

Le « polder » d'Erstein : objectifs, aménagements et retour d'expérience sur cinq ans de fonctionnement et de suivi scientifique environnemental (Rhin, France)

Laurent Schmitt ^a, Marc Lebeau ^b, Michèle Trémolières ^c, Stéphane Defraeye ^c, Cécile Coli ^d, Evelyne Denny ^e, Michèle Dillinger ^f, Thierry Beck ^f, Jean-Charles Dor ^g, Philippe Gombert ^f, Antoine Gueidan ^h, Sébastien Manné ⁱ, Jean-Paul Party ^j, Pascal Perrotey ^k, Maurice Piquette ^b, Ute Roeck ^l, Annick Schnitzler ^m, Olivier Sonnet ^f, Jean-Pierre Vacher ⁿ, Vincent Vauclin ⁱ, Mélanie Weiss ^a, Jean-Nicolas Zacher ^f, Patrick Wilms ^f

Les principes de gestion des cours d'eau ont connu une forte évolution depuis deux décennies. D'une vision purement « hydraulique », les gestionnaires sont aujourd'hui amenés à mettre en œuvre des approches interdisciplinaires, intégrant les diverses fonctions des hydrosystèmes. Ainsi, les fonctions hydrauliques et écologiques ne sont plus perçues comme antagonistes, mais complémentaires, dans la perspective d'une gestion durable des cours d'eau (Bravard, 2000). Tel est le cas du « polder » d'Erstein, sur la rive gauche (française) du Rhin supérieur, un site pilote où ont été conciliés les impératifs d'écrêtement des crues, pour la sécurité des personnes et des biens en aval du Rhin canalisé, et des objectifs

de protection/restauration des écosystèmes alluviaux d'un grand fleuve européen. Ce type d'approche pourrait contribuer à répondre aux exigences de la directive cadre européenne sur l'eau (Union européenne, 2000). Un suivi scientifique détaillé a été financé par le gestionnaire du polder d'Erstein afin d'évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre, de vérifier que celles-ci n'engendrent pas de nouveaux risques et d'en tirer le cas échéant un enseignement transposable à d'autres sites.

Des restaurations de cette envergure sont encore rares en France. Il est cependant possible de citer le Haut-Rhône français, où de nombreux travaux de restauration d'annexes hydrauliques ont été

Les contacts

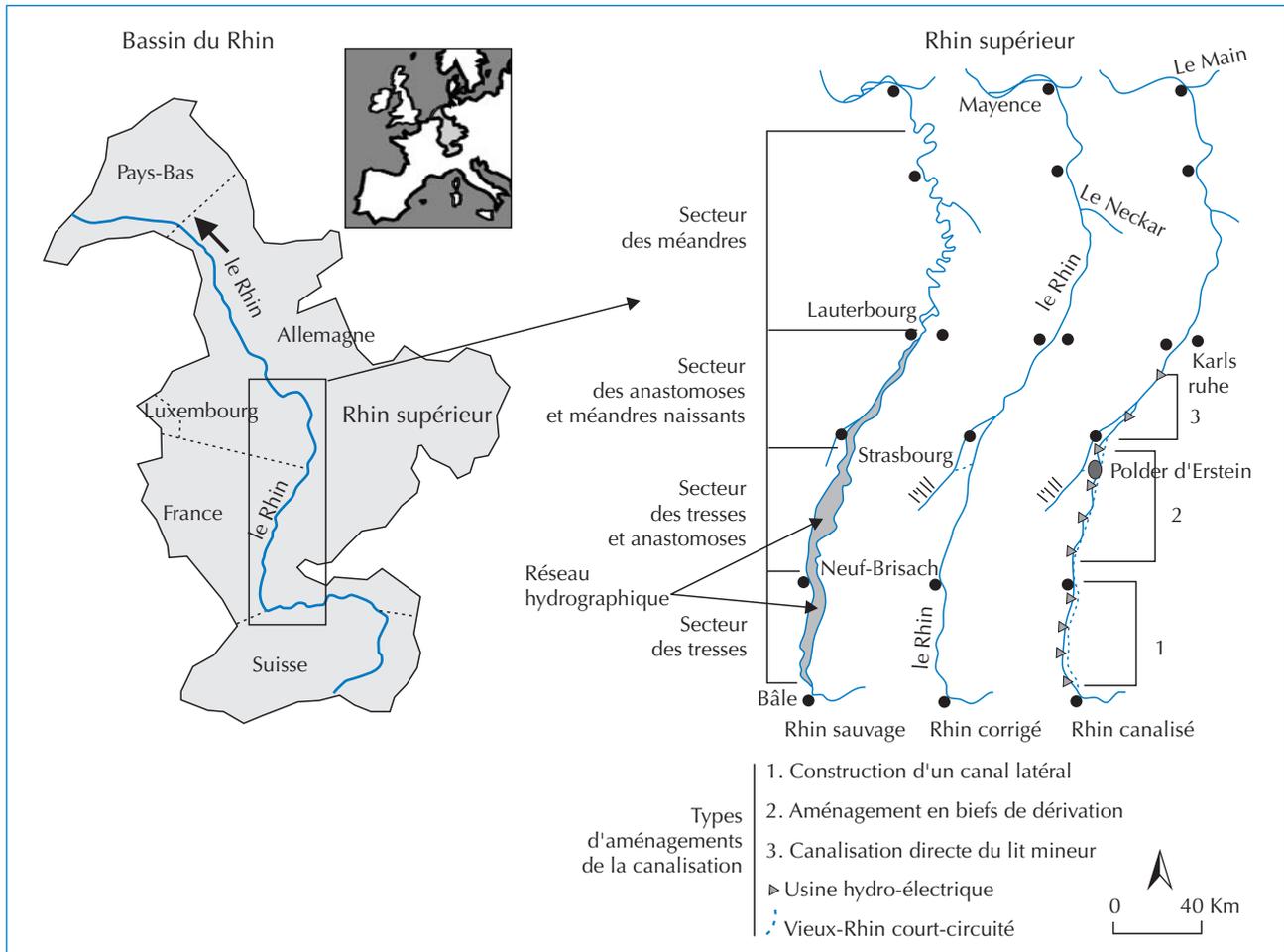
- a. Université de Lyon, UMR 5600 CNRS, 5 avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron
- b. Voies navigables de France, Service de la navigation de Strasbourg, Cité administrative, 14 rue du Maréchal Juin, 67084 Strasbourg Cedex
- c. CEVH ULP/ENGEES, Institut de botanique, 28 rue Goethe, 67083 Strasbourg
- d. Office national des forêts, ONF-SAT, Cité administrative, 14 rue du Maréchal Juin, 67084 Strasbourg Cedex
- e. Denny Consultant, 42 rue Geiler, 67000 Strasbourg
- f. Ginger Environnement, 29 route de la Wantzenau, Technoparc 2, 67800 Hoenheim
- g. Ecoscope, 68470 Fellerling
- h. ECODEVE, 67600 Sélestat
- i. ONEMA, Délégation interrégionale, 23 rue des Garennes, 57155 Marly-les-Metz
- j. Sol conseil, 251 route de la Want, 67000 Strasbourg
- k. FDIS, 67100 Strasbourg
- l. CAR, 76 route du Rhin, BP 70321, 67411 Illkirch-Graffenstaden Cedex
- m. Université de Metz, Laboratoire de phytoécologie, Campus Bridoux, avenue du Général Delestraint, 57070 Metz Cedex
- n. Association BUFO, 8 rue Adèle Riton, 67000 Strasbourg

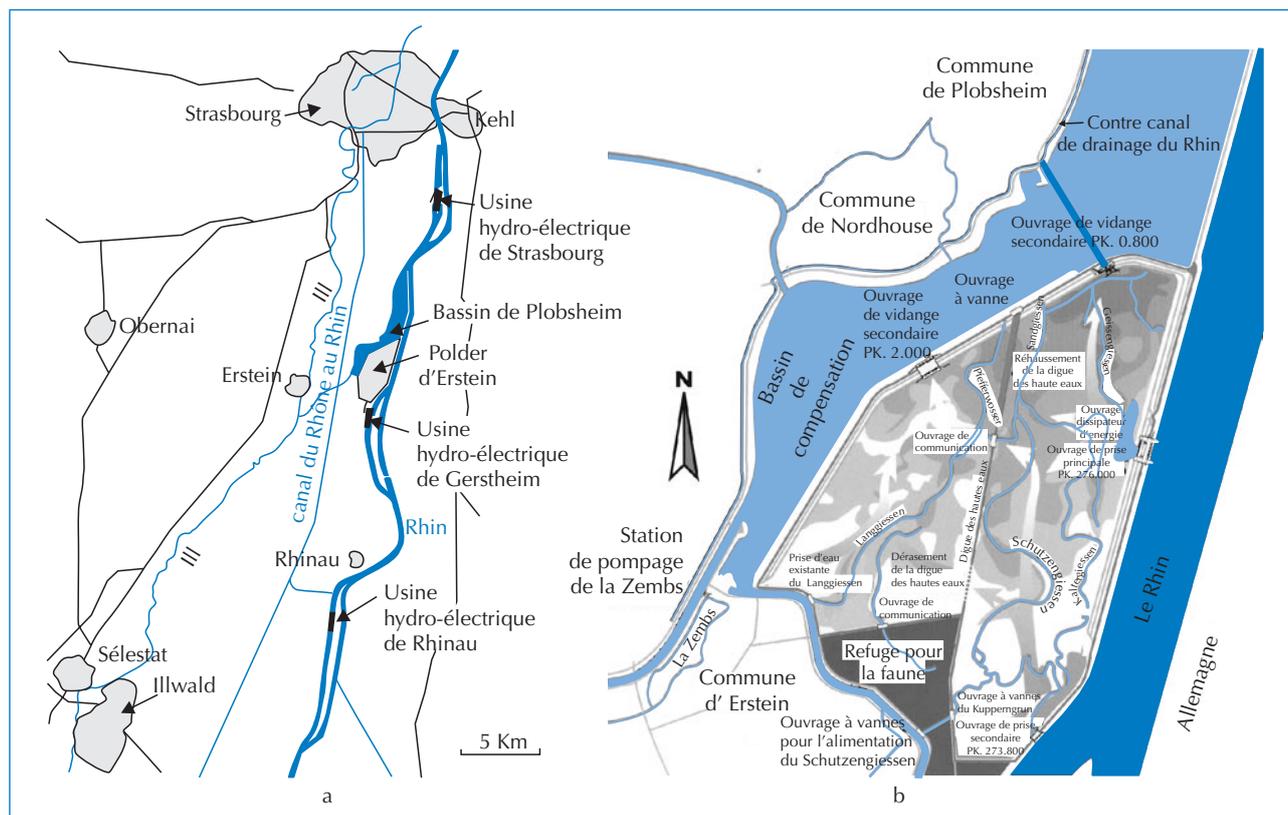
réalisés à la fin des années 1990 et au début des années 2000, mais où l'écrêtement des crues n'est pas visé (Amoros *et al.*, 2005 ; Olivier *et al.*, 2007). En Europe, la réhabilitation de zones inondables a également été étudiée, notamment aux Pays-Bas, sous l'aspect des bénéfices (Molen et Buijse, 2007), mais aussi des contraintes biogéochimiques (Lamers *et al.*, 2006). En Autriche et en Allemagne, des projets similaires et un suivi des restaurations sont également en cours d'élaboration (Schloz, 2008). Sur la rive droite du Rhin (Allemagne), non loin du polder d'Erstein, le polder d'Altenheim est géré de façon relativement similaire à son homologue français et a également fait l'objet d'un suivi scientifique (Vieser *et al.*, 1999). L'objectif de cet article est de synthétiser la finalité, les modes de fonctionnement, le bilan technique et les premiers résultats du suivi scientifique, à l'issue de près de cinq ans de fonctionnement du polder d'Erstein.

Le Rhin et ses aménagements

Avec un bassin de 185 000 km², le Rhin est le premier fleuve d'Europe occidentale. Le segment dénommé « Rhin supérieur » s'écoule entre Bâle et Mayence dans le fossé tectonique dit « rhénan » (figure 1). Le polder d'Erstein se situe grossièrement au premier tiers sud du fossé, à 15 km au sud de Strasbourg (surface drainée à Strasbourg : 39 650 km² ; figures 1 et 2a). Le régime hydrologique est de type nivo-glaciaire sur le linéaire de la frontière franco-allemande, les mois de hautes eaux étant centrés sur juin et juillet. Cependant, des crues hivernales ne sont pas rares. Le module interannuel est de 1 030 m³.s⁻¹ à Bâle (130 km au sud d'Erstein ; période 1808-1980) et de 1 210 m³.s⁻¹ à Maxau (90 km au nord d'Erstein ; période 1931-1980). À Bâle, où les débits sont proches de ceux du Rhin à la hauteur du polder en raison de l'absence

▼ Figure 1 – Le bassin du Rhin, le Rhin supérieur au cours des aménagements et localisation du polder d'Erstein.





NB : la carte b. indique aussi grossièrement les écoulements et zones inondées pendant les submersions écologiques.

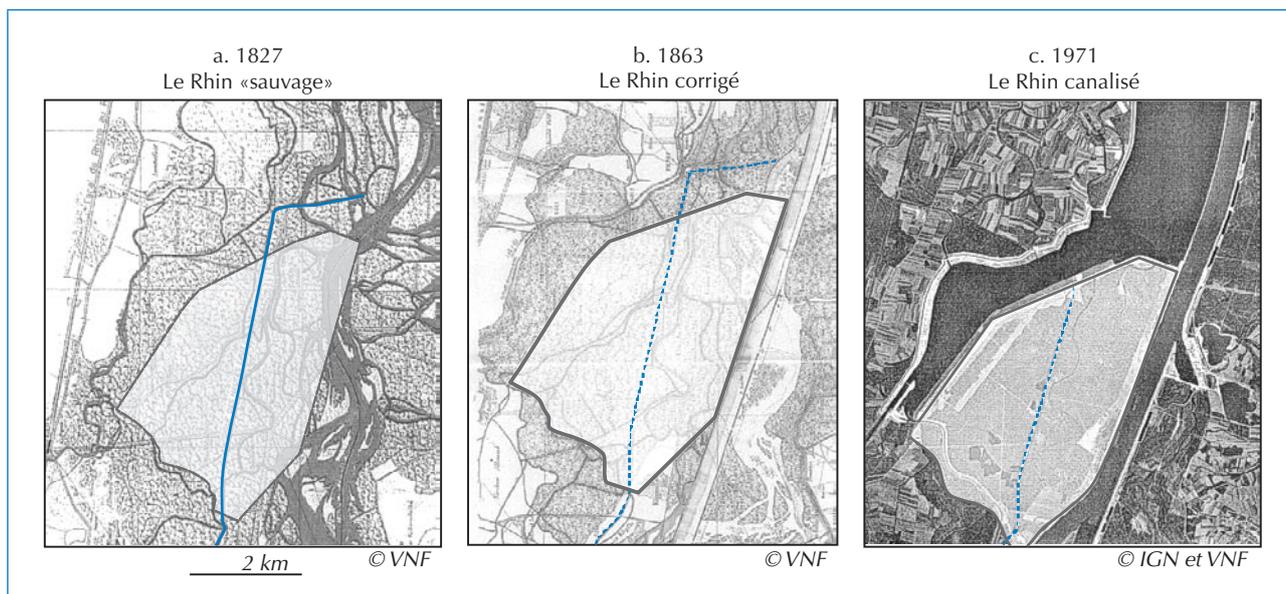
d'affluents importants, la crue centennale est estimée à $5\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, la crue instantanée maximale à $5\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (1876) et l'étiage minimum sur une durée d'une heure est de $202\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (1858 ; Commission internationale de l'hydrologie du bassin du Rhin, 1977).

Le polder d'Erstein est situé dans le secteur géomorphologique du Rhin dit à « tresses et anastomoses » (Neuf-Brisach – Strasbourg), où la pente est de 0,5-0,8 ‰ (Carbiener, 1983). Notons que dans la toponymie locale, les anastomoses du Rhin sont appelées « *Giessen* ». C'est donc ce terme que nous emploierons dans le présent article pour nommer les anastomoses du Rhin. Avant les grands aménagements du fleuve, la biodiversité aquatique et terrestre, reflet de la diversité des habitats de l'hydrosystème fluvial fonctionnel, était extrêmement importante (Carbiener, 1983). Il s'y trouvait tous les stades de successions végétales terrestres, la plupart des niveaux trophiques des eaux superficielles et toute la gamme d'états hygrométriques des milieux terrestres, des dépressions humides aux levées graveleuses sèches. L'ensemble était

étroitement dépendant de la morphodynamique fluviale active du Rhin et des processus de destructions/constructions d'habitats (Carbiener, 1983 ; figure 3a).

Les objectifs des aménagements du Rhin ont été la protection des populations contre les inondations, la protection sanitaire des populations (paludisme endémique, notamment), la fixation d'une frontière fixe, l'amélioration des conditions de navigation et d'agriculture et la production d'hydroélectricité. La correction (1840-1876) a consisté à raccourcir et fixer le lit mineur entre des digues submersibles et à délimiter un nouveau lit majeur par des digues insubmersibles espacées de 1 à 2 km (figures 1 et 3b ; Gallusser et Schencker, 1992). Avec la régularisation (1906-1960), ont été implantés dans le lit mineur encombré de nombreux bancs graveleux, des épis ennoyés délimitant un chenal sinusoïdal suffisamment profond (auto-curable) pour la navigation. Enfin, la canalisation (1928-1977) a consisté à construire dix usines hydroélectriques sur des biefs canalisés, parallèles au Rhin corrigé, selon diverses

▲ Figure 2 – Carte de localisation du polder d'Erstein (a) et des différents aménagements du polder (b) (sources : a. A. Bouzégahia ; b. VNF).



NB : délimitation approximative du polder sur les cartes de 1827 et 1863.

▲ Figure 3 – Évolution diachronique du site du polder d'Erstein depuis 1827 (d'après Dillmann, 1995, modifié). NB : délimitation approximative du polder sur les cartes de 1827 et 1863.

1. Électricité de France.

modalités techniques, ou implantés sur le lit corrigé lui-même (figures 1 et 3c ; Gallusser et Schencker, 1992).

Les objectifs de ces aménagements ont été globalement atteints : les riverains sont à l'abri des inondations, les conditions de navigation sont satisfaisantes et, avec une production d'électricité de 8,5 giga-watts par an, les potentialités énergétiques du fleuve sont exploitées. Mais ces travaux ont aussi un envers puisqu'ils ont entraîné de nombreux impacts : forte incision à l'amont de Neuf-Brisach, disparition du tressage et déconnexion quasi totale des *Giessen*, suppression drastique de zones inondables, abaissement piézométrique et forte atténuation de l'amplitude des battements de nappe, assèchement des *Giessen* et des milieux terrestres, accélération de l'onde de crue et élévation des pics de crue à l'aval du secteur canalisé (Commission internationale de l'hydrologie du bassin du Rhin, 1977 ; Carbiener, 1983 ; Dister, 1992 ; Schmitt, 1995). Ainsi, la protection contre les crues bicentennales qu'avaient apportée les digues insubmersibles de la correction n'est plus assurée en aval du linéaire canalisé et seules les crues dont la fréquence statistique est de soixante ans peuvent encore être contenues. Les problèmes posés par les aménagements sont donc à la fois hydrologiques, écologiques et économiques (les dommages potentiels dus aux inondations de 2004 ont en effet été estimés à six milliards d'euros sur le Rhin supérieur !).

Concilier écrêtement des crues et restauration de l'hydrosystème

Pour supprimer les effets pervers induits par les aménagements, un programme franco-allemand de mesures destinées à écrêter les ondes de crue a été arrêté le 6 décembre 1982. Ce programme, basé sur les travaux de la commission d'études des crues du Rhin, doit renforcer la sécurité des populations riveraines à l'aval du Rhin canalisé en les protégeant à nouveau contre les crues bicentennales. Différents types de mesures, mis en œuvre de façon coordonnée entre la France et l'Allemagne, sont prévus :

- en rive gauche (France) :
 - arrêt du turbinage des usines EDF¹ entre Bâle et Strasbourg afin de faire basculer les eaux du Rhin canalisé vers l'ancien lit corrigé et de créer un effet de rétention équivalent à 45 millions de m³ ;
 - réalisation de deux polders d'une capacité totale de 13,2 millions de m³ : le polder de la Moder, au nord de Strasbourg, et celui d'Erstein, au sud de Strasbourg. Leur coût d'aménagement, près de 42 millions d'euros, est supporté par l'Allemagne pour des raisons d'équilibre de dépenses liées à l'aménagement du Rhin depuis 1969. Avec l'achèvement du polder d'Erstein en 2003, la France a réalisé le programme dont elle avait la charge ;

- en rive droite (Allemagne) :
 - adaptation, en cas de crues, des lois de manœuvre des barrages agricoles de Strasbourg-Kehl (actuellement opérationnel) et de Neuf-Brisach pour porter leur capacité de rétention à 46 millions de m³ ;
 - aménagement de 16 polders pour contenir 140 millions de m³. En 2008, un tiers d'entre eux étaient réalisés : Altenheim, Söllingen/Greffern, Daxlanderau, Flotzgrün et Kollerinsel ;
 - décaissement de la rive droite du Vieux Rhin sur 43 km de long et une largeur moyenne d'une centaine de mètres au sud de Breisach-am-Rhein, pour créer une capacité de stockage de 25 millions de m³ (début des travaux en 2009). Ces mesures, qui relèvent du Land de Bade-Württemberg et du Bund (État allemand) en ce qui concerne les aménagements situés sur le territoire du Land de Rhénanie-Palatinat, devraient être opérationnelles en 2017.

Les polders représentent donc plus de la moitié des capacités de rétention. Dans le cas du Rhin, le terme « polder » n'est pas utilisé dans son acception habituelle de terre gagnée sur l'eau, mais pour évoquer des bassins d'épandage de crues. Les polders français sont intégrés au domaine confié à Voies navigables de France (VNF).

La prise de conscience dans les années 1970-1980 des impacts environnementaux des aménagements et de la valeur du patrimoine écologique de l'hydrosystème rhénan (Carbiener, 1970), a fait évoluer les objectifs de gestion d'une approche purement hydrologique à une approche globale intégrant l'écologie. Le polder d'Erstein reflète ce double objectif ; conçu pour écrêter les crues exceptionnelles, il a aussi pour fonction de restaurer autant que possible le fonctionnement hydro-écologique de l'hydrosystème fluvial du Rhin supérieur.

Choix du site d'Erstein

Peu de sites conviennent à l'implantation d'un polder. Il doit s'agir d'un espace à proximité immédiate du fleuve qui puisse accueillir très rapidement un volume d'eau important sans que l'environnement, tout particulièrement les zones urbanisées, en soit affecté (remontées de la nappe, pollutions de la nappe...). Au bord du Rhin, sur les communes d'Erstein, de Plobsheim

et de Nordhouse, à une quinzaine de kilomètres au sud de Strasbourg, une quasi-presqu'île d'environ 600 ha a été sélectionnée. Cet espace est boisé en quasi-totalité, les terres cultivées n'en occupant qu'une part infime (moins de 5 %). Le site s'étend sur 3,8 km du nord au sud et sur 2,4 km d'est en ouest. Situé au-dessous du niveau du Rhin et du plan d'eau de Plobsheim, il offre une capacité de stockage de 7,8 millions de m³. Le site est en outre, à l'instar du polder de la Moder, suffisamment éloigné des zones habitées. Il est entièrement ceinturé d'eau et protégé par un système de digues mises en place lors de l'aménagement de la chute de Strasbourg en 1970 : au nord et à l'ouest, la digue du bassin de compensation de Plobsheim, à l'est la digue de canalisation du Rhin, au sud et au sud-ouest, l'ancien canal d'alimentation de l'III. L'existence de ces ouvrages présente maints avantages. Ainsi, pour aménager le polder, il a suffi d'adapter les digues pré-existantes et de les compléter pour ceinturer le site du polder dans sa partie sud et sud-ouest. Les travaux de terrassement n'ont bien entendu pas concerné les secteurs protégés du site (réserve naturelle...). Notons que la digue insubmersible des hautes eaux sépare le polder en deux : le secteur externe (ouest) qui n'est plus inondé depuis près de deux cents ans (correction) et le secteur interne (est) qui était encore inondé jusqu'à la canalisation (1970 au droit du polder d'Erstein ; figure 2a et 2b).

Le remarquable intérêt écologique du site (Carbiener, 1970) a justifié la mise en place de plusieurs mesures de protection. À l'est de la digue des hautes eaux, l'essentiel de la forêt est classée en forêt de protection et 180 ha le sont en réserve naturelle (qualité et diversité de la forêt alluviale, flore, batraciens, avifaune). Les surfaces à l'ouest de l'ancienne digue des hautes eaux sont également classées en forêts de protection. Les franges est, nord-ouest et ouest font l'objet d'une réserve de chasse et de faune sauvage. Le plan d'eau de Plobsheim a été classé par un arrêté préfectoral de protection de biotope pour l'intérêt de son avifaune. Le contre-canal de drainage, évacuant les eaux du polder, est classé en cours d'eau de première catégorie. Enfin, l'ensemble du site est inscrit au titre de Natura 2000 (directives européennes Habitat/Faune/Flore et Oiseaux) et, à une échelle plus large, les deux rives du Rhin supérieur/Oberrhein entre Bâle et Karlsruhe ont été récemment inscrites sur la liste « RAMSAR » des zones humides d'importance internationale.

Caractéristiques techniques des aménagements du site (figure 2b)

Alors que le polder de la Moder est opérationnel depuis 1992, l'aménagement du polder d'Erstein a démarré en 1997, après dix ans d'études, et s'est achevé en 2003. La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont été assurées par Voies navigables de France (service de la navigation de Strasbourg). Le montant des travaux s'élève à environ vingt-cinq millions d'euros. Ils ont consisté à construire des prises d'eau et un ouvrage de vidange secondaire, adapter l'ouvrage de vidange principal et le réseau de drainage et à conforter et compléter le réseau des digues existantes. Les équipements servent tout à la fois à écrêter les crues, à réaliser des submersions écologiques et à redynamiser les *Giessen*. Les préoccupations liées à l'environnement ont été omniprésentes pendant l'élaboration du projet et les cinq années de travaux.

La mise en eau du polder se fait par deux ouvrages de prise situés dans la digue du Rhin canalisé, leurs capacités maximales étant de 220 m³/s (prise principale) et 30 m³/s (prise secondaire). La dissipation de l'énergie à la sortie des ouvrages est assurée par des bassins creusés spécifiquement et destinés à éviter tout problème d'érosion.

L'ouvrage de vidange principal permet d'évacuer les eaux à raison de 15 m³/s, via deux buses de 800 m de long passant sous le plan d'eau de Plobsheim et se déversant dans le contre-canal de drainage au nord du plan d'eau. Le rejet dans le Rhin s'effectue dans le port de Strasbourg, à une dizaine de kilomètres du polder d'Erstein. Un linéaire de 3 km du contre-canal a dû être recalibré afin d'écartier tout risque d'inondation par remontée phréatique au droit du port autonome de Strasbourg lors des vidanges du polder. L'ouvrage de vidange principal datant de 1970 a été rehaussé à la cote de la digue. Ses maçonneries, les puits d'accès et les grilles ont également été reconstruits.

L'ouvrage de vidange secondaire n'est utilisé que lorsque le site du polder est rempli à sa capacité maximale. Il permet d'évacuer les eaux, gravitairement, directement dans le plan d'eau de Plobsheim jusqu'à l'équilibre des niveaux entre le site du polder et le plan d'eau de Plobsheim. Quand le niveau d'eau du polder passe sous celui du plan d'eau, l'ouvrage de vidange secondaire est fermé et les eaux continuent de s'évacuer par l'ouvrage de vidange principal.

Concernant les digues, certaines d'entre elles ont été rehaussées ou élargies pour améliorer leur stabilité. Ainsi les digues ouest (ancien canal d'alimentation de l'III – CAI, plan d'eau de Plobsheim), nord (plan d'eau de Plobsheim) et est (digue du Rhin canalisé sur 300 m dans sa partie nord) ont été renforcées par des palplanches de longueur adaptée. Une partie de l'ancienne digue des hautes eaux de la correction a également été arasée pour favoriser la propagation des eaux dans le compartiment ouest du polder. Ce système a été complété, au sud et au sud-ouest du site, par des digues de faible hauteur pour le « boucler ».

Comme les mises en eau sont susceptibles de provoquer des remontées du toit de la nappe phréatique, y compris dans des zones habitées comme le hameau de Krafft situé à l'ouest du polder, il a été décidé d'écartier tout risque d'inondation en favorisant le drainage de la nappe par deux cours d'eau situés entre le polder et les habitations (la Zembs et le Feldgraben). Ce drainage a été augmenté par des travaux de désenvasement des cours d'eau et la construction d'une station de relevage d'une capacité maximale de 3 m³/s, qui évacue les eaux de la Zembs vers le plan d'eau de Plobsheim.

Notons que des aménagements écologiques spécifiques ont aussi été réalisés : le réseau hydrographique interne du polder a été localement désenvasé pour évacuer l'excès d'embâcles qui s'y étaient accumulés pendant plus de trente ans, des îlots ont été créés pour servir de refuges à la grande faune lors de la montée des eaux et des mares et fossés ont été aménagés pour l'accueil de la faune batrachologique entre autres.

Les modalités de gestion du polder

Conformément à la convention franco-allemande de 1982, le rôle premier du polder d'Erstein est de participer à la rétention des crues du Rhin. Statistiquement, il devrait être utilisé à cette fin une fois tous les dix ans en moyenne. Toutefois, au cours des études d'environnement, il est apparu que des mises en eau plus fréquentes et plus limitées en hauteur peuvent contribuer à restaurer les écosystèmes alluviaux typiques du Rhin. Aux modalités de gestion définies pour écrêter les crues s'ajoutent donc celles de gestion écologique, qui font l'objet d'un suivi scientifique. Toutes deux ont été fixées par un arrêté préfectoral du 3 septembre 1996 pris au titre de la « loi sur l'eau ».

L'écrêtement des crues

Pour retenir de façon optimale les crues sur le Rhin supérieur, la mise en eau du polder d'Erstein s'effectue dans le cadre de mesures coordonnées entre la France et l'Allemagne. Elle est prévue pour un débit de 3 600 m³/s, mesuré jusqu'en 2008 dans le bief de Strasbourg. Depuis 2008, ce débit doit également être corrélé avec une prévision à l'échelle de Maxau (au nord de Karlsruhe, en Allemagne) supérieure à 4 200 m³/s. Selon l'importance de la pointe de crue, le remplissage dure treize à quinze heures. La durée totale de submersion, y compris le remplissage et la vidange, ne doit pas dépasser vingt jours consécutifs (la vidange s'effectue en deux à quatre jours).

Pour écrêter les crues, le remplissage du polder, illustré sur la photographie de la figure 4a, s'effectue en deux temps. La première phase, dite d'écrêtement de la crue, conduit à stocker 6,5 millions de m³. La seconde phase, dite de rétention dynamique, est principalement destinée à permettre une meilleure oxygénation des eaux stockées pour limiter l'impact de la mise en eau sur le milieu. Elle consiste à réaliser une circulation d'eau en maintenant ouverts les ouvrages d'alimentation et de vidange. Le volume stocké peut alors atteindre sa valeur maximale, soit 7,8 millions de m³, avec une hauteur moyenne de 1,20 m (0,70 m au sud et 3 m au nord).

Les submersions écologiques

Le site du polder n'avait pas été inondé depuis 1970. Pour que la faune et la flore se réhabituent dans de bonnes conditions aux événements de rétention des crues, et pour restaurer autant que possible la fonctionnalité des écosystèmes d'avant la canalisation, le polder est mis partiellement en eau, avec une hauteur moyenne d'eau de l'ordre de 75 cm. Les zones inondées correspondantes sont données en figure 4b. Ce type de submersion peut être déclenché aux mois de juin et juillet, une fois par an environ, lorsque le débit du Rhin dépasse 2 000 m³/s, la

durée totale ne devant pas excéder quinze jours d'après l'arrêté préfectoral.

Les redynamisations de Giessen

Également conçue pour favoriser la restauration des milieux rhénans, la redynamisation (le terme « redynamisation » est employé dans le cadre des études sur le polder d'Erstein comme synonyme de « réalimentation ») du réseau hydrographique interne du polder d'Erstein s'effectue, sans restriction ni de période ni de durée, dès lors que le débit du Rhin au droit du site dépasse 1 550 m³/s. Cette situation survient théoriquement environ cinquante-trois jours par an. Les *Giessen* sont ainsi réalimentés sans que les terrains adjacents soient inondés, à l'exception de débordements localisés. Les *Giessen* sont ainsi censés retrouver un mode de fonctionnement hydrologique et écologique proche de celui qui préexistait avant la canalisation du Rhin (Carbiener, 1983), à savoir une alimentation phréatique en période de basses eaux et une alimentation mixte comprenant également des eaux du fleuve en période de hautes eaux.

Précisons que lorsque le polder est mis en eau, pour l'écrêtement des crues ou les submersions écologiques, un plan de secours spécialisé (PSS) est déclenché afin de faire évacuer les personnes présentes sur le site. Alors que gendarmes et pompiers effectuent des rondes et bloquent les accès, les sirènes retentissent, les panneaux d'information sont dévoilés et les portails fermés. Les promeneurs ont alors au maximum une demi-journée pour quitter le polder avant qu'il commence à être inondé.

Les mises en eau effectuées

Contrairement au polder de la Moder qui n'a pu être mis en eau qu'une seule fois à titre d'essai en 1992, le polder d'Erstein a pu bénéficier en relativement peu d'années de tous les modes de gestion prévus pour son utilisation. Les mises en eau effectuées de janvier 2004 à septembre 2008 sont synthétisées dans le tableau 1.

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 jusqu'en septembre |
|-----------------------------------|-------|---------|--------|---------|-------------------------------|
| Rétentions de crues | 1 (2) | | | 1 (2) | |
| Submersions écologiques | | 1 (12)* | 1 (6) | | |
| Redynamisations de <i>Giessen</i> | 1 (4) | 4 (5) | 9 (79) | 10 (53) | 8 (42) |

* submersion écologique partielle due à une phase de réglage de la prise secondaire et de l'ouvrage de vidange principal (cf. *infra*).

◀ Tableau 1 – Nombres et durées (nombre de jours) des mises en eau du polder d'Erstein de janvier 2004 à septembre 2008 (données : VNF).

Les mises en eau pour rétention de crue du Rhin

On mettra dans cette catégorie la première mise en eau effectuée les 16 et 17 janvier 2004, à titre d'essai. Le débit maximal atteint par le Rhin pendant cette opération était de 2 700 m³/s. Le niveau d'eau à l'intérieur du polder a atteint la cote de 148,60, supérieure à la cote prévue pour les submersions écologiques (148,00). Tous les ouvrages du polder ont pu être testés en vraie grandeur à cette occasion.

En 2007, du 9 au 10 août (vidange du 10 au 14 août), le polder d'Erstein a connu sa première véritable rétention de crue. Le débit maximal dans le Rhin a été de 4 147 m³/s. À cette occasion, on a pu vérifier que l'efficacité de l'écrêtement du pic de crue du Rhin à l'échelle de Maxau avoisinait les 120 m³/s. En effet, seul le polder d'Erstein avait été mis en eau, les polders allemands et de la Moder ne l'ayant pas été.

Les submersions écologiques

Le polder d'Erstein n'a connu qu'une seule véritable mise en eau au titre de la submersion écologique. Elle a eu lieu du 1^{er} au 6 juin 2006 et la vidange a duré du 6 au 8 juin. Le débit maximal du Rhin atteint était de 2 613 m³/s.

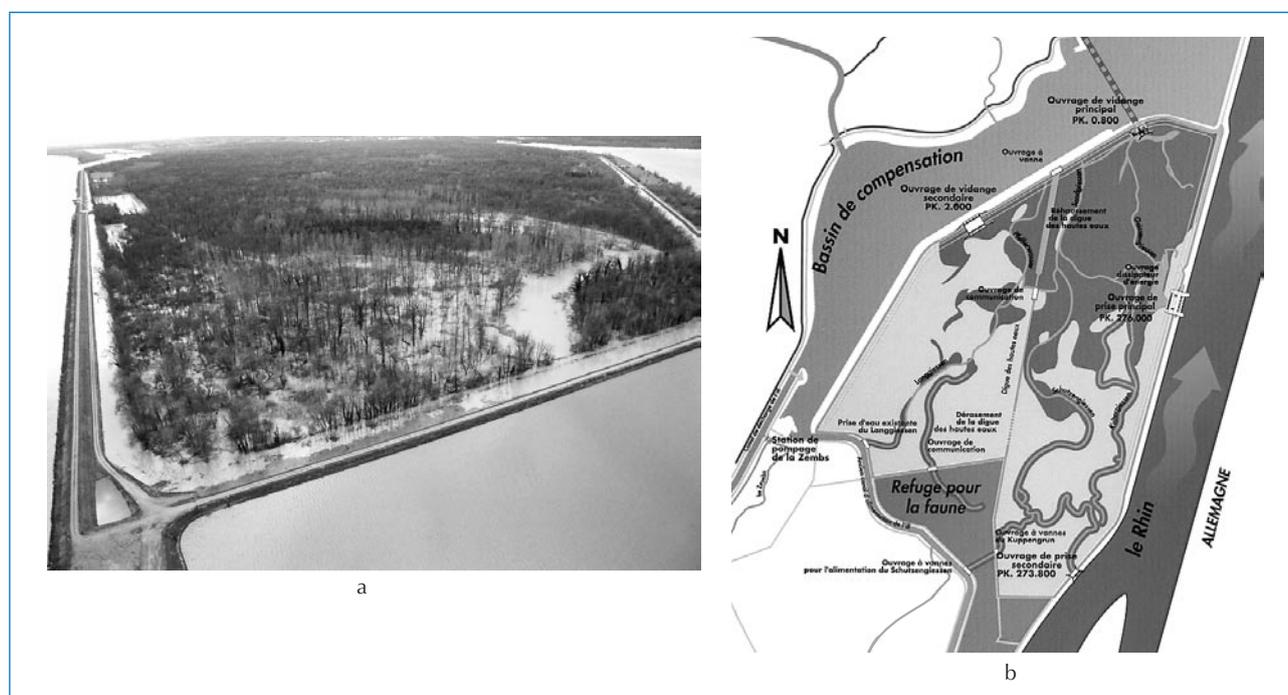
Plusieurs crues supérieures à 2 000 m³/s et pendant les mois de juin/juillet auraient pu donner lieu à des submersions écologiques, mais cela n'a pas été possible pour différentes raisons : pour l'année 2004, le fait qu'une submersion avait déjà eu lieu au début de l'année, la brièveté des crues du Rhin et/ou le dépassement trop faible du seuil de 2 000 m³/s.

Il convient toutefois de noter que même avec une crue « courte » et des débits dépassant de peu les 2 000 m³/s, il est possible de maintenir ouverte la prise secondaire. Ceci permet, sans atteindre une submersion écologique *stricto sensu*, d'effectuer une inondation des terrains de la partie nord du polder. Ce fonctionnement est même possible lorsque le débit est supérieur à 1 800 m³/s.

Les redynamisations des Giessen

Le principe qui guide ce mode de gestion est de faire circuler de l'eau du Rhin dans les *Giessen* du casier est du polder, de manière à restaurer ces cours d'eau et à favoriser la recharge de la nappe. Cependant, la topographie déprimée du polder dans sa partie nord (aval) et le fait que l'évacuation des eaux ne puisse avoir lieu que par l'ouvrage de vidange principal, n'ont pas permis d'obtenir des débits d'entrée supérieurs à environ 7-8 m³/s et ont nécessité un réglage des manœuvres

▼ Figure 4 – Submersions du polder d'Erstein : a) photographie aérienne de la rétention de crue de janvier 2004 (vue vers le sud ; source : VNF) ; b) simulation des zones inondées pour une submersion écologique (source : VNF).



vres. En effet, comme l'ouvrage de vidange principal fonctionne toujours « en charge », le débit d'évacuation ne peut être augmenté qu'en élevant le niveau d'eau au-dessus de l'évacuation, ce qui entraîne une inondation à l'amont. Ceci conduit à devoir ralentir *ipso-facto* le débit d'entrée par la prise secondaire et donc à réduire l'efficacité de la circulation dynamique de l'eau.

En 2005, du fait d'un inévitable apprentissage du réglage mentionné plus haut, l'épisode d'août a conduit à une quasi-submersion écologique d'environ douze jours. En 2006 et 2007 des crues supérieures à 2 000 m³/s n'ont pas donné lieu à des submersions écologiques car elles eurent lieu en dehors des mois de juin/juillet. Elles se seraient d'ailleurs peu prêtées à des submersions écologiques car elles furent brèves et ne dépassèrent que de peu les 2 000 m³/s.

Bilan technique des mises en eau

La fréquence de mise en eau paraît, sur cette période de quatre ans et neuf mois, plus faible que prévue dans l'étude d'impact. Celle-ci prévoyait en effet une submersion écologique et une cinquantaine de jours de redynamisation des *Giessen* par an, alors qu'une à deux submersions écologiques se sont produites et que la durée moyenne annuelle des redynamisations a été de seulement quarante jours par an.

Si les mises en eau au titre de rétention de crue et de redynamisation des *Giessen* ne posent pas de problèmes de décisions (pour les rétentions l'intérêt public prévaut – sécurité des populations – et ces mises en eau ne font pas l'objet de contestation, et, pour les redynamisations, elles sont effectuées systématiquement par le service de la navigation de Strasbourg dès que la valeur-seuil de débit est atteinte, sans avoir recours à une autorisation externe), il n'en va pas de même en ce qui concerne les submersions écologiques. En effet, ces mises en eau ne sont pas déterminées par des nécessités de sécurité publique mais restent soumises à une autorisation préfectorale. Comme une mortalité de chevreuils a été observée lors des submersions (par exemple, une vingtaine de chevreuils pendant la rétention de crue d'août 2007) et que les recettes des baux de chasse sont importantes pour les finances communales, l'application de l'arrêté préfectoral prévoyant les submersions écologiques est rendue délicate. Notons cependant qu'une certaine mortalité de gibier avait été explicitement « prévue » dans l'étude d'impact.

Un groupe de travail a été mis en place pour proposer des solutions visant à préserver le gibier. Ce groupe a récemment remis des propositions au préfet et au comité de pilotage des modalités de gestion écologique du polder. Sont ainsi envisagés des aménagements de zones refuges et des modifications marginales des modalités de submersions écologiques et de redynamisations de *Giessen*. Ces mesures suffiront-elles à rendre plus acceptables les mises en eau du polder ? Espérons-le car l'intérêt des mises en eau pour submersion écologique est indéniable pour la restauration des milieux (*cf. infra*), mais aussi pour réhabituer la faune, la flore et les usagers à la ré-inondation du site.

Par ailleurs, la mise en eau pour submersion écologique, comme pour la rétention, nécessite la mise en œuvre du plan de secours spécialisé du polder (Protection civile), opération très lourde, tant en temps passé qu'en personnels maintenus sur place pendant au minimum une semaine. Un allègement des procédures permettrait également de les rendre plus faciles à mettre en œuvre.

Premiers résultats du suivi scientifique environnemental

Afin d'évaluer le bilan écologique et les éventuels impacts des submersions et redynamisations de *giessen*, pour ajuster le cas échéant les règles de gestion écologique, le polder a fait l'objet d'un suivi scientifique pendant six ans. Les divers objectifs du suivi se résument comme suit :

- cerner les risques de pollution de la nappe, liés au transfert des eaux d'inondation d'origine rhénane vers la nappe ;
- vérifier les modifications de processus et mécanismes qui contrôlent les transferts d'eau et de solutés au niveau des interfaces ;
- préciser les modifications induites par les inondations et redynamisations sur les habitats, la flore et la faune au travers de quelques indicateurs faunistiques, floristiques et abiotiques² ;
- et finalement analyser la capacité du système polder à restaurer certaines fonctions originelles ou spécifiques des zones alluviales inondables.

Ce suivi comprend deux volets complémentaires : les facteurs abiotiques (hydrologie, hydraulique, hydrochimie et géomorphologie) et les compartiments biologiques. À la suite de l'état initial, les travaux ont été réalisés selon

2. En écologie, les facteurs abiotiques représentent l'ensemble des facteurs physico-chimiques d'un écosystème influençant sur une biocénose donnée. C'est l'action du non-vivant sur le vivant. Opposables aux facteurs biotiques, ils constituent une partie des facteurs écologiques de cet écosystème.

un rythme annuel et à la fin des cinq ans du suivi *stricto sensu*. En voici une présentation succincte :

- compartiments suivis régulièrement et faisant l'objet de rapports d'avancement annuels :

- eau superficielle : cinq stations hydrométriques et quatre sites de jaugeages mensuels, de nombreuses campagnes de prélèvements pour la physico-chimie de l'eau en fonction des périodes de mise en eau (avant, une semaine après et deux mois après les submersions), mesure en continu des températures ;

- géomorphologie : caractérisation morphodynamique des chenaux et mesure des taux de sédimentation dans la plaine alluviale après chaque submersion ;

- eau souterraine : trente-sept piézomètres à l'intérieur et à l'extérieur du polder, dont sept équipés pour le suivi des micropolluants et de la qualité bactériologique ;

- sol : campagnes d'analyse des sols pour le suivi de l'hydromorphie³, des reliquats azotés, du phosphore... ;

- sédiments : dix stations réparties sur l'ensemble du polder ;

- compartiments suivis à l'issue des cinq ans : végétation terrestre et aquatique, faune (poissons, amphibiens...).

État initial avant les mises en eau

Après plus de trente ans sans inondation ni alimentation par le Rhin pendant les crues, la plupart des *Giessen* (anastomoses) circulant dans

le polder étaient en voie d'atterrissement avec des taux de sédimentation (par des vases, limons et argiles) pouvant atteindre 4 cm/an dans la partie aval du polder (Maire et Sanchez-Perez, 1994). Les *Giessen* de la partie est du polder, plus ou moins à sec à l'amont, n'étaient alimentés que par la nappe, les débits étant donc relativement faibles. La dynamique fluviale du Rhin sauvage a créé des mares et des dépressions qui ont été déconnectées du fleuve avec la canalisation. Selon leur morphologie, on distingue : les bras atterris (de la mare au simple bournier « visible » durant la saison estivale), les zones artificialisées (fosses d'extraction de graviers, de dépôts sauvages), des cuvettes circulaires sèches de 25 m de diamètre pour 1 m de profondeur au centre (certains auteurs en font des trous de bombes...).

Huit types de sols alluviaux ont été identifiés (Sol Conseil, 2003) : ce sont des sols profonds plus ou moins hydromorphes localisés dans les zones les plus basses (partie nord du polder) et le long des cours d'eau, et des sols plus superficiels (< 50 cm d'épaisseur) non hydromorphes localisés dans les secteurs ouest et sud. La répartition des types de sols permet globalement de différencier plusieurs zones liées notamment au fonctionnement hydrologique (tableau 2).

Les compartiments eau et sédiments des milieux aquatiques et des eaux souterraines présentaient globalement une bonne qualité chimique pour les organismes vivants, à l'exception d'un *Giessen* proche du Rhin pendant la période de basses eaux, le Kaltergiessen, et une dépression topographique située dans la partie aval du polder. Ces exceptions sont probablement liées à l'accumulation de matière organique provoquant une

3. L'hydromorphie désigne un ensemble de processus résultant de l'action de l'eau envisagée comme facteur principal d'évolution des sols. Sont considérés comme hydromorphes les sols dont la genèse est dominée par un excès d'eau saturant la totalité des pores, de façon permanente ou temporaire sur la totalité ou la plus grande partie du profil.

► Tableau 2 – Types de sols du polder, en fonction de la profondeur de la nappe et de la texture.

| | Sols anthropisés |
|---|--|
| Avec nappe à – 3,00 m | Sols alluviaux calcaires sains Superficiels < 0,50 m, SL à LS Moyens profonds 0,50 à 1,00 m, LS à LSA Profonds de 1,00 à 3,00 m, LS à LSA |
| Avec nappe à – 1,50 m | Sols alluviaux calcaire faiblement hydromorphes Profonds faiblement hydromorphes, nappe > 1,50 m Profonds hydromorphes de – 0,50 à – 0,80 m, nappe > 1,50 m |
| Avec nappe entre – 1,00 et – 1,50 m | Sols alluviaux hydromorphes à gley calcaire Profond >1,00 à 3,00 m et plus, LS à LSA, hydromorphe de – 0,30 à – 0,50 m et nappe de – 1,00 à – 1,50 m Gley oxydé à gley réduit, LAS à ALS de – 0,50 m à – 1,00 m, hydromorphe dès la surface de la nappe |

NB : S = sables, L = limons, A = argiles (d'après des données de Party, 2003, modifiées).

anoxie temporaire des sédiments. Des concentrations élevées de nitrates ont été mesurées dans les eaux souterraines du secteur ouest, jusqu'à 30 mg/l de NO_3^- , alors que ces concentrations sont restées très faibles dans le secteur est non inondé depuis un peu plus de trente ans (lors de l'état initial). Les micropolluants analysés pour l'évaluation du risque de pollution de la nappe (organochlorés, organophosphorés composés triaziniques, métaux lourds, HAP⁴, PCB⁵) étaient présents à de très faibles concentrations, souvent à la limite du seuil de quantification. Ceux qui ont été détectés dans le sédiment et les sols (traces de trichlorobenzène, HAP, PCB) provenaient de la pollution historique du Rhin relevée dans les années 1970. Le retour des inondations devrait améliorer la qualité des eaux par activation de certains processus comme la dénitrification. Dans les zones situées en dehors du polder à l'aval, au vu des résultats de l'état initial, le risque de pollution de la nappe est *a priori* très faible.

La flore aquatique s'est avérée relativement riche avec trente-cinq espèces de macrophytes identifiées. La composition floristique des mares et des cours d'eau est fonction de l'origine de l'eau (influence du Rhin ou de l'Ille, principal affluent du Rhin en plaine d'Alsace ; en effet, le secteur d'Erstein se situe au niveau d'une ancienne jonction d'une diffluence de l'Ille avec le Rhin) et nous donnent une information sur le niveau trophique de l'eau (Trémolières *et al.*, 1993, Bornette *et al.*, 1998). Ainsi, une communauté à *Callitriche* et *Berula* méso-eutrophe a été relevée dans les tronçons de cours d'eau alimentés par la nappe, alors que la communauté à *Potamogeton pectinatus*, *Ceratophyllum* et *Elodea nuttallii* plus eutrophe colonisait les secteurs alimentés par les eaux de surface.

La densité piscicole était faible (100 à 180 kg/ha), ce qui correspond bien à ce qui est observé dans les cours d'eau phréatiques faiblement eutrophisés de la plaine d'Alsace. L'anguille était l'espèce dominante malgré une tendance au déclin de cette espèce à l'échelle nationale. Les communautés de poissons étaient caractérisées par la présence d'une petite population de truites mélangée à des populations de Cyprinidés en proportion variable selon le type d'eau, stagnante ou courante. Les redynamisations et inondations devraient logiquement favoriser l'arrivée d'espèces en provenance du Rhin et augmenter la densité de poissons en relation avec une augmentation du niveau trophique.

Parmi les douze espèces d'amphibiens recensées sur la bande rhénane en Alsace, huit étaient présentes dans le polder. Le triton crêté, espèce au statut de conservation européen, y est relativement bien représenté. Citons aussi quelques espèces caractéristiques de ce type d'habitat : *Lissotriton vulgaris*, *Triturus cristatus*, *Rana dalmatina* et *Pelophylax kl. esculenta*.

Les Odonates exploitent le réseau de mares et des *Giessen* et comptent une espèce protégée, *Coenagrion mercuriale*.

Les populations de grands mammifères chassés, sangliers et chevreuils, sont importantes, liées à des pratiques cynégétiques assez intensives (agrainage). Ces densités élevées peuvent avoir une influence négative sur le tapis végétal.

En forêt, les communautés à bois dur à chêne, frêne et ormes sont dominantes en lien avec l'absence d'inondations et d'une dynamique fluviale active. Les communautés pionnières à bois tendre sont reléguées aux berges de cours d'eau ou sont moribondes (conditions écologiques limites). La sylviculture a d'autre part fortement influencé les habitats forestiers (favorisation du chêne pédonculé, plantations de hêtre). Dans la partie en réserve naturelle, la gestion par le CSA⁶ a conduit à une amélioration substantielle de la naturalité des habitats, notamment par le maintien du bois mort sur place. L'effet attendu du retour des inondations devrait se faire sentir sur le long terme. L'effet immédiat pourrait être le déclin d'espèces sensibles aux inondations, un changement de la régénération et une redistribution des espèces herbacées en fonction du degré d'humidité des sols et de la présence de sols hydromorphes, alors que les espèces tolérantes aux inondations devraient être favorisées comme le merisier à grappes, d'ailleurs encore bien présent dans le sous-bois de la forêt.

Bénéfices des mises en eau : premiers résultats

HYDROGÉOLOGIE ET HYDRO-GÉOMORPHOLOGIE

Plus de quatre ans après la première remise en eau en 2004, on constate que le régime piézométrique a été modifié ; il s'agit d'une augmentation nette de l'amplitude des battements de nappe, particulièrement marquée en 2007 (tableau 3, figure 5). L'amplitude des battements reste toujours plus élevée dans les secteurs les plus proches du Rhin, ce que l'on observait déjà avant les remises en eau.

4. Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

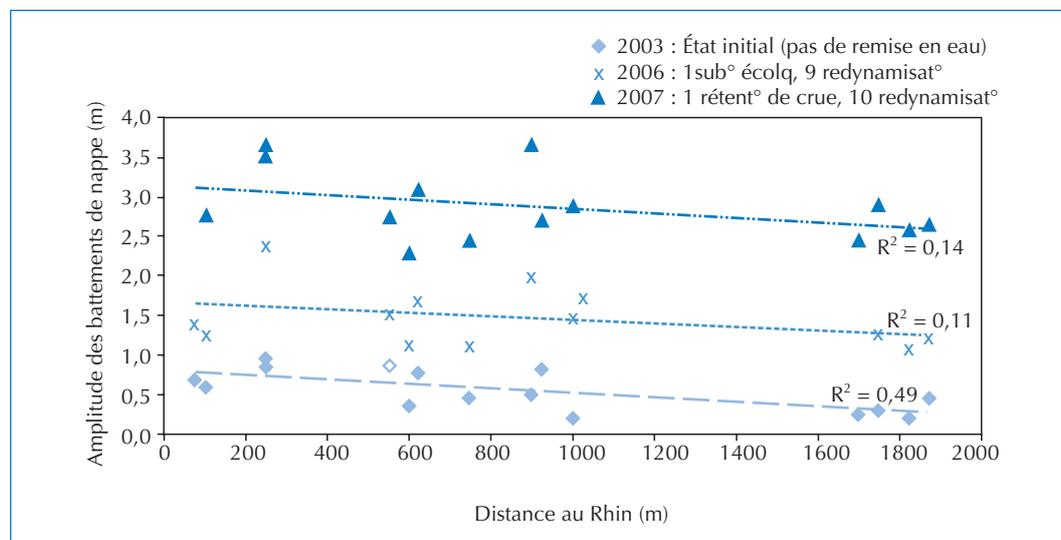
5. Polychlorobiphényles.

6. Conservatoire des sites alsaciens.

▼ Tableau 3 – Variations des niveaux moyens de nappe et des amplitudes des battements de nappe pendant l'état initial 2003 et les quatre premières années du suivi.

| Année | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Niveau de nappe moyen (m) | 146,89 | 146,85 | 147,02 | 146,80 | 146,86 |
| Coefficient de variation | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Niveau maxi l (m NGF) | 147,27 | 147,48 | 148,07 | 147,71 | 148,91 |
| Niveau mini (m NGF) | 146,50 | 146,66 | 146,74 | 146,53 | 146,35 |
| Amplitude des battements de nappe (m) | 0,77 | 0,82 | 1,33 | 1,18 | 2,56 |

NB : les données de 2008 n'étaient pas toutes disponibles lorsque cet article a été rédigé (données : Ginger Environnement).



▲ Figure 5 – Relation entre distance au Rhin et amplitude des battements de nappe pour trois années représentatives du suivi du polder d'Erstein. NB : pour les phases de submersion, le niveau de nappe a généralement rejoint le niveau du plan d'eau car les durées de submersions et de vidange (en 2007, la vidange a duré quatre jours) sont suffisamment longues. Les piézomètres ou années pour lesquelles les chroniques de données ne couvrent pas les submersions n'ont pas été pris en compte. L'importante variabilité autour des droites d'ajustement (R^2 faibles) s'explique par les multiples contraintes et particularités hydrauliques qui peuvent influencer les échanges nappe-rivière (plan d'eau de Plobsheim, réseau hydrographique plus ou moins alimenté...).

Le drainage de la nappe a également sensiblement augmenté, notamment entre 2004 et 2005. Il s'est ensuite stabilisé autour de 31 % des débits sortants du polder (tableau 4). Ce résultat s'explique par une augmentation des exfiltrations au niveau des zones d'échange existantes et/ou d'activation de nouvelles zones d'exfiltration, ce qui est probablement dû au retour d'une certaine activité morphodynamique dans les *Giessen* (redynamisations, début des phases de submersion) et à l'élévation des cotes maximales de la nappe, ce qui a augmenté les gradients de charge. Ces zones d'échange sont principalement localisées dans le secteur est du polder (secteur non inondé depuis

1970). Ce même type de lien fonctionnel entre connectivités latérale et verticale a également été observé dans l'hydrosystème, encore fonctionnel, de l'III (Schmitt *et al.*, 2007).

PHYSICOCHIMIE DE L'EAU

Les variations de température et des chlorures, utilisées comme traceur hydrologique, confirment les zones d'échange : tous les cours d'eau alimentés directement par la nappe présentent des amplitudes de température plus faibles et des teneurs en chlorures relativement élevées d'environ 30 mg/l, dues à une pollution historique résiduelle de la nappe. Notons que les concentrations dans les

▼ Tableau 4 – Débit et pourcentage du drainage dans le polder pendant l'état initial de 2003 et les quatre premières années du suivi. Les débits sont mesurés mensuellement : * sans le mois d'avril ; ** sans les mois de juin, décembre (problème technique au droit de certaines stations) et juillet (période de redynamisation).

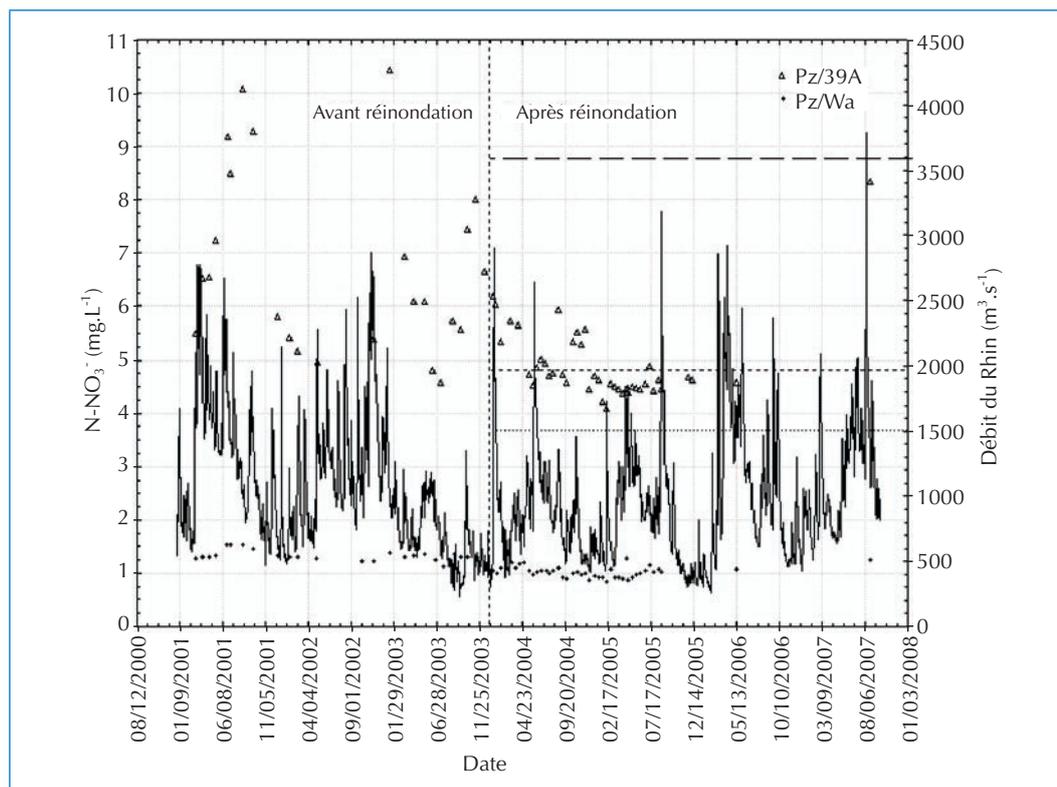
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Débit moyen annuel entrant | 3,60 m ³ /s | 3,53 m ³ /s | 4,31 m ³ /s | 3,69 m ³ /s | 3,82 m ³ /s |
| Débit moyen annuel sortant | 4,80 m ³ /s | 4,84 m ³ /s | 6,27 m ³ /s | 6,89 m ³ /s | 5,61 m ³ /s |
| Drainage de la nappe annuel moyen | 1,20 m ³ /s | 1,21 m ³ /s | 1,96 m ³ /s | 1,76 m ³ /s* | 1,77 m ³ /s** |
| % de drainage | 25 % | 27,1 % | 31,3 % | 32,1 %* | 31,5 %** |
| Module du Rhin à Strasbourg | 722 m ³ /s | 887 m ³ /s | 857 m ³ /s | 1037 m ³ /s | 1055 m ³ /s |

NB : les données de 2003 ne sont que très peu représentatives car elles ne reposent que sur une seule campagne de jaugeage complète et deux campagnes incomplètes (données : Ginger Environnement).

eaux du Rhin ont diminué depuis 2003 passant de 40 mg/l en 2003 à 20 mg/l en 2007.

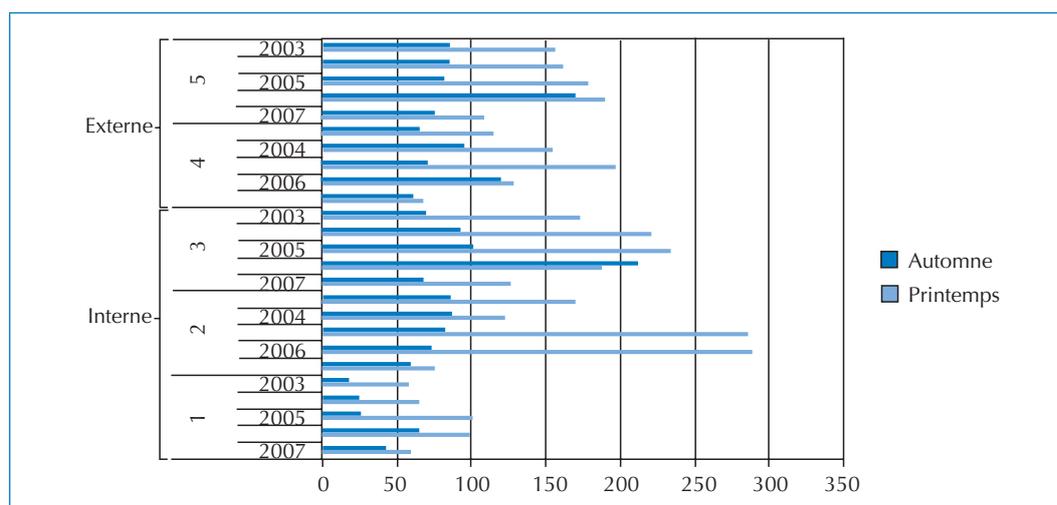
Dans les eaux superficielles et souterraines, la contamination par les micropolluants est quasi inexistante. Seules les concentrations en nitrates des eaux souterraines restent élevées, du moins dans la zone externe à la digue des hautes eaux

(> 30 mg/l NO₃⁻) où la période d'arrêt des submersions a été la plus longue (depuis la correction ; cf. supra ; figure 6). On note également que les variations de concentrations sont plus faibles après 2004, date de la première submersion, du fait notamment d'un équilibre entre nitrification et dénitrification après un lessivage des nitrates résiduels par les premières submersions.



▲ Figure 6 – Hydrogramme du Rhin et variations des concentrations de nitrates des eaux souterraines pendant la période 2001-2007 (PZ/DGW/39A secteur externe à la digue des hautes eaux, PZ/DGW/Wa secteur interne à la digue des hautes eaux).

► Figure 7 – Stockage de l'azote minéral kg/ha dans cinq sols (1, 2, 3 secteur interne), (4, 5 secteur externe), au printemps et en automne pendant l'état initial (2003) et les quatre premières années du suivi (Party, 2008, modifié).



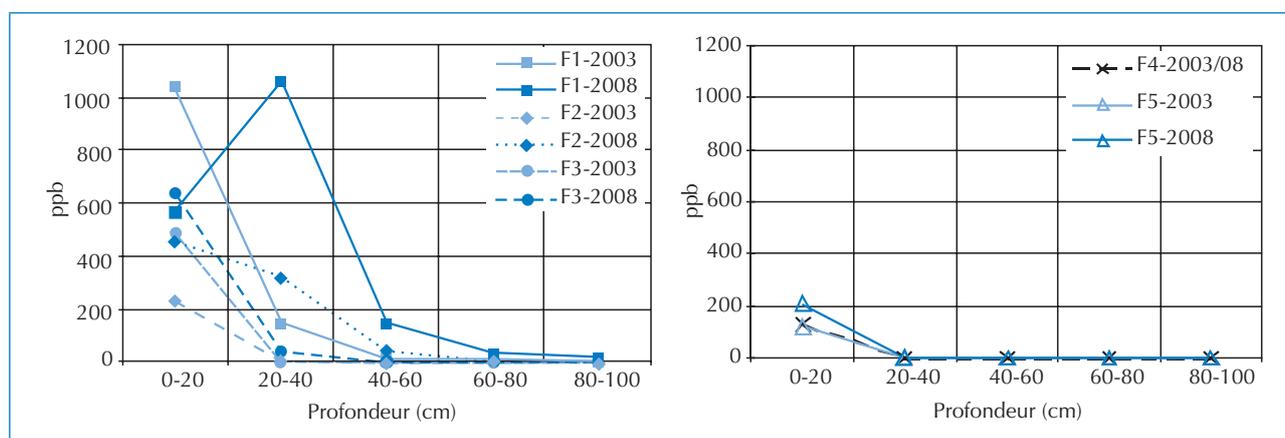
LA PÉDOLOGIE

L'azote minéral total (NO_3^- et NH_4^+) des sols est toujours plus faible dans la partie aval du polder la plus longtemps inondée pendant les submersions écologiques (figure 4). Ce résultat est à relier au processus de dénitrification dans des sols hydromorphes réducteurs qui existaient avant la canalisation (1970) et qui se sont maintenus même après l'arrêt des inondations. On note une faible augmentation de l'azote entre 2003 et 2006, mais une nette diminution en 2007 dans tous les sols (figure 7), ce que nous expliquons par les conditions climatiques des deux années 2006 et 2007 plus humides que les précédentes, plus que par les événements hydrologiques (les stocks ont baissé au printemps avant la crue

d'août 2007). L'accumulation du phosphore dans les sols ne montre qu'une faible augmentation depuis 2003. Le risque de pollution des sols par les micropolluants précités reste faible. Cependant on observe une augmentation des HAP entre 2003 et 2008 (figure 8).

LA BIOLOGIE

Le suivi des compartiments biologiques montre quelques modifications. L'apparition d'une nouvelle espèce d'amphibiens, la grenouille rieuse, *Pelophylax ridibundus* (un individu observé dans une mare du polder) pourrait résulter des mises en eau. Les populations importantes de triton crêté et de grenouille agile, espèces typiques de la bande rhénane, se maintiennent.



▲ Figure 8 – Variations des concentrations en HAP : a) dans trois types de sols du secteur interne à la digue des hautes eaux ; b) dans les deux types de sols du secteur externe, en 2003 et 2008 (Party, 2008, modifié, d'après des analyses du CAR).

La composition floristique des cours d'eau et des mares a globalement peu évolué. On note toutefois que si les cours d'eau gardent un statut trophique mésotrophe à eutrophe⁷, la répartition des communautés montre quelques changements : ainsi certains *Giessen* passent du statut eutrophe en 2003 à mésotrophe en 2008 (cas du Langgiessen), et de mésotrophe à eutrophe pour certains tronçons (cas du Kaltergiessen). Les communautés mésotrophes qui caractérisent les zones d'échange se sont maintenues dans le tronçon amont du Schutzengiessen. Au sein des communautés de poissons, la densité des populations d'anguille a diminué et la petite population de truites présente en 2003 a disparu, sans que l'on ait pu observer pour l'instant une apparition d'espèces rhénanes et/ou une augmentation de la densité. Les peuplements de macro-invertébrés benthiques indiquent une amélioration de la qualité hydrobiologique depuis l'état initial pour l'ensemble des stations suivies. La faune benthique des *Giessen* est diversifiée et tous les types nutritionnels sont représentés.

Des investigations de l'état phytosanitaire montrent une amélioration, mais celle-ci est également probablement due aux conditions climatiques favorables de 2006 et 2007.

L'étude de la végétation terrestre montre des changements nets de la flore herbacée dans la pointe aval du polder. Ces observations corroborent le développement de sols hydromorphes constaté dans le secteur le plus inondable (Sol Conseil, 2008). Les groupements forestiers, dominés et structurés par les ligneux, n'ont pas pu évoluer en seulement cinq ans.

Conclusion

Après la construction des ouvrages et d'inévitables adaptations et réglages, la gestion technique des différents modes de mise en eau du polder d'Erstein, bien que délicate, est parfaitement bien maîtrisée par le gestionnaire.

Concilier écrêtement des crues et objectif de préservation/restauration d'écosystèmes alluviaux remarquables dans un contexte à fortes contraintes hydrauliques, apparaît donc, dans une certaine mesure, comme réaliste. Pour en évaluer les bénéfices, notamment écologiques, un suivi scientifique détaillé, comprenant les divers compartiments de l'hydrosystème fluvial, est indispensable. Pour l'heure, ce sont le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique

(écoulements superficiels, battements de nappe, échanges rivière nappe...) et la physicochimie qui montrent les évolutions les plus sensibles. Au niveau biologique, les mises en eau n'ont généré que relativement peu de changements de structure et de composition des communautés. Logiquement, ce sont les communautés aquatiques (flore, macro-invertébrés) des *Giessen* qui présentent les plus grands changements. Les écosystèmes terrestres, très structurés par les ligneux, se caractérisent par une plus grande inertie aux changements du biotope. Les réponses des communautés animales exploitant les habitats forestiers seront donc différées d'autant.

Comme la fin 2008 clôture la durée du suivi scientifique, l'ensemble des résultats obtenus, beaucoup plus détaillé que les observations présentées ici, sera bientôt disponible. Sur cette base, les équipes participant au suivi scientifique formuleront des recommandations visant à optimiser la gestion du polder.

Il est cependant d'ores et déjà possible de dégager quelques pistes : (i) il est clair que les améliorations fonctionnelles seront d'autant plus perceptibles à l'avenir que la fréquence et la durée des mises en eau seront élevées, quitte à dépasser les prévisions faites dans l'étude d'impact et/ou imposées par la réglementation actuelle du fonctionnement du polder. Concernant les submersions écologiques, l'objectif est évidemment de retrouver une fréquence d'inondation la plus proche possible des conditions d'un hydrosystème fluvial fonctionnel, les limitations liées à la grande faune devant être considérées comme secondaires, même si le gestionnaire porte à cette question une attention particulière (groupe de travail grande faune). La faune par ailleurs s'accommode parfaitement des inondations dans les sites qui sont restés inondables, comme les îles du Rhin (Rhinau, Gerstheim, Strasbourg...); (ii) il serait nécessaire de poursuivre le suivi sur le long terme, éventuellement sous une forme allégée à définir. Cinq ans paraissent en effet trop courts pour évaluer l'ensemble des modifications induites par une restauration telle que celle menée dans le polder d'Erstein (écosystèmes terrestres...) et en tirer le maximum d'enseignements pour la gestion, en termes de potentialités mais aussi de limites (Mitsch *et al.*, 2005); (iii) à cette condition, le suivi scientifique de ce polder sera également susceptible de contribuer à la définition du bon potentiel écologique pour une masse d'eau fortement modifiée comme le Rhin canalisé. □

7. Le statut trophique d'un cours d'eau définit la quantité de matière organique produite en fonction des apports en azote et phosphore : il est mésotrophe s'il est moyennement riche en éléments nutritifs, modérément acide et induisant une activité biologique moyenne riche en éléments nutritifs ; il est eutrophe quand il est non acide et permet une forte activité biologique.

Remerciements

Le suivi scientifique du polder d'Erstein a été financé par Voies navigables de France (Service de la navigation de Strasbourg), avec des fonds mis à disposition par l'Allemagne. Il a été coordonné scientifiquement par Madame le Pr. Michèle Trémolières et administrativement par DENNY-Consultant. Le détail des résultats du suivi est fourni dans des fiches d'ores et déjà disponibles sur demande sous forme d'un CD rom pour les années 2003-2006, sous remerciements.

Résumé

Après une brève présentation du Rhin supérieur et de ses aménagements, cet article présente les caractéristiques techniques et les modalités du fonctionnement du polder d'Erstein, un bassin de rétention de la rive française. Il dresse ensuite un bilan technique et synthétise de premiers résultats du suivi scientifique interdisciplinaire après cinq ans de fonctionnement du polder. Les améliorations écologiques observées concernent essentiellement l'hydrologie, l'hydrogéologie et la physicochimie, et (encore) assez peu la biologie. Sur cette base, de premières propositions pour la gestion future ont pu être formulées.

Abstract

After a brief presentation of the Upper Rhine River and its engineering works, this paper presents the technical characteristics of the Erstein polder, a technical feedback and some results of the interdisciplinary environmental monitoring after the five first years of functioning. The observed ecological benefits concern mainly hydrology, hydro-geology and chemistry of waters. On this basis, some preliminary recommendations are proposed for the future management of the polder.

Bibliographie

AMOROS, C. et al., 2005, Flood scouring and groundwater supply in rehabilitated side-channels of the Rhône River, France : sedimentation and aquatic vegetation response, *Arch. Hydrobiol.*, Suppl. 155/1, n° 4, p. 147-167.

BORNETTE, G. et al., 1998, Aquatic plant diversity in riverine wetlands : the role of connectivity, *Freshwater Biology*, n° 39, p. 267-283.

BRAVARD, J.-P. (Ed.), 2000, *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie*, Sedes, 287 p.

CARBIENER, R., 1970, Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe occidentale : la forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé rhénan (*Fraxuni-Ulmetum* Oberd. 53). Intérêt écologique et biogéographique. Comparaison à d'autres forêts thermophiles, *Vegetatio*, XX, n° 1-4, p. 97-148.

CARBIENER, R., 1983, Le grand Ried Central d'Alsace : écologie et évolution d'une zone humide d'origine fluviale rhénane, *Bulletin d'écologie*, 014, n° 4, p. 249-277.

Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin, 1977, *Le bassin du Rhin*, Monographie.

DILLMANN, E., 1995, *Écrêtement des crues du Rhin. Polder d'Erstein. Etude d'impact. Voies Navigables de France*, Service de la Navigation de Strasbourg, 459 p. + ann.

DISTER, E., 1992, La maîtrise des crues par la renaturation des plaines alluviales du Rhin Supérieur, *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, 1/1992, n° 824 « Espaces Naturels Rhénans », p. 73-82.

GALLUSSER, W.-A., SCHENCKER, A. (eds), 1992, *Die Auen am Oberrhein. Les zones alluviales du Rhin supérieur*, Birkhäuser, 192 p.

LAMERS, L.-P.-M. et al., 2006, Biogeochemical constraints on the ecological rehabilitation of river floodplains, *Hydrobiologia*, n° 565, p. 165-186.

MAIRE, G., SANCHEZ-PEREZ, J.-M., 1994, *Étude hydrogéomorphologique de la partie orientale du polder d'Erstein*, Université Strasbourg 1, CEREG, 49 p.

MITSCH, W.-J. et al., 2005, Creating riverine wetlands : Ecological succession, nutrient retention, and pulsing effects, *Ecological Engineering*, n° 25, p. 510-527.

MOLEN VAN DER, D.-T., BUIJSE, A.-D., 2007, Benefits of lowland river-floodplain rehabilitation (the Rhine, the Netherlands), in : *Floodplain protection, restoration and management. Why and How ?*, TRÉMOLIÈRES, M., SCHNITZLER, A. (eds), Tec & doc Lavoisier, p. 201-210.

OLIVIER, J.-M. et al., 2007, *Analyse fonctionnelle des systèmes restaurés, développement de modèles prédictifs utilisables en restauration fluviale. Suivi scientifique du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, période 2003-2006*, Rapport à l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse, la Compagnie nationale du Rhône, la Délégation de Bassin Rhône Méditerranée & Corse, la Région Rhône-Alpes.

PARTY, J.-P., 2003, *Mission de suivi scientifique du polder d'Erstein*, Fiches 1026 – Suivi pédologique du site. Qualité des sols, SOL-CONSEIL, 20 p. + ann.

PARTY, J.-P., 2008, *Mission de suivi scientifique du polder d'Erstein*, Fiches 2026 – Suivi pédologique du site. Qualité des sols, SOL-CONSEIL, 18 p. + ann.

ROECK, U., 2008, *Mission de suivi scientifique du polder d'Erstein*, Fiche 2027 – Qualité des sédiments. Facteur chimique, CAR, 61 p. + ann.

SCHMITT, L., 1995, *Approche méthodologique pour une restauration des anciens bras du Rhin*, mémoire de maîtrise, UFR de Géographie de Strasbourg, ULP, CEREG URA 95 CNRS, 73 p. + ann.

SCHMITT, L. *et al.*, 2007, Complémentarité entre typologies hydro-géomorphologique et biologique de rivières dans l'hydrosystème fluvial ello-rhénan français, in : *Floodplain protection, restoration and management. Why and How ?*, TRÉMOLIÈRES, M., SCHNITZLER, A. (eds), Tec & doc Lavoisier, p. 123-136.

SCHOLZ, M. *et al.*, 2008, *Floodplain restoration by dike relocation along the Elbe river and the need to monitor the effects*, in : ECRR international conference Venice San Servolo, 16-21 June 2008.

TRÉMOLIÈRES, M. *et al.*, 1993, The exchange process between river and groundwater on the Central Alsace floodplain (Eastern France). I. The case of the canalised river Rhine, *Hydrobiologia*, n° 254, p. 133-148.

UNION EUROPÉENNE, 2000, *Directive 2000. Conseil du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Projet commun approuvé par le comité de conciliation prévu à l'article 251, paragraphe 4, du traité CE.*

VIESER, H. *et al.*, 1999, *Auswirkungen der ökologischen Flutungen der Polder Altenheim. Ergebnisse des Untersuchungsprogramms 1993-1996*, Materialien zum Integrierten Rheinprogramm, Band 9, Lahr : Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein Baden-Württemberg.