

Hydroacoustique et poissons migrateurs amphihalins : analyse innovante de leur dynamique migratoire

La mise en service d'un ouvrage hydraulique a des impacts sur le milieu aquatique et ses peuplements qu'il est nécessaire de contrôler. À partir de l'étude de suivi de la migration des saumons atlantiques nécessitée par l'installation d'un nouveau barrage fluvial en baie du Mont-Saint-Michel, cet article nous démontre comment l'esprit d'innovation et la capacité de collaboration entre acteurs du territoire, chercheurs et bureau d'études ont permis de monter un projet de recherche finalisé et de mettre en œuvre une technologie innovante.

Le contexte et les enjeux de la continuité

Historique du projet, des travaux et du programme de suivi

Déclarée d'utilité publique en 2003, l'opération de rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel (encadré ①) a deux objectifs majeurs qui ont été fixés lors d'un comité interministériel en 1995 : rétablir et pérenniser le caractère maritime du Mont dans un périmètre de 1 à 2 km autour du rocher, et revaloriser l'accueil et l'approche des visiteurs en rendant à la marée l'espace proche du Mont occupé par une digue-route et des parkings.

L'atteinte de ces objectifs a impliqué la réalisation d'ouvrages hydrauliques (installation d'un nouveau barrage sur le Couesnon, augmentation de la capacité de stockage du fleuve par des travaux de creusement et curage, remplacement de la digue-route historique par un ouvrage avec pont) et de structures d'accueil. Les premiers travaux ont commencé en 2005. Ils sont aujourd'hui sur le point de s'achever.

La construction d'un nouveau barrage, en remplacement de l'ouvrage à portes à flot, s'est échelonnée entre 2006 et 2009. Cet ouvrage réversible permet le stockage temporaire des entrées marines dans le bief fluvial du Couesnon (encadré ② ; figure ①) et leur restitution biquotidienne dans son bief maritime par lâchers d'eau progressifs, afin de participer au curage naturel des abords du Mont-Saint-Michel. Il comporte huit passes de 9 m équipées chacune d'une vanne secteur et de deux écluses à poissons de part et d'autre de l'ouvrage.

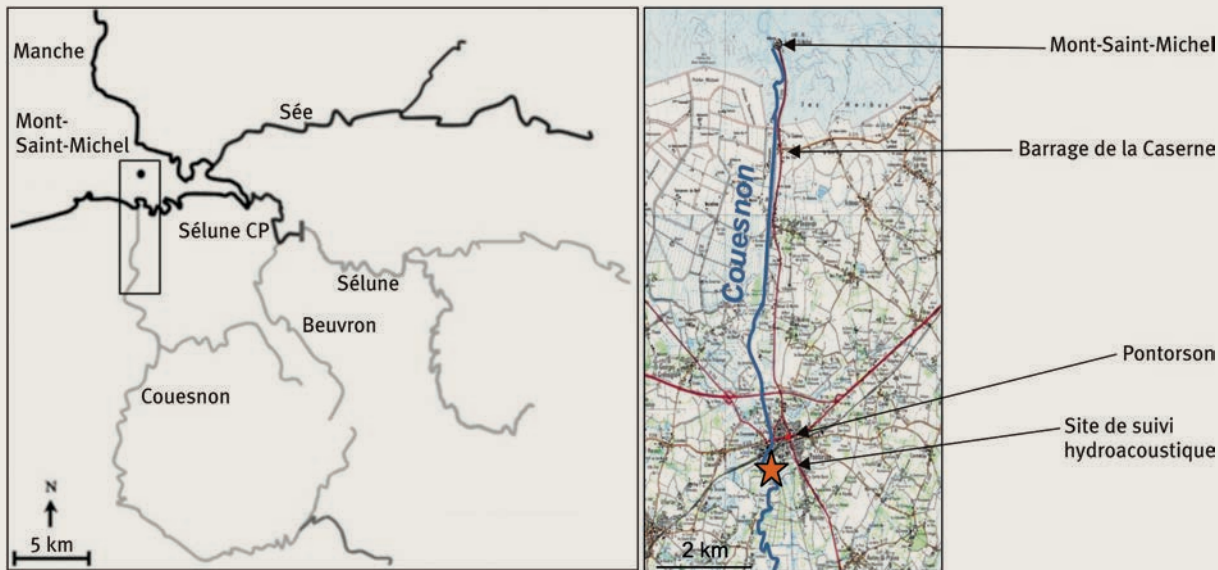
Cette opération d'aménagement intègre un objectif de haute qualité environnementale et paysagère¹, tout en s'inscrivant dans un cadre réglementaire structurant lié à la préservation de la richesse du patrimoine naturel du site. Ainsi, un programme de suivi a été défini par les autorisations inter-préfectorales de 2003. Celui-ci doit accompagner l'opération sur le long terme, en phase de chantier et ensuite en phase d'exploitation des ouvrages. Il est constitué de nombreuses études hydrosédimentaires, physico-chimiques, faunistiques et floristiques.

1. À noter que la baie du Mont-Saint-Michel est classée au patrimoine mondial de l'Unesco, est visée par la Convention de Ramsar et est intégrée au réseau Natura 2000 (zone de protection spéciale et site d'intérêt communautaire). Elle est reconnue comme l'un des écosystèmes les plus productifs au monde (Lefevre, 2002).

① LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

La maîtrise d'ouvrage de l'opération de rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel est assurée par le syndicat mixte Baie du Mont-Saint-Michel (désigné par le syndicat mixte dans la suite de l'article), regroupant les régions Basse-Normandie et Bretagne, le département de la Manche et les communes du Mont-Saint-Michel, de Beauvoir et de Pontorson. L'opération représente un budget d'environ 185 millions d'euros de financement public (valeur 2006), dont les contributeurs sont l'État, l'Europe, les deux régions (Basse-Normandie et Bretagne), les deux départements (Manche et Ille-et-Vilaine), les agences de l'eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne et le syndicat mixte.

1 Carte du territoire d'étude.



C'est dans ce cadre que se situe le suivi des effets du projet sur les poissons, en particulier sur le saumon atlantique, espèce d'intérêt communautaire, pour lequel le syndicat mixte a passé un marché public avec le groupement Asconit Consultants (mandataire)/Océanide, puis a soutenu le projet de recherche (Asconit Consultants/Inra) objet de cet article. L'article vise à montrer comment l'esprit d'innovation et la capacité de collaboration des partenaires a permis d'aller au-delà de ce que permettait un contexte de marché public, en mettant en œuvre un projet de recherche et développement et testant une innovation technologique.

Les enjeux de la continuité écologique des rivières

Au-delà des enjeux propres au Couesnon, cette démarche, avec les extensions que l'on verra plus loin sur la Sélune, s'inscrit dans le cadre de la restauration de la continuité écologique des rivières pour rétablir la libre circulation des espèces, imposée par les législations européennes (Directive cadre sur l'eau, 2000) et nationales (Loi sur l'eau, 2006 ; Grenelle Environnement, 2007). Les barrages et seuils non franchissables² constituent en effet des obstacles aux déplacements des individus, ce qui réduit l'accès des espèces à des zones vitales ou fragmente les populations. Pour les poissons migrateurs amphihalins (dont le cycle de vie comporte un passage obligatoire en eau douce et en mer), les ruptures régulières dans la continuité écologique du Couesnon causées par les phases d'ouverture et fermeture des vannes du nouveau barrage peuvent se traduire par une perturbation des échanges d'individus de la baie vers les eaux douces du fleuve. La baie du Mont-Saint-Michel est l'exutoire de plusieurs cours d'eau sur lesquels évolue une seule et même population de saumons atlantiques (*Salmo salar*), parmi lesquels le Couesnon, dont la connectivité estuarienne est susceptible d'être limitée par la présence du barrage de la Caserne, et la Sélune, à

2. Sur le seul bassin Seine-Normandie, plus de 12 000 ouvrages (barrages, seuils, buses) ont été recensés et sont potentiellement des obstacles à la continuité écologique et sédimentaire.

2 LE COUESNON

Le Couesnon, fleuve côtier de 100 km de long, prend sa source en Mayenne et se jette en baie du Mont-Saint-Michel, au sud du Mont (figure 1). Au dix-neuvième siècle, le Couesnon a été entièrement canalisé sur 5,6 km de l'anse de Moidrey jusqu'au Mont-Saint-Michel au moyen de digues en tange insubmersibles à l'amont et de cordons d'enrochements à l'aval. À 2 km du Mont, au lieu-dit La Caserne, un barrage à portes à flot a été construit et mis en service en 1969. Il avait pour fonction de soustraire à l'action de la mer les terrains en amont, stopper le comblement du lit du Couesnon par les sédiments marins et favoriser l'écoulement des eaux et le drainage des marais à partir de Pontorson.

l'estuaire libre, mais sur laquelle il est prévu à l'horizon 2019 d'aser les barrages infranchissables de la Roche-qui-Boit et de Vézins.

Les acteurs en présence

Le syndicat mixte Baie du Mont-Saint-Michel : une forte implication en matière d'innovation et de partenariats

L'opération d'aménagement du Mont-Saint-Michel implique de nombreux partenariats et collaborations et une multitude d'intervenants, ce qui rend sa mise en œuvre complexe et implique une démarche de concertation : une maîtrise d'ouvrage, plusieurs maîtrises d'œuvre, de nombreuses entreprises de travaux ou de services, des établissements à caractère scientifique, un délégataire privé, des architectes, les différents services de l'État, les acteurs locaux...

La très grande qualité paysagère du site et la volonté de mise en valeur du monument, alliées à l'objectif principal de fonctionnement hydraulique des aménagements, ont conduit à certaines innovations dans la conception ou la réalisation des ouvrages.

En matière de suivis, plusieurs partenariats de recherche ont été montés depuis 2006. En particulier, deux doctorats consécutifs, encadrés par le laboratoire de géomorphologie de l'université de Caen, ont porté sur les évolutions morphosédimentaires autour du Mont-Saint-Michel, de 2006 à 2011. Les implications opérationnelles de ces travaux s'inscrivaient parfaitement dans le cadre du besoin de connaissance et de suivi des effets du rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel.

▶ De même, une convention de partenariat pour la recherche lie depuis 2012 le syndicat mixte à deux établissements publics, l'université de Caen et le CNRS. Ceux-ci sont réunis dans le cadre d'un groupement d'intérêt scientifique qui a pour mission le contrôle par laser aéroporté des risques environnementaux côtiers. Via cette collaboration, le syndicat mixte peut disposer de données topographiques très haute résolution de la zone d'influence du projet.

Un bureau d'études : Asconit Consultants

Bureau d'études et de conseil d'environ cent soixante personnes, spécialisé dans la gestion des milieux naturels, tout particulièrement aquatiques, et l'aménagement durable des territoires, Asconit Consultants développe une activité très importante de recherche et développement (Lefrançois *et al.*, page 62 de ce numéro).

Deux équipes de l'Inra

Reconnu comme centre d'expertise des écosystèmes aquatiques et de la biologie des populations, particulièrement des espèces amphihalines migratrices dont le saumon atlantique, l'Inra de Rennes (unité mixte de recherche « Écologie et santé des écosystèmes », J.-L. Baglinière, D. Ombredane, J.-M. Roussel) a été le principal partenaire du projet. Toutefois, l'appui de J. Guillard (Inra de Thonon - unité mixte de recherche CARRTEL) a été requis compte tenu de son expertise dans le domaine de l'hydroacoustique et de l'échosondage.

Le projet de recherche et sa genèse

Afin de réaliser l'étude pluriannuelle (2009-2013) de suivi de la faune pisciaire et de la remontée des saumons confiée par le syndicat mixte, Asconit Consultants a proposé d'utiliser la détection par hydroacoustique (encadré ③). Ce choix était justifié par les contraintes techniques et une bonne connaissance des enjeux locaux qui excluaient la mise en œuvre de techniques traditionnelles d'étude de la dynamique migratoire des saumons (captures au filet maillant proscrites pour ne pas nuire à l'intégrité physique de ces poissons, vidéo comptage inopérable au regard de la turbidité du fleuve...). Cette approche relevant de la recherche appliquée était alors déjà fréquemment utilisée en mer et en lac pour repérer les bancs de poissons et quantifier leur biomasse, mais plus rarement dans les milieux de faible profondeur, en France tout au moins (nombreuses références dans l'étude des salmonidés migrateurs en Amérique du Nord et en Scandinavie notamment). C'est là que se situe l'innovation technologique, mais celle-ci n'a été rendue possible que par la capacité des partenaires à trouver des solutions aux multiples problèmes administratifs et financiers rencontrés.

③ LA DÉTECTION PAR HYDROACOUSTIQUE

Un échosondeur émet des ondes qui diffusent dans le milieu aquatique, puis réceptionne les échos renvoyés par tout objet impacté par ces ondes. L'interprétation des caractéristiques des échos reçus permet d'acquérir de nombreuses informations sur les cibles (forme, vitesse et orientation du déplacement, comportement de migration...) grâce notamment à l'intensité du signal. L'étude a été conduite avec un sondeur SIMRAD EY500, et une caméra acoustique Didson (technologie plus récente), ainsi que le logiciel Sonar5-Pro® pour le traitement des données.

Asconit Consultants avait acquis l'expérience d'utilisation de cette technique en milieu lacustre dans le cadre d'une thèse encadrée par l'Inra de Thonon (Vergès, 2008), et pouvait bénéficier d'un appui technique et méthodologique des équipes Inra de Rennes et Thonon. Dès fin 2009, Asconit Consultants et l'Inra ont souhaité s'appuyer sur cette étude pour monter un projet de recherche, incluant une thèse, ayant pour objectif d'analyser, de façon plus approfondie que ce qui était requis pour les seuls besoins du syndicat mixte, les stratégies, les caractéristiques et les dynamiques de migration des saumons atlantiques sur le Couesnon (en présence du barrage estuarien) et, de façon comparative, sur la Sélune (dont l'estuaire est libre). Ce projet devait permettre aussi de mettre au point un protocole reproductible pour des bassins versants présentant les mêmes problématiques ou les mêmes difficultés dans l'acquisition des données sur les migrateurs.

En mars 2010, François Martignac a été embauché par Asconit tout à la fois pour contribuer à l'étude et au montage du projet de recherche, et comme postulant à la thèse. Le coût du projet de recherche nécessitait la recherche d'un financement complémentaire venant abonder l'autofinancement par Asconit Consultants et la subvention ANRT³ attachée à une CIFRE⁴. Le projet a pris du retard et finalement, la subvention ANRT n'a pas pu être obtenue, François Martignac dépassant de peu les douze mois en tant que salarié d'Asconit. Après moult péripéties, le bouclage du projet reformaté a pu se faire en mobilisant l'autofinancement d'Asconit, des financements de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema) et de l'Agence de l'eau Seine-Normandie relatifs au suivi sur la Sélune (constituant un état des lieux des migrations avant le début des travaux d'effacement des barrages) et un financement du syndicat mixte, pour le suivi sur le Couesnon en 2014 et 2015.

Le programme de thèse est divisé en cinq étapes :

- mise en place et tests d'acquisition de la caméra acoustique Didson (Sélune) ;
- recueil des données de migration sur le Couesnon et sur la Sélune (SIMRAD et Didson) ;
- validation de la méthodologie d'identification des saumons atlantiques sur les données hydroacoustiques ;
- comparaison des performances des deux outils en termes de durée fiable d'enregistrement (crués, phase nocturne), de taux d'estimation des flux, d'activité de migration, d'identification d'espèces et d'estimation de taille, et donc validation de la réalité de l'innovation technologique ;
- mise en place d'un protocole reproductible pour des bassins versants présentant les mêmes problématiques et les mêmes difficultés dans l'acquisition des données sur les migrateurs.

Les résultats des cinq premières campagnes estivales démontrent la pertinence de l'utilisation de l'hydroacoustique pour décrire les populations de poissons migrateurs. Les propriétés physiques des échos des saumons lors de leur passage permettent une estimation de leur taille centimétrique (figure ②).

3. ANRT : association nationale de la recherche et de la technologie.

4. CIFRE : convention industrielle de formation par la recherche.

Ils mettent également en évidence l'adaptation comportementale des saumons du Couesnon aux nouvelles conditions hydrologiques dictées par le barrage estuarien. Lorsque le barrage procède à des lâchers d'eau, leur dynamique de migration se calque sur les mouvements d'eau pour minimiser leurs dépenses énergétiques. Lors des marées sans lâcher d'eau, les saumons retrouvent une dynamique migratoire similaire à celle observée dans des conditions naturelles et migrent préférentiellement de nuit (figure 2).

Les principaux pics de migration des deux fleuves sont concomitants et semblent répondre aux mêmes stimuli environnementaux. L'interprétation des résultats des deux premières campagnes sur le Couesnon a fait l'objet d'une publication scientifique dans *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (Martignac *et al.*, 2013).

Les résultats de ce programme de recherche témoignent des nombreux avantages que cette méthode novatrice présente face aux outils existants et communément utilisés dans le cadre de suivi de poissons migrateurs

(tableau 1). Bénéficiant des dernières innovations technologiques, les méthodes hydroacoustiques, perpétuellement en développement, comblent progressivement leurs lacunes et permettent de collecter de précieuses informations là où d'autres outils atteignent leurs limites.

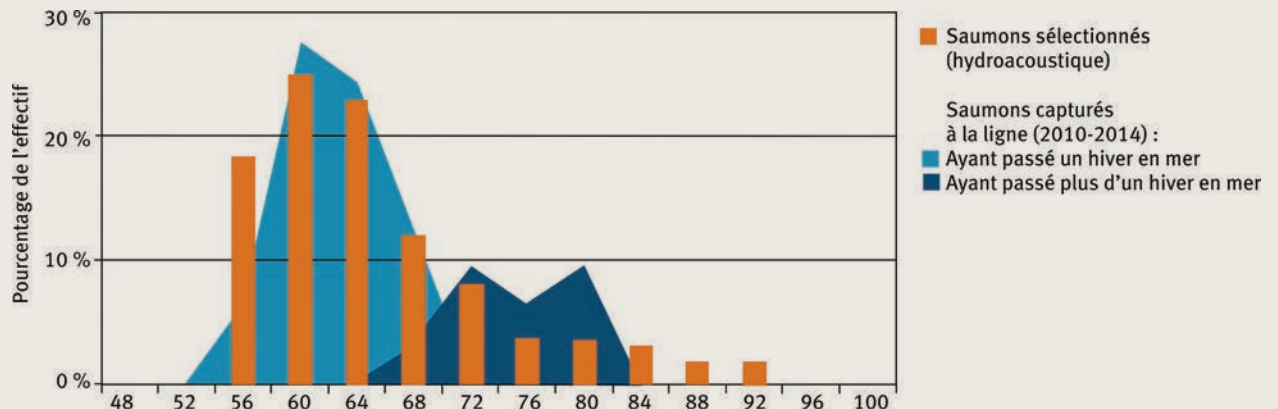
La plus-value de la démarche et les enseignements à en tirer

La plus-value du projet de recherche et de la thèse

Chacun des partenaires individuellement a tiré et tire avantage de cette démarche :

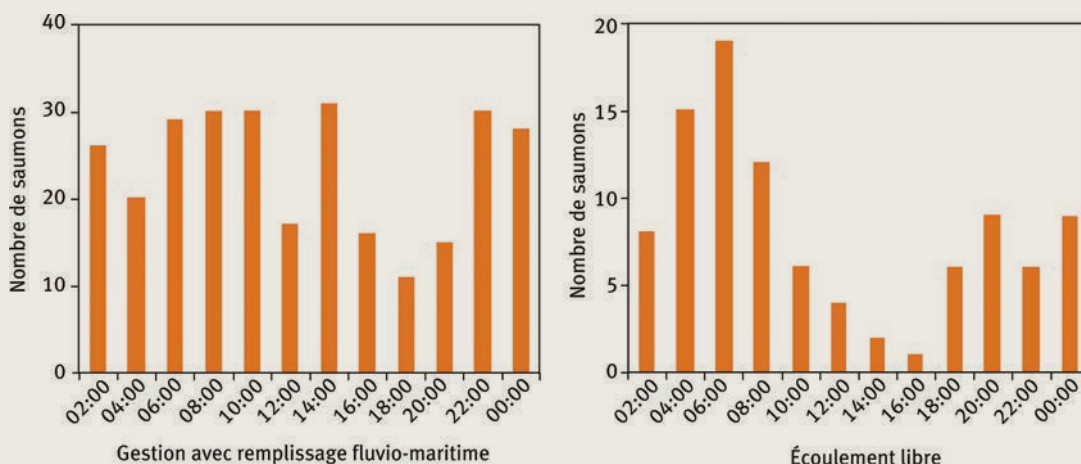
- au-delà de la réponse à ses seules obligations réglementaires, le syndicat mixte bénéficie d'une connaissance beaucoup plus riche de son territoire ;
- Asconit acquiert un savoir-faire approfondi dans cette méthode innovante permettant de répondre à des problématiques sur lesquelles les marchés se développent ;
- l'Inra bénéficie de moyens humains et financiers accrus.

2 Distribution des tailles estimées des saumons identifiés sur les données acoustiques (n = 397) et des saumons capturés à la ligne sur le Couesnon lors des campagnes 2010 à 2014 en fonction de leur âge de mer (données CNICS*, n = 84).



* Sauvadet C., INRA, 1036 (U3E), Pôle Onema-Inra GEST'AQUA, CNICS.

3 Répartition des heures de passage des saumons du Couesnon en fonction des phases de gestion du barrage : à gauche, gestion avec remplissage fluvio-maritime (n = 283) ; à droite, gestion en écoulement libre (n = 97).



1 Comparaison des avantages et des limites des méthodes hydroacoustiques face aux outils communs de description des populations de poissons migrateurs en rivière (modifié d'après Martignac et al., 2015).

	Hydro-acoustique	Vidéo-comptage	Suivis télémétriques	Méthodes de capture (pêche, piégeage)
Minimisation de l'impact sur l'intégrité physique des poissons	+++	+++	-	-
Description du comportement naturel de migration	+++	+	++	-
Précision de la description morphologique des poissons	+	++	+++	+++
Identification des espèces	+	++	+++	+++
Estimation de l'abondance de la population	+	+++	-	-
Étude des traits d'histoire de vie (génétique, scalimétrie...)	-	-	+++	+++
Indépendance des conditions environnementales (turbidité, débits...)	+++	+	++	+
Minimisation du coût matériel	-	-	+	+++
Minimisation du coût humain	+++	+	+	-
Transposabilité	+++	-	+++	+++

Ces avantages sont amplifiés par la dynamique collective ainsi créée. Entre les partenaires, la logique de projet permet pleinement une co-construction/production, qui doit exister dans toute prestation de service, en particulier intellectuelle, comme le montrent les travaux en économie des services, mais qui est souvent inhibée par le contexte d'intervention, en particulier pour les marchés publics.

La mise en œuvre de la thèse a également permis la création d'une synergie entre le monde de la recherche à l'échelle nationale et internationale (Inra de Rennes et Thonon-les-Bains, Muséum d'histoire naturelle, *Natural Resources Wales*, Université d'Oslo) et celui des gestionnaires (syndicat mixte, Onema, agence de l'eau Seine-Normandie, SAGE, fédérations départementales de pêche Ille-et-Vilaine et Manche) ; synergie qui a alimenté la réflexion et enrichi l'analyse des données. Tout ceci a contribué à la faisabilité et à la qualité de l'innovation technologique.

Les enseignements

Plusieurs facteurs, de portée plus générale, expliquent l'incitation à l'innovation technologique et la réussite de cette démarche :

- le cadre réglementaire, ainsi que les enjeux spécifiques à des opérations d'aménagement emblématiques, sur le Couesnon, mais aussi la Sélune, ont eu des vertus incitatives ;
- forts d'une relation partenariale bien établie, Asconit et l'Inra ont œuvré avec ténacité pour faire émerger le projet, malgré les difficultés initiales, et ils ont bénéficié du soutien du syndicat mixte ;
- les trois partenaires sont animés par un esprit d'innovation et une grande ouverture à la recherche finalisée ;
- la confiance mutuelle et le pragmatisme ont permis de trouver ensemble des solutions satisfaisantes aux aléas

du projet et de le mener à terme, alors que fin 2011, l'abandon aurait été le choix le plus probable.

Enfin, le projet a donné un cadre pour envisager et construire une suite, si possible sous forme d'un projet collaboratif élargi à d'autres partenaires.

Il montre que, soutenu par un cadre réglementaire européen et national contraignant et des appuis financiers à l'échelle nationale et de bassin, le triptyque maître d'ouvrage/laboratoire de recherche public/bureau d'études est capable de nombreuses innovations utiles à la transition écologique. Toutefois, la course d'obstacles qu'a représenté ce projet montre que des adaptations du cadre général restent à trouver pour plus de réactivité, de fluidité et d'efficacité ; c'est là que résidera l'innovation organisationnelle attendue. ■

Les auteurs

François MARTIGNAC

Asconit Consultants / Inra – UMR Écologie et santé des écosystèmes
3 impasse Sirius – 44470 Carquefou – France

✉ francois.martignac@asconit.com

Audrey HEMON

Syndicat mixte Baie du Mont-Saint-Michel
16 route de la Caserne – 50170 Beauvoir – France

✉ a.hemon@rcm-mtstmichel.fr

Philippe BLANCHER

Asconit Consultants
Parc Scientifique Tony Garnier
6-8 Espace Henry Vallée – 69366 Lyon Cedex 07 – France

✉ philippe.blancher@asconit.com

Vue aérienne de l'estuaire du Couesnon en mai 2015. Le Couesnon canalisé, le barrage de la Caserne et les travaux engagés aux abords du Mont-Saint-Michel sont visibles de l'amont du fleuve vers la baie.

EN SAVOIR PLUS...

- LEFEUVRE, J.-C., 2002, La baie du Mont-Saint-Michel et ses bassins versants : un modèle d'anthrosystèmes, *La jaune et la rouge*, n° 575, mai 2002, dossier Océans et littoral, <http://www.lajauneetlarouge.com/article/la-baie-du-mont-saint-michel-et-ses-bassins-versants-un-modele-danthroposystemes#VXFqUVK&rk>
- MARTIGNAC, F., BAGLINIERE, J.-L., THIEULLE, L., OMBREDANE, D., GUILLARD, J., 2013, Influences of a dam on Atlantic salmon (*Salmo salar*) upstream migration in the Couesnon River (Mont Saint Michel Bay) using hydroacoustics, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n° 134, p. 181-187.
- MARTIGNAC, F., DAROUX, A., BAGLINIERE, J.-L., OMBREDANE, D., GUILLARD, J., 2015, The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology, *Fish and Fisheries*, 16(3), p. 486-510.
- VERGES, C., 2006-2008, *Caractérisation des métriques issues de l'échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre et conséquences pour l'évaluation de la qualité du milieu*, Thèse Université de Savoie, co-encadrement GUILLARD, J., GERDEAUX, D.