

Production et usages des modèles dans le cadre du PIREN-Seine, 1989-2016

Natalie Chong*¹, Céline Bonhomme¹, José-Frédéric Deroubaix¹, Régis Moilleron¹

¹LEESU, École des Ponts, Université Paris-Est Marne-la-Vallée

*natalie.chong@enpc.fr

Résumé

Depuis le début du programme, la modélisation a été un élément essentiel du PIREN-SEINE. En effet, les modèles sont des outils fondamentaux, utilisés par les chercheurs et les opérationnels non seulement pour approfondir leur compréhension scientifique du fonctionnement du réseau fluvial et des bassins versants dans leur ensemble, mais aussi pour aider les décisions de gestion à différentes échelles spatiales et temporelles. Néanmoins, il n'est pas facile de dire simplement qu'un modèle est utile seulement s'il est utilisé. En termes des politiques publiques, une analyse de cette relation nuancée entre « utilisation » et « utilité » dans le contexte du PIREN-Seine révèle une réalité beaucoup plus complexe, montrant par exemple, qu'il existe plusieurs types d'utilisations et d'utilités et qu'il n'est pas nécessaire qu'un modèle soit utilisé directement par un gestionnaire pour qu'il soit utile dans la conduite des politiques publiques. De fait on constate une grande diversité d'usages, certains modèles « éclairant » la prise de décision, sans forcément répondre à une question directement posée dans le cadre d'un plan ou d'un programme de gestion. De plus, l'utilisation et l'utilité d'un modèle sont fortement déterminées par un certain nombre de facteurs, tels que l'expertise de l'utilisateur ou son degré d'implication dans la modélisation. D'une capacité autonome des usagers à effectuer directement des simulations avec les modèles eux-mêmes et à susciter des développements complémentaires jusqu'à la possibilité de bénéficier indirectement de résultats de simulations conduites par ou pour d'autres partenaires, nos premières investigations mettent en évidence une grande diversité d'utilisations, d'usages et d'utilités. Sur la base de cette analyse préliminaire, nous proposons enfin de nouvelles pistes de recherche sur le rôle des outils de modélisation dans les politiques publiques à la fois dans le cadre du PIREN-Seine, en France et à l'étranger.

1 Introduction

Le présent rapport s'inscrit dans l'Axe 3 relatif à « La connaissance et devenir des territoires dans leurs bassins et leurs corridors hydro-écologiques ». Il vise à proposer une analyse des conditions de production et d'utilisation de modèles du PIREN-Seine au cours des 27 dernières années afin de comprendre le rôle qu'ils jouent ou pourraient jouer dans la conduite des politiques publiques dans le bassin de la Seine. Cette recherche permet de faire le lien entre les analyses produites dans l'Axe 1 et l'Axe 2. Cette recherche sur les modèles et leur utilisation contribue à l'objectif global de l'Axe 3 de construction d'une vision dynamique de la qualité de l'eau et des milieux en relation avec leur territoire.

1.1 Objectifs

Dans le but de fournir une compréhension globale de la production et de l'utilisation d'outils de modélisation dans le cadre du PIREN-Seine, ce premier rapport vise à identifier les modèles développés et utilisés dans le cadre du PIREN-Seine depuis le début du programme. Cette identification comprend une analyse de la manière dont les modèles ont été développés (et par qui), ainsi que de leur évolution (ou absence d'évolution). En identifiant les acteurs spécifiques impliqués dans le développement et/ou l'utilisation de ces outils de modélisation, un aperçu est donné quant à leur(s) utilisation(s) et leur(s) utilité(s) dans la connaissance et la gestion des milieux aquatiques dans le bassin de la Seine. Cependant nous ne prétendons pas à une totale exhaustivité concernant tous les développements de modèles qui ont eu lieu dans le cadre du PIREN-Seine. Notre connaissance se limite à ce stade aux modèles qui ont laissé une trace dans les rapports d'activité et la littérature issus des travaux du programme.

Pour procéder à cette identification, nous avons tout d'abord procédé à une revue de littérature autour des pratiques de modélisation et des usages des modèles dans le cadre de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques publiques. Cette revue de littérature avait pour objectif d'éclaircir d'un point de vue sémantique l'emploi des termes (modélisation, simulation, usages, utilisation, utilité...). La recherche conduite au cours de l'année 2015-2016 visait ensuite à proposer une vue globale des outils de modélisation développés au sein du ou en lien avec le PIREN-Seine. Cette vue globale de l'offre de modélisation supposait d'identifier et d'enquêter les chercheurs et les représentants d'institutions partenaires du PIREN-Seine. Enfin, nous proposons une esquisse de typologie des usages qui conduit à une théorie de l'utilité des modèles.

1.2 Méthodes

Une étude de cette nature exige, dans un premier temps, de mettre en œuvre une approche qualitative. Elle a reposé, d'une part, sur une revue de littérature (rapports d'activité et articles scientifiques principalement) et sur un travail d'analyse documentaire et, d'autre part sur des entretiens exploratoires. Ces méthodes ont été utilisées tout au long de l'étude et permettent de disposer de visions complémentaires des processus étudiés. La littérature scientifique et la littérature grise constituent un matériau rendant compte de l'histoire (partiellement) achevée tandis que les entretiens permettent de reconstruire l'histoire en train de se faire.

1.2.1 Revue de littérature

La revue de la littérature multidisciplinaire sert deux principaux objectifs : d'une part, caractériser les enjeux de la modélisation en général et d'autre part, identifier les enjeux qui accompagnent le développement et l'usage des modèles dans le contexte de partenariat entre chercheurs et praticiens dans le contexte du PIREN-Seine.

L'analyse de la littérature traitant de l'utilisation des modèles en général a donc permis de caractériser les enjeux auxquels sont confrontés les décideurs ayant recours aux modèles ou mobilisant des résultats de modélisations et leur rôle dans la conduite des politiques publiques. Certaines des questions soulevées dans cette littérature, comme par exemple les performances et les limites des modèles, ont été utilisées pour approfondir l'analyse du contexte du PIREN-Seine.

1.2.2 Travail documentaire

Riche de cette revue de littérature scientifique, nous nous sommes concentrés sur la littérature grise produite par le PIREN-Seine, en analysant une base comprenant plus de 700 documents. Cette analyse a consisté tout d'abord en une recherche par mots clés (« modèle », « modélisation », « model », et « modelling » par exemple) pour identifier les documents pertinents et recenser les noms des modèles en question. Dès lors qu'une liste préliminaire des documents a été établie, les documents ont fait l'objet d'un examen en profondeur afin d'en extraire les informations relatives au développement et à l'évolution des modèles, les questions auxquelles ils sont censés répondre ainsi que les cas dans lesquels ils sont utilisés.

Ce travail documentaire a été concerné les 27 dernières années. Cependant, s'il a permis d'identifier les modèles en question et d'avoir un premier aperçu de l'histoire de leur développement et de leur évolution, il n'était pas aisé d'identifier clairement les acteurs impliqués autour du développement et de l'utilisation des modèles notamment parmi les acteurs opérationnels. En particulier, les utilisateurs et les usages des modèles en fonction des programmes d'action (planification, projet d'aménagement, gestion des infrastructures, subventionnement des actions et des mesures territoriales) n'étaient jamais clairement mentionnés. De fait, une très grande majorité des documents font état du seul point de vue de la recherche et ne font pour ainsi dire pas référence à des politiques publiques ou à des prises de décision spécifiques. Il n'y a là rien d'étonnant, d'ailleurs, puisque le PIREN-Seine est, comme son nom l'indique, avant tout un programme de recherche.

Pourtant, dans la mesure où le PIREN-Seine se présente historiquement comme le premier programme à avoir cherché à associer scientifiques et opérationnels et, étant donné que cette analyse vise à comprendre le rôle des outils de modélisation dans la conduite des politiques publiques, il était clair que ce travail documentaire ne suffisait pas à « raconter toute l'histoire ». Pour cette raison, il était nécessaire d'approfondir l'analyse par une série d'entretiens « exploratoires » avec les différents acteurs autour du PIREN-Seine liés à la modélisation.

1.2.3 Entretiens exploratoires

Au cours des cinq derniers mois, 25 entretiens ont été menés avec les développeurs et les utilisateurs des outils de modélisation, à la fois des chercheurs et des opérationnels. Les entretiens, qui durent en moyenne de 1h à 1h30, et parfois beaucoup plus, ont été structurés autour d'un guide d'entretien. Ces questions ont été utilisées pour lancer la discussion et tout au long de l'entretien, de nouvelles questions ont été posées ou adaptées en fonction des réponses. L'histoire telle qu'elle se donne à voir dans les articles scientifiques ou dans la littérature grise du PIREN-Seine diffère largement de celle qui émerge des entretiens. Certains acteurs apparaissant dans la littérature scientifique comme des développeurs ou des utilisateurs de modèles témoignent, dans les entretiens, d'une place très réduite et même parfois d'une absence de rôle dans leur développement ou leur utilisation. Ainsi, Jean-Marie Mouchel, ancien Directeur du PIREN-Seine au cours de la phase 5, qu'on aurait pu spontanément classer, à la lecture des documents, comme un développeur du modèle PROSE, assure en entretien qu'il ne fait « qu'utiliser le modèle ». Cependant le rôle que cet acteur a pu jouer dans le transfert du modèle PROSE du champ scientifique vers les gestionnaires et notamment vers le Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne en fait un acteur au positionnement ambigu, entre développement et utilisation.

Les entretiens étant toujours en cours, le présent rapport se limite donc à des résultats préliminaires des premiers entretiens menés. À ce stade de la recherche, une majorité d'entretiens ont été menés avec les développeurs et les utilisateurs de modèles du côté de la recherche, ainsi qu'avec quelques-uns des principaux utilisateurs (directs ou indirects) du côté des partenaires opérationnels. Au cours des prochains mois, au moins 20 autres entretiens sont prévus.

2 Problématique

Au cours des trois dernières décennies, le développement des capacités de calcul et la production d'expertise sur le fonctionnement des milieux naturels ont conduit à l'essor d'un nombre important d'outils de modélisation (Robert M Argent, 2004, Even *et al.*, n.d., Liu *et al.*, 2008). Le développement de ces outils s'est accompagné d'une injonction croissante pour les gestionnaires des milieux ou des infrastructures de fonder leurs décisions et leurs politiques sur des bases et des données scientifiques (R. M. Argent *et al.*, 2009 ; Fletcher *et al.*, 2013 ; Nilsson *et al.*, 2008). Malgré l'offre d'outils de modélisation disponibles pour répondre aux questions de gestion de l'environnement, dans le contexte spécifique du PIREN-Seine, les usages directs par les gestionnaires des modèles semblent relativement peu fréquents et souvent éphémères. Par exemple, nous avons souvent constaté que ces usages étaient souvent liés à la présence d'une personne particulière dans un service donné et que l'usage direct s'arrêtait au moment où cette personne effectuait une mobilité. Pourtant, si on ne se limite pas aux usages directs, la situation apparaît moins évidente et l'analyse suivant donne à voir une réalité beaucoup plus complexe.

Il n'est pas facile de dire simplement si un modèle est utilisé ou pas, chacun des interviewés ayant une compréhension différente de « l'utilisation ». Les acteurs concernés par les modèles peuvent en effet utiliser les modèles à des fins différentes et leurs utilisations prennent par conséquent des formes différentes selon leurs besoins. L'utilité d'un modèle ou d'un résultat d'une simulation pourra par conséquent prendre plusieurs formes en fonction de chaque type d'acteurs.

Le PIREN-Seine est un lieu qui autorise plusieurs types d'interactions entre les « développeurs » et les « utilisateurs » des outils de modélisation. Les simulations que permettent ces outils peuvent en effet servir, tantôt à évaluer certaines mesures commandées par une réglementation nouvelle, parfois à compléter certaines actions de « rapportage » des politiques entreprises, d'autres fois elles permettent des exercices de prospective ou plus simplement, d'apprécier les enjeux émergents. Cependant, bien qu'ils partagent un intérêt commun concernant le futur de la qualité de l'eau du bassin de la Seine, chaque type d'acteurs doit réintroduire dans l'exercice de modélisation ses propres priorités, objectifs et motivations, déterminés par leur rôle spécifique dans la gestion du bassin. S'agissant des outils de modélisation, la situation propre à chaque acteur peut avoir une influence sur le développement, l'évolution, et l'utilisation (ou la non utilisation) d'un modèle.

Étant donné la diversité des usages et des fonctions attribuées à la modélisation, les définitions proposées ci-dessous cherchent à fournir une référence minimale commune sur laquelle se fonde cette analyse.

2.1 Définition du « modèle »

Avant d'entamer l'analyse, il est nécessaire d'aborder la question de ce que nous entendons par « modèle ». Selon les auteurs un modèle peut être beaucoup de choses, par exemple, une maquette, un modèle numérique, un modèle statistique, un modèle physique (Tomasoni, 2014). Bien qu'une définition définitive ne puisse être trouvée, quelques concepts clés peuvent être proposés à partir des différentes interprétations présentes dans la littérature.

Du point de vue du chercheur ou du développeur de modèles, « un modèle » peut être un outil utilisé pour synthétiser les connaissances, aider les chercheurs à comprendre les systèmes complexes. Il permettra alors de tester la cohérence globale des schémas conceptuels qui sont adoptés (Meybeck *et al.*, 1998). Cette définition suggère plusieurs idées sur la fonction d'un modèle, impliquant d'abord qu'en tant qu'« outil », il peut être utile pour l'action ou servir une finalité de connaissance. Cette définition implique tout à la fois une fonction de connaissances, d'aide à la compréhension des systèmes complexes, et une fonction « applicative », permettant le test de schémas conceptuels.

Cette fonction de compréhension des systèmes complexes est en partie absente des modèles stochastiques, dont l'objectif est bien de reproduire des mesures empiriques, mais dont les règles de fonctionnement ne représentent aucun processus physique. Cependant, jusqu'à présent dans le cadre du PIREN Seine, la priorité a plutôt été donnée au développement des modèles censés représenter des processus physiques même si, sur des questions précises, des modèles stochastiques ont parfois été utilisés (Latu, 2003) et il est possible que des modèles de ce type soient développés à l'avenir, notamment pour intégrer les aléas liés aux événements extrêmes par exemple.

« Un modèle » peut être une « représentation quantitative et sélective d'un objet, d'un phénomène ou d'un système susceptible d'être confronté à des observations empiriques » (Commenges *et al.*, 2014). Ici, la « représentation » n'implique pas forcément une représentation complète ou même précise, et elle suggère également qu'il existe des incertitudes inhérentes (Ford, 2009 ; Tomasoni, 2014), car il est souvent nécessaire de confronter les résultats de la modélisation à des observations empiriques avant d'être en mesure d'atteindre une certaine forme de validation (des processus représentés dans le modèle). En outre, dans la mesure où un modèle ne permet pas, surtout dans des milieux anthropisés, de reproduire la complexité des processus naturels (et de leurs interactions), il doit être considéré dans le contexte spécifique du processus ou du scénario modélisé. Une attention particulière devra être portée à l'échelle spatiale et temporelle, ainsi qu'au point de vue de la personne qui utilise les résultats ; cet ensemble de facteurs contribuant à définir le périmètre de validité du modèle (Tomasoni, 2014). La validité d'un modèle doit donc faire l'objet d'une évaluation et cette évaluation doit prendre en compte le point de vue de celui qui conçoit

ou qui va utiliser le modèle, les résultats pouvant être « bons » ou « mauvais » en fonction de la question posée et de l'observateur.

L'idée d'un modèle comme reflet ou représentation de la réalité implique une définition préalable de la réalité et des limites de cette réalité que l'on cherche à représenter. L'opération de modélisation suppose donc que l'on fixe des limites et des conditions limites (« boundary conditions ») pour définir ce qui est inclus et ce qui ne figure pas dans la représentation (Bonin, Dictionnaire passionnel de la modélisation urbaine, en cours de publication). Il est ainsi d'abord nécessaire pour le modélisateur de formuler une question précise ainsi que les hypothèses théoriques qui vont présider à l'exercice de modélisation, afin de lui donner un but (Tomasoni, 2014).

Par conséquent, indépendamment des différents types de modèles et des différentes fonctions qu'ils peuvent remplir, « un modèle » peut généralement être compris comme : *Une représentation ou un reflet de la réalité simplifié et sous une forme quantitative, qu'il s'agisse d'un objet, d'un phénomène ou d'un système. Il peut simuler également des variables de sorties en prenant en compte des lois statistiques entre les variables. Nonobstant les incertitudes, un modèle peut être un outil qui aide à la compréhension des systèmes complexes et à la synthèse des connaissances. Pour améliorer son utilité, un modèle doit avoir un objectif (une ou plusieurs questions spécifiques auxquelles il faut répondre), avec une méthode pour y parvenir. Il convient également de définir clairement ses limites. Un modèle ne fournit pas forcément une réponse définitive, et l'interprétation des résultats doit être prise en compte.*

2.1.1 Qu'est que c'est « un modèle du PIREN-Seine » ?

Au-delà de la compréhension générale de la modélisation et des modèles d'un modèle, il faut préciser ce que nous entendons lorsque nous faisons référence à un modèle du PIREN-Seine. Il s'agit là d'une question problématique car, ainsi que l'ont montré les entretiens, personne ne s'entend sur la propriété des modèles. En retraçant l'histoire des modèles développés et utilisés dans le cadre du PIREN-Seine, on constate que certains modèles ont été développés par des chercheurs ou des équipes de chercheurs à l'extérieur du PIREN, mais utilisés dans le cadre du PIREN. Certains modèles dont le code ou les équations mathématiques ont été créés en dehors du PIREN, sont considérés par certains comme des modèles ayant été développés au sein du PIREN, bénéficiant de l'expertise des membres du PIREN, des données, des financements, et grâce aux partenariats avec les opérationnels ; d'autres au contraire, considèrent que l'origine du code est déterminante pour décider de la propriété d'un modèle. Par conséquent, parmi les interviewés certains disent qu'il existe une dizaine de modèles du PIREN, tandis que d'autres n'en dénombre que quatre, et même certains interviewés remettent en cause l'existence même de modèles du PIREN-Seine.

Afin de fournir une définition plus inclusive, on considèrera donc comme modèle du PIREN-Seine « tous les outils de modélisation (ou même une partie) mentionnés dans une phase du programme, qui ont été développés ou utilisés à un moment ou à un autre par un chercheur impliqués dans le PIREN-Seine ». Dans ce contexte-là, un modèle simule des processus biophysiques ou chimiques en utilisant des équations mathématiques et des calculs numériques. Il peut simuler également des variables de sorties en prenant en compte des lois statistiques entre les variables. Enfin, nous incluons les outils de visualisation et de négociation car l'existence de tels outils peut faire que les modèles seront utilisés ou pas par le gestionnaire.

2.2 « Usage » versus « utilité »

L'objectif sous-jacent de cette analyse est de comprendre les utilisations des outils de modélisation afin de mieux comprendre leur utilité. Étant donné que ces deux termes sont très subjectifs, il est nécessaire d'apporter quelques précisions.

« L'utilité » est l'état dans lequel ou la condition à laquelle un modèle peut être utile tandis que « l'usage » désigne l'acte d'utiliser (Merriam-Webster, 2016). Si l'on retient cette définition, usage et utilisation sont synonymes et il convient de distinguer l'utilité de l'utilisation et de l'usage. En effet, la corrélation entre l'utilisation et l'utilité d'un modèle n'est pas simple : on ne peut pas dire d'un modèle qu'il est utile seulement s'il est utilisé. En fait, de nombreux modèles ne sont pas utilisés directement par les gestionnaires.

Autrement dit, ils ne font pas tourner le modèle eux-mêmes en y entrant eux-mêmes des données par exemple. Mais ils peuvent quand même être très utiles pour la gestion de nombreuses façons différentes. Il existe plusieurs types d'utilité qui peuvent être classés en trois catégories : (1) l'éclaircissement, (2) l'aide à la décision, et (3) l'aide à la négociation (*voir tableau 1*).

L'éclaircissement est la situation dans laquelle l'utilité d'un modèle repose sur sa capacité à approfondir notre compréhension d'un système d'un point de vue global ou relativement à une question spécifique. Cette situation correspond à l'utilisation la plus courante pour les chercheurs. Cette connaissance peut être utilisée également par les opérationnels, pour guider les décisions quotidiennes de gestion ou la planification à moyen ou à long terme en contribuant à une vision des tendances environnementales et les enjeux émergents.

Les modèles (et leurs résultats) peuvent ensuite être utilisés pour soutenir la prise de décision également au niveau de la gestion quotidienne ainsi que pour la planification, l'évaluation des actions, pour procéder à des exercices de prospective et des suivis de tendances, et pour la communication dans la production de rapports.

Enfin, les modèles peuvent également servir d'outils de négociation, en particulier pour soutenir les propositions ou projets, pour justifier les décisions, pour (ré)affirmer un certain rôle en tant qu'acteur dans le bassin, ou pour acquérir ou maintenir son pouvoir de négociation.

Ces types d'utilité ne sont pas indépendants et souvent coïncident.

<u>ÉCLAIRCISSEMENT</u>	<u>AIDE À LA DÉCISION</u>	<u>NÉGOCIATION</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Approfondir la compréhension générale - Informations spécifiques pour la gestion quotidienne et la planification (moyen et long termes) - Connaissance des tendances et des nouveaux enjeux 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion quotidienne - Planification (moyen et long termes) - Évaluation des actions - Prospectives, suivi des tendances - Communication, production de rapports et documents 	<ul style="list-style-type: none"> - Soutien aux propositions et projets - Justification des décisions - Affirmation du rôle - Renforcement du pouvoir de négociation




Tableau 1 : Les trois grands types d'utilité des modèles (d'après Clark et al., 2011, Nilsson et al., 2008, O'Mahony and Bechky, 2008)

De plus, l'utilité d'un modèle dépend de trois éléments : l'objectif, la pertinence, et la connaissance. Ces trois éléments jouent un rôle dans la détermination des possibilités d'utilisation un modèle (*voir figure 1*). L'objectif est l'ensemble des priorités que se fixe l'acteur ou l'ensemble des critères que l'acteur cherche à satisfaire. Autrement dit, ce qui est demandé au modèle, pourquoi et pour quoi faire. La pertinence concerne l'adéquation entre les processus modélisés et les enjeux important pour les acteurs. Autrement dit, la façon dont le modèle répond aux besoins spécifiques de l'utilisateur ainsi que l'importance accordée à ce qui est modélisé. Enfin, la connaissance se réfère à l'expertise et aux connaissances d'un usager, qui peut inclure leur formation et l'expérience qu'ils ont d'un modèle. Cela comprend leur capacité à effectuer directement des simulations avec les modèles eux-mêmes, à ajouter ou à modifier des composants, leur capacité à comprendre comment fonctionne le modèle, quelles données sont nécessaires à son fonctionnement, et enfin la façon de traduire et d'interpréter les résultats.

Cependant, il existe plusieurs types d'usages qui déterminent différentes formes d'utilité. Puisqu'il y a différents points de vue sur la question de l'utilisation, la section suivante tentera de fournir une certaine clarté sur ce que nous entendons par « usage » et sur les rapports entre les différentes formes d'utilité et les différents types d'usages.

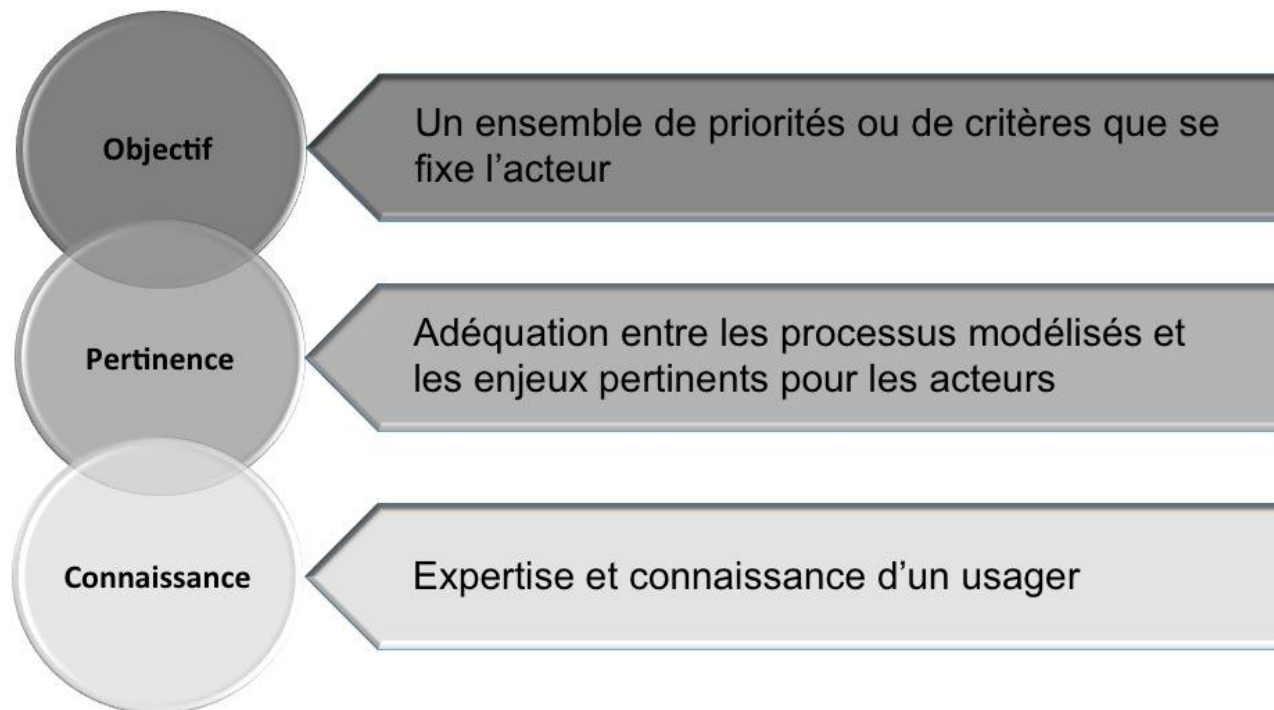


Figure 1 : Les trois éléments majeurs ayant une influence sur l'utilité d'un modèle

2.3 Les types d'usages

La question de l'utilisation n'est elle-même pas si simple, car il existe une grande variété d'usages. Nous en proposons une lecture selon un axe, déterminé par le niveau de participation de l'utilisateur. L'échelle proposée dans *tableau 2a* ci-dessous est basée sur les résultats préliminaires et ne doit pas être considérée comme définitive. Elle ne sert qu'à fournir une référence commune pour les besoins de cette analyse.

À un premier niveau qu'on qualifie ici de « Direct ++ », l'utilisateur est fortement impliqué dans la mise en œuvre des simulations avec le modèle, c'est-à-dire qu'il fabrique les données nécessaires ou bien qu'il utilise les données fournies et qu'il peut entrer ces données dans le modèle lui-même. Ayant été probablement impliqué dans le développement du modèle ou sachant exactement comment le modèle fonctionne, il est donc tout à fait capable d'effectuer des simulations avec les modèles lui-même, ainsi que d'apporter des modifications si nécessaire, tel que l'ajout d'un module. Dans la colonne « Direct+ », le niveau d'implication de l'utilisateur est encore très grand et il a une parfaite connaissance de ce qui est modélisé, peut-être même a-t-il contribué à l'élaboration du modèle. Il est capable d'effectuer des simulations avec les modèles lui-même, mais s'il veut faire des modifications, il doit en passer par le développeur. Dans la colonne « Direct », la participation de l'utilisateur n'est pas directement liée au développement du modèle lui-même mais il est en revanche plus préoccupé par les données d'entrées et la lecture des résultats. Il comprend ce qui est modélisé et peut même fournir une partie des données, mais c'est surtout dans l'élaboration de scénarios qu'il est impliqué. En revanche, il ne met pas en œuvre les simulations lui-même. Il est plutôt dans une position où il adresse des questions spécifiques aux modélisateurs. Finalement, la catégorie « Non-Direct » se réfère à un utilisateur nettement moins impliqué dans le processus de modélisation lui-même, mais qui peut encore trouver les résultats de la modélisation utiles (à sa cause). Si cet utilisateur peut comprendre ce

qui est modélisé, il ne pose en revanche pas de questions spécifiques à traiter par les modélisateurs. Il laisse les chercheurs faire leur travail de production des connaissances et de résultats qu'ils pensent pertinents pour le domaine, selon les logiques propres au champ scientifique. L'utilisateur peut alors décider de prendre ou de laisser de côté les résultats produits. Toutefois, les connaissances produites par le travail des modélisateurs contribuent encore à la connaissance générale du domaine dans lequel ils travaillent. Cette échelle est appelée « échelle mobile » car les utilisateurs peuvent passer d'une catégorie à l'autre en fonction de leurs besoins, et peuvent même être présents dans plusieurs de ces catégories.

DIRECT ++	DIRECT +	DIRECT	NON-DIRECT
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je fabrique des données ou utiliser les données fournies ➤ Je rentre les données dans le modèle moi-même ➤ Je mis en œuvre des simulations ➤ Je peux apporter des modifications au modèle 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je comprends parfaitement ce qui est modélisé ➤ Je fabrique des données ou utiliser les données fournies et les rentre ➤ Je mis en œuvre des simulations moi-même ➤ Je contribue à le développement et l'évolution du modèle 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je comprends ce qui est modélisé ➤ Je fournis les données aux modélisateurs ou je demande des questions spécifiques aux modélisateurs ➤ Je participe à l'élaboration des scénarios ➤ Je ne mis pas en œuvre des simulations 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je n'ai rien à voir avec les modèles ➤ Je ne mis pas en œuvre des simulations ni demander aux autres de le faire ➤ La connaissances produites par la modélisation peut se diffuser dans la connaissance globale dans mon domaine




Tableau 2a : L'échelle mobile des utilisations

3 Résultats

De la première phase du programme jusqu'à aujourd'hui, on a pu dénombrer dans la littérature grise du PIREN-Seine un nombre important d'outils de modélisation. Nous comparons ensuite l'offre d'outils de modélisation avec la demande de modélisation et proposons notre propre interprétation des utilisations et de l'utilité des modèles pour les chercheurs et les partenaires opérationnels du PIREN-Seine.

Rappelons que dans ce rapport, les modèles du PIREN-Seine sont considérés comme « *tous les outils de modélisation (ou même une partie) mentionnés dans une phase du programme, qui ont été développés ou utilisés à un moment ou à un autre par un chercheur impliqués dans le PIREN-Seine* ».

3.1 L'offre de la modélisation

La capacité de caractériser facilement l'offre d'outils de modélisation du PIREN-Seine est rendue difficile pour deux raisons : le fait que personne ne soit réellement d'accord sur la propriété des modèles et le fait que

personne ne souscrive à une représentation complète des modèles produits et développés dans le cadre du PIREN.

Le recensement des modèles du PIREN-Seine dans plus de 700 documents donne une première impression d'outils de modélisation de plus en plus pléthoriques et d'une offre non clairement structurée. C'est le cas quand on prend en compte tous les modèles, les sous-modèles, les modules et les chaînes de modélisation. Par exemple, il existe des modèles qui simulent des processus hydrologiques ou hydrauliques, il existe des modèles qui simulent les processus biogéochimiques, il y a certains qui simulent le ruissellement, et d'autres qui tiennent compte des aspects agricoles (choix des cultures) ou économiques (influence de la fiscalité sur les activités). On trouve parfois dans cette offre de modélisation, plusieurs outils qui répondent à la même question, parfois à des échelles différentes. Au contraire certains modèles (ou « sous-modèles » ou « modules »¹) répondent parfois seulement à une partie d'une question posée, parce qu'ils ne simulent pas exactement les mêmes processus ou qu'ils ne prennent pas en compte les mêmes aspects ou la même échelle spatiale ou temporelle. La tentative pour structurer les modèles entre eux est loin d'être évidente dans la mesure où ces modèles peuvent interagir les uns avec les autres. Cependant, certains modélisateurs opèrent des regroupements parmi la trentaine d'outils recensés. Ainsi pour certains chercheurs l'offre est clairement structurée en grands types de modèles qui permettent d'intégrer la diversité des outils du PIREN. L'intégration de ces outils dans des chaînes de modélisation conçues pour répondre à des questions spécifiques est claire et rationnelle.

Les possibilités de caractériser cette offre constituent donc une question complexe dans la mesure où aucun des interviewés n'est d'accord sur la propriété des modèles produits ou développés au sein ou aux marges du PIREN-Seine. Alors qu'il est clair que certains modèles ont été développés par des équipes spécifiques, d'autres ont une histoire plus confuse, compliquée par le fait que les chercheurs peuvent présenter plusieurs identités en fonction de leur participation à différentes instances à l'intérieur ou l'extérieur du PIREN-Seine (Certains sont à la fois membres d'institut de recherche fortement tournés vers la recherche universitaire, d'associations telle que ARMINES dédiées à la valorisation industrielle de la recherche, et/ou de conseils scientifiques de certains des partenaires). Il faut par ailleurs ajouter à cette complexité le fait que le PIREN-Seine n'est pas une entité juridique autonome qui lui permettrait de déclarer la propriété des modèles ou de détenir une licence pour les modèles. Personne, parmi les interviewés ne souhaite d'ailleurs qu'il en soit ainsi. Au contraire, les interviewés manifestent une préférence pour un PIREN qui soit un lieu autorisant plusieurs types d'interactions entre ceux qui s'intéressent aux outils de modélisation tandis que les modèles restent « open source », tout le monde pouvant les utiliser sans payer de droits d'usage.

Afin de fournir une base à l'analyse, la classification suivante des outils de modélisation est proposée selon les processus modélisés. Comme il existe de nombreuses façons d'organiser ces modèles, cette liste n'est ni exhaustive, ni définitive : elle rend compte de la diversité des outils proposés par les chercheurs et éventuellement co-développés par les gestionnaires. Elle reprend l'ensemble des catégories proposées par les interviewés (aucun d'entre eux n'ayant spontanément proposé une classification regroupant l'ensemble de ces catégories)

¹ « Sous modèle » ou « module » sont les termes employés de manière indifférenciée par les interviewés pour désigner une brique fonctionnelle d'un modèle plus vaste (même si tous les interviewés ne s'accordent pas pour dire quels sont les modèles génériques et quels sont les sous-modèles ou modules).

Qualité de l'eau	Quantité d'eau	Biogéochimie	Prise en compte impact agricole	Aspects économiques	Prise en compte poissons	Outils de visualisation
PROSE	PROSE	PROSE	STICS	AROPAJ	ANAQUALAND	AIPresHume
RIVER-STRAHLER/ SENEQUE/ PYNUTS	RIVER-STRAHLER/ SENEQUE/ PYNUTS	RIVER-STRAHLER/ SENEQUE/ PYNUTS	MODCOU NEWSAM ...		ESPOIR	SEQUAMET SENEQUE ...
CAWAQS	CAWAQS	RIVE				
MODCOU	MODCOU	BARMAN ...				
RIVE	NEWSAM ...					
BARMAN ...						

Tableau 3 : Exemple de classification de l'offre de modélisation au sein du PIREN-Seine

En fonction de la question posée, de la manière dont elle est formulée, et de ce que le modèle est capable de simuler, il peut être nécessaire d'utiliser une chaîne de modélisation afin de comprendre comment les différents processus interagissent les uns avec les autres. Par exemple, une préoccupation croissante concernant la contamination par les nitrates sur les terres agricoles a conduit au chaînage du modèle agronomique STICS avec le modèle MODCOU afin de comprendre l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau en simulant le transfert vertical d'azote dans les eaux surface et souterraines (Gomez *et al.*, 2003). Si le regard ne se porte que sur ces deux outils de modélisation, ils apparaissent alors comme structurés de façon logique, conçus pour répondre à des questions spécifiques. Par contre, si la question porte sur le transfert de l'azote à grande échelle par le réseau hydrographique du bassin de la Seine ou, autre exemple, sur l'impact de l'azote sur les populations de poissons, d'autres outils de modélisation seraient dans ce cas adaptés et plusieurs combinaisons d'outils seraient possibles. Ainsi pour certains, l'offre n'est pas clairement structurée.

3.2 La demande de la modélisation

Si on compare l'offre d'outils de modélisation et la demande, deux tendances peuvent être observées : la demande peut avoir un impact majeur sur la vie (et la mort) d'un modèle, et il semble y avoir une corrélation inverse entre l'offre et la demande : si la demande détermine fortement l'offre, l'offre elle ne semble pas structurer la demande.

Dans notre analyse rétrospective des modèles du PIREN-Seine, il est évident que certains modèles apparaissent plus souvent que d'autres et notamment, PROSE, SENEQUE, STICS, et MODCOU. Ce n'est pas par hasard que ces modèles sont les plus développés et utilisés par les chercheurs et les opérationnels en raison d'une motivation très forte partagée par les deux parties. En revanche, il existe des outils de modélisation qui ont été créés et n'ont pas connu de développements ultérieurs en raison d'une demande insuffisante. Par exemple, l'outil AIPresHume été conçu comme un outil SIG permettant la visualisation des diverses pressions anthropiques dans le bassin ainsi que le calcul de bilans d'azote simplifiés. Bien qu'il ait été conçu pour l'utilisation par un large public de chercheurs et d'opérationnels, l'outil n'a jamais été utilisé en raison d'un manque de demande des deux côtés et il a donc été abandonné.

Concernant la corrélation inverse entre l'offre et la demande, elle semble évidente si l'on considère le nombre d'outils de modélisation par rapport au nombre d'utilisateurs. Cependant, cette vision change lorsque

l'on tient compte du fait que la demande n'émane pas seulement des opérationnels. Le PIREN-Seine est, à la base, un programme de recherche et une grande partie de la demande provient des chercheurs. Les premiers acteurs opérationnels interviewés le reconnaissent, sans que cela d'ailleurs ne leur pose de problème, le développement mais aussi l'utilisation de modèles est surtout le fait des chercheurs, certains d'entre eux ne développant pas de modèles mais pouvant susciter des développements pour répondre à des questions qu'ils se posent. La question des processus microbiens (de leur évolution dans le temps et en fonction de la qualité de l'eau) à l'œuvre dans le système Seine est ainsi une question qui traverse un grand nombre de modèles (PROSE, SENEQUE, RIVE...) qui intéresse non seulement les chercheurs modélisateurs mais aussi nombre de chercheurs ne développant pas de modèles.

3.3 Les usages et l'utilité des modèles du PIREN-Seine

Si l'on revient à l'échelle mobile des utilisations présentée ci-dessus (*voir tableau 2a*), il est évident que, dans le contexte du PIREN-Seine, les modèles sont utilisés de nombreuses façons et servent des fins différentes (*voir tableau 2b*).

L'utilisation de modèles par des chercheurs correspond principalement à la colonne « Direct++ ». Les questions traitées et la demande repose en grande partie du côté de la recherche. Cependant, même si le modèle n'est pas dans les mains des opérationnels, la connaissance produite par le modèle peut être quand même leur être utile. Par exemple, pour suivre les tendances sur l'impact du changement climatique afin de mieux gérer les événements extrêmes (exemple du couplage de modèles climatologiques avec des modèles hydrologiques, dont le modèle MODCOU, dans le cadre du projet GICC-RExHySS, (Agence de l'eau Seine-Normandie, Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine, 2011). Dans ce cas, les modèles peuvent aider à identifier les nouveaux domaines de recherche pour les chercheurs ainsi qu'à orienter la planification pour les opérationnels.

Dans la colonne « Direct+ », l'utilisateur est principalement un chercheur, mais peut être aussi un opérationnel, comme dans le cas de le SIAAP, lorsqu'il a accès aux données nécessaires et a l'expertise pour faire des simulations. Faisant preuve d'une plus grande implication dans le développement et l'évolution du modèle ainsi que sur les entrées et les résultats du modèle, l'opérationnel dans ce cas de figure dispose, à l'aide du modèle, d'un certain niveau de pouvoir de négociation, étant en mesure de justifier ses décisions, de soutenir des projets ou des propositions, et d'affirmer son rôle en tant qu'acteur dans le bassin. On peut citer l'exemple assez emblématique du SIAAP qui possède une expertise en interne pour l'utilisation quotidienne de PROSE, pour justifier la gestion de ses usines de traitement (et ses rejets dans le milieu) auprès de la police de l'eau (Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie), et procéder à des exercices de prospective dans le cadre de la révision du Schéma Directeur d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne. Le fait qu'ils influencent le développement et l'évolution de PROSE leur donne un certain pouvoir dans ce qui est modélisé ; pouvoir d'ailleurs renforcé par la capacité à effectuer directement des simulations avec le modèle eux-mêmes et de produire et d'utiliser les résultats comme ils le souhaitent.

DIRECT ++	DIRECT +	DIRECT	NON-DIRECT	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je fabrique des données ou utiliser les données fournies ➤ Je rentre les données dans le modèle moi-même ➤ Je mis en œuvre des simulations ➤ Je peux apporter des modifications au modèle 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je comprends parfaitement ce qui est modélisé ➤ Je fabrique des données ou utiliser les données fournies et les rentre ➤ Je mis en œuvre des simulations moi-même ➤ Je contribue à le développement et l'évolution du modèle 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je comprends ce qui est modélisé ➤ Je fournis les données aux modélisateurs ou je demande des questions spécifiques aux modélisateurs ➤ Je participe à l'élaboration des scénarios ➤ Je ne mis pas en œuvre des simulations 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Je n'ai rien à voir avec les modèles ➤ Je ne mis pas en œuvre des simulations ni demander aux autres de le faire ➤ La connaissances produites par la modélisation peut se diffuser dans la connaissance globale dans mon domaine 	
Éclaircissement		Négociation	Aide à la décision	Éclaircissement

Tableau 2b : L'échelle mobile des utilisations et de l'utilité des modèles PIREN-Seine

Pour l'usage « Direct », les travaux de modélisation sont principalement le fait des chercheurs ou modélisateurs en bureau d'étude qui répondent à une demande en provenance d'opérationnels. Même s'ils ne font pas tourner le modèle eux-mêmes, il s'agit encore d'un usage direct parce que les opérationnels participent à l'élaboration de scénarios et conservent donc une influence sur ce qui est simulé et ainsi également les résultats produits. La demande qui émane d'un acteur opérationnel a le plus souvent la forme d'une étude spécifique, comme par exemple lorsque l'Agence de l'Eau Seine-Normandie a besoin de scénario d'impact du changement climatique sur la ressource de l'eau ou encore lorsque l'Agence utilise STICS-MODCOU et MECENA pour évaluer l'état des pressions agricoles (nitrates et pesticides) sur les eaux du bassin.

La catégorie « Non-Direct » ne signifie pas que les modèles utilisés ne sont pas utiles pour les chercheurs et les opérationnels. Dans ce cas, les usages ont ceci de communs avec ceux de la catégorie « Direct++ », qu'ils reposent principalement du côté de la recherche. Cependant, alors que les modèles sont utilisés directement pour produire des résultats précis dans le cas des usages « Direct++ », dans ce cas-ci, l'implication d'un utilisateur opérationnel est plus passive. Ces utilisateurs opérationnels ne se préoccupent pas de la modélisation. Cependant, les connaissances produites peuvent encore avoir un impact direct par rapport à la prise de décision. Par exemple, Voies Navigables de France ou encore l'Établissement Public Territorial de Bassin Seine-Grands-Lacs ont typiquement des usages non directs de la connaissance résultant des modélisations hydrauliques développées au sein du PIREN-Seine. Ils sont par ailleurs pourvoyeur d'un nombre très important de données par exemple sur la bathymétrie en ce qui concerne VNF qui vont être intégrées dans certains modèles développées au sein du PIREN (entretien J.-M. Mouchel, juin 2016)

Enfin rien n'interdit un partenaire opérationnel de compléter son expertise, construite par un usage donné d'un ou plusieurs modèles du PIREN-Seine, à l'aide de modèles ou de résultats de modèles produits hors du PIREN-Seine. C'est par exemple le cas de l'AESN lorsqu'elle fait appel au Bureau des Ressources Géologiques et Minières (modèle MARTHE) pour évaluer l'impact sur les nappes des variations des niveaux d'eau dans les rivières en fonction des pratiques d'irrigation et des niveaux de prélèvements.

La relation entre l'usage et l'utilité est donc assez nuancée, influencée par de nombreux facteurs différents. Si l'on retient PROSE comme exemple, il est le seul modèle qui soit utilisé directement par un partenaire opérationnel (cas des usages « Direct+ »). L'intérêt commun et une forte motivation de la part des chercheurs ainsi que des opérationnels sont ce qui permet à ce modèle de survivre et de prospérer tant du côté de la recherche que du côté du monde opérationnel. La « double vie » de PROSE peut s'expliquer par le fait que même s'il est utilisé et utile pour les deux parties, il existe certaines limites à chaque type d'utilisation. Par exemple, PROSE, comme modèle de recherche, est capable d'alimenter la connaissance relativement à de nombreux processus dans le milieu, mais pour le monde opérationnel, seuls certains aspects sont pertinents pour les besoins d'un gestionnaire. Par conséquent, afin de devenir un modèle opérationnel, et de passer de l'usage « Direct++ » à l'usage « Direct+ », certaines modifications ont dû être et doivent encore être apportées. Toutefois, si les besoins d'un gestionnaire changent, PROSE comme modèle de gestion, doit revenir à son existence de modèle de recherche, puisque les opérationnels ne possèdent pas l'expertise nécessaire pour modifier le modèle. Lorsque la nouvelle version de PROSE est prête, il peut reprendre sa vie de modèle de gestion (voir figure 3).

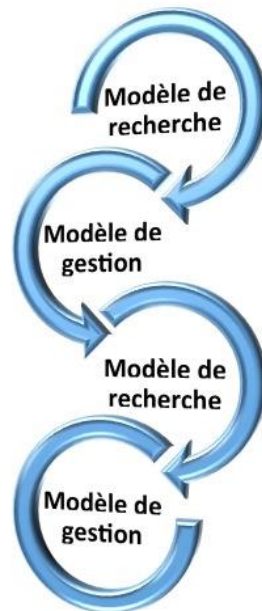


Figure 3 : La double vie de PROSE

L'extrait d'entretien suivant, réalisé avec Jean-Pierre Tabuchi du Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne donne à voir ce processus d'aller-retour entre les deux univers de la recherche et de l'opérationnel :

« Un modèle opérationnel : on ne se pose plus trop de questions pour savoir si les processus modélisés dans PROSE sont vraiment corrects ou pas. Nous, on a montré qu'on est arrivé à un niveau de confiance dans PROSE qui fait qu'on l'utilise tous les jours sans se poser de questions sur : 'l'équation qui régit tel processus est-elle la bonne ou pas ?' (...) Aujourd'hui, les chercheurs pourraient avoir envie – et nous aussi d'ailleurs – de commencer à modéliser des micropolluants. Ça sera d'abord un problème de recherche (...) Avant de dire qu'on peut l'utiliser tous les jours pour simuler de manière régulière sans faire appel au regard des scientifiques pour nous aider à interpréter les résultats... ».

Le cas de PROSE est cependant une exception, rendue possible par le fait que, en plus du travail effectué dans le cadre du PIREN-Seine, il existe aussi un groupe de travail en dehors du PIREN-Seine qui assure la médiation et la poursuite des développements du code. Ce qui conduit à une idée intéressante : pour qu'un modèle soit utile et utilisé à la fois par les chercheurs et les gestionnaires, il faut qu'une instance de

concertation soit aussi mise en place en dehors du PIREN-Seine, sous la forme d'un groupe de travail par exemple. Tandis que le PIREN-Seine peut faciliter le développement d'un modèle utile, la structure et son fonctionnement ne suffisent pas toujours à répondre aux besoins à la fois des chercheurs et des gestionnaires et la suite des développements doit parfois se dérouler en dehors du programme de recherche lui-même, tout en conservant des allers-retours avec les chercheurs-modélisateurs.

4 Perspectives

Ce rapport a présenté une analyse préliminaire de la production et de l'utilisation des outils de modélisation dans le cadre du PIREN-Seine. Au cours des prochaines étapes, il est prévu :

- de poursuivre la conduite des entretiens avec les acteurs opérationnels et les chercheurs ;
- de poursuivre l'analyse des formes de collaboration et de médiations entre opérationnels et chercheurs (avec un intérêt particulier pour la construction de la confiance dans les discussions autour des incertitudes) ;
- d'évaluer la possibilité de collecter des données quantitatives sur l'usage des modèles ;
- d'analyser plus avant les conditions de co-élaboration des scénarios ;
- de travailler sur les modèles utilisés par les partenaires hors du PIREN-Seine ;
- d'investiguer un autre programme de recherche sur un autre bassin à l'étranger (le terrain australien, à Melbourne, est envisagé).

Comme nous l'avons exposé au tout début de ce rapport, une étude sociologique des pratiques de modélisation et des usages des modèles suppose une approche qualitative ; cette recherche sera cependant enrichie par des données quantitatives, en cherchant par exemple, à trouver un moyen de quantifier le nombre de fois au cours desquelles un modèle est réellement utilisé par comparaison avec le degré d'utilisation annoncée par ces mêmes utilisateurs.

Ensuite, il faudra qu'une analyse soit faite des conditions de co-élaboration des scénarios simulés à l'aide de la modélisation, particulièrement la mise en discussion des résultats et la question des incertitudes. Comment ces incertitudes sont-elles mises en discussion et à quelles conditions peuvent-elles être rendues acceptables ? C'est toute la question de la confiance accordée aux modèles qui est ici posée...

Tandis que cette analyse tente de comprendre le rôle des outils de modélisation dans la politique publique, il faudra qu'on examine également le nombre de cas où les partenaires utilisent des modèles du PIREN-Seine en dehors du PIREN-Seine, ainsi que les modèles utilisés par les partenaires dans le processus de prise de décision qui ne sont pas les modèles développés au sein du PIREN-Seine.

Finalement, afin de faire une comparaison globale, on travaillera sur un programme de recherche avec des objectifs et des méthodes similaires, dans le bassin de la rivière Yarra en Australie (sous réserve d'obtention de financements complémentaires pour la réalisation des missions).

Références

- Agence de l'eau Seine-Normandie; Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine. (2011) *Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine: résultats du projet GICC-RExHySS*; Nanterre: Agence de l'eau Seine-Normandie.
- Argent, R. M. (2004) An overview of model integration for environmental applications—components, frameworks and semantics. *Environ. Model. Softw.* Concepts, Methods and Applications in Environmental Model Integration, **19** (3), 219–234. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815203001506>
- Argent, R. M.; Perraud, J.-M.; Rahman, J. M.; Grayson, R. B.; Podger, G. M. (2009) A new approach to water quality modelling and environmental decision support systems. *Environ. Model. Softw.*, **24** (7), 809–818. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815208002351>
- Clark, W. C.; Tomich, T. P.; Noordwijk, M. van; Guston, D.; Catacutan, D.; Dickson, N. M.; McNie, E. (2011) Boundary work for sustainable development: Natural resource management at the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **113** (17), 4615–4622. Retrieved from <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.0900231108>
- Commenges, H.; Tomasoni, L.; Seigneur, C.; Bonin, O.; Leurent, F.; Bonhomme, C.; Deroubaix, J. (2014) *Function of Environmental Urban Models: Trust, Consensus, Responsibility*.
- Even, S.; Billen, G.; Bacq, N.; Théry, S.; Ruelland, D.; Garnier, J.; Cugier, P.; et al. (n.d.) New tools for modelling water quality of hydrosystems: An application in the Seine River basin in the frame of the Water Framework Directive. *Sci. Total Environ.* Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Michel_Poulin/publication/6474245_New_tools_for_modelling_water_quality_of_hydrosystems_an_application_in_the_Seine_River_basin_in_the_frame_of_the_Water_Framework_Directive/links/0fcfd511b87c4585a2000000.pdf
- Fletcher, T. D.; Andrieu, H.; Hamel, P. (2013) Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Adv. Water Resour.*, **51**, 261–279. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309170812002412>
- Ford, A. (2009) *Modeling the Environment*, 2nd ed. Retrieved from <http://public.wsu.edu/~forda/AA2nd.html>

- Gomez, E.; Ledoux, E.; Viennot, P.; Mignolet, C.; Benoit, M.; Bornerand, C.; Schott, C.; et al. (2003) Un outil de modélisation intégrée du transfert des nitrates sur un système hydrologique: application au bassin de la Seine. *Houille Blanche*, (3), 38–45. Retrieved from http://www.researchgate.net/profile/Daniel_Brunstein/publication/45352089_Un_outil_de_modlisati_on_intgre_du_transfert_des_nitrates_sur_un_systme_hydrologique__application_au_bassin_de_la_Seine/links/00b7d5196582097e96000000.pdf
- Latu, M. (2003, Mai) *Vers une modélisation des relations entre température de l'eau en rivière et température de l'air dans le bassin de la Seine*; Université Pierre et Marie Curie. Retrieved from <file:///Users/nataliechong/Downloads/latu.pdf>
- Liu, Y.; Gupta, H.; Springer, E.; Wagener, T. (2008) Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. *Environ. Model. Softw.*, **23** (7), 846–858. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136481520700206X>
- Meybeck, M.; Marsily, G. de; Fustec, E. (1998) *La Seine en son bassin ; fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé*; Elsevier. Retrieved from https://books.google.fr/books/about/La_Seine_en_son_bassin.html?id=N3IPAQAAMAAJ
- Nilsson, M.; Jordan, A.; Turnpenny, J.; Hertin, J.; Nykvist, B.; Russel, D. (2008) The use and non-use of policy appraisal tools in public policy making: an analysis of three European countries and the European Union. *Policy Sci.*, **41** (4), 335–355. Retrieved from <http://link.springer.com.ezproxy.univ-paris-est.fr/article/10.1007/s11077-008-9071-1>
- O'Mahony, S.; Bechky, B. A. (2008) Boundary organizations: Enabling collaboration among unexpected allies. *Adm. Sci. Q.*, **53** (3), 422–459. Retrieved from <http://asq.sagepub.com/content/53/3/422.short>
- Tomasoni, L. (2014) A quoi sert la modélisation urbaine?: Analyse des usages des modèles dans l'élaboration des normes et pour l'aménagement urbain.