

# Pratiques de modélisation et usages des modèles : Perspectives à partir d'une comparaison France - Australie

Natalie Chong<sup>1\*</sup>, José-Frédéric Deroubaix<sup>1</sup>, Céline Bonhomme<sup>1</sup>, Régis Moilleron<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LEESU, École Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris-Est Marne-la-Vallée

\* natalie.chong@enpc.fr

## Résumé

*Une étude sur l'utilisation et l'utilité des outils de modélisation dans le contexte du PIREN-Seine a été approfondie d'une part, par une étude complémentaire des stratégies déployées par les acteurs du programme pour prendre en compte les incertitudes liées aux modèles et, d'autre part, en ajoutant une dimension internationale, avec une étude du Cooperative Research Centre (CRC) for Water Sensitive Cities en Australie. La comparaison de la production et des usages des modèles dans les deux cas, basée sur une revue de littérature, une analyse documentaire et des entretiens semi-directifs avec les acteurs de l'eau en France et en l'Australie, renforce l'hypothèse que la relation entre l'utilisation et l'utilité est nuancée et complexe. Les deux terrains investigués permettent en effet de comparer des situations a priori contrastées, le PIREN-Seine ayant fait le choix de privilégier des modèles de recherche forcément difficile à utiliser par les opérationnels, tandis que, le CRC for Water Sensitive Cities privilégie délibérément des modèles conçus pour une appropriation facilitée par les acteurs opérationnels, mais qui ne sont pas forcément pour autant adoptés et utiles. Pourtant, dans un cas comme dans l'autre certains des outils de modélisation s'avèrent utiles pour appuyer les décisions de gestion, des programmes d'actions et des projets de planification. Une analyse des discours recueillis montrent que l'utilisation et l'utilité de ces outils sont fortement influencées par des configurations organisationnelles et des facteurs spécifiques au contexte.*

## 1 Introduction

### 1.1 Rappel des objectifs de l'étude

Dès sa création en 1989, le PIREN-Seine a mobilisé des chercheurs ainsi que des acteurs de la gestion de l'eau du bassin Seine-Normandie autour de l'objectif de « développer, à partir de mesures de terrain et de modélisations, une vision d'ensemble du fonctionnement du système formé par le réseau hydrographique de la Seine, son bassin versant et la société humaine qui l'investit » (« PIREN-Seine, » 2017). Au cours des années, un certain nombre d'outils de modélisation ont été développés et / ou utilisés dans le but d'atteindre cet objectif. Il est vrai que ces modèles ont énormément contribué à une meilleure compréhension scientifique du fonctionnement du système de la Seine, qui à son tour, oriente les décideurs et les gestionnaires de l'eau. Cependant, même si le bénéfice d'une meilleure compréhension semblait évident, la mise en œuvre de ces modèles et / ou leurs résultats dans le processus de prise de décision demeurerait incertaine. C'est dans ce contexte que notre étude s'inscrit, pour éclairer le rôle des modèles dans la gestion, la planification et la politique des ressources en eau dans le contexte du PIREN-Seine.

Dans cette perspective, notre étude vise plus précisément à :

- Retracer le développement et l'évolution des modèles du PIREN
- Éclairer l'utilisation et l'utilité des modèles et / ou leurs résultats pour les différents acteurs de l'eau impliqués dans le PIREN-Seine
- Comprendre les enjeux liés à l'incertitude et les modalités pour les gérer
- Mettre en valeur le rôle joué par des organisations telles que le PIREN-Seine à l'interface science-politique

Au milieu de la phase 7 du programme, une phase qui marque une nouvelle étape dans les approches de modélisation vers le développement de plateformes de modélisation et la construction de scénarios, notre étude consiste en une analyse socio-historique des activités de modélisation du PIREN-Seine permettant de nourrir une réflexion sur les activités actuelles et futures. Après un récapitulatif du travail effectué et en cours, le présent rapport rend compte de travaux menés pour répondre aux deuxième et quatrième objectifs en s'appuyant sur une comparaison des pratiques de modélisation au sein du PIREN-Seine avec celles développées dans le contexte du CRC for Water Sensitive Cities en Australie.

## 1.2 Production et usages des modèles du PIREN-Seine

La production et l'utilisation des modèles du PIREN-Seine ont fait l'objet d'une analyse qui a commencé au début de l'année 2016. Il s'agissait d'identifier les modèles, les sous-modèles, les modules, ainsi que des outils de visualisation développés et / ou utilisés par les chercheurs du PIREN-Seine à un moment donné au cours des 30 dernières années. Cette identification a nécessité de passer au crible la littérature gris (qui comprend plus de 700 rapports d'activité, 16 fascicules, et 29 rapports de synthèse) en complément des publications scientifiques trouvées par les principaux moteurs de recherche : Scopus, Web of Science et Google Scholar. Afin d'identifier les documents pertinents, nous avons d'abord mené une recherche exploratoire en utilisant les mots-clés suivants : « aide à la décision », « gestion », « modèle », « modélisation », « opérationnel », « outil », « PIREN-Seine », « planification », « politique », « Seine bassin ». Cette première recherche, qui est volontairement large, nous a permis d'identifier des acteurs clés (les chercheurs et les opérationnels) à interroger ainsi que les noms des modèles, sous-modèles et modules pertinents.

L'histoire du développement et de l'évolution de ces modèles a été enrichie en interrogeant des chercheurs et des partenaires opérationnels qui y ont participé. À ce jour, 36 entretiens représentant plus de 80 heures d'enregistrements ont été transcrites et analysées en partie pour éclairer l'utilisation et l'utilité de ces modèles dans la gestion, la politique et la planification des ressources en eau du bassin de la Seine. Nous avons commencé par interviewer les directeurs de programme (passés et présents), les acteurs impliqués depuis le début du programme et les développeurs des principaux modèles (ceux qui apparaissent le plus souvent selon le contexte de l'étude) afin d'obtenir plus d'informations contextuelles sur le programme lui-même, le développement et l'utilisation des outils de modélisation et ceux impliqués dans les activités de modélisation. À partir de cette première étape, nous avons pu identifier d'autres acteurs pertinents qui ont été impliqués d'une manière ou d'une autre dans les activités de modélisation. Les entretiens étaient semi-structurés, basés sur un guide général avec des questions adaptées au participant en fonction de son rôle et de son degré d'implication dans le programme et les activités de modélisation. Les questions ont été structurées autour des thèmes suivants : 1) l'historique et le contexte ; 2) le développement du modèle, son évolution, son utilisation et son utilité ; 3) la confiance et l'incertitude ; 4) les simulations et les scénarios ; et 5) le rôle de la modélisation dans la prise de décision. Cela nous a permis de mieux comprendre le travail de modélisation qui a été fait et comment ces connaissances et outils soutiennent les décisions de gestion, de planification et de politique dans le bassin. Cela nous a également donné une idée de leurs opinions et perceptions personnelles par rapport à leur rôle (individuel et institutionnel) dans le PIREN-Seine ainsi que de leur rôle en tant qu'acteur dans le bassin.

Ce travail a été à la base d'une description des différentes utilisations et utilités existant dans le contexte du PIREN-Seine, qui a révélé une relation nuancée entre les deux. En effet, on ne peut pas dire d'un modèle qu'il est utile seulement s'il est utilisé car, même si la plupart des modèles du PIREN-Seine ne sont

pas utilisés (directement) par les gestionnaires, ils fournissent des connaissances utiles pour la planification et la mise en œuvre de différents programmes d'action. Ici, « l'utilisation » doit être entendue comme l'acte d'utiliser un outil de modélisation en relation avec un degré d'implication dans le processus de modélisation (par exemple, les gestionnaires procèdent-ils eux-mêmes à des simulations ou utilisent-ils simplement les résultats ?), alors que « l'utilité » désigne la manière dont un modèle ou un résultat de simulation est utile (par exemple, comment un résultat de modèle peut renseigner un acteur sur l'atteinte de ses objectifs, comment une modélisation permet de choisir entre différentes options de politique publique...). Cette perspective nous oblige à laisser un peu de côté la dichotomie entre « utilisation » et « non-utilisation », car il est apparu lors des entretiens avec les différents acteurs qu'il n'existait pas un seul type d'utilisation. Les utilisations des modèles dans le PIREN-Seine étaient donc mieux représentées sur un spectre allant de :

- *Direct++*, qui indique la maîtrise totale du modèle ;
- *Direct+*, qui fait référence à l'utilisation d'un modèle « indépendant » sans possibilité pour l'utilisateur de modifier le modèle lui-même (le code, les paramètres, etc.) ;
- *Direct*, qui se réfère à une bonne compréhension de ce qui est modélisé tout en conservant une implication limitée dans le processus de modélisation ;
- *Non Direct*, qui décrit un détachement complet des activités de modélisation.

Dans le cas *Direct++*, les utilisateurs peuvent procéder à des simulations de leur propre chef, avoir accès aux données d'entrée et en fournir ; ils sont capables d'apporter des modifications au modèle lui-même (au code, aux paramètres, etc.). Les utilisateurs, dans le cas *Direct+*, comprennent le fonctionnement du modèle ; ils peuvent faire des simulations par eux-mêmes et peuvent également participer au développement d'un modèle, mais ils ne sont pas en mesure de le modifier eux-mêmes. L'utilisation *Direct* fait référence aux utilisateurs qui ont une bonne compréhension de ce qui est modélisé et peuvent participer à l'élaboration de scénarios, mais ils ne font pas des simulations eux-mêmes. Ce type d'utilisateurs demande des études à des experts et préfère utiliser les résultats plutôt que de développer une expertise du modèle en interne. Enfin, on constate un cas d'utilisation *Non Direct*, où les utilisateurs sont absents des activités de modélisation mais peuvent néanmoins en bénéficier indirectement, à mesure que les connaissances produites par les modèles contribuent aux connaissances scientifiques dans leur domaine.

De même, dire qu'un modèle est « utile » ou « inutile » ne tient pas suffisamment compte des différentes manières dont il soutient la planification et la politique dans le bassin. Les différents utilités ont donc été classés en trois grandes catégories : (1) l'éclaircissement, (2) l'aide à la décision, et (3) le soutien à la négociation (d'après Clark et al., 2011 ; Nilsson et al., 2008 ; O'Mahony and Bechky, 2008).

L'éclaircissement renvoie à la connaissance produite par le modèle qui est utilisée pour :

- approfondir la compréhension globale des phénomènes ;
- fournir des informations spécifiques utilisées pour la gestion quotidienne des infrastructures ;
- fournir des informations spécifiques utilisées pour la planification à moyen ou long termes ;
- permettre de suivre les tendances et d'identifier les problèmes émergents.

L'aide à la décision renvoie à la connaissance produite par le modèle qui est utilisée pour :

- soutenir les décisions de gestion quotidienne ;
- soutenir les décisions de la planification à moyen ou à long terme ;
- évaluer les décisions qui ont été prises ;
- anticiper les tendances futures.

Le soutien à la négociation renvoie à la connaissance produite par le modèle qui est utilisée pour :

- justifier une décision, un projet ou une proposition ;
- affirmer un certain rôle ou position parmi un réseau d'acteurs ; ou
- acquérir ou maintenir un pouvoir de négociation.

De plus, l'utilisation et l'utilité d'un modèle sont influencées par trois facteurs principaux : l'objectif, la pertinence et le savoir-faire / l'expertise.

L'objectif fait référence à l'ensemble de priorités que l'utilisateur cherche à satisfaire par le modèle. Par exemple, *qu'est-ce qui est demandé au modèle ? À quoi sert-il ? Que peut-on faire avec le modèle ou ses résultats ?*

La pertinence fait référence à la relation entre les simulations du modèle et les enjeux de l'utilisateur. Par exemple, la capacité du modèle à répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur, ainsi que l'importance accordée à ce qui est modélisé.

Enfin, le savoir-faire / l'expertise concerne la formation de l'utilisateur et son expérience en relation avec des activités de modélisation. Par exemple, leur capacité à faire des simulations de manière autonome, à ajouter ou à modifier certains composants du modèle, à comprendre les fonctions et les limites du modèle, à savoir quelles données sont requises et comment traduire ou interpréter les résultats.

L'analyse des discours recueillis lors des entretiens fait apparaître que l'optimisation entre ces trois facteurs pourrait favoriser une meilleure utilisation et utilité d'un modèle.

### 1.3 Le traitement de l'incertitude par les acteurs du PIREN-Seine

Suite à cette première analyse, nous nous sommes consacrés à ce qui est apparu comme une question centrale dans les entretiens avec les chercheurs et les praticiens et au cours des discussions au sein du PIREN-Seine : la question de l'incertitude et de son traitement. Dans le contexte de la prise de décision sur des questions environnementales, le concept d'incertitude n'est ni simple ni clair.

Il existe tout d'abord un manque de définition et de compréhension commune car tous les acteurs ne la comprennent pas de la même manière selon leur domaine d'expertise. En effet, l'« *incertitude* » est un terme générique qui pour un ingénieur signifiera des incertitudes liées au modèle, par exemple l'incertitude sur les paramètres, les mesures ou les données d'entrée, alors qu'un gestionnaire de l'eau doit également prendre en compte les incertitudes liées à un contexte incluant, à différentes échelles spatiales et temporelles, des facteurs économiques, environnementaux, politiques, sociaux et techniques.

Par ailleurs, la nature même de l'incertitude qui implique « *ne pas savoir* » est peu propice à une prise de décision pouvant entraîner de graves conséquences socio-économiques ou environnementales. Et pourtant les gestionnaires doivent continuer de prendre des décisions ou si l'on préfère de décider en situation d'incertitude. Cela soulève de nombreuses questions sur la façon dont l'incertitude est quantifiée et prise en compte dans les processus de modélisation et de prise de décision.

Afin d'aborder le premier problème (du cadre commun de compréhension de ce qu'est une incertitude), une revue de la littérature a été effectuée pour mieux comprendre les enjeux clés pour les chercheurs et les praticiens, ainsi que pour identifier un cadre commun pour comprendre l'incertitude. Empruntant le cadre proposé par les auteurs précédents (Refsgaard et al., 2007 ; van der Keur et al., 2008 ; Vanrolleghem et al., 2011 ; Walker et al., 2003), l'incertitude est représentée dans trois dimensions principales : (i) la source, (ii) le niveau ou le type, et (iii) la nature.

i) La source se réfère à l'emplacement (où l'incertitude se trouve), qui est divisé en :

- *L'incertitude du contexte*, qui est trouvée lors de la conception des objectifs du modèle et des simulations qu'il effectue ;
- *L'incertitude d'entrée*, qui se trouve dans les données d'entrée résultant d'un manque de connaissance des propriétés déterministes et stochastiques du système, ou une description insuffisante de la variabilité inhérente à certains phénomènes ;
- *L'incertitude du modèle*, qui inclut *l'incertitude de la structure du modèle* (la capacité du modèle à produire une représentation adéquate du système réel) et *l'incertitude technique du modèle* (les erreurs dans le hardware telles que les bogues logiciels ou les erreurs de conception dans les algorithmes) ;

- *L'incertitude de paramètre*, qui est lié aux données et aux méthodes utilisés pour l'étalonnage des paramètres du modèle.

ii) Le niveau ou le type d'incertitude décrit le degré de connaissance ce qui va de *ce qu'on peut savoir* à *ce qu'on ne peut pas savoir*. Commenant par ce qui est le plus « connaissable » à ce qui est le moins « connaissable », le niveau et le type d'incertitudes peuvent être représentés comme :

- *L'incertitude statistique*, la plus proche d'une démarche déterministe, est l'incertitude qui peut être décrite adéquatement en termes statistiques. L'incertitude attachée aux mesures (dans le milieu) est un bon exemple car aucune mesure ne constitue précisément la « vraie » valeur de ce qui est mesuré. Outre que la mesure peut être faussée par une erreur d'échantillonnage, la mesure est, intrinsèquement, une façon de représenter une concentration ou un état et constitue donc toujours une approximation de la réalité.
- *L'incertitude du scénario* renvoie à la multiplicité des scénarios envisageables et à la multiplicité des résultats imputables au choix de modélisation. Les mécanismes qui mènent à ces résultats ne sont pas suffisamment bien compris pour formuler la probabilité qu'un résultat se produise plutôt qu'un autre. Les exemples d'incertitude du scénario comprennent les différents résultats en fonction des hypothèses sous-jacentes et l'incertitude quant aux changements ou aux facteurs déterminants externes à prendre en compte.
- *L'ignorance reconnue* décrit une situation de forte incertitude, dont les acteurs ont tous conscience, et qui peut être divisée en *ignorance réductible* (qui peut être minimisée par de nouvelles recherches) et *l'ignorance irréductible* (qui ne peut pas être minimisée)
- *L'ignorance totale* décrit un niveau d'incertitude radicale où « on ne sait pas ce qu'on ne sait pas » et on n'a aucun moyen de caractériser toute l'étendue de notre ignorance.

iii) Enfin, la nature de l'incertitude peut être stochastique ou épistémique et se produit souvent simultanément.

- *L'incertitude épistémique* fait référence à l'incertitude résultant d'une connaissance imparfaite, et elle est associée, soit à des données limitées ou inexactes, soit à des erreurs de mesure, soit à des connaissances incomplètes, soit à une compréhension limitée, soit à des modèles imparfaits.
- *L'incertitude stochastique* ou *l'incertitude de variabilité* provient de la variabilité intrinsèque des données d'entrée externe, des fonctions d'entrée, des paramètres, et de certaines structures de modèle.

Alors que *l'incertitude épistémique* peut être réduite avec plus de recherche et de collecte de données, un certain niveau d'*incertitude stochastique* sera toujours présent, car sa caractéristique chaotique et imprévisible est le propre des phénomènes naturels tels que la météorologie.

Afin d'aborder le second problème (celui de la prise de décision en situation d'incertitude), nous avons analysé la littérature scientifique produite par les chercheurs du PIREN ainsi que nos entrevues en vue de mieux comprendre comment les incertitudes sont prises en compte par les chercheurs et les acteurs opérationnels (soit dans le modèle lui-même, ses résultats et / ou dans le processus de prise de décision). Les questions suivantes ont été examinées :

- *Quels types / sources d'incertitude existent-ils dans le contexte du PIREN-Seine ?*
- *Quels sont les différents défis auxquels sont confrontés les chercheurs et les opérationnels en matière d'évaluation et de prise en compte de ces incertitudes ?*
- *Quelles stratégies sont mises en œuvre (par les chercheurs et les opérationnels) pour mieux connaître et / ou réduire l'incertitude ?*
- *Comment l'incertitude est-elle gérée (par les chercheurs et les acteurs opérationnels) lorsqu'elle ne peut être connue et / ou réduite ?*
- *Comment déterminer un niveau d'incertitude jugé « acceptable » ?*

Cette analyse a mis au jour l'hétérogénéité des approches et des perspectives qui existent parmi les chercheurs et les praticiens dans le PIREN-Seine. De manière générale, l'approche des chercheurs consiste à se concentrer sur l'incertitude identifiable, quantifiable et surtout technique, en mettant l'accent sur l'incertitude liée au modèle. Par exemple, de nombreuses études ont porté sur l'incertitude des paramètres, l'incertitude du modèle, l'incertitude des mesures, et l'incertitude d'entrée ; elles ont été traitées en utilisant de méthodes telles que les analyses de sensibilité ou les approches stochastiques. Bien qu'il s'agisse d'une approche scientifique commune, utile pour faire progresser la compréhension scientifique d'un phénomène, ces méthodes de quantification de l'incertitude demeurent très académiques, et ne font l'objet d'une traduction en information pertinente pour le gestionnaire ayant à arbitrer entre plusieurs mesures possibles. Les praticiens utilisant cette connaissance doivent alors trouver d'autres moyens de compenser en fonction de leur objectif et de leur expertise. Ceux qui ont, en interne, une expertise en modélisation peuvent effectuer leurs propres analyses de sensibilité pour mieux répondre aux questions de gestion ou de planification. D'autres comparent les résultats de la modélisation aux données empiriques (mesures in situ, expériences passées...) et à l'expertise locale des techniciens sur le terrain pour évaluer l'incertitude. Ceux, en interne, qui n'ont pas d'expertise en modélisation ont tendance à faire confiance aux chercheurs du PIREN, sans remettre en question l'incertitude liée à la modélisation ou à la simulation. Dans ces cas, les connaissances sont utilisées pour l'éclaircissement ou la planification à plus long terme, situation dans laquelle une incertitude peut être contournée par une stratégie du type « surdimensionnement ».

La question centrale qui découle de cette analyse est la question de la confiance. D'une part, la collaboration entre chercheurs et opérationnels facilitée par le PIREN-Seine depuis 30 ans a permis d'instaurer une confiance entre les acteurs, donnant de la crédibilité à l'expertise, à la connaissance et à aux outils développés. Par ailleurs, si tous les acteurs interviewés expriment un haut degré de confiance, on constate malgré tout des variations en fonction des connaissances et expertises propres à chacun des acteurs. La confiance des acteurs qui disposent de plus de connaissances et d'expertise en modélisation repose sur la distinction opérée entre ce à quoi il leur est possible de faire confiance et ce pour quoi l'incertitude est trop forte, tandis que ceux qui possèdent moins de connaissances et d'expertise accordent plus de confiance au résultat des modèles et à l'expertise des chercheurs. Par ailleurs, lorsqu'il est question d'incertitude, il convient de faire une distinction entre « ce qu'on ne sait pas » et « ce qu'on ne peut savoir ». Cette connaissance (ce qui est « connu » et « connaissable ») ou cette ignorance (ce qui est « inconnu » ou « inconnaissable ») doit donc être « négociée » ; elle l'est le plus souvent de manière implicite.

## 2 Étude de terrain à Melbourne

### 2.1 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude de terrain était d'approfondir notre analyse en utilisant une perspective internationale. En utilisant l'exemple du Cooperative Research Centre (CRC) for Water Sensitive Cities en Australie, ce rapport se concentre sur une comparaison franco-australienne qui vise à :

- Éclaircir l'utilisation et l'utilité des modèles et / ou leurs résultats pour les différents acteurs de l'eau impliqués dans le PIREN-Seine et le CRC for Water Sensitive Cities
- Mettre en valeur le rôle joué par des organisations telles que le PIREN-Seine et le CRC for Water Sensitive Cities à l'interface science-politique

Cette analyse repose sur l'hypothèse posée dès le départ lors de notre étude de l'utilisation et de l'utilité des outils de modélisation dans le contexte du PIREN-Seine : un modèle ne doit pas nécessairement être utilisé directement (cas d'un utilisateur procédant lui-même à des simulations) pour être utile. Cette hypothèse a ensuite été testée dans le contexte du CRC for Water Sensitive Cities, un programme de recherche collaborative ayant pour objectif de transformer la recherche en connaissances scientifiques et en outils de modélisation directement adoptés par les praticiens et les politiques. Le but était d'identifier et de mieux comprendre les principaux facteurs qui influencent l'utilisation et l'utilité des modèles à l'interface science-politique.

## 2.2 Méthodes et matériels

En appliquant au contexte australien les mêmes méthodes que celles utilisées dans les analyses précédentes, cette étude est basée sur une revue systématique de littérature, une analyse de documents et d'entretiens semi-directifs. Nous avons tout d'abord examiné la littérature pour construire une vision du contexte australien cherchant à reconstruire les acteurs (et les réseaux d'acteurs) impliqués, leur histoire, les questions clés qu'ils se proposent de traiter. Une revue des documents produits par le CRC for Water Sensitive Cities a été ensuite réalisée, qui comprend une centaine d'articles scientifiques, des documents issus de conférence, ainsi que de la littérature grise (150 rapports, les documents de synthèse, etc.). Comme une grande partie de la modélisation australienne dans le secteur des eaux urbaines a émergé d'un long héritage de recherche et de collaboration industrielle remontant aux années quatre-vingt dix, nous nous sommes attachés à construire un corpus documentaire incluant des documents antérieurs au CRC for Water Sensitive Cities, incluant des documents produits par ses « prédécesseurs », le CRC for Catchment Hydrology, le CRC for Freshwater Ecology et l'eWater CRC. Les documents pertinents ont été identifiés en utilisant les mots-clés suivants : « gestion », « modèle », « modélisation », « modélisation exploratoire », « planification », « planification stratégique », « politique », « prise de décision », « water sensitive cities », et « water sensitive urban design » sur le site web du programme en plus des principaux moteurs de recherche telles que Scopus, Web of Science et Google Scholar. Les mots clés ont été identifiés et sélectionnés en fonction de ce qui résultait des recherches initiales, et en incluant les noms de praticiens impliqués dans le programme et des noms des outils de modélisation.

Pour étayer les constats issus de l'analyse documentaire, un total de 21 entretiens exploratoires semi-structurés ont été menés de juin à août 2017 en Australie. Les entrevues ont commencé avec le directeur du programme, les principaux acteurs de l'eau et les concepteurs de modèles, qui ont ensuite aidé à identifier d'autres acteurs clés. Les questions suivaient le même guide général qu'en France, adaptées au participant en fonction de son rôle et de son implication dans les activités de modélisation ou le programme de recherche. Les entrevues étaient ouvertes et duraient de 1 à 3 heures, avec une durée moyenne de 1,5 heure. Des observations, effectuées lors de séminaires et conférences organisés par le CRC for Water Sensitive Cities pendant les trois mois (une conférence nationale à Perth et deux ateliers sur les modèles) ont été utilisées comme données secondaires.

## 2.3 Pourquoi une comparaison France - Australie ?

La dégradation de la qualité de l'eau, l'aggravation de la vulnérabilité des systèmes urbains face aux inondations et aux épisodes de sécheresse dans un contexte de croissance urbaine et démographique sont des préoccupations universelles des gestionnaires de l'eau, aggravées par une multiplication des événements météorologiques extrêmes liée au changement climatique (Brown et al., 2016 ; Brown and Clarke, 2007 ; Madsen et al., 2013). L'intensification de tels risques interrogent la capacité des systèmes de gestion de la ressource en eau (réseaux d'acteurs et infrastructures) à résister et à s'adapter (Ferguson et al., 2013a, 2013b). Dans ce contexte, les chercheurs australiens sont parmi les plus connus dans le domaine pour avoir proposé des pistes d'action permettant de réformer les politiques et les pratiques des gestionnaires de l'eau et des acteurs impactant la ressource en eau en faveur d'un système plus adaptatif et d'avantage « *water sensitive* ».

Tout comme le PIREN-Seine, le CRC for Water Sensitive Cities peut être considéré comme un exemple important d'organisation à l'interface entre la recherche et les institutions en charge de conduire les politiques publiques. Une comparaison entre ces deux expériences présente donc une opportunité d'apprentissage mutuel. Cette comparaison doit par ailleurs nous permettre de tester différentes hypothèses issues d'analyses précédentes portant sur le PIREN-Seine et les 30 années de travaux consacrés à la modélisation du fonctionnement du bassin de la Seine. La comparaison permet d'identifier plus solidement les principaux facteurs influençant la production, l'utilisation et l'utilité des modèles. Elle permet de déterminer quels facteurs sont spécifiques à un contexte politique ou organisationnel local et lesquels doivent être considérés comme plus généraux, contribuant ainsi à la discussion globale sur le rôle des outils de modélisation dans les politiques de planification et de gestion de la ressource en eau. De plus, cette analyse peut éclairer des exemples similaires à plus grande échelle puisque le bassin de la Seine est confronté à une

forte pression anthropique caractéristique de nombreux grands bassins versants, tandis que l’Australie peut être considérée comme un test décisif pour les autres pays car elle doit faire face à des conditions météorologiques extrêmes qui pourraient bientôt devenir la norme dans le contexte du changement climatique.

### 3 Un nouveau regard sur la gestion de l’eau depuis l’Australie

#### 3.1 CRC for Water Sensitive Cities

Créé en 2012, le CRC (Cooperative Research Centre) for Water Sensitive Cities est l’un des nombreux centres de recherche coopérative australiens, qui font partie d’une initiative gouvernementale visant à financer la recherche scientifique pour répondre directement aux besoins des parties-prenantes dans le domaine de l’eau (« *CRC for Water Sensitive Cities* », 2017). Si le PIREN-Seine est perçu comme un modèle exemplaire de recherche interdisciplinaire et collaborative entre chercheurs et opérationnels dans le domaine de l’eau en France et même en Europe, le CRC for Water Sensitive Cities est aussi un exemple marquant d’organisation à l’interface entre la recherche et l’action publique (et privée), largement reconnue dans l’ensemble du pays et à l’étranger.

Le CRC for Water Sensitive Cities s’appuie sur la recherche développée par les précédents CRCs (le CRC for Catchment Hydrology de 1992 à 2005, le CRC for Freshwater Ecology de 1993 à 2005, et eWater CRC de 2005 à 2008) et se concentre spécifiquement sur le concept du « *water sensitive city* » (Howe and Mitchell, 2011 ; Wong and Brown, 2009). De manière assez similaire au concept de « *ville éponge* » (Geiger, 2015 ; Li et al., 2016 ; Xia et al., 2017), le « *water sensitive city* » est basée sur trois principes : 1) les villes comme bassins versants, 2) les villes fournissent des services écosystémiques, et 3) les villes comprenant des communautés sensibles à l’eau (Wong and Brown, 2009). Le premier principe renvoie à la capacité d’accéder à l’eau à travers diverses sources et échelles d’approvisionnement (centralisées et décentralisées). Le deuxième se réfère à la cohésion entre l’environnement construit et l’environnement naturel, où la fonction de l’environnement construit renforce et soutient celle de l’environnement naturel. Le dernier principe fait référence à la durabilité en termes d’organisation sociale et politique, de comportement communautaire et d’actions sensibles à l’eau (« *water sensitive* »). Contrairement à la majorité des CRCs (anciens et actuels) dont la durée de vie moyenne est de 5 ans, ce programme-ci a réussi à obtenir un financement de 9 ans (2012-2021). En raison de cette non-reconductibilité du programme, les objectifs ont été divisés en deux parties : tranche 1 (2012-2016) et tranche 2 (2016-2021), qui suit une progression assez logique de l’objectif au résultat. Le premier étant fortement axé sur la recherche, alors que le second sur les voies d’adoption et l’application de cette recherche et le développement d’outils opérationnels.

Volontairement interdisciplinaire, le CRC for Water Sensitive Cities est un centre de recherche regroupant plus de 200 chercheurs de diverses disciplines tels que l’hydrologie, la biologie, la chimie, l’ingénierie, l’économie et les sciences sociales, provenant d’universités nationales et internationales et d’institutions de recherche. Ceux qui sont concernés par cette analyse comprennent : l’Université de Monash, l’Université de Queensland, l’Université de Western Australia, l’IHE Delft et l’Université d’Innsbruck. Parmi ses partenaires on compte des acteurs clés de la gestion de l’eau et des milieux aquatiques tels que Melbourne Water, South East Water et Yarra Valley Water, qui sont des services publics de l’eau responsables du traitement et de l’approvisionnement en eau à Melbourne, des partenaires gouvernementaux tels que le ministère de l’Environnement, du Territoire, de l’Eau et de la Planification (DEWLP), une partie du gouvernement de l’État de Victoria ainsi que plusieurs conseils municipaux et entreprises privées. Il convient aussi de mentionner eWater, un partenaire dont le statut était initialement celui de centre de recherche coopérative (CRC), et qui a évolué vers celui d’organisme à but non lucratif sous tutelle du gouvernement australien. Le but de eWater est de renforcer les capacités des utilisateurs, les outils de modélisation et le support technique afin de soutenir le développement, l’adoption et la diffusion par les acteurs opérationnels de logiciels, dont l’un est basé sur un modèle du CRC for Water Sensitive Cities. La participation de praticiens est en effet jugée essentielle par les membres du CRC for Water Sensitive Cities dans leur volonté de produire une recherche « *utilisable* » par les acteurs sociaux et politiques. Par



conséquent, ces partenaires sont invités à jouer un rôle important dans le développement du modèle en tant que « *bêta-testeurs* », invités à l'appliquer à des études de cas réelles, et fournir des commentaires et des données essentiels à l'adaptation aux besoins de l'utilisateur. Ce réseau comprend également des partenaires associés qui peuvent accéder, sans investissement direct, aux connaissances ou aux outils et aider à tester, appliquer et diffuser cette recherche, contribuant ainsi aux activités de renforcement des capacités.

Contrairement à la majorité des CRCs dont la durée de vie moyenne est de 5 ans, le CRC for Water Sensitive Cities a réussi à obtenir un financement de 9 ans (2012-2021). En raison de cette période limitée, les objectifs ont été divisés en deux parties : Tranche 1 (2012-2016) et Tranche 2 (2016-2021), qui suit une progression assez logique de l'objectif au résultat. Le premier étant fortement axé sur la recherche, alors que le second sur les voies d'adoption et l'application de cette recherche et des outils.

### 3.2 Production et usages des modèles : perspectives australiennes

Le PIREN-Seine et le CRC for Water Sensitive Cities sont des programmes de recherche interdisciplinaire qui rassemblent des scientifiques et des praticiens pour aborder des questions clés de la gestion des ressources en eau. Cependant, les spécificités de chaque contexte et les structures organisationnelles mises en place ont abouti à des approches différentes, qui ont conduit à la production d'outils différents. D'un côté, le PIREN-Seine a adopté une perspective territoriale, à l'échelle du bassin de la Seine, avec la volonté de comprendre le fonctionnement écologique de l'ensemble du bassin versant et la réponse du « système Seine » aux activités humaines. La plupart des recherches sont centrées sur les problèmes de qualité de l'eau, bien que les problèmes de quantité d'eau soient également explorés, notamment en raison des inondations majeures récentes. Bien que la collaboration avec des acteurs opérationnels soit considérée comme une partie essentielle du programme, il s'agit avant tout d'un programme de recherche dont l'objectif est d'approfondir la compréhension scientifique qui, en retour, contribuera à soutenir les acteurs de l'eau dans le bassin. En conséquence, les modèles sont principalement considérés comme des « *outils de recherche* », qui demeurent dans le domaine d'expertise des chercheurs, les exceptions étant ProSe et Seneque. Néanmoins, les modèles ont toujours été jugés utiles pour soutenir les décisions. En effet, la plupart des acteurs opérationnels n'ayant qu'occasionnellement besoin des modèles du PIREN, cet arrangement semble leur avoir permis de bénéficier de l'expertise scientifique, tout en économisant sur le temps et les ressources nécessaires au développement d'une expertise en modélisation en interne. Inversement, les chercheurs évitent de consacrer trop de temps et de ressource à développer des outils « utilisables » (et dont on ne sait pas trop s'ils seront finalement utilisés en raison des changements de priorités de l'action publique) et peuvent se concentrer d'avantage sur des activités académiques.

En revanche, le CRC for Water Sensitive Cities (CRC for WSC) ne se limite pas à un bassin versant spécifique, mais il se concentre sur les questions de gestion de l'eau urbaine dans les villes australiennes et étrangères « à la poursuite d'une ville soutenable, résiliente et vivable ». Cette orientation résulte, aux dires des acteurs interviewés, des conditions météorologiques extrêmes dans la région. Même si la qualité de l'eau demeure une préoccupation sérieuse, en particulier pour la consommation et les loisirs, la sécheresse du millénaire, qui a duré plus d'une décennie, a conduit à mettre l'accent sur les questions de sécurité de l'approvisionnement en eau (dessalement de l'eau de mer, collecte et utilisation de l'eau de pluie). L'application directe de la recherche à la pratique étant l'objectif principal, une grande partie du travail du CRC for WSC a été consacrée aux « parcours d'adoption » (des aménageurs et des usagers) et aux transitions sociotechniques, aboutissant à des outils de modélisation orientés vers l'application pratique comme fonction principale. Bien que cela ait réussi dans certains cas, conduisant à l'adoption à grande échelle d'un modèle (le modèle MUSIC) que nous présentons dans cette étude, il reste à voir si la nouvelle génération d'outils de modélisation sera capable de générer le même attrait, car ils sont encore en phase de test.

Nous nous concentrons sur les trois principaux outils (voir Tableau 1) qui soutiennent les activités de recherche du CRC for Water Sensitive Cities : MUSIC, WSC Toolkit, et DANCE4Water. Il faut noter que deux de ces modèles (MUSIC et DANCE4Water) ont débuté bien avant le CRC for Water Sensitive Cities, mais nous les avons inclus ici car ils ont été étendus ou améliorés sur la base de la Tranche 1 du programme. Certains de ces modèles sont actuellement utilisés alors que d'autres sont destinés à être utilisés par des partenaires opérationnels.

Tableau 1. Principaux outils qui soutient le CRC for Water Sensitive Cities

Modèle	Type	Références Clés
MUSIC	Modèle de qualité des eaux pluviales	(Wong et al., 2002) ; <a href="http://www.ewater.org.au/products/music/">http://www.ewater.org.au/products/music/</a>
Water Sensitive Toolkit	Outil de planification de l'infrastructure	<a href="https://watersensitivecities.org.au/solutions/water-sensitive-cities-toolkit/">https://watersensitivecities.org.au/solutions/water-sensitive-cities-toolkit/</a>
DAnCE4Water	Plate-forme de modélisation de la ville basée sur le cloud	(Rauch et al., 2017) ; <a href="http://www.dance4water.org">www.dance4water.org</a>

Le modèle MUSIC (Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation) a été développé en 2001 par le CRC for Catchment Hydrology, l'un des prédécesseurs du CRC for Water Sensitive Cities. Bien qu'il ait été développé avant le CRC for Water Sensitive Cities, nous l'incluons dans notre analyse car il soutient ses activités de recherche. MUSIC décrit le comportement de la qualité de l'eau grâce à un modèle de désintégration cinétique de premier ordre (le modèle K-C\*), qui mesure le taux de décroissance ( $k$ ) et l'équilibre ( $C^*$ ) des contaminants (par exemple, les matières solides en suspension, le phosphore et l'azote), ainsi que le comportement hydrodynamique à l'intérieur d'un dispositif de traitement selon le concept de réacteur à réservoir agité en continu (« Continuously Stirred Tank Reactor ») (Wong et al., 2006, 2002). Développé avec l'objectif de synthétiser la recherche dans un outil facile à utiliser, MUSIC permet aux opérationnels d'évaluer les systèmes de gestion des eaux pluviales en fonction d'objectifs précis de qualité de l'eau et de déterminer le dimensionnement approprié de l'infrastructure et des installations de traitement des eaux pluviales. Plus précisément, il est capable de :

- Déterminer la qualité de l'eau des bassins versants spécifiques en termes de solides en suspension totaux (TSS), de phosphore total (TP) et d'azote total (TN) ;
- Prédire la performance de mesures spécifiques de traitement des eaux pluviales ;
- Concevoir un plan de gestion intégrée des eaux pluviales adapté à un bassin versant spécifique ;
- Évaluer l'efficacité de mesures de traitement spécifiques selon les normes de qualité de l'eau.

En Australie, MUSIC est devenu la norme du secteur en charge de la gestion de la qualité des eaux pluviales. Dans le contexte du CRC for Water Sensitive Cities, MUSIC a été utilisé de diverses manières, notamment en conjonction avec le développement d'autres outils tels que le Water Sensitive Cities Toolkit.

Le Water Sensitive Cities Toolkit est un outil de modélisation qui vise à soutenir la planification stratégique. Plus précisément, il met l'accent sur la quantification fondée sur des données probantes (« *Evidence based quantification* ») des bénéfices des initiatives d'infrastructure verte en milieu urbain, permettant aux aménageurs de justifier des projets à la fois robustes et sensibles à l'eau (CRC for Water Sensitive Cities, 2017). Ce modèle permet de synthétiser les résultats de recherche du CRC for Water Sensitive Cities en modules faciles à utiliser pour évaluer une variété d'avantages sous-tendus par le concept de conception urbaine sensible à l'eau (« *water sensitive urban design* »). Les modules actuels doivent permettre de :

- Améliorer les effets sur la santé des cours d'eau en atténuant les volumes d'écoulement, la fréquence et les concentrations de polluants ;
- Évaluer les changements dans la fréquence d'écoulement, la performance dans la réduction de l'impact géomorphologique sur les cours d'eau en fonction de l'indice d'érosion des cours d'eau ;
- Atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain par « l'écologisation urbaine » et favoriser la rétention de l'eau dans le paysage.

D'autres modules sont en cours de développement dont un futur module sur le climat, qui s'appuiera sur une base de données intégrant les projections pluviométriques pour les grandes villes australiennes dans

le futur et qui pourra être utilisée indépendamment ou comme données d'entrée pour des scénarios climatiques futurs (Raut et al., soumis ; Zhang et al., 2017). Un module d'évaluation économique est également prévu et examinera le consentement à payer des membres de la communauté sur la base de diverses améliorations apportées à la qualité de vie et à la durabilité du bassin versant. Actuellement, le Water Sensitive Cities Toolkit est en mode « *beta-test* » fermé, son adoption se déroulant lentement dans certaines municipalités australiennes. Une grande partie de la dynamique suscitée par ce Toolkit repose sur le besoin d'outils d'évaluation du microclimat permettant aux municipalités de formuler une proposition pour financer davantage de projets d'infrastructures sensibles à l'eau et aux infrastructures vertes. La capacité de ce modèle à communiquer directement avec MUSIC est également un choix stratégique qui exploite la familiarité d'une large base d'utilisateurs existante.

Le modèle DAnCE4Water (Dynamic Adaptation for eNabling City Evolution for Water) a débuté dans le cadre du septième programme-cadre européen – « PREPARED enabling change » ([www.prepared-fp7.eu](http://www.prepared-fp7.eu)) et a ensuite été adopté dans le cadre du CRC for Water Sensitive Cities, où il a évolué vers une plateforme de modélisation de la ville basée sur un cloud (Rauch et al., 2015, 2017). Aspirant à être un outil d'aide à la décision interactif et facile à utiliser pour différents acteurs de l'eau afin d'explorer des scénarios futurs et d'évaluer différentes politiques et stratégies d'action, DAnCE4Water prend en compte les interactions entre infrastructures urbaines, l'environnement urbain et les dynamiques sociales. Ceci est représenté par trois modules enracinés dans une unité centrale, qui gère chaque scénario en stockant, en gérant et en fournissant les données requises aux modèles concernés. Dirigé auparavant par un modèle de transitions sociétales, DAnCE4Water s'appuie désormais sur l'interaction entre le développement urbain et les dynamiques sociétales influencées par un cadre économique fondé sur un consentement à payer. S'appuyant sur un SIG, le module de développement urbain projette, à la manière de SimCity, les changements de l'environnement urbain au niveau des ménages. Divers modules biophysiques sont utilisés pour simuler l'impact du développement urbain sur l'infrastructure et comprennent des modèles hydrauliques bien connus tels que EPANET et EPA SWMM, ainsi qu'un lien avec MIKE URBAN pour l'évaluation des risques d'inondation. Bien que cette plateforme de modélisation présente un grand potentiel de planification stratégique et d'adaptation, son utilisation et son utilité restent indéterminées pour l'instant, car elle est encore en développement et pas encore pleinement opérationnelle en raison de son échelle.

## 4 Discussion

### 4.1 Quels facteurs peuvent influencer l'utilisation d'un modèle ?

Les exemples du PIREN-Seine et du CRC for Water Sensitive Cities donnent un aperçu des façons dont les configurations organisationnelles et les facteurs spécifiques au contexte peuvent influencer la production et l'utilisation de connaissances et d'outils scientifiques. Cette influence est très perceptible (i) dans les objectifs poursuivis, (ii) dans le type de relations nouées entre chercheurs et utilisateurs des outils de modélisation.

En ce qui concerne les objectifs, tandis que le CRC for Water Sensitive Cities est articulé autour d'un projet plus circonscrit (rendre les villes plus « sensibles à l'eau »), les objectifs du PIRENSeine apparaissent plus diversifiés et à une échelle plus globale (comprendre le fonctionnement du « système Seine »). La recherche, priorité affichée par le PIREN-Seine, a conduit au développement d'outils de modélisation principalement utilisés par des chercheurs, dans le cadre d'activités de recherche (impliquant principalement des sciences dures), même si certains de ces outils donnent lieu à des applications opérationnelles (notamment en ce qui concerne ProSe et Seneque). En revanche, le CRC for Water Sensitive Cities dont la finalité officielle est de rendre la recherche « utilisable » par les gestionnaires pour le contrôle des formes de l'urbanisation et la planification des infrastructures, en mettant davantage l'accent sur les transitions sociales et les voies d'adoption, a conduit à la production d'outils de modélisation fortement tournés vers l'appropriation par les utilisateurs.

Concernant les relations entre producteurs et utilisateurs de modèle, on constate également nombre de différences. Différentes configurations vont favoriser différentes appropriation des connaissances ou des outils scientifiques. Ces configurations renvoient à différentes structures financières, organisations des acteurs, différentes formes de soutien technique ou encore différentes dispositions réglementaires. Dans le cas du PIREN, les deux exemples d'utilisation *Direct+* de modèles (ProSe et Seneque) ont été largement

influencées par des investissements mutuels en temps et en ressources (financiers et humains) à l'intérieur et à l'extérieur du PIREN (au Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne et à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie) ainsi que par l'élaboration de guides d'utilisation et de supports techniques grâce à une collaboration étroite. Dans le cas du CRC for Water Sensitive Cities, une attention toute particulière a été accordée aux structures de soutien technique, par exemple, en créant des directives d'utilisation, des manuels techniques, des ateliers de formation et des activités de renforcement des capacités et même à une certaine époque une hotline. Les modèles comme MUSIC sont également en constante évolution avec de nouvelles fonctionnalités et des données mises à jour avec le soutien de ses partenaires opérationnels.

## 4.2 Des chemins différents pour une même destination ?

Alors que le PIREN-Seine et le CRC for Water Sensitive Cities se distinguent par leurs différents objectifs, approches et d'outils de modélisation, ils semblent pourtant évoluer dans le même sens vers le développement de plates-formes de modélisation et de construction de scénarios. Les modèles du PIREN-Seine ont évolué parallèlement à ses objectifs de recherche. Dans certains cas, les modèles ont évolué pour s'adapter à l'évolution des besoins, tandis que dans d'autres, ils ont été utilisés avec d'autres modèles pour répondre à des questions spécifiques ou pour donner une vision plus globale du fonctionnement du système. Au cours des années, la diversité des outils de modélisation ayant soutenu les travaux du PIREN-Seine s'est étendue aux modèles incluant des aspects hydrologiques, hydrauliques, biogéochimiques, agronomiques et économiques. Un bon nombre de ces modèles mettent l'accent sur les problèmes de qualité de l'eau, en particulier le transfert d'éléments nutritifs ou de polluants dans différentes parties du système. En étudiant les interactions dynamiques qui se produisent dans un grand système fluvial comme la Seine, un modèle est capable de raconter une « partie de l'histoire » limitée à une échelle temporelle et spatiale spécifique. Dans le même temps, des exigences de plus en plus strictes, telles que la Directive Cadre européenne sur l'Eau, poussent les chercheurs et les décideurs à restaurer les masses d'eau en vue de l'atteinte d'un bon état écologique, ce qui exige une vision de plus en plus globale du fonctionnement des masses d'eau. Cette exigence, couplée à l'intérêt d'approfondir les connaissances relatives à des phénomènes encore mal représentés (comme par exemple les interactions entre les sédiments et les autres compartiments des rivières), a conduit à modifier la trajectoire des modèles « individuels », répondant à des questions spécifiques, vers une adaptation ou un couplage de modèles en vue de répondre à des questions plus globales et récemment vers des plates-formes de modélisation applicables à l'ensemble du système Seine. Dans le cas de l'Australie, les outils de modélisation utilisés pour étayer la recherche du CRC for Water Sensitive Cities se sont éloignés des modèles plus déterministes ou stochastiques vers des plates-formes de modélisation. Cela marque une évolution des outils d'aide à la décision vers la planification stratégique, qui adopte des stratégies robustes et adaptatives face à une nouvelle ère d'« *incertitude profonde* » (Malekpour et al., 2013 ; Urich and Rauch, 2014 ; Walker et al., 2013). Dans ce contexte, les plates-formes de modélisation agissent comme un outil de communication important et permettent à différents acteurs de se réunir et d'explorer différentes stratégies dans un cadre commun.

## 5 Conclusions et perspectives

Le PIREN-seine en France et le CRC for Water Sensitive Cities en Australie ont des approches fondamentalement différentes conduisant à différents types d'outils de modélisation pour différents objectifs : le PIREN-Seine privilégie des modèles de recherche au détriment de l'utilisation *Direct+* par des acteurs opérationnels ; le CRC for Water Sensitive Cities privilégie les modèles relativement faciles à utiliser par les acteurs opérationnels, censés répondre directement à leurs besoins, mais qui peuvent finir par ne pas être utilisés. Malgré ces différences fondamentales, les acteurs impliqués dans les deux programmes ont exprimé un haut niveau de confiance dans les connaissances scientifiques et les outils de modélisation produits, renforçant l'hypothèse qu'il existe une relation plus complexe et nuancée entre l'utilisation et l'utilité. La comparaison de la production et des usages des modèles dans le cas de la France et de l'Australie a permis d'identifier comme facteurs principaux, les configurations organisationnelles et les facteurs spécifiques au contexte, influençant l'utilisation. En revanche, à l'interface des champs scientifique et politique, l'utilité des modèles réside peut-être dans leur rôle en tant qu'outil de communication et de médiation entre différents acteurs, servant de point de référence commun pour co-conceptualiser des

stratégies robustes et adaptatives vers une vision partagée de la gestion des ressources en eau. Notre analyse ne cherche pas à formuler de recommandations prescriptives, mais souhaite plutôt mettre en évidence ce qui fonctionne, ce qui ne fonctionne pas et analyser les facteurs d'influence dans chaque contexte.

La poursuite de la recherche s'attachera à caractériser de manière fine ce qui est créé et ce qui est échangé à l'interface science-politique, en utilisant notamment le concept de « *boundary organisations* ». Cette notion désigne les « organisations intermédiaires » qui, de par leur « recrutement » et leurs modalités de fonctionnement, permettent de dépasser frontières de la science et du politique, par la co-production d'intérêts partagés, de connaissances et d'outils, permettant de faciliter la communication, la collaboration et l'action collective (Guston, 2001). Le matériau recueilli auprès des acteurs du PIREN-Seine et du CRC for Water Sensitive Cities sera analysé afin de mettre en évidence la crédibilité dans les simulations, la saillance des enjeux et la légitimité de la connaissance scientifique que permettent de construire les outils de modélisation au sein de ces espaces.

## Bibliographie

- Brown, R., Clarke, J., 2007. The transition towards Water Sensitive Urban Design: a socio-technical analysis of Melbourne, Australia, in: 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH 2007), Lyon, France. pp. 25–28.
- Brown, R., Rogers, B., Werbeloff, L., 2016. Moving toward Water Sensitive Cities.
- Clark, W.C., Tomich, T.P., van Noordwijk, M., 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, 4615–4622. doi:10.1073/pnas.0900231108
- CRC for Water Sensitive Cities, 2017. Water Sensitive Cities Modelling Toolkit Factsheet.
- Even, S., 2007. Description du logiciel ProSe, version 4.1 - Logiciel de simulation de l'hydrodynamique, du transport et du fonctionnement biochimique d'un écosystème fluvial.
- Even, S., Poulin, M., Billen, G., Garnier, J., 1998a. Modèles PROSE et SENEQUE : établissement de versions de référence applicables aux études de gestion.
- Even, S., Poulin, M., Garnier, J., Billen, G., Servais, P., Chesterikoff, A., Coste, M., 1998b. River ecosystem modelling: application of the PROSE model to the Seine river (France). *Hydrobiologia* 27–45.
- Ferguson, B.C., Brown, R.R., Frantzeskaki, N., de Haan, F.J., Deletic, A., 2013a. The enabling institutional context for integrated water management: Lessons from Melbourne. *Water Res.* 47, 7300–7314. doi:10.1016/j.watres.2013.09.045
- Ferguson, B.C., Frantzeskaki, N., Brown, R.R., 2013b. A strategic program for transitioning to a Water Sensitive City. *Landsc. Urban Plan.* 117, 32–45. doi:10.1016/j.landurbplan.2013.04.016
- Geiger, W.F., 2015. Sponge city and lid technology--vision and tradition. *Landsc. Archit. Front.* 3, 10–22.
- Guston, D., 2001. Boundary Organizations in Environmental Policy and Science: An Introduction. *Sci. Technol. Hum. Values*, Special Issue: Boundary Organizations in Environmental Policy and Science 26, 399–408.
- Howe, C., Mitchell, C., 2011. Water Sensitive Cities. IWA Publishing.
- Laborie, B., Rocher, V., Vilmin, L., Poulin, M., Raimonet, M., Benard, L., Bernier, J., Guérin, S., Cussonneau, A., Pouillaude, J., Escoffier, N., Groleau, A., Mouchel, J.-M., Flipo, N., 2016. Le

modèle de prédiction de la qualité de la Seine ProSe - Améliorations apportées par les récents travaux de recherche (Piren-Phase VI). *Tech. Sci. Méthodes* 43–66. doi:10.1051/tsm/201611043

- Li, X., Li, J., Fang, X., Gong, Y., Wang, W., 2016. Case Studies of the Sponge City Program in China. doi:10.1061/9780784479858.031
- Madsen, H.M., Brown, R., Elle, M., Mikkelsen, P.S., 2013. A comparative socio-technical discourse analysis of Water Sensitive Urban Design for Melbourne, Australia and Copenhagen, Denmark. *Water Sensitive Urban Des.* 2013 WSUD 2013 1.
- Malekpour, S., de Haan, F.J., Brown, R.R., 2013. Marrying Exploratory Modelling to Strategic Planning: Towards Participatory Model Use, in: 20th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2013).
- Nilsson, M., Jordan, A., Turnpenney, 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, 335–355. doi:10.1007/s11077-008-9071-1
- O'Mahony, S., Bechky, B.A., 2008. Boundary organizations: Enabling collaboration among unexpected allies. *Adm. Sci. Q.* 53, 422–459.
- Poulin, M., Flipo, N., Billen, G., Garnier, J., Géosciences, M.P., 2009. ProSe, problématiques nouvelles et développements attendus. Rapport d'activité PIREN-Seine.
- Rauch, W., Bach, P.M., Brown, R., Rogers, B., de Haan, F.J., McCarthy, D.T., Kleidorfer, M., Mair, M., Sitzenfrie, R., Urich, C., Deletic, A., 2015. Enabling change: Institutional adaptation., in: *Climate Change, Water Supply and Sanitation*. IWA Publishing, London, U.K.
- Rauch, W., Urich, C., Bach, P.M., Rogers, B.C., de Haan, F.J., Brown, R.R., Mair, M., McCarthy, D.T., Kleidorfer, M., Sitzenfrie, R., Deletic, A., 2017. Modelling transitions in urban water systems. *Water Res.* 126, 501–514. doi:10.1016/j.watres.2017.09.039
- Raut, B., Seed, A., Reer, M., Jakob, C., submitted. High-Resolution Space-Time Simulations of Rainfall Using a Multiplicative Cascade Model. *Water Resour. Res.*
- Refsgaard, J.C., van der Sluijs, J.P., Højberg, A.L., Vanrolleghem, P.A., 2007. Uncertainty in the environmental modelling process – A framework and guidance. *Environ. Model. Softw.* 22, 1543–1556. doi:10.1016/j.envsoft.2007.02.004
- Urich, C., Rauch, W., 2014. Exploring critical pathways for urban water management to identify robust strategies under deep uncertainties. *Water Res.* 66, 374–389.
- van der Keur, P., Henriksen, H.J., Refsgaard, J.C., Brugnach, M., Pahl-Wostl, C., Dewulf, A., Buiteveld, H., 2008. Identification of Major Sources of Uncertainty in Current IWRM Practice. Illustrated for the Rhine Basin. *Water Resour. Manag.* 22, 1677–1708. doi:10.1007/s11269-008-9248-6
- Vanrolleghem, P., Bertrand-Krajewski, J., Brown, R., Croke, B., Kapelan, Z., Kleidorfer, M., Kuczera, G., McCarthy, D., Mikkelsen, P., Rauch, W., Refsgaard, J., Deletic, A., 2011. Uncertainties in water system models - breaking down the water discipline silos, in: 8th International IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment in Water Management (WATERMATEX2011). San Sebastian, Spain.
- Walker, W.E., Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., 2013. Adapt or Perish: A Review of Planning Approaches for Adaptation under Deep Uncertainty. *Sustainability* 5, 955–979. doi:10.3390/su5030955

- Walker, W.E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijs, J.P., van Asselt, M.B., Janssen, P., Krayen von Krauss, M.P., 2003. Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integr. Assess.* 4, 5–17.
- Wong, T., Fletcher, T., P. Duncan, H., Jenkins, G., 2006. Modelling Urban Stormwater Treatment – A Unified Approach. *Ecol. Eng.* 27, 58–70. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.10.014
- Wong, T.H., Fletcher, T.D., Duncan, H.P., Coleman, J.R., Jenkins, G.A., 2002. A Model for Urban Stormwater Improvement: Conceptualization, in: *Global Solutions for Urban Drainage*. pp. 1–14.
- Wong, T.H.F., Brown, R.R., 2009. The water sensitive city: principles for practice. *Water Sci. Technol.* 60, 673–682. doi:10.2166/wst.2009.436
- Xia, J., Zhang, Y., Xiong, L., He, S., Wang, L., Yu, Z., 2017. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Sci. China Earth Sci.* 60, 652–658. doi:10.1007/s11430-016-0111-8
- Zhang, K., Manuelpillai, D., Raut, B., Jakob, C., Reeder, M., Deletic, A., Bach, P.M., 2017. Impact of future rainfall projections from ensemble GCMs on stormwater management. Presented at the 14th International Conference on Urban Drainage (14ICUD), Prague, Czech Republic.

## **Sitographie :**

<https://watersensitivecities.org.au/>, site consulté le 13 juin 2017.