"> Zone moyenne (1 à 3 m d'eau) 	<ul style="list-style-type: none"> Résistance à la sécheresse (+) et à une immersion de longue durée (++) Dormance tégumentaire longue 	<p>Berges sableuses</p> <ul style="list-style-type: none"> Carex hirta Cyperus eragrostis Mentha pulegium Phalaris arundinacea Roripa sylvestris <p>Berges vaseuses</p> <ul style="list-style-type: none"> Eleocharis palustris Lysimachia vulgaris Rorippa sylvestris
<ul style="list-style-type: none"> Zone basse (3 à 4 m maximum d'eau) 	<ul style="list-style-type: none"> Résistance à une immersion importante en durée et en profondeur (++) Dormance tégumentaire longue 	<ul style="list-style-type: none"> Carex hirta Eleocharis palustris Mentha pulegium Phalaris arundinacea

5.2 SERRE-PONÇON

Essais de végétalisation par ensemencement et plantation d'herbacées de la retenue de Serre-Ponçon dans les Hautes-Alpes

LES PROBLEMES SOULEVÉS ET LES OBJECTIFS

La retenue de Serre-Ponçon s'étend sur les départements des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence, à la jonction des vallées de la Durance et de l'Ubaye.

Plus grande retenue artificielle de France (3 200 ha), elle a pour fonctions la production hydroélectrique et l'irrigation de la Basse-Durance.

L'objectif retenu était de proposer une solution permettant de limiter l'érosion éolienne dans la zone d'Embrun. La colonisation naturelle des berges soumises au marnage s'avère très difficile. Les quatre facteurs majeurs de contraintes sont :

FACTEURS	CONTRAINTES
<ul style="list-style-type: none"> Régime hydrique (hiver : baisse des eaux jusqu'à 23 mètres) Érosion éolienne (vents de « sables » en queue de retenue) Batillage Sédimentation importante d'origine minérale 	<ul style="list-style-type: none"> Impératif de gestion hydraulique incontournable qui impose un développement végétal à contre-saison Conditions d'ensemencement difficiles Lessivage des semis Déchaussement des plantules Enfouissement des semis et des plantules

Les opérations de végétalisation ont été pilotées par les organismes suivants :

Maitrise d'ouvrage : EDF Énergie Méditerranée

Maitrise d'œuvre : Cemagref de Grenoble

LES SOLUTIONS PROPOSÉES

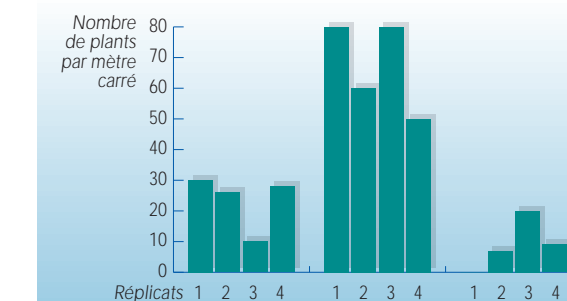
Seule la végétalisation à partir d'herbacées était envisageable. Les essais de réhabilitation des berges ont fait appel à une espèce présente sur le site et à d'autres espèces connues pour leur faculté à résister au marnage.

Trois techniques d'aménagement (sol nu, géonatte, géotextile) ont été comparées.

La géonatte est un matelas biodégradable constitué de bois et de coton. Elle contribue à la formation d'humus et joue un rôle de mulch auprès des semences.

Le géotextile n'est pas biodégradable. C'est un tissu synthétique aiguilleté sur lequel est fixée une structure tridimensionnelle, capable de protéger les plantules contre le déchaussement.

	Sol nu	Géonatte	Géotextile
Mise en œuvre : fin avril 1992	Semis enterré à 2 cm de profondeur	Semis recouverts de 2 cm de terre	
Immersion : fin mai 1992 à décembre 1993	Sédimentation sur les semis	Disparition de la géonatte	Lessivage des semis
Exondation : janvier 1993 à mars 1993	Vernalisation naturelle	Vernalisation naturelle	Vernalisation naturelle
Relevé phytologique : avril 1993	faible	Taux de germination élevé de Carex hirta seule	faible



Bilan de la germination de Carex hirta dans les trois conditions d'ensemencement

LES APPRÉCIATIONS

• L'utilisation d'une géonatte a été judicieuse car elle augmente indéniablement les chances de germination. Les deux autres techniques d'aménagement illustrent les effets négatifs de l'enfouissement et du lessivage des semis.

• L'absence de germination pour les espèces autres que Carex hirta reste difficile à expliquer, si ce n'est probablement que cette espèce est très rustique vis à vis de la contrainte de sédimentation et de la pauvreté du sol. Elle montre combien il peut être important d'utiliser des espèces sauvages spontanément adaptées au

QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



C. Couvert - Graphis

Marnage sur le lac de Serre-Ponçon.

marnage et endémiques du site, pour les opérations de réhabilitation en conditions extrêmes.

- Coût de l'opération (étude, travaux, suivi) : 122 000 F HT
- Surface traitée : environ 100 m² par ensemencement et 40 m² par plantation entre 1992 et 1993.
- Devenir : abandon

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

Françoise Dinger
Cemagref de Grenoble
2, rue de la Papeterie - BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères
Tél : 04 76 76 27 27

5.3 MONTEYNARD

Végétalisation par ensemencement et plantation d'herbacées de la retenue de Monteynard dans l'Isère

■ LES PROBLÈMES SOULEVÉS ET LES OBJECTIFS

La retenue hydroélectrique EDF de Monteynard, construite sur le Drac, près de la ville de La Mure (Isère) se présente comme une retenue d'eau oligotrophe, en amont de tout système de colonisation naturelle adaptée.

Elle possède des berges minérales inhospitalières à toutes formes de vie, et donc non végétalisées naturellement, de sorte que les zones de marnage sont particulièrement sensibles à l'érosion (glissement du sol au fond de la retenue, création de microfalaises, etc.).

La retenue est de plus caractérisée par un régime hydrique saisonnier irrégulier. Ceci nécessite une installation rapide des végétaux introduits avant la prochaine phase d'immersion.

Les objectifs retenus étaient la lutte contre l'érosion des berges ainsi que la préconisation d'aménagements favorisant l'intégration écologique et paysagère de la retenue.

Ces réalisations ont été pilotées par les organismes suivants :

Maitrise d'ouvrage :
EDF Énergie Alpes
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

Partenaires financiers :
Ministère de l'Environnement (direction de l'Eau)
Sivom du lac de Monteynard-Avignonnet
Maitrise d'œuvre : Carex Environnement

■ LES SOLUTION PROPOSÉES

Les aménagements en techniques végétales proposés (présentés dans les pages qui suivent) ont été de deux natures :

- stabiliser les hauts de berges à partir de techniques de génie écologique classiques et de techniques utilisant des végétaux spontanés de zones de marnage ;
- créer des zones de frayères, en partie basse de la zone de marnage.

■ APPRÉCIATIONS

• Dans le cas de la retenue de Monteynard, les techniques végétales classiquement utilisées pour la protection des berges de cours d'eau n'ont pas apporté les résultats escomptés. Des mises au point et des investigations supplémentaires seraient donc nécessaires avant d'envisager leur possible utilisation en vraie grandeur.

• À l'inverse, des techniques de génie écologique intégrant des végétaux herbacés naturellement spontanés des zones de marnage s'avèrent plus efficaces.

Des essais pilotes réussis sur des parcelles réduites en 1993 ont permis de mettre en œuvre en 1995 des opérations de végétalisation en vraie grandeur soit en haut de berge pour limiter l'érosion régressive, soit en bas de berge pour créer des zones de frayères pour les poissons et améliorer l'attrait paysager du site.

Malgré une marge de manœuvre étroite liée aux contraintes de gestion hydraulique induisant notamment une remontée précoce du niveau d'eau, les résultats furent satisfaisants et prometteurs.

• Coût des opérations : études, travaux, suivis (de 1992 à 1997) : 794 000 F HT.

• Surfaces et linéaires traités :

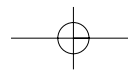
- hauts de berge traités par génie écologique classique : 100 m ;
- hauts de berge traités à partir d'herbacées adaptées au marnage : 100 m ;
- création de frayères en bas de berge : 5 000 m².

• Devenir : travaux de protection de berges en vraie grandeur (en projet).



C. Couvert - Graphis

La partie aval de la retenue et le barrage de Monteynard.



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



■ MONTEYNARD : TRAITEMENT DES HAUTS DE BERGES PAR GÉNIE ÉCOLOGIQUE CLASSIQUE

Les essais d'application de ces techniques classiques réalisés sur les berges du réservoir du Monteynard n'ont pas donné entière satisfaction. En effet, l'érosion régressive, due au batillage des vagues, représente une force d'attaque frontale (et non oblique comme en rivière) et peut rapidement désolidariser les ouvrages des berges. Les portions de végétaux ligneux utilisées

pour réaliser ces techniques sont également beaucoup plus sensibles à la sécheresse édaphique que les végétaux herbacés.

De plus, les espèces ligneuses possèdent naturellement un réseau racinaire moins bien adapté que celui des herbacées pour piéger et fixer les particules fines de sol, soumises à une érosion frontale.

Mise en œuvre au printemps 1994.

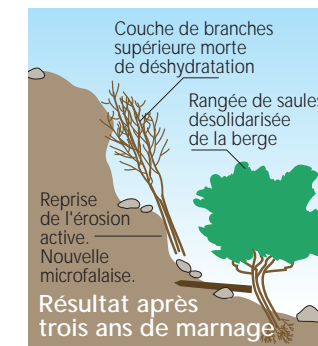
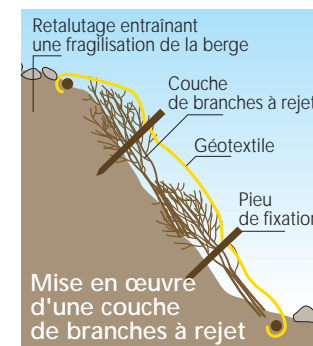
Après trois ans de marnage en avril 1997.

• Technique par couche de branches à rejets

Des branches d'essences rejetant facilement, de plus de 1,5 mètres de long, sont étendues en une couche épaisse, l'extrémité la plus large vers le bas. Cette couche de branche est fixée au substrat par des fils de fer puis recouverte d'une couche de terre. Les coûts d'aménagement oscillent régulièrement entre 200 et 300 F HT par mètre carré traité (retalutage compris).



T. Fraissé



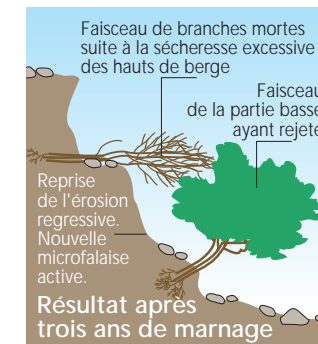
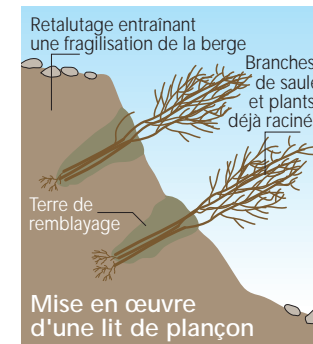
T. Fraissé

• Technique par lit de plançons

Les plançons sont des boutures ou des branches ramifiées d'essences rejetant bien, d'un mètre de long, enterrées dans des tranchées. Le tiers terminal des branches dépasse du sol. Les lits de plançons sont utilisés pour la consolidation des talus instables. Leur coût de revient oscille entre 100 et 150 F HT par mètre linéaire traité et leur pose reste facile.



T. Fraissé



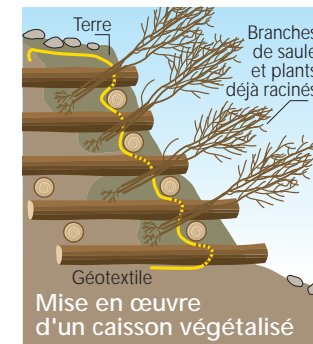
T. Fraissé

• Technique par caisson végétalisé

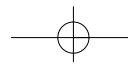
Les caissons sont construits par empilement de rondins de bois mort d'au moins 10 cm de diamètre. Entre les couches de rondins, sont placées des branches d'essences rejetant facilement. L'extrémité la plus large est placée côté berge. Les caissons sont ensuite remplis avec du matériel minéral en évitant les vides pour la bonne reprise des plantes. Ces structures présentent des coûts de mise en œuvre élevés pouvant dépasser 500 F HT par mètre cube d'ouvrage réalisé.



T. Fraissé



T. Fraissé



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS

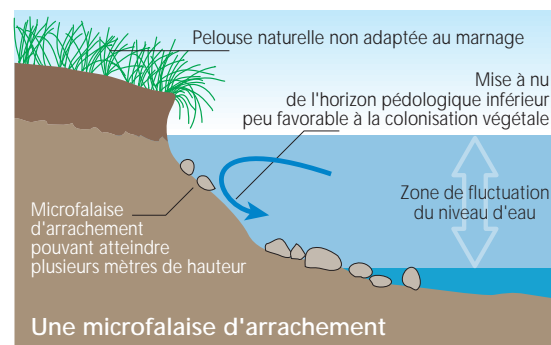


■ MONTEYNARD : SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT DES BERGES À PARTIR DE VÉGÉTAUX SPONTANÉS

• Hauts de berges

Avant traitement

Création d'une microfaisle d'arrachement par glissement du sol naturel au fond de la retenue. Le glissement met à nu l'horizon pédologique inférieur peu favorable à la colonisation végétale.



Une microfaisle d'arrachement



Microfaisle en juin 1995.

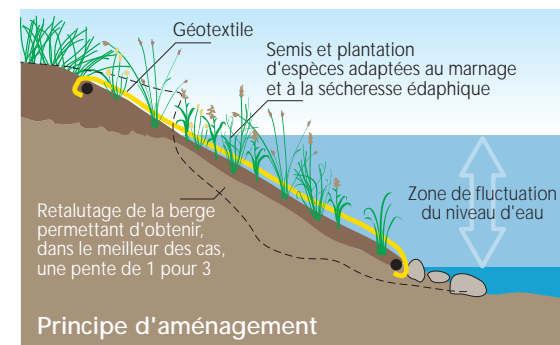
Les principes d'aménagement

• Le front d'érosion est préalablement retaluté quel que soit le principe d'aménagement retenu. Ce retalutage permet de limiter l'érosion due au batillage (plus d'attaque érosive).

• Les espèces sélectionnées sont *Achillea*, *Carex*, *Lotus*, *Mentha*, *Phalaris*, *Plantago*, *Sanguisorba*, *Scirpus*, *Trifolium*.

• Les techniques de végétalisation :

- ensemencement simple ;
- ensemencement et plantation sur sol nu ;
- ensemencement et plantation sur natte de fibre de bois ;
- ensemencement et plantation sur natte de coco.



Principe d'aménagement



Vue générale des parcelles correspondant à la mise en œuvre des quatre techniques, après un an de marnage en juillet 1996.

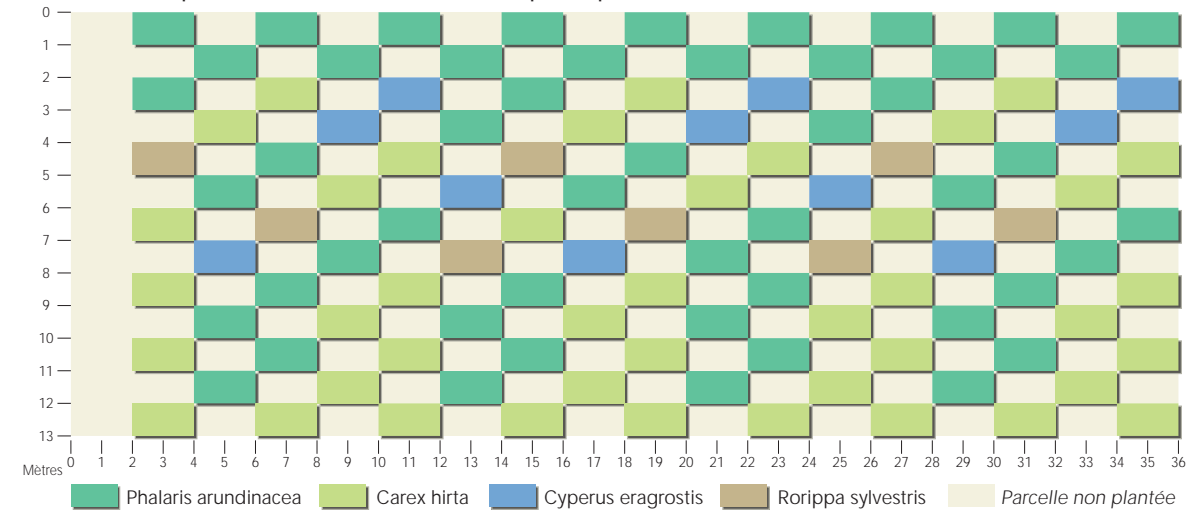
• Bas de berges

Les principes d'aménagement

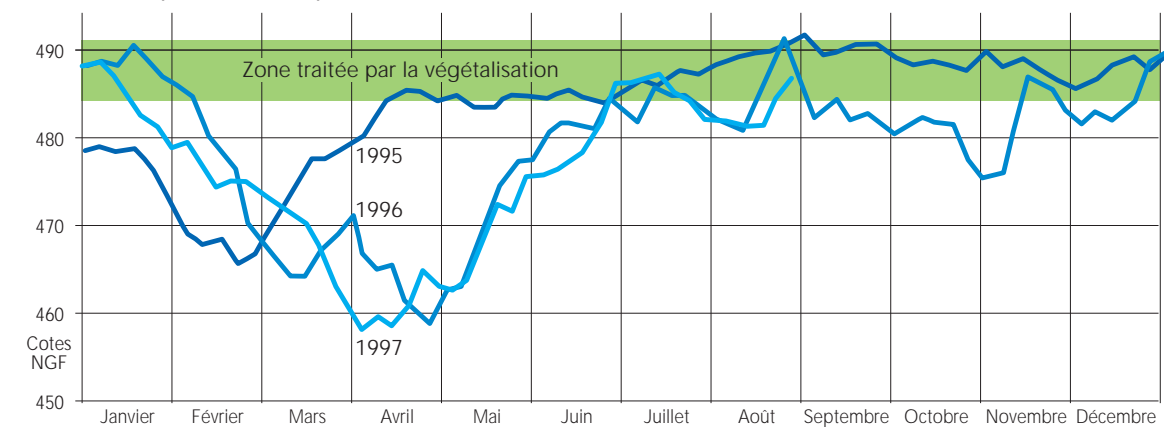
• Afin de diminuer le coût de la mise en œuvre, la technique des écocellules monospécifiques qui permet de ne traiter que 30 à 50% de la surface à végétaliser a été adoptée (schéma d'implantation ci-dessous).

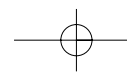
• Les espèces sélectionnées sont *Carex*, *Cyperus*, *Phalaris*, *Rorippa*.

Schéma d'implantation en écocellules monospécifiques

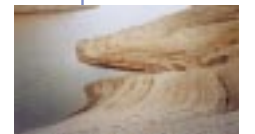


Niveau d'implantation des parcelles et variation du niveau d'eau





QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



■ MONTEYNARD : TRAITEMENT DES HAUTS DE BERGES À PARTIR DE VÉGÉTAUX SPONTANÉS

• *Technique par ensemencement sur sol nu*

C'est de loin la mise en œuvre la moins onéreuse. Les résultats montrent que la fétuque s'avère la plus adaptée aux variations des conditions hydriques et qu'elle assure un bon recouvrement végétal.

• *Technique par ensemencement et plantation sur sol nu*

Un bon recouvrement végétal est obtenu et il peut atteindre 100 % en bas de talus seulement un an après la mise en œuvre.

Les graminées dominent le peuplement végétal. Malgré l'absence de géotextile, aucun signe de reprise d'érosion régressive n'a été observé.

• *Technique par ensemencement et plantation sur natte de fibre de bois*

Les fétuques, et à un degré moindre les plantains, sont les plus adaptés à la technique d'ensemencement. Les fétuques, et à un degré moindre les scirpes, assurent les meilleurs recouvrements par plantation.

Cependant, pour certains végétaux, la natte entraîne une déshydratation par effet de mèche ou un étouffement du fait de son épaisseur. Le géotextile présente en outre un aspect inesthétique dévalorisant le paysage.

• *Technique par ensemencement et plantation sur natte de coco*

Cet essai obtient les meilleurs résultats de recouvrement végétal un an après sa mise en œuvre. L'ensemencement et la plantation y contribuent tous deux.

Ce géotextile s'intègre bien dans le paysage. Toutefois, la natte de coco peut étouffer les plantules issues du semis, par son épaisseur excessive. De plus, la richesse spécifique résultant de l'ensemencement reste inférieure à celle obtenue sur sol nu.



Mise en œuvre en juin 1995.

T. Fraissé



Mise en œuvre en juin 1995.

T. Fraissé



Mise en œuvre en juin 1995.

T. Fraissé



Mise en œuvre en juin 1995.

T. Fraissé



Développement de la parcelle après un an de marnage (juillet 1996).

T. Fraissé



Développement de la parcelle après un an de marnage (juillet 1996).

T. Fraissé



Développement de la parcelle après un an de marnage (juillet 1996).

T. Fraissé



Développement de la parcelle après un an de marnage (juillet 1996).

T. Fraissé



Développement après deux ans de marnage (avril 1997).

T. Fraissé



Développement après deux ans de marnage (avril 1997).

T. Fraissé



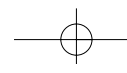
Développement après deux ans de marnage (avril 1997). L'aspect inesthétique de la natte est toujours observable.

T. Fraissé



Développement après deux ans de marnage (avril 1997).

T. Fraissé



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



■ MONTEYNARD : TRAITEMENT DE LA ZONE BASSE DES BERGES À PARTIR DE VÉGÉTAUX SPONTANÉS DES ZONES DE MARNAGE

Le traitement de la zone de marnage avait pour objectifs d'intégrer écologiquement un demi-hectare de berge et de créer une zone de frayère pour les poissons. La mise en œuvre de ce traitement s'est déroulée en deux phases afin de maximiser les chances de succès.

• Phase 1 : essais préalables sur parcelles réduites

Les essais préalables réalisés en 1993 ont conclu à la faisabilité d'une végétalisation d'une zone de marnage jusqu'à une profondeur de sept mètres. La validation de l'utilisation des espèces testées a permis au bureau d'études de préconiser dans un second temps une opération de végétalisation en vraie grandeur.

La courte période disponible entre deux montées des eaux interdisant toute mise en œuvre par ensemencement, des techniques de plantation ont alors été préconisées.

Espèces	Carex hirta	Phalaris arundinacea	Mentha pulegium	Rorippa sylvestris	Cyperus eragrostis	Eleocharis palustris
Résistance à l'immersion	+	+	+	+	+	+
Résistance au stress de xéricité	+	+	+	+	+	+
Appétence vis à vis de l'avifaune	+	+	+	+	+	+
Fort pouvoir de multiplication végétative	+	+	+	+	+	+
Fort développement aérien		+			+	+
Fort développ. horizontal, couverture foulable au pied	+	+	+			
Réseau racinaire très développé permettant une bonne protection du sol	+	+	+	+	+	+

Caractéristiques biologiques ayant motivé le choix des espèces pour la végétalisation des berges.



Parcelle d'essai en juin 1995.

• Phase 2 : opération de végétalisation en vraie grandeur

Le traitement par plantation en écocellules monospécifiques juxtaposées diminue de moitié les coûts de mise en œuvre.

La majorité des écocellules a présenté une floraison et une montée en graine dès la première année.



Un mois après la mise en œuvre, en juillet 1995.



Un an après la mise en œuvre, en juillet 1996.



Deux ans après la mise en œuvre, en avril 1997 : la couverture végétale apparaît très homogène dans l'ensemble et résiste bien au marnage, bien qu'elle soit ici encore marquée par la sénescence hivernale.

Le couvert végétal deux ans après la mise en œuvre.

Certaines espèces stolonifères telles que le carex ont déjà largement débordé le cadre de leurs écocellules par multiplication végétative, pour coloniser les espaces non traités.

État du couvert végétal de chaque type d'écocellule, après deux ans de marnage, en avril 1997.



Pieds de Phalaris arundinacea atteignant jusqu'à un mètre de haut.

Pieds de Cyperus eragrostis.



Couverture de Carex hirta.

Couverture de Rorippa sylvestris.

5.4 PUYLAURENT

Essais de végétalisation par ensemencement de la nouvelle retenue de Puylaurent en Lozère

■ LES PROBLÈMES SOULEVÉS ET LES OBJECTIFS

La réalisation du barrage de Puylaurent (Lozère) sur le cours supérieur du Chassezac (affluent de l'Ardèche) a créé une retenue d'eau de 12,02 hm³.

Cette retenue a pour fonction :

- le soutien d'étiage du Chassezac durant la période estivale en stockant les forts écoulements de printemps et d'automne ;
- la production d'énergie hydroélectrique.

Consécutif à la gestion hydraulique de la retenue, le marnage est effectif entre la cote de retenue maximale de 942 NGF et la cote de 880 NGF des plus basses eaux.

Il sera particulièrement contraignant pour la végétation déjà existante sur le site mais non adaptée. En effet, la ripisylve des berges de l'affluent se jettant dans la retenue comprend une flore riveraine de type hygrophile à mésohygrophile directement dépendante de l'hydrodynamisme de la rivière. La totalité des groupements mésoxérophiles de la cuvette sera également détruite.

Les objectifs retenus étaient de vérifier la faisabilité d'une opération de végétalisation par ensemencement de la zone de marnage avant la mise en eau.

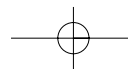
Ces réalisations ont été pilotées par les organismes suivants :

Maitres d'ouvrage : EDF Énergie Rhône-Auvergne
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
Maître d'œuvre : Carex Environnement

■ LES SOLUTIONS PROPOSÉES

Pour vérifier la faisabilité d'une opération de végétalisation des berges de la future queue de retenue, il est apparu nécessaire de réaliser des essais en parcelles utilisant des espèces adaptées au marnage mais aussi au climat rigoureux de la région.

Selon le niveau des berges par rapport à la cote moyenne de remplissage, des mélanges spécifiques de semences ont été testés. Pour chaque parcelle, des aménagements sur sol nu et sur géotextile (matte de coco) ont été comparés.

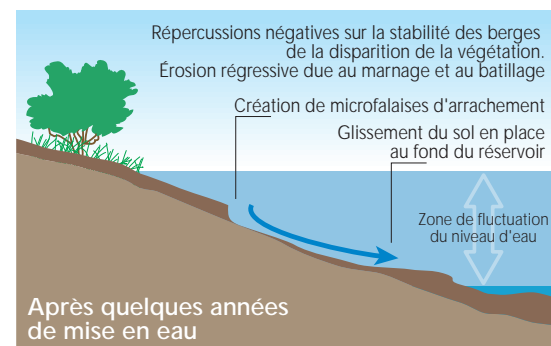
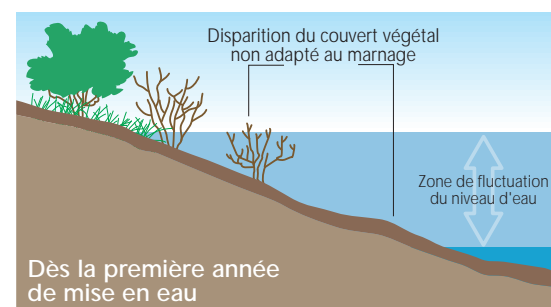
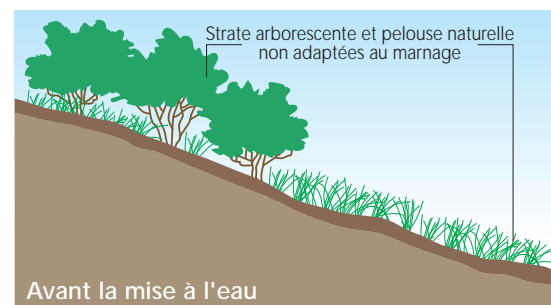


QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS

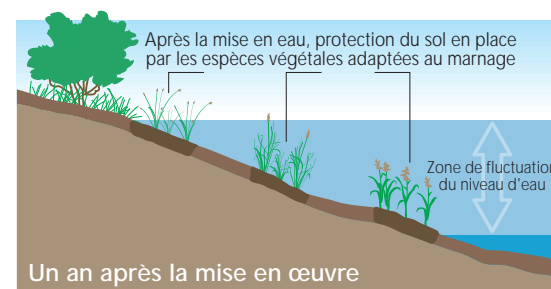
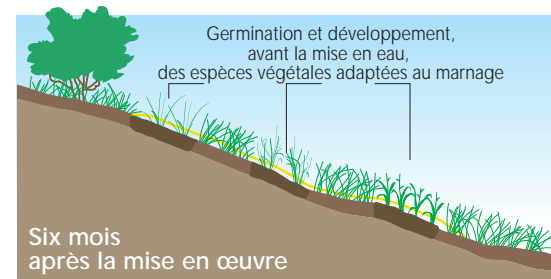
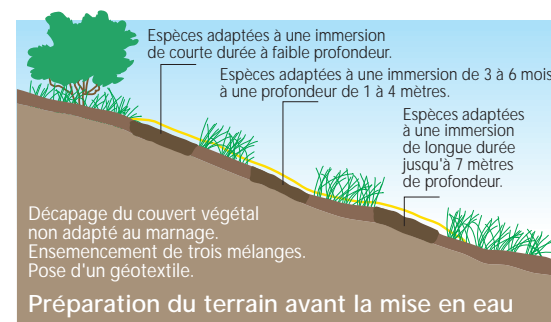
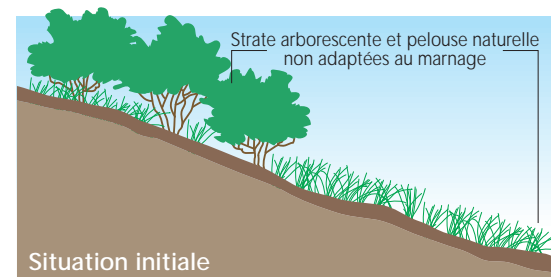


■ PUYLAURENT : DYNAMIQUE ÉVOLUTIVE DE ZONES DE MARNAGE TRAITÉES ET NON TRAITÉES

• Dynamique d'évolution régressive d'une zone de marnage non traitée



• Dynamique d'évolution d'une zone de marnage prétraitée



■ PUYLAURENT : RÉSULTAT DU SUIVI PHYTOÉCOLOGIQUE

Suivi phytoécologique réalisé à l'issue de la première année de régime hydrique saisonnier.

• Sur sol nu

Les hauts de berge, n'ayant subi aucune immersion, possèdent la couverture végétale la plus dense et la plus mûre (parcelle de 144 m² en zone haute, implantée à la cote 938,5 m NGF).



Forte présence de dicotylédones dont certaines sont déjà montées en graine.

Une immersion de courte durée (en mai) n'a occasionné qu'un très léger retard de croissance (parcelle de 144 m² en zone moyenne, implantée à la cote 938 m NGF).



Forte présence de dicotylédones.

Une immersion de quatre mois très contraignante pour les jeunes semis a limité le développement du couvert végétal. De plus, les plantules présentent des stades phénologiques plus ou moins avancés selon qu'elles ont germé avant ou après la période d'immersion (parcelle de 144 m² en zone basse, implantée à la cote 933,5 m NGF).



Dicotylédones dominant les monocotylédones.

• Sur géotextile



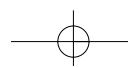
Majorité de monocotylédones ; la croissance des dicotylédones a été gênée par le géotextile.



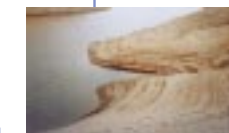
Majorité de monocotylédones due aux mêmes raisons que pour la parcelle de zone haute.



Majorité de monocotylédones ; développement des dicotylédones retardé par le géotextile.



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



■ APPRÉCIATIONS

• Des expériences réalisées sur d'autres sites ont montré qu'il reste difficile de végétaliser par ensemencement les berges d'une retenue déjà mise en eau et soumise au marnage, car les plantules n'ont que très peu de temps pour se développer avant la remontée du niveau d'eau (voir chapitre 5.1 « La Montagne noire »). Cependant, l'utilisation judicieuse d'espèces adaptées au marnage et possédant un cycle phénologique très court a permis d'obtenir de bons résultats. En effet, malgré la sévérité de la contrainte d'immersion (plus de sept mois d'immersion à plus de sept mètres de profondeur), même la parcelle en zone basse a obtenu de bons résultats.



T. Fraissé, automne 1997

Évolution de la couverture végétale de la parcelle de zone basse après deux années de régime hydrique. Le vert des espèces introduites après décapage de la végétation spontanée tranche par rapport au sol nu des surfaces non traitées

• Cette technique simple, d'un faible coût de revient (de 5 à 10 F HT selon le type de semences utilisé), paraît toute indiquée avant la mise en eau d'une nouvelle retenue. En effet, les espèces végétales introduites peuvent alors atteindre une maturité suffisante pour résister à une longue période d'immersion.

• L'usage d'un géotextile s'avère judicieux à condition que son épaisseur et l'espacement des mailles soient compatibles avec le développement des végétaux et en particulier des dicotylédones.

Il apparaît également qu'un géotextile peut avoir une incidence sur la composition du couvert végétal. En effet, les plantules à large cotylédon, comme c'est le cas des dicotylédones, sont incapables de le traverser et dégènerent.

- Coût des opérations : études, travaux, suivis (de 1995 à 1997) : 145 000 F HT.
- Surfaces traitées : 3 parcelles de 144 m², soit 432 m².
- Devenir : arrêt de la phase expérimentale sur la retenue et possibilité de transposition des résultats à d'autres sites.

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

• *Après des maîtres d'ouvrage :*

Joseph Rivas,
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
2-4 allée de Lodz, 69363 Lyon cedex 07
Tél : 04 72 71 26 68

Roger Battistel,
EDF-SIRA Ingénierie hydraulique
9 rue des Cuirassiers, 69399 Lyon cedex 03
Tél : 04 78 71 35 06

• *Après du maître d'œuvre :*

Thierry Fraissé,
Carex Environnement Toulouse
13 rue des Hauts de Goyrans, 31120 Goyrans
Tél : 05 61 73 82 93 - Rép : 05 61 76 74 07

5.5 L'ARRÊT-DARRÉ, PUYDARRIEUX ET AUSSOUÉ

Essais de végétalisation par ensemencement et plantation de trois retenues gasconnes en Haute-Garonne et Hautes-Pyrénées

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Ces trois retenues sont confrontées au problème du marnage et se trouvent dans un contexte écologique similaire, mais différent toutefois par leur date de mise en eau. Ainsi Puydarrieux est une retenue, qui bien que récente, a été mise en service il y a une dizaine d'années, alors que les deux autres retenues de l'Arrêt-Darré et de l'Aussoué sont nouvelles car mises en eau pour la première fois au cours de l'hiver 1996.

En outre, pour chacune de ces retenues, le gestionnaire a des souhaits d'aménagement particuliers.

Principales caractéristiques des trois retenues

	L'ARRÊT-DARRÉ	AUSSOUÉ	PUYDARRIEUX
Localisation	Hautes-Pyrénées	Haute-Garonne	Hautes-Pyrénées
Fonction	Soutien d'étiage	Soutien d'étiage	Soutien d'étiage
Objectif particulier	Valorisation touristique	Valorisation piscicole	Valor. ornithologique
Gestion hydraulique	Annuelle	Interannuelle	Annuelle
Date 1 ^{re} mise en eau	Hiver 1995-1996	Hiver 1995-1996 Hiver 1996-1997	Hiver 1986-1987
Volume (hm ³)	10,8	3,0	14,5

■ STRATÉGIES D'ACTIONS COMMUNES

Des essais préalables de végétalisation ont été réalisés. Ils ont pour objectif de valider des propositions techniques d'aménagement.

Le choix des espèces végétales utilisées a tenté de concilier l'adaptation aux contraintes liées au marnage et les volontés d'aménagement du maître d'ouvrage.

L'observation des groupements floristiques spontanés des zones humides locales a orienté également ce choix. D'autres espèces connues et déjà étudiées sur d'autres retenues pour leur résistance au marnage et leur caractéristique biologique ont également été testées.

La problématique de chaque retenue est traitée séparément, afin d'en faciliter l'exposé et de rendre sa présentation au lecteur plus conviviale.

■ LA RETENUE DE PUYDARRIEUX

• Les problèmes soulevés

La retenue de Puydarrieux (Hautes-Pyrénées) se situe à la croisée des axes migratoires nord-sud, au pied des Pyrénées, et est-ouest, entre la Méditerranée et l'Atlantique. De plus, la complémentarité de ses biotopes d'accueil (zone humide, bois et terres cultivées) peut expliquer sa richesse ornithologique. Elle est devenue notamment la halte migratoire la plus importante de la région pour les oiseaux d'eau.

Fort de ces atouts, le site a été intégré dans le Programme national de préservation des zones humides avec le soutien de la Commission des Communautés européennes et le ministère de l'Environnement.

De ce fait, la retenue de Puydarrieux a fait l'objet de mesures de protection (arrêté de protection de biotope, arrêté ministériel de préservation de la faune).

Toutefois, après dix ans de marnage, les berges de la retenue restaient globalement dépourvues de végétation et fragilisées par l'érosion, ce qui réduisait donc sensiblement la capacité d'accueil du site vis-à-vis des oiseaux.

C'est donc avec une volonté de valorisation ornithologique de la retenue que le gestionnaire

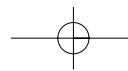
(CACG) a décidé de cofinancer un programme de restauration des berges par végétalisation.

Ces réalisations ont été pilotées par les organismes suivants :

Maître d'ouvrage : Compagnie d'aménagement des côtes de Gascogne (CACG)
Partenaire financier : Agence de l'Eau Adour-Garonne
Maître d'œuvre : Carex Environnement

• Les solutions proposées

Pour répondre à la volonté d'aménagement en faveur de l'avifaune tout en assurant un couvert végétal adapté au marnage et protecteur vis à vis des berges, le choix s'est porté sur un outil végétal diversifié et à large amplitude écologique. En effet, en tenant compte des caractéristiques biologiques des espèces, il est possible

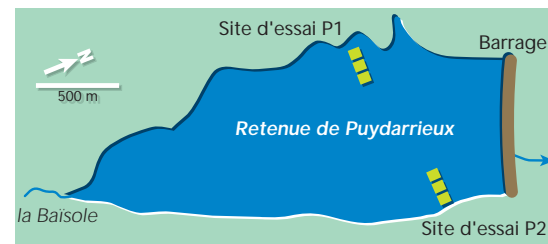


QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



de favoriser la mise en place de lieux de nidification (hélophytes), de sites de nourriture (plantes à graines ou à baies) et de couverts pour la tranquillité des oiseaux (plantes à fort développement aérien). Deux sites aux caractéristiques physiques contrastées ont été choisis pour mettre en œuvre des essais préalables de végétalisation.

• Caractéristiques et potentialités des deux sites choisis.



Localisation des sites d'essais sur la retenue de Puydarrieux.

Le site P1

Contraintes : berge de type escarpé. Colonisation végétale inexistante du fait de la présence d'un sol caillouteux, d'une topographie marquée et de la proximité d'un bois.

Principes d'aménagement : plantation et ensemencement d'espèces végétales appétentes, résistant à une immersion de longue durée et appréciant l'ombre. Site végétalisé servant à la fois de nourriture et de couvert pour la tranquillité des petits oiseaux d'eau (poules d'eau, limicoles).

Espèces végétales préconisées : espèces stolonifères de la famille des graminées (*Calamagrostis*, *Deschampsia*) ou des cypéracées (*Carex*, *Cyperus*) à semence appétente.

Le site P2

Contraintes : berge de type replat vaseux à faible colonisation végétale et à substrat argileux battant.

Principes d'aménagement : plantation et ensemencement d'espèces végétales appétentes, possédant un réseau racinaire adapté au sol argileux asphyxique. Site de nourriture et de repos pour les canards et les oies.

Espèces végétales préconisées : graminées à panicules et à touffes denses, types *Deschampsia*, ou cypéracées spécifiques des zones marécageuses (*Eleocharis*).

Résultat du suivi phytoécologique réalisé à l'issue de la mise en œuvre du protocole expérimental sur la retenue de Puydarrieux (automne 1996).



Site P1 : la topographie marquée de la berge et le sol caillouteux de la parcelle de zone haute.



Site P2 : la faible pente et le substrat argileux de la parcelle de zone haute.

• Appréciations

Même si les résultats déjà obtenus ne sont que partiels, il apparaît qu'il est possible d'obtenir une ceinture végétale continue par ensemencement et/ou plantation d'espèces spontanées adaptées au marnage et ayant un intérêt ornithologique. Pour cela, il est indispensable de réaliser un diagnostic écologique préalable de biotopes similaires et déjà végétalisés afin de choisir les espèces sauvages les plus adaptées aux conditions du milieu. Des opérations de suivis sont programmées pour 1997 et 1998.

• Coût des opérations : études, travaux (mise en œuvre des essais), suivis (1996-1997) : 73 000 F HT.

• Surfaces traitées : six parcelles de 25 m², soit 150 m².

• Devenir : une opération de végétalisation en vraie grandeur est en projet sur la retenue.

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

• *Après du maître d'ouvrage :*

Solène Laloux
Compagnie d'aménagement des côteaux de Gascogne
Chemin de l'Alette, BP 449, 65004 Tarbes cedex
Tél : 05 62 51 71 49

• *Après du maître d'œuvre :*

Thierry Fraissé,
Carex Environnement Toulouse
13 rue des Hauts de Goyrans, 31120 Goyrans
Tél : 05 61 73 82 93 - Rép : 05 61 76 74 07

■ LA RETENUE DE L'AUSSOUÉ

• Les problèmes soulevés

La rivière de l'Aussoué (Haute-Garonne) accueille une faune piscicole d'intérêt halieutique médiocre, largement dominée par le vairon (rivière de catégorie II). La création de la retenue de l'Aussoué est une opportunité pour modifier le peuplement piscicole en augmentant la diversité des espèces.

En outre, du fait de sa situation sur un cours d'eau exempt de pollution, la retenue possède des potentialités piscicoles importantes. De ce fait, la valorisation piscicole de la retenue de l'Aussoué est l'objectif primordial fixé par le gestionnaire (CACG) à l'aménageur et doit être pris en compte dans la démarche de végétalisation.

Cependant, l'impact du marnage va provoquer la disparition des végétaux (més)hygrophiles des bordures et des végétaux (més)xérophiles des talus de la cuvette. La disparition de la végétation des berges peut causer un appauvrissement du peuplement piscicole par manque de nourriture, d'habitat et de zones de frai. En outre, les berges dépourvues de végétation adaptée au marnage seront soumises à l'érosion, ce qui augmentera la turbidité de l'eau.

Finalement, la tendance générale de ces impacts cumulés nuira à la mise en place d'un peuplement piscicole intéressant.

Ces réalisations ont été pilotées par les organismes suivants :

Maître d'ouvrage : Compagnie d'aménagement des côteaux de Gascogne (CACG)

Partenaire financier : Agence de l'Eau Adour-Garonne

Maître d'œuvre : Carex Environnement

• Les solutions proposées

Pour éviter une disparition de la végétation et une érosion régressive des berges soumises au marnage, mais aussi pour répondre à la volonté de valorisation piscicole affirmée par le gestionnaire, le choix s'est porté sur une gamme d'herbacées adaptées au gradient de contraintes lié au marnage et propices par exemple à la reproduction d'espèces comme le brochet.

La gestion hydraulique interannuelle et la nouvelle création de la retenue sont des atouts favorables pour sa végétalisation, car elles accordent aux plantules un temps suffisant pour se développer avant l'immersion.

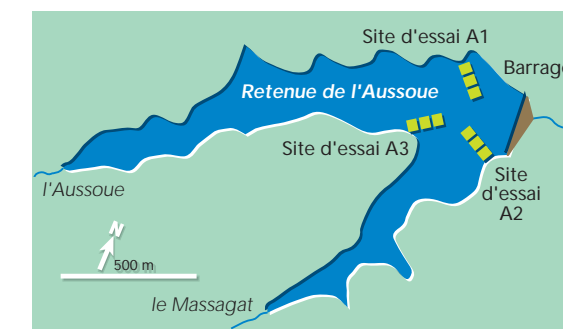
De ce fait, deux techniques ont été mises en œuvre :

- une technique par ensemencement simple a été testée sur deux berges,

- une technique par ensemencement et plantation a été testée de façon comparative sur une troisième berge.

Bien que soumis à des contraintes très différentes, les trois sites d'essais doivent pouvoir bénéficier de la même qualité d'aménagement afin de répondre à l'objectif commun d'une valorisation piscicole de la retenue. Ainsi, pour chaque site traité, les espèces végétales ont été choisies parce qu'elles participent naturellement à l'équilibre du peuplement piscicole.

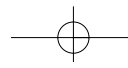
• Caractéristiques et potentialités des trois sites choisis.

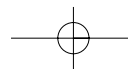


Localisation des sites d'essais sur la retenue de l'Aussoué

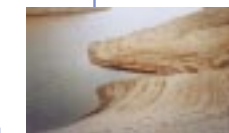
Le site A1

Contraintes : déclivité importante, risques d'érosion manifestes, exposition plein sud responsable d'une sécheresse édaphique conséquente.





QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



Principes d'aménagement : ensemencement simple d'herbiers pérennes à biomasse élevée, possédant un fort réseau racinaire assurant la stabilité des sols et une bonne alimentation en eau. Limitation de l'érosion des berges, de la turbidité de l'eau et des risques pathologiques conséquents pour les poissons. Site végétalisé servant à la fois d'abri et de terrain de chasse pour les carnassiers de petite taille (perche) et de grande taille (brochet).

Espèces végétales préconisées : graminées et cypéracées à réseau racinaire puissant et profond (*Phalaris*, *Deschampsia*, *Carex*).

Le site A2

Contraintes : colonisation végétale difficile du fait d'une déclivité importante, de la proximité d'un bois (ombrage) et des contraintes de marnage.

Principes d'aménagement : ensemencement simple d'herbiers à biomasse élevée et pérenne appréciant l'ombre et résistant à une immersion de longue durée. Site d'accueil des poissons juvéniles en zone littorale peu profonde et colonisée par une végétation dense.

Espèces végétales préconisées : graminées, cypéracées et dicotylédones s'accommodant d'une faible exposition à la lumière telles que *Eleocharis*, *Litorea* et *Polygonum*. En zone très basse, plantation d'herbiers permanents dont les espèces sont capables pour certaines d'entre elles de boucler leur cycle phénologique sous l'eau, offrant des frayères végétalisées.

Le site A3

Contraintes : faible déclivité, sol argileux et très battant. Contrainte de xéricité élevée.

Principes d'aménagement : plantation et ensemencement d'herbiers à biomasse élevée et pérenne résistant à la fois à la sécheresse et à une immersion de courte durée. Pente douce végétalisée propice à l'installation de nurseries (développement des œufs et des alevins).

Espèces végétales préconisées : *Agrostis*, *Festuca*, *Salicaria*, *Mentha* et *Rorippa*.

• Appréciations

Les premiers résultats obtenus montrent la formation de plages continues d'herbiers amphibies avec un développement aérien important et longtemps pérenne en phase d'immersion. La réussite de ces essais associée à un faible coût de mise en œuvre a fait de cette technique d'aménagement par

Résultat du suivi phytoécologique réalisé à l'issue de la mise en œuvre du protocole expérimental sur la retenue de l'Aussou (automne 1996).



Site A1 : les trois parcelles ensemencées se distinguent parmi une couverture d'espèces annuelles pionnières.



Site A2 : les trois parcelles traitées par ensemencement forment des taches vert tendre déjà bien visibles.



Site A3 : ce site à topographie peu marquée est le seul à avoir été traité par plantation. Ici, l'on aperçoit la parcelle de zone basse.

ensemencement et plantation une solution séduisante pour les retenues à vocation piscicole soumises au marnage. En effet, la végétalisation des berges par des espèces spontanées adaptées au marnage dynamise

l'ensemble de la chaîne trophique de la retenue dont les poissons sont les plus grands bénéficiaires, car :

- les herbiers garantissent des zones de frayères végétalisées efficaces dans le temps ;
- ils constituent la nourriture de base des poissons herbivores (carpes) et des juvéniles ;
- ils offrent un support pour la faune d'invertébrés aquatiques, elle-même représentant la nourriture des alevins et des poissons macrophages ;
- ils représentent des habitats et des sites de chasse pour les carnassiers (brochet, perche) ;
- ils favorisent la diversification du peuplement piscicole d'eau calme et renforcent les effectifs d'espèces reconnues sensibles au marnage (ablette, brochet, rotengle).

Des opérations de suivis sont programmées pour 1997 et 1998.

- Coût de l'opération : 85 000 F HT.
- Surfaces traitées : quatre parcelles plantées et neuf parcelles semées de 25 m², soit 325 m².
- Devenir : une étude de végétalisation en vraie grandeur de la retenue est en cours.

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

- **Après du maître d'ouvrage :**
Solène Laloux
Compagnie d'aménagement des côtes de Gascogne
Chemin de l'Alette, BP 449, 65004 Tarbes cedex
Tél : 05 62 51 71 49
- **Après du maître d'œuvre :**
Thierry Fraissé,
Carex Environnement Toulouse
13 rue des Hauts de Goyrans, 31120 Goyrans
Tél : 05 61 73 82 93 - Rép : 05 61 76 74 07

■ LA RETENUE DE L'ARRÊT-DARRÉ

Les problèmes soulevés

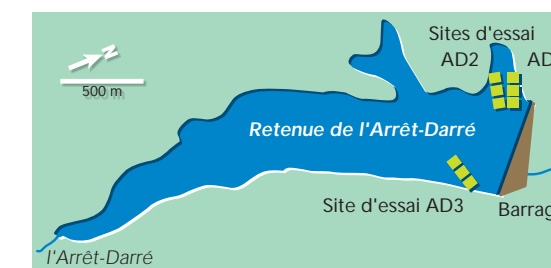
La retenue de l'Arrêt-Darré (Hautes-Pyrénées) bénéficie d'un potentiel touristique considérable en raison de sa proximité de la ville de Tarbes. En effet, elle allie harmonieusement des paysages lacustres boisés et ouverts avec une vue exceptionnelle sur la chaîne des Pyrénées. Néanmoins, les impacts de la mise en eau et du marnage portent préjudice à ces atouts, car la mise en eau causera la disparition des végétaux indigènes de la cuvette et de la ripisylve des berges. La mort collective de ces végétaux peut favoriser l'eutrophisation des eaux de la retenue. Les berges, sans protection végétale, subiront alors les effets de l'érosion régressive qui conduit à un aspect disgracieux et potentiellement dangereux des rives (effondrement, eaux troubles).

Ces réalisations ont été pilotées par les organismes suivants :

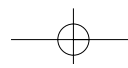
Maître d'ouvrage : Compagnie d'aménagement des côtes de Gascogne (CAGG)
Partenaire financier : Agence de l'Eau Adour-Garonne
Maître d'œuvre : Carex Environnement

• Les solutions proposées

Pour éviter la disparition du couvert végétal et l'impact de l'érosion, mais aussi pour répondre à la volonté d'intégration touristique et paysagère de la retenue, le choix s'est porté sur un outil végétal ciblé et à large amplitude écologique. Trois sites ont été retenus afin de recevoir des essais préalables de plantations. Bien que soumis à des contraintes très différentes, l'aménagement des trois sites doit aboutir à la formation d'une pelouse continue et esthétique avec un développement aérien limité et résistant au piétinement.



Localisation des sites d'essais sur la retenue de l'Arrêt-Darré.



QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS



• **Caractéristiques et potentialités des sites choisis.**

Le site AD1

Contraintes : xéricité importante l'été, topographie régulière et bonne accessibilité (parking à proximité) font de ce site une plage idéale pour la baignade.

Principes d'aménagement : plantation d'une pelouse rase et esthétique, résistant à la sécheresse et à l'immersion avec un réseau racinaire capable de retenir les particules fines du sol. Site approprié à la baignade.

Espèces végétales préconisées : espèces stolonifères type *Carex*, *Mentha* et *Agrostis*.

Le site AD2

Contraintes : colonisation végétale difficile du fait de la proximité d'un bois et des contraintes de marnage. Déclivité importante, accessibilité limitée.

Principes d'aménagement : plantation d'une pelouse esthétique et amphibie incluant des espèces appréciant l'ombre et attractantes pour la faune piscicole. Site favorable aux loisirs liés à la pêche et à la découverte de la nature.

Espèces végétales préconisées : espèces formant des herbiers résistant en phase d'immersion, type *Eleocharis* et *Littorella*.

Le site AD3

Contraintes : déclivité importante, risques d'érosion manifestes.

Principes d'aménagement : plantation d'une pelouse esthétique possédant un fort réseau racinaire assurant la stabilité des sols. Limitation des risques d'effondrement et de la turbidité des eaux en bordure de riva-ge. Amélioration paysagère des zones de promenade et de baignade.

Espèces végétales préconisées : graminées robustes à souche rampante, type *Phalaris* et *Festuca* ; dicotylédones ornementales, odorantes et stolonifères, type *Mentha* et *Lysimachia*

• **Appréciations**

Les résultats montrent qu'il est possible de réaliser une végétalisation des berges à la fois esthétique et résistante à partir d'une gamme variée d'espèces végétales naturellement adaptées au marnage (monocotylédones et dicotylédones). La technique utilisée est relativement simple à mettre en œuvre et répond de

Résultat du suivi phytoécologique réalisé à l'issue de la mise en œuvre du protocole expérimental sur la retenue de l'Arrêt-Darré (automne 1996).



Site AD1 : la future plage avec les trois parcelles d'essais. La zone de marnage se détache de façon inesthétique de la pelouse mésohygrophile supérieure.



Site AD2 : les parcelles d'essais se trouvent en contrebas d'un bois.



Site AD3 : l'ensemble du site avec ses trois parcelles d'essais ; on notera la topographie marquée et des dépôts de bois flottants.

façon efficace à l'objectif de mise en valeur touristique fixé par le gestionnaire. Des opérations de suivis sont programmées pour 1997 et 1998.

• Coût de l'opération : 81 300 F HT.

• Surface traitée : neuf parcelles plantées de 25 m², soit 225 m².

• Devenir : une étude de végétalisation en vraie grandeur de la retenue est en cours.

Contacts possibles pour obtenir plus d'informations :

• *Auprès du maître d'ouvrage :*

Solène Laloux
Compagnie d'aménagement des côtes de Gascogne
Chemin de l'Alette, BP 449, 65004 Tarbes cedex
Tél : 05 62 51 71 49

• *Auprès du maître d'œuvre :*

Thierry Fraissé,
Carex Environnement Toulouse
13 rue des Hauts de Goyrans, 31120 Goyrans
Tél : 05 61 73 82 93 - Rep : 05 61 76 74 07



CONCLUSION

Les contraintes spécifiques des zones de marnage sont tellement fortes, diversifiées et interdépendantes qu'il est difficile de répondre à leur problématique si l'on a pas une solide connaissance de ce type de milieu.

Cependant, le respect de quelques principes simples et d'une chronologie d'actions bien définie peuvent permettre de limiter les échecs, aussi bien dans le domaine de la végétalisation des berges de retenues que dans celui de l'aménagement des cours d'eau.

Une phase initiale d'investigation a permis de réaliser une typologie des zones humides et de comprendre leurs modalités de fonctionnement, d'évolution et de colonisation par la végétation. Parallèlement, une étude des fondements des principes de génie civil et de génie écologique a permis d'établir leurs limites d'utilisation face aux contraintes spécifiques de zones de marnage. Ce premier constat a conduit à rechercher de nouvelles techniques de végétalisation adaptées à la problématique du marnage tant sur le plan de l'outil végétal utilisé que sur celui des techniques mises en œuvre.

Une seconde phase a consisté à réaliser des essais expérimentaux afin de choisir des espèces et des techniques innovantes susceptibles d'être utilisées pour végétaliser des zones de marnage.

Cette phase a conclu à la difficile transposition de techniques classiques de génie écologique et à l'impossibilité d'utiliser des semences d'origine commerciales. Inversement il apparaît possible d'utiliser des espèces végétales sauvages et spontanées des zones de marnage judicieusement choisies.

La multiplication d'essais et la réalisation d'aménagements en vraie grandeur ont permis de mieux comprendre la problématique des zones de marnage et de disposer à l'heure actuelle d'un grand choix de techniques et de végétaux à proposer aux maîtres d'ouvrage. Ainsi, ce choix dans la réponse permet de repousser les limites de faisabilité du génie écologique et de tenir compte notamment des attentes paysagères, écologiques, fonctionnelles et économiques.

Attente paysagère

Possibilité d'utiliser différentes strates végétales amphibies (herbacées rases, buissonnantes, arbustives ou arborées) afin de recréer des paysages variés.

Attente écologique

Recréation de biotopes amphibies et pérennes : zones de frayères pour les poissons, zones de couvert et de nourriture pour l'avifaune et la faune terrestre.

Attente fonctionnelle

- Création de zones ouvertes et touristiques constituant des plaquettes foulables au pied à partir de gazon amphibie (aspect touristique).
- Protection des berges contre l'érosion (microfalaises d'arrachement) et fixation des terres en place.
- Amélioration de la qualité des eaux par fixation des fines.
- Optimisation du coefficient de rugosité et maintien des gabarits d'écoulement pour les systèmes courants.

Attente économique

Diminution des coûts d'aménagement qui deviennent, grâce à ces techniques, le plus souvent inférieurs à ceux du génie écologique classique et du génie civil, du fait :

- de la facilité de la mise en œuvre (le plus souvent par simple ensemencement) ;
- de la limitation de l'entretien (un couvert herbacé s'auto-entretient par sénescence naturelle).

Finalement, la multiplication de ce type d'interventions va permettre d'améliorer encore le savoir-faire, ne serait-ce que par l'analyse de constatations empiriques. Pour cela, il est nécessaire de faire appel à la volonté d'action des maîtres d'ouvrage potentiels, afin de multiplier encore les retours d'expériences susceptibles d'élargir le cadre des compétences et d'améliorer le choix dans la réponse.



LEXIQUE

Adventif : organe (par exemple une racine) qui apparaît dans une position non classique.

Amphibie : organisme capable de prospérer aussi bien sur la terre ferme que dans l'eau.

Amphibien ou batracien : classe de vertébrés comprenant les crapauds, les grenouilles, les salamandres, les euproctes, les pleurodèles et les tritons.

Amplitude écologique : étendue de l'intervalle de tolérance d'une espèce à un facteur écologique.

Annuel (le) : plante qui boucle son cycle de développement dans l'année.

Anthropique : qui résulte de l'action de l'homme.

Appétent (e) : se dit d'une plante ou d'une partie de plante qui stimule sa consommation par un animal.

Autotrophe : organisme capable de synthétiser toute sa matière vivante à partir de sources nutritives exclusivement minérales.

Avifaune : les oiseaux.

Bactérioplancton : voir *Plancton*.

Batillage : succession de vagues contre les berges d'un cours d'eau, d'un plan d'eau ou en milieu marin.

Batracien : voir *Amphibien*.

Battant : se dit d'un substrat compact et asphyxique qui interdit une bonne pénétration racinaire.

Benthos : ensemble des organismes animaux, végétaux et bactériens qui vivent à l'interface de l'eau et du sédiment.

Biocénose ou biocœnose : ensemble des êtres vivants peuplant un écosystème donné.

Biodiversité : *sens commun* : nombre total d'espèces d'un milieu donné ; *sens scientifique* : diversité écologique, c'est à dire la répartition du nombre d'individus dans l'ensemble des espèces d'un milieu donné.

Biotope : milieu, présentant des caractéristiques physiques et chimiques homogènes, constituant l'environnement d'un écosystème donné.

Bloom algal : prolifération d'algues, par exemple lors d'une eutrophisation.

Botanique : science qui a pour objet l'étude des végétaux.

Calcifuge : organisme répugnant les milieux riches en calcaires.

Caractéristiques anatomiques : caractéristiques de structure des êtres vivants.

Caractéristiques morphologiques : caractéristiques de forme et de structure des êtres vivants.

Caractéristiques physiologiques : caractéristiques de fonctionnement des êtres vivants.

Chaîne trophique : ensemble des liens alimentaires qui unit les êtres vivants d'un écosystème donné.

Chevelu : ensemble des plus fines racines d'une plante.

Climax : état idéal d'équilibre atteint par l'ensemble sol-végétation d'un milieu naturel donné.

Communauté : sous-ensemble de la biocénose regroupant les êtres vivants ayant une même grande fonction écologique, tels les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

Cyanophycée : micro-organisme unicellulaire autotrophe, aussi appelé « algue bleue ».

Délâchage : action de vider une retenue d'eau.

Diatomée : algue brune microscopique.

Dicotylédone : végétal dont l'embryon est pourvu de deux cotylédons et dont les feuilles sont à nervures non parallèles au pétiole.

Détritivore : organismes qui se nourrissent de débris végétaux et animaux.

Dulcaquicole : qui a trait aux eaux douces.

Dystrophe : se dit d'un écosystème aquatique pollué par un excès d'éléments minéraux nutritifs et de matière organique.

Écologie : science, issue de la biologie, qui a pour objet l'étude des relations entre les êtres vivants et leurs rapports avec les milieux dans lesquels ils vivent.

Écosystème : unité écologique constituée d'une biocénose (les êtres vivants) et d'un biotope (le milieu).

Écotype : sous-ensemble d'individus au sein d'une espèce qui présente des caractéristiques écologiques particulières et qui se transmettent héréditairement.

Édaphique : relatif au sol.

Enrochement : technique de génie civil consistant à consolider une berge par un édifice en roches.

Étiage : niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau.

Eurytherme : espèce capable de vivre dans un intervalle de température étendu.

Eutrophe : se dit d'un écosystème aquatique riche en éléments minéraux nutritifs et en matière organique, dont la productivité biologique et la biomasse sont élevées.

Eutrophication : accélération artificielle (du fait de l'activité humaine) du processus d'eutrophisation des eaux d'un écosystème.

Eutrophisation : processus naturel d'enrichissement en éléments minéraux nutritifs des eaux d'un écosystème.

Fascicule : groupé en faisceaux.

Faune aviaire : les oiseaux.

Faune piscicole : les poissons.

Faune planctonique : voir *Plancton*.

Frayère : lieux de ponte des poissons.

Gabion : technique de génie civil qui permet de consolider une berge par des structures parallélépipédiques en pierres maintenues par des grillages.

Génie écologique : ensemble des connaissances et des techniques concernant l'utilisation d'espèces végétales, par exemple pour la protection des berges et des talus contre l'érosion.

Géonatte : produit textile en fibre naturelle appliqué sur le sol dans le but de diminuer l'érosion et de faciliter sa colonisation par la végétation.

Glomérule : inflorescence dense et globuleuse de fleurs sessiles.

Halophile : se dit d'une plante vivant sur un sol salé.

Héliophile : plante qui nécessite un ensoleillement important pour vivre.

Hélophyte : plante aquatique développant un appareil aérien dépassant la surface de l'eau en été, alors qu'en hiver ne subsiste que la souche enracinée dans la vase.

Humus : couche superficielle d'un sol, constituée de matières organiques et minérales.

Hydraulique : sciences et techniques qui traitent des lois régissant l'écoulement de l'eau.

Hydroseeder : machine qui sert à épandre un mélange de semis par aspersion.

Lacustre : qui a attiré aux lacs.

Lentique (système) : système à courant lent par opposition à lotique (système) à courant rapide.

Limnologie : science qui a pour objet l'étude physique, chimique et biologique des systèmes aquatiques continentaux.

Lit majeur : espace situé entre le lit mineur et la plus grande crue historique répertoriée.

Lit mineur : espace recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement.

Macrofaune benthique : animaux invertébrés et vertébrés, de taille visible à l'œil nu, qui vivent à l'interface de l'eau et du sédiment.

Macroinvertébré benthique : animal invertébré, d'une taille de quelques centimètres, qui vit à l'interface de l'eau et du sédiment (par exemple, les insectes, les mollusques et les crustacés).

Marnage : variation du niveau des eaux d'un système aquatique stagnant ou courant, naturel ou artificiel, sous l'effet de la marée ou d'une gestion hydraulique imposée par l'homme.

Mésotrophe : se dit d'un écosystème aquatique à un état intermédiaire entre les stades oligotrophe et eutrophe.

Métabolisme : ensemble des transformations (anabolisme et catabolisme) subies dans un organisme vivant par les substances qui le constituent.

Monocotylédone : végétal dont l'embryon est pourvu d'un seul cotylédon et dont les feuilles sont à nervures parallèles au pétiole.

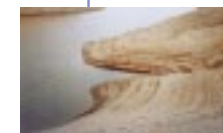
Mulch : technique faisant appel à des matériaux de recouvrement (paillage, géotextile,...) ayant pour effet de limiter l'envahissement de la surface traitée par des espèces végétales indésirables et de créer parallèlement des conditions (hydriques, thermiques,...) favorables au développement des espèces introduites.

Multiplication végétative : production de nouveaux individus à partir d'une plante par processus ne faisant pas intervenir la reproduction sexuée.

Nappage : action consistant à enfouir ou à recouvrir de terre un enrochement avant de le végétaliser.

Nécromasse : masse totale d'organismes morts.

Nutriments : espèce chimique utilisable telle quelle dans l'alimentation des cellules vivantes (azote, phosphore,...).



Oligotrophe : se dit d'un écosystème aquatique pauvre en éléments minéraux nutritifs, très peu chargé en matière organique et renfermant une productivité biologique et une biomasse faibles.

Ombelles : inflorescence dont les pédoncules floraux partent d'un même point et ont la même taille.

Opportuniste : se dit d'une espèce qui profite de conditions qui lui sont favorables, souvent défavorables à d'autres (destruction ou pollution), pour s'installer dans un milieu donné.

Ornithologie : science qui a pour objet l'étude des oiseaux.

Osmotique (choc -) : phénomène de diffusion violent entre deux solutions de concentrations différentes à travers une membrane perméable ou semi-perméable pouvant entraîner des changements physiologiques.

Palplanche : technique de génie civil qui consiste à consolider une berge par la mise en place de palissades métalliques.

Pélagique (zone -) : zone de pleine eau, éloignée des rives et du fond, où vivent les organismes planctoniques.

Pérenne : qualifie des végétaux qui durent plusieurs années.

Période d'immersion : période durant laquelle la partie de la berge étudiée est sous l'eau.

pH : potentiel hydrogène, permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une eau.

Phanérogame : plantes supérieures à fleurs.

Phénologique (-cycle) : succession dans le temps de stades physiologiques de la plante tels que la dormance, la levée de dormance, la germination, la croissance, la floraison, la fructification.

Phytoécologie : discipline de l'écologie qui a pour objet l'étude des végétaux.

Phytoplancton : voir *Plancton*.

Phytosociologie : science qui a pour objet l'étude des associations d'espèces végétales en relation avec les caractéristiques écologiques d'un milieu.

Pierrosité : correspond à la surface du sol occupé par des pierres de différentes tailles.

Pionnier (ère) : espèce végétale qui a la faculté de coloniser en premier les milieux vierges mais qui tend par la suite à disparaître face à la compétition de nouvelles espèces végétales.

Plancton : ensemble de micro-organismes, constitué du zooplancton (animal), du phytoplancton (végétal) et du bactérioplancton (bactéries), qui vit en suspension dans l'eau, d'un écosystème aquatique stagnant ou courant.

Planctonophage : qui se nourrit de plancton.

Plantule : jeune plante encore incluse dans la graine et qui se développe au cours de la germination.

Pédologie : science qui a pour objet l'étude des caractères physiques, chimiques et biologiques des sols.

Point de flétrissement permanent : teneur en eau d'un sol au dessous de laquelle la plante se fane irrémédiablement.

Pré-trempage : action consistant à immerger des semences dans un récipient.

Protistes : espèces vivantes unicellulaires à noyau distinct (amibe, paramécie,...).

Protozoaire : animal microscopique unicellulaire.

Reproduction sexuée : production de nouveaux individus à partir de processus sexuels faisant intervenir l'union de gamètes mâle et femelle.

Régalage : action d'aplanir la surface d'un terrain à niveau ou suivant une pente donnée.

Régime hydrique saisonnier : correspond à l'ensemble des variations de niveaux d'eau subi par une retenue au cours d'une année ou d'une saison.

Retalutage : action consistant à retailler la crête d'un talus afin d'en diminuer la pente.

Rhizome : organe végétal souterrain qui constitue la forme de réserve de la plante et qui lui permet de se multiplier de façon asexuée ou végétative.

Richesse spécifique : nombre total d'espèces dans un milieu donné.

Rivulaire : qui vit, qui croît dans les ruisseaux, sur leurs bords.

Rudéral (e) : espèce végétale qui croît en milieu fortement anthropisé tel que les décombres.

Sciaphile : plante qui nécessite de l'ombre pour vivre.

Scarification : art de réaliser des micro-entailles sur une surface lisse pour en augmenter la surface de contact.

Spontané (e) : se dit d'une espèce qui se développe naturellement dans un milieu donné.

Sténotherme : espèce ne supportant qu'une faible variation de température.

Stolon : tige aérienne rampante ou arquée qui produit des racines adventives et qui permet de générer de nouveaux individus.

Stolonifère : plante qui développe des stolons.

Stratification : traitement d'un corps par un froid humide.

Tégument : enveloppe protectrice de la semence.

Triquètre : organe de section triangulaire.

Trophique (niveau -) : capacité d'un milieu à développer de la biomasse (oligo meso, eutrophe).

Turbidité : teneur en troubles (matières en suspension) d'une eau.

Ubiquiste : se dit d'une espèce capable de vivre dans des biotopes différents.

Végétalisation : action de mettre en place des végétaux herbacés ou ligneux afin de reverdir des surfaces ne possédant pas de couverture végétale.

Vernalisation : action consistant à traiter des semences par le froid humide afin d'en augmenter le pouvoir germinatif.

Vivace : qualifie des végétaux qui perdurent leur appareil végétatif au delà de l'année.

Xérique : qualifie les milieux qui présentent des conditions de sécheresse marquées.

Zone de marnage : correspond à la partie de la berge sur laquelle ont lieu les variations de niveau d'eau.

Zones humides : étendues qui comprennent tous les territoires de transition entre pleine eau et terre ferme, qu'ils soient littoraux (marais côtiers ou salés endigués, étangs saumâtres, prés salés, polders, estuaires, deltas, lagunes, mangroves...) ou continentaux (sources, torrents, ruisseaux, rigoles, rivières, fleuves et bordures, plaines inondables, tourbières, mares, marais, marécages, étangs, lacs, retenues, lagunages...).

Zooplancton : voir *Plancton*.



BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY G., 1985. *Structure et fonctionnement du réseau trophique dans les retenues artificielles*. In *Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles*, GER-DEAUX D. et BILLARD R. Ed., INRA, Paris 1985, 39-66
- BARCLAY A.H., CRAWFORD R.M.M. 1982. *Plant growth and survival under strict anaerobiosis*. *Journal of Experimental Botany*, 33 (134) : 541- 549.
- BIWAS AK, 1975 *A short history of hydrology*. In *selected works in water resources*, A.K. BIWAS Ed ; Int. water resour. Assoc. , Champaign, ILL. , USA ; 57-79
- BORN S.M. et STEPHENSON D.A. 1973. *Water management for shoreline erosion control on the Chippewa flowage*. *Journal of Soil Water Conservation* 28 (2) : 83-86.
- BRADSHAW A.D. et CHADWIC C.M.J. 1980. *The restoration of land*. Blackwell Scientific Publications, 310 p., ISBN 061 209 18 00.
- COME D. 1982. *Germination*. In Mazliak P., *Croissance et Développement*. Physiologie végétale, Tome 2 ; p. 109-225. Hermann.
- CONCHOU O., FUSTEC E. 1988. *Influence of hydrological fluctuations on the growth and nutrient dynamics of Phalaris arundinacea L. in riparian environment*. *Plant and Soil*, 112 : 53.60.
- FOWLER D.K., MADOX J.B. 1974. *Habitat improvement along reservoir inundation zones by barges hydroseeding*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 29 (6) : 263-265
- FOWLER D.K. HAMMER D.A. 1976. *Techniques for establishing vegetation on reservoir inundation zones*. *Journal of Soil and Water Conservation* : 116-118
- FRAISSÉ T. 1990. *Végétalisation des zones de marnage. Problèmes écologiques et limites D.E.A. d'Ecologie de l'Université Paul Sabatier*. Toulouse III ; 53 pages.
- FRAISSÉ T. 1993. *Végétalisation des zones de marnage*. *Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne*. N° 56 - 5 pages.
- FRAISSÉ T. 1994. *Végétalisation des zones de marnage le long des réservoirs et des cours d'eau : Application à l'aménagement*. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier. Toulouse III. 160 pages.
- FRAISSÉ T., MULLER E. , DECAMPS O. Juin 1996. in press. *Evaluation of spontaneous species for revegetation of reservoir margins*. *AMBIO*. Royal Swedish Academy of Sciences (Stockholm, Sweden) Vol. XXVI Number 6, September 1997 ISSN 0044-7447
- FRAISSÉ T. 1996. *Mise en valeur des zones de marnage des réservoirs artificiels et des cours d'eau marnants. Synthèse sur les essais de végétalisation de berges du lac de Monteynard*. EDF et Agence de l'eau RMC. 47 pages.
- LACHAT B. 1994. *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*, Ministère de l'Environnement, 143 p.
- LIEFFERS V.J., SHAY J.M. 1980. *The effects of water level on the growth and reproduction of Scirpus maritimus (var paludosus)*. *Can. J. Bot.* , 59 : 118-121.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT - BRL. *Une valorisation écologique et touristique des plans d'eau artificiels*. 1995.
- O'NEILL E.J. 1972. *Alkali bulrush (Scirpus paludosus) seed germination and culture*. *J. of Wildlife Management* 36 (2) : 649-652
- PANNETTA F.D. 1985a. *Population studies on Pennyroyal mint (Mentha pulegium) I. Germination and seedling establishment*. *Weed Research*, 25 : 310-309.
- PANNETTA F.D. 1985b. *Population studies on Pennyroyal mint (Mentha pulegium) II. Seed banks*. *Weed Research*, 25 : 311-315.
- PAUTOU G. 1978. *Problèmes écologiques posés par le reverdissement des digues (aménagement du Péage du Roussillon)*. *Résultats des essais expérimentaux*. USM Grenoble, 38 p.
- POIREL A. , MERLE G. , SALENCON H.J., TRAVADE F. 1996. *Gestion hydraulique et ressources piscicoles dans les retenues hydroélectriques*. Communication. Actes du colloque *Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles* 13-15 Novembre 1996. Thonon les bains. A paraître.
- RAMADE F. 1993. *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. Ediscience. 882 pages.
- RAHMAN M.S. and RUTTER A.J. 1980. *A comparison of the ecology of Deschampsia caespitosa and Dactylis glomerata in relation to the water factor. II. Controlled experiment in glasshouse conditions*. *Journal of Ecology* , 68 : 479-491.
- SCHIECHTL H.M. 1980. *Bioengineering for land reclamation and conservation*. University of Alberta Press, 404 p.
- VAN DER VALK A.G. 1981. *Succession in Wetlands : a gleasonian approach*. *Ecology*, 2(3) : 688-696.

Collection des études des Agences de l'Eau

Les trente derniers titres parus

- 36** *Décontamination des nappes (1994) 3 tomes*
- 37** *Guide pour le diagnostic des stations d'épuration urbaines (1994)*
- 38** *Mise à niveau des stations d'épuration (1995)*
- 39** *Lessives, phosphates, et eutrophisation des eaux (1997)*
- 40** *Approche technico-économique des coûts d'investissement des stations d'épuration (1995)*
- 41** *Prévention des pollutions accidentelles dans les industries de la chimie, du traitement de surface et les stockages d'hydrocarbures et de produits phytosanitaires (1996)*
- 42** *Prévention des pollutions accidentelles dans les abattoirs, les équarrissages, les laiteries et les sucreries (1996)*
- 43** *Prévention des pollutions accidentelles dans les industries du bois et des pâtes à papier (1996)*
- 44** *Génotoxicité : un choix entre le test pleurodèle (Jaylet) et le test xénope (1995)*
- 45** *Conception des stations d'épuration urbaines : les 50 recommandations (1996)*
- 46** *Etude du procédé biostyr : nitrification / dénitrification (1996)*
- 47** *Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques (1996)*
- 48** *Impact de la nouvelle directive européenne relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (1996)*
- 49** *Etude bibliographique sur les pollutions accidentelles (1996)*
- 50** *Guide de l'autosurveillance des systèmes d'assainissement (1997)*
- 51** *La gestion intégrée des rivières - guide méthodologique (1997)*
- 52** *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-eau
Etude de rodage - rapport final (1997)*
- 53** *Seuils de qualité pour les micropolluants organiques et minéraux dans les eaux superficielles - synthèse (1997)*
- 54** *Optimisation du volet micropolluants du RNB - guide méthodologique (1997)*
- 55** *Les bryophytes aquatiques comme outils de surveillance de la contamination des eaux courantes par les micropolluants métalliques (1997)*
- 56** *Etude méthodologique de l'impact de déversements en temps de pluie. Application à la rivière l'Orne - Synthèse (1997)*
- 57** *Traitement phytosanitaire et qualité des eaux de drainage (1997)*
- 58** *Modes d'utilisation des produits phytosanitaires en France (1997)*
- 59** *Réglementations de l'usage des phytosanitaires en Europe (1997)*
- 60** *Guide inondabilité (1997)*
- 61** *Intérêts et contraintes du recyclage agricole des boues (1998)*
- 62** *Limnologie appliquée au traitement des plans d'eau (1998)*
- 63** *Efficacité de dispositifs enherbés pour lutter contre la pollution par les phytosanitaires (1998)*
- 64** *Rapport de présentation du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau dans les cours d'eau (1998)*
- 65** *La gestion des rivières : transport solide et atterrissements (1999)*

La gestion des zones de marnages des systèmes lenticques et courants soumis aux fluctuations de niveau d'eau est souvent délicate. Ces zones sont soumises à de sévères contraintes qui limitent l'implantation d'un couvert végétal dont les principales fonctions sont la limitation de l'érosion des berges et de la turbidité des eaux, et l'augmentation de la biodiversité.

Ce guide est avant tout une aide à la décision pour l'aménagement des berges des réservoirs marnants à vocations multiples en intégrant les contraintes mécaniques (stabilisation des berges), écologiques (biodiversité, frayères) et paysagères.

Il montre également l'intérêt des techniques végétales pour la protection des berges dans des situations de fortes contraintes hydriques et mécaniques, techniques dont la mise en oeuvre peut être étendue à d'autres contextes (grands fleuves et rivières).

Agence de l'Eau Adour-Garonne
90, rue du Férétra
31078 TOULOUSE CEDEX 4
Tél. : 05 61 36 37 38
Fax : 05 61 36 37 28

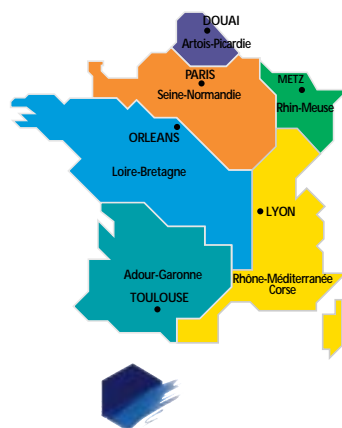
Agence de l'Eau Artois-Picardie
200, rue Marceline - B.P. 818
59508 DOUAI CEDEX
Tél. : 03 27 99 90 00
Fax : 03 27 99 90 15

Agence de l'Eau Loire-Bretagne
Avenue Buffon - B.P. 6339
45063 ORLEANS CEDEX 2
Tél. : 02 38 51 73 73
Fax : 02 38 51 74 74

Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Route de Lessy-Roziérieulles
B.P. 30019
57161 MOULINS-LES-METZ CEDEX
Tél. : 03 87 34 47 00
Fax : 03 87 60 49 85

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
2-4, allée de Lodz
69363 LYON CEDEX 07
Tél. : 04 72 71 26 00
Fax : 04 72 71 26 01

Agence de l'Eau Seine-Normandie
51, rue Salvador Allende
92027 NANTERRE CEDEX
Tél. : 01 41 20 16 00
Fax : 01 41 20 16 09



Agences de l'Eau



Ministère de l'Aménagement
du territoire et de l'Environnement
Direction de l'Eau
20, avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP
Tél. : 01 42 19 20 21
Fax : 01 42 19 12 06



EDF Production Transport
Mission hydraulique
1 place Pleyel
93282 SAINT-DENIS cedex
Tél. : 01 43 69 17 78

Programme mis en oeuvre avec l'appui technique de l'Office International de l'Eau
21, Rue de Madrid / 75008 PARIS / Tél. : 01 44 90 88 60 - Fax : 01 40 08 01 45