

Outils pour la gestion « territoriale » des étiages

*Quels fonctionnalités attendues,
outils existants et
développements nécessaires ?*

Avril 2014

- **AUTEUR**

Olivier THEROND, agronome, ingénieur de recherche (INRA, UMR AGIR),
Olivier.Therond@toulouse.inra.fr

- **CORRESPONDANT**

Onema : **Bénédicte AUGEARD**, chargé de mission hydrologie quantitative (ONEMA),
benedicte.augeard@onema.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : France, bassin hydrographique Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée

Niveau de lecture : experts

- **RESUME**

Ce travail fait suite à une précédente étude d'analyse de la gestion des étiages (Balestrat et Therond, 2014) qui a permis d'identifier les principaux besoins des institutions publiques impliquées dans la gestion des étiages en termes de systèmes d'information et d'outils de modélisation. La grande majorité des acteurs rencontrés lors de cette étude s'accorde à dire que chaque situation de gestion est spécifique du fait de ses caractéristiques en termes de systèmes hydrologiques, agricoles, de gestion des ressources stockées et de régulation des usages et des interactions entre ses systèmes. Ils ont insisté sur la nécessité de développer des outils d'aide à la décision pour les organisations impliquées dans la gestion des étiages à l'échelle de ces situations de gestion ; échelles de gestion des Volumes Prélevables (VP), des lâchers de soutien d'étiage, des restrictions d'usage et des projets de création de ressources (barrages). Le présent rapport, réalisé dans la continuité de l'analyse de Balestrat et Therond (2014), présente, d'une part en termes de systèmes d'information et d'autre part en termes d'outils modélisation les principales attentes des organisations impliquées dans la gestion des étiages, les projets institutionnels et de recherche en cours et une synthèse des enjeux en termes de développements qu'il faudrait réaliser considérant les écarts entre les attentes et travaux en cours.

Du point de vue des systèmes d'information, les principaux enjeux concernent l'amélioration de la qualité des données sur les caractéristiques des (i) prélèvements agricoles, (ii) petites retenues aussi appelées « retenues collinaires » (entre autres petites retenues à usage irrigation) et (iii) ressources en eau souterraine. Concernant les prélèvements agricoles les principaux besoins exprimés sont (i) de spatialiser finement et rattacher aux ressources utilisées les points de prélèvement agricoles et (ii) d'estimer la dynamique de prélèvement associée à ces points et donc aux différentes ressources. Concernant les retenues de petites dimensions les besoins portent sur la détermination des caractéristiques (volume, ouvrage, usage...) de ces surfaces en eau au sein des bassins. Concernant les ressources souterraines les acteurs soulignent souvent une très forte méconnaissance des nappes profondes plus particulièrement en termes de délimitation, dimension et propriétés hydrodynamiques. Considérant les objectifs de représentation des spécificités des situations de gestion nous identifions quatre voies pour développer un système d'information décrivant, au sein des bassins versant, les relations entre système de production, systèmes de culture, sol, points de prélèvements et ressources en eau.

Du point de vue des outils de modélisation, il ressort des entretiens réalisés **une demande de modélisation intégrée** permettant de représenter finement les spécificités des situations de gestion de chaque sous bassin pour trois grands types d'objectif : (i) **concevoir une stratégie d'action publique réglementaire ou incitative à l'échelle d'un territoire**, (ii) **l'aide à la gestion des étiages en temps réel** à l'échelle des bassins versant et (iii) **assister les OUGC dans l'élaboration des plans de répartition des volumes prélevables (VP)** à l'échelle des unités hydrologiques de définition et de gestion de ces volumes. Dans les deux premiers cas, l'enjeu réside dans la capacité de développer et appliquer localement un **Outil Intégré pour la Gestion des Etiages (OIGE) permettant de simuler dynamiquement, au sein des bassins versant, la variabilité des interactions entre sol, système de culture, hydrologie et gestion des ressources en eau à une résolution spatiale compatible avec les échelles de décision et d'action des gestionnaires des étiages voire en permettant d'évaluer les effets potentiels des décisions sur les systèmes de production agricoles**. Dans le troisième cas (élaboration de plan de répartition des VP), l'enjeu réside dans la capacité de l'outil de modélisation à permettre d'estimer les effets de l'utilisation d'un critère ou une combinaison de critères de répartition des autorisations de prélèvement entre usagers agricoles au regard des performances des systèmes de production agricole et possiblement sur la gestion de l'eau.

Bien que très peu d'OIGE soient utilisés par les institutions et organisations impliquées dans la gestion des étiages certaines plateformes et outils de modélisation existants répondent plus ou moins complètement aux besoins exprimés. Nous présentons une sélection de cinq d'entre eux. Partant des caractéristiques de ces outils de modélisation et des caractéristiques attendues d'un OIGE nous réalisons une analyse des principales forces et faiblesses de ces plateformes et des enjeux de développement complémentaire associés. Il en ressort (i) le fort potentiel pour le développement d'OIGE, de l'hybridation des approches de modélisation et (ii) un fort besoin d'estimer la qualité des résultats des modèles/modules d'hydrologie de surface pour représenter la

dynamique intra et interannuelle des étiages en France.

- **MOTS CLEFS (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)**

Gestion des étiages, système d'information, outil de modélisation, plateforme de modélisation, Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée

- **TOOLS FOR TERRITORIAL MANAGEMENT OF LOW-FLOWS. EXPECTED FEATURES, EXISTING TOOLS AND FUTURE DEVELOPMENTS**

- **ABSTRACT**

Balestrat and Therond (2014) identified the main needs of institutions involved in the management of water low-flows in terms of information systems and modeling tools. The majority of stakeholders interviewed in this study agreed that each water management situation is unique because of its characteristics in terms of hydrology, agriculture, stored resources and water use regulations systems and interactions between them. They stressed the need to develop decision support systems for organizations managing the following situations: water withdrawal authorizations, water releases from dams and withdrawal restrictions and dam constructions.

This report is carried out in continuity with the work of Balestrat Therond (2014). It presents (i) the main expectations of the organizations involved in the low-flows management, (ii) several ongoing institutional and research projects and (iii) the developments needed, considering the gaps between expectations and these projects. These points are developed firstly for information systems and secondly for modeling tools.

Regarding information systems, the main challenges are to improve the quality of data on the characteristics of (i) agricultural withdrawals, (ii) small reservoirs and (iii) groundwater resources.

The main issues regarding agricultural withdrawals are (i) the development of a fine spatial allocation of withdrawal points and their link to water resources and (ii) the estimation of the daily withdrawal dynamics associated with each of these points. Small reservoirs require the determination of their characteristics: volume, structure, use... Regarding groundwater resources stakeholders often emphasize the lack of information on deep ones particularly in terms of boundaries, size and physical properties. Considering the stakeholder' objective to represent specificities of each management situation we identified four institutional and research procedures to develop an information system describing, within watersheds, the relationships between farming systems, cropping systems, soils, withdrawal points and water resources.

Regarding modeling tools, some stakeholders expressed the need to develop integrated models of management situations (at the watershed level) to assist: (i) the design of public regulatory or incentive water policies, (ii) the day-to-day low-flow management, and (iii) the design of allocation plans of agricultural water withdrawal authorizations.

For the two first objectives, the challenge lies in the development and local instantiation of an Integrated Tool for the Management of Low Flow (ITMLF) that dynamically simulates the variability of interactions between soil, cropping system, hydrology and management of water resources at a spatial resolution compatible with the decision and action scales of the low water managers. For the third objective, the challenge lies in the ability of the modeling tool to estimate effects of the use of one or a combination of criteria for allocation of withdrawal authorizations (between agricultural users) on farming system viability and even on water management objectives.

Although very little ITMLF are currently used by organizations involved in the management of low-flows, some existing modeling platforms fit more or less with the expressed needs. After the presentation of the main characteristics of five of these modeling platforms we provide an analysis of their main strengths and weaknesses and the required developments to develop an ITMLF. Through this analysis we show (i) the potential for the development of ITMLF of hybridization of the different modeling platforms and (ii) a strong need to assess the capacities of existing hydrology models to simulate the intra- and inter-annual variability of low-flow in France.

- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA)**

Low-flow management, information system, modelling tool, Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée

● SYNTHÈSE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE

Un premier travail d'analyse de la gestion des étiages (Balestrat et Therond 2014) a permis d'identifier les principaux besoins des institutions publiques impliquées en termes de systèmes d'information et d'outils de modélisation. La grande majorité des acteurs rencontrés lors de cette étude s'accorde à dire que **chaque situation de gestion est spécifique du fait de ses caractéristiques en termes de systèmes hydrologiques, agricoles, de gestion des ressources stockées et de régulation des usages et des interactions entre ses systèmes**. Ils ont insisté sur la nécessité de développer des outils d'aide à la décision pour les organisations impliquées dans la gestion des étiages à l'échelle de ces situations de gestion ; échelles de gestion des Volumes Prélevables (VP), des lâchers de soutien d'étiage, des restrictions d'usage et des projets de création de ressources (barrages).

Le présent rapport, réalisé dans la continuité de l'analyse de Balestrat et Therond (2014), a pour objectif d'identifier les principaux enjeux de développements de systèmes d'information et outils de modélisation qui répondraient à ces demandes et attentes considérant les programmes institutionnels et travaux de recherche existant et en cours sur cette question. Ce rapport spécifie, d'une part en termes de systèmes d'information et d'autre part en termes d'outils modélisation les principales attentes des organisations impliquées dans la gestion des étiages, les projets institutionnels et de recherche en cours et une synthèse des enjeux en termes de développements qu'il faudrait réaliser considérant les écarts entre les attentes et travaux en cours.

Du point de vue des systèmes d'information, les principaux enjeux concernent l'amélioration de la qualité des données sur les caractéristiques des (i) prélèvements agricoles, (ii) petites retenues aussi appelées « retenues collinaires » (entre autres petites retenues à usage irrigation) et (iii) ressources en eau souterraine. Concernant les prélèvements agricoles, les principaux besoins exprimés sont (i) de spatialiser finement et rattacher aux ressources utilisées les points de prélèvement et (ii) d'estimer la dynamique de prélèvement associée à ces points et donc aux différentes ressources. Concernant les retenues de petites dimensions les besoins portent sur la détermination des caractéristiques (volume, ouvrage, usage...) de ces surfaces en eau au sein des bassins. Concernant les ressources en eau souterraine les acteurs soulignent souvent une très forte méconnaissance des nappes profondes plus particulièrement en termes de délimitation, dimension et propriétés hydrodynamiques.

Considérant l'objectif de représentation des spécificités des situations de gestion, **quatre voies nous semblent possibles pour développer un système d'information** décrivant, au sein des bassins versant, les relations entre systèmes de production, systèmes de culture, sols, prélèvements et ressources en eau :

- le déploiement de l'outil OASIS dans les DDT (outil qui assiste l'agent en charge de la police de l'eau dans la gestion des dossiers portant sur les prélèvements) intégrant les données collectées par les Organismes Uniques de Gestion Collective (OUGC) via le schéma de données unique pour toute la France de la future Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE). Ce déploiement et la mise en œuvre de la collecte des informations par les OUGC pourraient prendre plusieurs années. Bien que le schéma de base de données soit unique la nature des données collectées pourrait être (sera encore longtemps ?) hétérogène d'un département et d'un territoire d'OUGC à l'autre. En outre, il reste à évaluer dans quelle mesure l'outil OASIS et la BNPE permettront de collecter l'ensemble des informations que pourront faire remonter les OUGC.

- l'appariement des informations recueillies d'une part par les DDT (et donc OUGC) via les déclarations/autorisations de prélèvements et d'autre part par les Agences de l'Eau (AE) via les relevances sur l'eau effectivement prélevée peut être réalisé soit localement soit au niveau national (via la BNPE). A l'échelle nationale l'échéance de cet appariement n'est actuellement pas définie. Il est important de noter que les données sur les volumes annuels prélevés, principale information disponible dans la base de données des agences, devraient être collectées par les OUGC, transmises au DDT et intégrées dans OASIS. Pour les bassins sur lesquels un OUGC gère(ra) le volume prélevable cet appariement devrait donc être réalisé par celui-ci.

- le développement par la recherche d'un système d'information « socle » sur les relations entre systèmes de culture/production et ressources en eau sur l'étendue de la France, qui aurait pour vocation d'être affiné localement par les OUGC ou DDT. C'est par exemple l'objectif du travail de l'UMR AGIR sur l'appariement des données sur les systèmes de culture/production du Registre Parcellaire

Graphique (RPG), sur les prélèvements de l'agence de l'eau Adour-Garonne et sur les ressources en eau (bases de données Carthage®, Topo®, et du BRGM). La principale difficulté de ce travail réside dans l'utilisation de données rendues anonymes et agrégées qui complique et limite l'efficacité de ces travaux.

- **de manière originale**, le développement localement et/ou nationalement par les services de l'Etat (DDT, DRAFF/DREAL ou MAAF) **d'un système d'information basé sur l'appariement des bases de données RPG, Recensement Agricole (RA) 2010, BNPE**, sur la base des identifiants des exploitations/préleveurs. Ce système d'information pourrait également via l'intégration de couches de données spatialisées sur les sols et le climat caractériser la situation pédoclimatique des îlots du RPG. Il représenterait ainsi un référentiel majeur en terme de données sur l'agriculture et l'eau. Au delà des moyens à déployer, la principale limite à son développement pourrait être le respect de la réglementation sur les données individuelles. Ce problème pourrait être résolu par la mise à disposition des informations issues de l'appariement à un niveau agrégé comme par exemple les zones sécheresses c'est-à-dire les zones de gestion de restriction des usages. Son développement pourrait être réalisé en collaboration avec la recherche publique. Il pourrait également être alimenté au fil des années par les données collectées par les OUGC mais aussi par les données produites par la télédétection sur les pratiques agricoles à l'échelle des îlots du RPG voire des parcelles.

Les trois premières voies de développement sont engagées. La dernière est une proposition dont les conditions de mise en oeuvre restent entièrement à définir.

Bien sûr, ces différentes options ne sont pas exclusives. Il existe de nombreuses possibilités d'hybridation entre elles ou de séquençage.

Il est important de noter que plusieurs initiatives institutionnelles devraient permettre de promouvoir et grandement faciliter l'utilisation de données satellitaires à haute résolution spatiale et temporelle pour produire des données intéressantes pour la gestion des ressources en eau en général et des étiages en particulier.

Du point de vue des outils de modélisation, il ressort des entretiens réalisés par Balestrat et Therond (2014) **une demande de modélisation intégrée** permettant de représenter finement les spécificités des situations de gestion de chaque sous bassin pour trois grands types d'objectif :

1. **Concevoir une stratégie d'action publique réglementaire ou incitative à l'échelle d'un territoire**, par exemple dans le cadre de l'élaboration d'un SAGE ou d'un Plan de Gestion des Etiages à l'échelle du bassin versant concerné par celui-ci. L'objectif ici est de permettre d'identifier quelles combinaisons de leviers d'action et de degrés d'action de chacun mettre en oeuvre sur le territoire concerné pour atteindre un objectif donné sur la gestion des étiages voire également sur l'agriculture.
2. **L'aide à la gestion des étiages en temps réel** à l'échelle des bassins versant par exemple pour les DDT et EPTB voire OUGC. L'objectif ici est de fournir à ces organisations un outil permettant de centraliser et structurer l'analyse, au jour le jour, de la situation agro-hydrologique et de réaliser des prévisions d'interactions entre stratégies de lâcher, de soutien d'étiage, restrictions et agriculture et hydrologie afin de prendre les décisions de gestion (lâchers et/ou restrictions, tour d'eau...) qui ont le meilleur potentiel pour atteindre les objectifs de gestion sur l'eau (ex. maintenir un débit au dessus du Débit D'objectif d'Etiage) ou obtenir un compromis entre objectifs sur l'eau et impacts sur l'agriculture à court et moyen termes dans la période d'irrigation et d'étiage.
3. **Assister les OUGC dans l'élaboration des plans de répartition des volumes prélevables (VP)** à l'échelle des unités hydrologiques de définition et de gestion de ces volumes. L'objectif ici est de permettre à ces organisations de définir les critères d'attribution des autorisations de prélèvement entre usagers agricoles qui permettent d'atteindre des objectifs donnés par exemple d'équité entre les usagers agricoles ou de prise en compte de la vulnérabilité de ceux-ci.

Dans les deux premiers cas, l'enjeu réside dans la capacité de développer et instancier localement un **Outil Intégré pour la Gestion des Etiages (OIGE) permettant de simuler dynamiquement, au sein des bassins versants, la variabilité des interactions entre sol, système de culture, hydrologie et gestion des ressources en eau à une résolution spatiale compatible avec les échelles de décision et d'action des gestionnaires des étiages** (ex. zone d'édiction des restrictions d'usage) **voire en permettant d'évaluer les effets potentiels des décisions sur les systèmes de production agricole** (ex. la perte financière pour les exploitations impactées). Dans le troisième cas (élaboration de plans de répartition des VP), l'enjeu réside dans la capacité de l'outil de modélisation à permettre d'estimer les effets de l'utilisation d'un critère ou une combinaison de critères de répartition des autorisations de prélèvement entre usagers agricoles au regard des autorisations passées voire sur les performances agricoles des systèmes de production et possiblement sur la gestion de l'eau.

Bien que très peu d'OIGE soient utilisés par les institutions et organisations impliquées dans la gestion

des étiages certains outils et plateformes de modélisation existants répondent plus ou moins complètement aux besoins exprimés par les institutions rencontrées. Nous présentons une sélection de cinq d'entre eux. Cette sélection est composée de :

- la plateforme de modélisation multi-agent MAELIA des socio-agro-hydrosystèmes, issue de la recherche française. Elle a été développée pour représenter les interactions entre sols, systèmes de culture, systèmes de production, hydrologies et modes de gestion des ressources en eau au sein des bassins versant à des résolutions spatiale et temporelle fines ;
- la plateforme agro-hydrologique semi-distribuée SWAT, issue de la recherche des USA et internationale. Très utilisée dans le monde entier sur une très large gamme de situations agro-hydrologiques, elle permet de représenter les interactions entre sol, système de culture, hydrologie et gestion des barrages à des résolutions spatiale et temporelle fines ;
- la plateforme d'hydrologie distribuée SIM, issue de la recherche française. Bien que SIM soit une plateforme d'hydrologie (sans prise en compte explicite des systèmes de culture) elle est présentée ici de par son potentiel à être support de développement d'un OIGE. En effet, la représentation fine de l'hydrologie, l'intégration d'un modèle sol-plante-atmosphère, une large utilisation en France, la représentation pour certains bassins des échanges nappes-rivières et des retenues collinaires, nous a semblé représenter un bon potentiel pour développer un OIGE ;
- l'outil RIO MANAGER®, développé par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG). Il permet de définir des stratégies de gestion de ressources stockées sur un bassin versant. Cet outil est utilisé par la CACG dans le cadre de ses activités de gestionnaire d'ouvrage et études stratégique et de prospective (planification) mais aussi par d'autres gestionnaires d'ouvrage (ex. « Entente de Montbel » pour le barrage de Montbel en Ariège) pour la gestion opérationnelle. C'est donc un outil opérationnel pour les gestionnaires mis en œuvre dans plusieurs bassins en France et dans plusieurs autres pays ;
- l'outil STRATEAU, développé par Énergies Demain (à la demande de l'Ambassade de l'Eau en partenariat avec le MEDDE, l'ONEMA et les Agences de l'Eau) pour conduire une analyse stratégique et prospective sur les équilibres demandes/ressources en eau à la résolution des communes et/ou des bassins versants. De manière originale, il représente finement la demande des secteurs de l'énergie, du résidentiel, du tertiaire et de l'industrie. Il ne s'agit pas d'un outil de modélisation des comportements hydrologiques des nappes et des rivières, mais bien d'un outil de modélisation des équilibres offre/demande en eau à l'échelle d'un territoire. Il est paramétré pour être utilisé sur tous les bassins de France.

Le tableau 1 (page 20) détaille les caractéristiques de ces cinq plateformes et outils de modélisation en termes de (i) nature de la plateforme de modélisation/simulation, (ii) modes de représentation des processus, (iii) nature et sources des données utilisées pour décrire l'état initial des entités représentées et les variables de forçage des simulations et (iv) procédures de mise en œuvre.

Partant des caractéristiques des plateformes de modélisation décrites dans la section précédente, et des caractéristiques attendues d'un OIGE nous réalisons une analyse des principales forces et faiblesses de ces plateformes et des enjeux de développement complémentaire associé en termes de représentation de (i) la dynamique des systèmes de culture et de production dans l'espace, (ii) la demande des usages non-agricoles, (iii) l'hydrologie des cours d'eau, des nappes, interactions nappe-cours d'eau et retenues dites collinaires, (iv) la gestion des ressources en eau : lâchers de soutien d'étiage et édicition des restrictions des usages et (v) les interactions entre agriculture, prélèvements non agricoles, hydrologie et gestion des ressources.

Il en ressort un fort potentiel pour le développement d'OIGE permettant l'hybridation des approches de modélisation ou, autrement dit, le couplage de modules des différentes plateformes, présentant des qualités spécifiques.

- **SOMMAIRE**

1. Introduction	11
2. Méthodologie	11
2.1. Processus de rédaction du rapport	11
2.2. Éléments de vocabulaire	11
3. Systèmes d'information : enjeux des gestionnaires, projets institutionnels et de recherche en cours et synthèse des enjeux de développements	12
3.1. Les données sur prélèvements agricoles	12
3.1.1. Spatialiser et rattacher aux ressources utilisées les points de prélèvement.....	12
3.1.2. Estimer la dynamique des prélèvements associés à chaque point de prélèvement.....	14
3.2. Les données sur les petites retenues.....	16
3.3. Les données sur les ressources souterraines.....	16
3.4. Synthèse des alternatives en terme de développement d'un système d'information sur les relations entre systèmes agricoles et ressources en eau ..	17
4. Attentes en termes d'outils de modélisation pour la gestion des étiages, caractérisation d'outils et plateformes de modélisation existants et bilan des enjeux	18
4.1. Attentes en terme d'outils de modélisation pour la gestion des étiages	18
4.2. Caractérisation de modèles ou outils de modélisation existants.....	20
4.3. Synthèse des enjeux en terme de développement de modèle intégré pour la gestion des étiages	28
4.3.1. Représenter la dynamique des systèmes de culture et de production dans l'espace	28
4.3.2. Représenter la demande des usages non-agricoles	28
4.3.3. Représenter l'hydrologie des cours d'eau, des nappes, interactions nappe-cours d'eau et retenues dites collinaires.....	29
4.3.4. Représenter la gestion des ressources en eau : lâchers de soutien d'étiage et édicition des restrictions des usages	29
4.3.5. Représenter les interactions entre agriculture, prélèvements non agricoles, hydrologie et gestion des ressources.....	30
5. Conclusion.....	31
6. Glossaire.....	33
7. Sigles & Abréviations	34
8. Bibliographie	35
9. Table des illustrations	36
10. Annexes	Erreur ! Signet non défini.
11. Remerciements	37

- **OUTILS POUR LA GESTION « TERRITORIALE » DES ÉTIAGES. QUELS FONCTIONNALITÉS ATTENDUES, OUTILS EXISTANTS ET DÉVELOPPEMENTS NÉCESSAIRES ?**

1. Introduction

Le travail d'analyse des enjeux de la gestion des étiages présenté dans Balestrat et Therond (2014) a permis d'identifier les principaux besoins des institutions publiques impliquées dans cette gestion en termes de systèmes d'information et d'outils de modélisation. Ce travail, conduit par l'UMR AGIR (INRA Toulouse), s'est concentré sur les trois bassins hydrographiques dans lesquels les enjeux de gestion des étiages sont fortement liés aux prélèvements agricoles pour l'irrigation : Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée.

La grande majorité des acteurs rencontrés lors de l'étude de Balestrat et Therond (2014) s'accorde à dire que **chaque situation de gestion est spécifique du fait de ses caractéristiques en termes de systèmes (géo)hydrologiques, agricoles (situations pédoclimatiques et pratiques), de gestion des ressources stockées et de régulation des usages et des interactions entre ses systèmes**. Ils ont insisté sur la nécessité de développer des outils d'aide à la décision pour les organisations impliquées dans la gestion des étiages à l'échelle de ces situations de gestion ; échelles de gestion des Volumes Prélevables (VP), des lâchers de soutien d'étiage, des restrictions d'usage et des projets de création de ressources (barrages). Cette demande est convergente avec la mise en œuvre de « projets territoriaux » pour penser et organiser la mise en œuvre d'une action publique favorable à une gestion équilibrée des ressources en eau à l'échelle d'un sous bassin versant. Ils considèrent que les systèmes d'information (bases de données) et outils de modélisation à développer doivent permettre aux organisations impliquées dans la gestion des étiages de représenter et prendre en compte les spécificités de leur(s) situation(s) de gestion. Plus précisément, l'enjeu qui ressort de ce travail est d'équiper les organisations impliquées dans la gestion opérationnelle de prélèvements agricoles et/ou des étiages comme les Organismes Uniques de Gestion Collective (OUGC), Directions Départementales des Territoires (DDT) ou Établissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB).

Le présent rapport, réalisé dans la continuité de l'analyse de Balestrat et Therond (2014), a pour objectif d'identifier les principaux enjeux de développements de systèmes d'information et outils de modélisation qui répondraient à ces demandes et attentes considérant les programmes institutionnels et travaux de recherche existant et en cours sur cette question.

Après avoir décrit la méthodologie mise en œuvre, dans la section 2, ce rapport présente, d'une part en termes de systèmes d'information (section 3) et d'autre part en termes d'outils de modélisation (section 4), les principales attentes des organisations impliquées dans la gestion des étiages, les projets institutionnels et de recherche en cours et une synthèse des enjeux en termes de développement qu'il faudrait réaliser considérant les écarts entre les attentes et travaux en cours.

2. Méthodologie

2.1. Processus de rédaction du rapport

Ce rapport a été établi sur la base des (i) informations recueillies par Balestrat et Therond (2014) et (ii) de l'expertise acquise par l'UMR AGIR (Toulouse) sur cette problématique, les besoins des organisations impliquées dans la gestion des étiages et les enjeux et travaux en cours en termes de bases de données et de modélisation.

Le tableau comparatif des 5 plateformes de modélisation ou outil présenté en section 3.2.2 a été établi soit sur la base des informations fournies par les développeurs ou utilisateurs experts de ceux-ci (Cf. section 10 - Remerciements) soit sur la base de la documentation de l'outil (outil STRATEAU).

2.2. Éléments de vocabulaire

Afin de faciliter la lecture du rapport nous fournissons ci-dessous notre définition de quelques concepts clefs manipulés au fil de ce rapport :

- Système d'information : base de données relationnelle structurée dans un objectif donné, ici la description des situations de gestion des étiages.
- Modèle (informatique) : représentation, sous forme d'un logiciel informatique, du comportement

d'un système donné, par exemple une parcelle, une exploitation agricole, une situation de gestion des étiages.

- Plateforme de modélisation (et simulation) : ensemble de composants logiciels (bases de données, prétraitements, modèles, interfaces homme-machine) permettant de modéliser (représenter) et de simuler le comportement dynamique d'un système complexe. Du fait de l'expertise nécessaire pour son utilisation, la plateforme de modélisation est généralement utilisée par son développeur et des utilisateurs experts. Elle est très souvent utilisée dans le cadre d'activités « Recherche et Développement », de bureaux d'étude ou de services techniques.

- Outil (de modélisation) : ensemble de composants logiciels et de procédures d'utilisation documentés permettant de représenter le comportement d'un système donné pour répondre à un ou des besoins « métiers ». La principale différence avec une plateforme de modélisation voire un modèle est le caractère opérationnel et utilisable par une large gamme d'utilisateurs grâce aux procédures d'utilisation documentées.

- Situation de gestion (des étiages) ou Socio-agro-hydrosystème : représentation conceptuelle formelle ou non formelle du système complexe composé des entités et processus biophysiques, socio-économiques et institutionnels qui déterminent le fonctionnement de la gestion des étiages dans un territoire donné.

- Territoire : étendue géographique correspondant à l'échelle d'intervention d'acteurs donnés par exemple ici la bassin versant pour les gestionnaires des étiages.

- Outil Intégré pour la Gestion des Étiages (OIGE) : outil de modélisation développé dans l'objectif de d'améliorer les conditions de prises de décision des organisations impliquées dans la gestion des étiages lors de leurs activités professionnelles.

3. Systèmes d'information : enjeux des gestionnaires, projets institutionnels et de recherche en cours et synthèse des enjeux de développements

Du point de vue des systèmes d'information, les principaux enjeux identifiés par Balestrat et Therond (2014) concernent l'amélioration de la qualité des données sur les caractéristiques des (i) prélèvements agricoles, (ii) petites retenues aussi appelées « retenues collinaires » (entre autres petites retenues à usage irrigation) et (iii) ressources souterraines. Il existe également, tout particulièrement dans le bassin Rhône-Méditerranée, un besoin d'amplifier les dispositifs de mesure des débits des cours d'eau et des niveaux piézométriques existants.

3.1. Les données sur les prélèvements agricoles

Pour les prélèvements agricoles, les principaux besoins exprimés sont (i) de spatialiser finement et rattacher aux ressources utilisées les points de prélèvement agricoles et (ii) d'estimer la dynamique temporelle de prélèvement associée à ces points et donc aux différentes ressources.

3.1.1. Spatialiser et rattacher aux ressources utilisées les points de prélèvement

Les données sur les prélèvements d'eau sont issues principalement des volumes déclarés par les usagers aux agences de l'eau (volume prélevé dans l'année écoulée). Les dossiers de déclaration ou d'autorisation de prélèvement envoyés à la DDT (avant de commencer le prélèvement) fournissent des informations sur les volumes déclarés/autorisés. Les données issues des déclarations auprès des Agences de l'Eau (AE) sur le géoréférencement des points de prélèvement agricole et l'identification des ressources en eau impactées sont souvent imprécises voire inexistantes (ex. spatialisation au centroïde la commune, pas d'identifiant de la ressource utilisée). Les données collectées par les DDT, dans le cadre de la procédure de déclaration ou d'autorisation des prélèvements en eau, sont souvent plus précises en terme de spatialisation des points de prélèvements et de rattachement à une ressource. Cependant, actuellement ces données sont très hétérogènes d'un département à un autre. Le projet de Banque Nationale des Prélèvements en Eau¹ (BNPE) a pour objectif de permettre de rassembler au sein d'un même système d'information les données liées aux prélèvements en eau gérées par les AE, les DDT et, un peu plus tard, des DREAL (données liées à l'instruction et au suivi des déclarations et des autorisations au titre des ICPE). La mise en commun de ces données nécessite la constitution d'un référentiel unique national (un schéma de base de données) relatif aux préleveurs, aux ouvrages et aux points de prélèvements. La BNPE doit

¹ Les spécifications fonctionnelles générales de la banque sont disponibles à l'adresse : <http://www.reseau.eaufrance.fr/ressource/sfg-bnpe-0>

permettre de savoir, qui prélève, où, combien, comment et pour faire quoi. La BNPE devrait être mise en service d'ici 2015. Le dictionnaire de données est disponible sur le site du SANDRE². Du fait de contraintes budgétaires, la constitution d'un référentiel commun (préleveurs, ouvrages et points de prélèvements) entre DDT et AE ne pourra être réalisée à court terme. Il y aura donc dans un premier temps deux bases de données dans la BNPE, une avec les données DDT, l'autre avec les données AE, mais ces bases pourront potentiellement être appariées via l'identifiant du préleveur. A terme (non défini à ce jour), les référentiels communs des points et des ouvrages seront aussi réalisés afin de mettre en œuvre une base de données totalement unifiée.

Dans le Bassin Adour-Garonne (BAG), l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG) a fait développer un outil pour permettre de réaliser un appariement automatique des données de l'Agence avec celles des DDT du bassin. Cet outil développé par le bureau d'étude DIADEME a été testé par l'AEAG et des DDT. Il permet l'appariement automatique, sur les jeux de données testés, d'environ 70-75 % des préleveurs, mais seulement 20-25% des points de prélèvements, le reste devant être apparié à la main. Le test de cet outil dans le cadre d'une étude du BRGM sur les nappes alluviales de la Garonne, de l'Aveyron et du Tarn n'a pas été jugé concluant par cet établissement qui a préféré réaliser un appariement manuel. A notre connaissance, cet outil n'a pas fait l'objet d'une utilisation généralisée dans le BAG.

Au niveau des DDT, pour unifier les méthodes de travail, l'outil OASIS, en cours de développement, permettra d'aider les services de police de l'eau des DDT dans l'instruction et le suivi des déclarations et des autorisations de prélèvements dont ils ont la responsabilité (Eau potable, irrigant et certaines industries non ICPE). OASIS permettra également d'alimenter la BNPE avec les données gérées par les DDT : (i) identifiant du préleveur, (ii) ressource impactée, (iii) période de prélèvement, (iv) débit/volume autorisé et (v) si irrigation : culture, type de sols et surfaces associées. Toutes ces données ne sont pas obligatoires. Par exemple, les informations sur les cultures, surfaces et plus encore le type de sols ne sont renseignées que par très peu de DDT.

Par ailleurs, il est important de noter que les (nouveaux) OUGC devraient faire remonter en décembre de chaque année, à la DDT avec laquelle chacun d'eux est en relation, les informations sur les prélèvements agricoles réalisés dans l'année. Cette donnée sur les prélèvements annuels est actuellement uniquement recueillie par les AE. Cette information fournie par les OUGC aux DDT permettrait de constituer au niveau des OUGC et des DDT (dans l'outil OASIS) un jeu d'information complet sur les prélèvements comportant au moins pour chaque préleveur (ou intervenant) agricole : la spatialisation du points de prélèvement agricole, la ressource impactée, le volume/débit autorisé, le volume annuel prélevé... Suivant leur volonté les OUGC pourront également recueillir et enregistrer d'autres informations clefs. Ainsi, dans le cahier des charges de l'outil développé sous la maîtrise d'ouvrage de l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) pour les Chambres d'Agriculture qui sont et seront OUGC prévoit la possibilité de recueillir des informations sur les : cultures, surfaces, équipements d'irrigation, irrigation prévisionnelle et irrigation réalisée rattaché à chaque point de prélèvement de chaque exploitation ou préleveur. Ces informations peuvent également être rattachées à une zone hydrologique correspondant par exemple à une zone de restriction des prélèvements. Cependant, il faut considérer que l'établissement d'une base de données précise et exhaustive au sein des OUGC (et potentiellement des DDT) prendra du temps et sera réalisée au fil des années à venir à des rythmes différents d'un territoire d'OUGC à un autre.

Notons que dans le Bassin Rhône-Méditerranée (BRM), les bureaux d'études mandatés pour travailler sur la définition des Volumes Prélevables, doivent fournir, à l'Agence de l'Eau de ce bassin (AERMC), un jeu de données complet sur les points de prélèvements développé par croisement des bases de données existantes (DDT, AERMC et autres) et d'enquêtes terrain. Cette procédure devrait permettre à cette AE de se constituer un système d'information à jour, complet et précis sur les prélèvements en eau en général, et agricole en particulier, fournissant des informations précises sur la position des points de prélèvements, la ressource impactée, les coordonnées du préleveur, les volumes autorisés et prélevés les années passées.

En parallèle, un travail exploratoire est en cours au sein de l'UMR AGIR (INRA Toulouse) pour développer une base de données permettant de produire un premier niveau d'information sur les relations hydrauliques entre surfaces agricoles irriguées et points de prélèvement et ressources (voir Balestrat et Therond, 2014). Il est basé sur le développement de méthodes d'appariement entre une version anonymisée du Registre Parcellaire Graphique³, la base de

² http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/prl/2/sandre_dictionnaire_PRL_2.pdf

³ Base de données géographique décrivant les contours des îlots culturaux de chaque exploitation agricole

données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne sur les prélèvements agricoles et les bases de données Carthages®, couche surface en eau de la BD Topo® et du BRGM sur les ressources en eau de surface et souterraines. L'objectif est d'estimer s'il est possible à partir de ces bases de données disponibles sur de très grandes étendues de construire un système d'information décrivant qui (quels îlots irrigués avec quelle(s) culture(s) de quelle exploitation) prélève combien dans quelle ressource. Ce travail est fortement compliqué par le fait que la version RPG utilisée est anonymisée et donc ne peut pas être appariée automatiquement, au moins partiellement en utilisant les identifiants communs entre les bases RPG et de l'AEAG des préleveurs (ex. N° SIRET, nom, adresse).

Enfin, concernant les prélèvements d'eau pour les usages domestique et industriels, alors que généralement les points de prélèvements et de rejets sont en grande majorité bien spatialisés et rattachés à une ressource, les relations entre points de prélèvements et points de rejets sont non renseignées ou très imprécises. La connaissance de ces relations, qui peuvent être compliquées (n points de prélèvements connectés à un voire n points de rejets), est nécessaire dès que l'on désire établir des coefficients de consommation d'eau (ratio entre eau prélevé et eau rejeté localement) mais aussi lorsque l'on désire établir des scénarios relatifs à l'efficacité d'utilisation et de traitement de l'eau (y compris sur les pertes sur les réseaux d'adduction d'eau). Elle est également nécessaire pour estimer les tronçons de cours d'eau court-circuités entre le point de prélèvement et le point de rejet souvent plus en aval. En effet, alors que le bilan algébrique prélèvement moins rejet peut paraître sans effet significatif sur le milieu aquatique, l'effet sur le tronçon de cours d'eau entre le point de prélèvement et le point de rejet peut être très important et conduire à des discontinuités écologiques fortes.

3.1.2. Estimer la dynamique des prélèvements associés à chaque point de prélèvement

Les données sur les prélèvements d'eau issues des déclarations auprès des AE fournissent des informations sur les prélèvements annuels mais pas sur la dynamique quotidienne/hebdomadaire/décadaire de prélèvement. L'estimation de l'intensité et de la dynamique des prélèvements agricoles peut être réalisée à partir des informations sur la nature et les surfaces des systèmes de culture irrigués (séquence/rotation de cultures et pratiques culturales) associés à chaque point de prélèvement. Cette estimation peut être réalisée suivant un gradient d'approches plus ou moins compliquées. La plus simple et la plus utilisée est basée sur l'utilisation d'une équation permettant d'estimer les besoins en eau d'une culture (ETM) en fonction de la demande climatique (ETP) grâce à un « coefficient cultural » (kc) suivant un formalisme classique :

$$ETM = kc \times ETP$$

Cette solution peut être raffinée en intégrant une information sur la capacité de stockage en eau du sol et/ou les pluies pour la période donnée (possiblement avec un seuil minimal) et un coefficient traduisant le taux de couverture des besoins en eau de la culture lié à la stratégie d'irrigation et aux contraintes de matériel d'irrigation voire de ressources. On obtient alors un formalisme du type :

$$\text{Eau à apporter par irrigation} = \text{coefficient de comportement} \times (kc \times ETP - P - RFU).$$

Avec P pour précipitation et RFU pour la réserve en eau facilement utilisable par les plantes d'un sol donné. Ces estimations peuvent encore être améliorées par des données sur les dates de semis et tardivité des variétés pour le maïs associée à une stratégie d'irrigation type, spécifiant les règles de déclenchement des apports d'eau en fonction soit de la phénologie soit d'un état hydrique de la plante ou du sol. Ces données complémentaires à collecter par grands types de sol permettent de mieux positionner les cycles phénologiques des cultures et donc leur besoin en eau. Enfin les méthodes les plus élaborées sont basées sur l'utilisation d'un modèle de culture⁴ couplé à un modèle de décision formalisé sous la forme de jeux de règles SI-ALORS représentant les stratégies de semis, de choix de variétés et d'irrigation par type de situation pédoclimatique voire aussi de système de production. Ce type de modèle, appelé par l'unité AGIR, modèle bio-décisionnel, permet de simuler la variabilité des dates des opérations techniques (ex. semis, tour d'eau d'irrigation) en fonction du climat de chaque année simulée. Décrire ces stratégies permet, entre autres, d'évaluer des scénarios de changement de stratégies (ex. de semis, de choix de variété, de technique de travail du sol) en prenant en compte les effets de la variabilité climatique sur l'exécution de celles-ci. Bien sûr, plus les

(recevant des aides compensatoires de la Politique Agricole Commune) et la surface de chaque classe de culture exploitée au sein de ces îlots chaque année.

⁴ Modèle représentant les interactions entre climat, sol, culture et pratiques agricoles.

méthodes sont élaborées plus elles sont couteuses en collecte de données.

Un travail de comparaison des performances de ces méthodes sur des situations contrastées en France serait à réaliser afin de mieux estimer les intérêts et les faiblesses de chacune d'entre elles. Ce type de travail devrait être réalisé dans le cadre du projet REGARD (2014-2017, Cf. section 4.3.5).

Une nouvelle approche pour acquérir des informations sur la dynamique des prélèvements agricoles est basée sur la pose de capteurs de débits, possiblement équipés d'un module de télétransmission des données mesurées, sur des points de prélèvements représentatifs des prélèvements du bassin. Ces informations recueillies par le gestionnaire en temps réel ou en décalé lui permette, par extrapolation, d'estimer la dynamique de prélèvement en cours mais aussi de se construire un référentiel sur le comportements des irrigants lui permettant le paramétrer des modèles de prévision.

Par ailleurs, étant donné l'effet du mode d'irrigation sur les quantités d'eau apportées au champ il serait également important d'avoir des données sur les parts de surfaces irriguées au goutte à goutte, en aspersion et par gravité. Information par ailleurs disponible dans le Recensement Agricole 2010 pour chaque exploitation agricole. En outre, dans certains bassins régulièrement soumis à des restrictions d'usage, les experts constatent que de plus en plus d'agriculteurs s'équipent de matériels d'aspersion puissants permettant de passer d'une durée de tour d'eau (un délai entre deux passages de l'irrigation sur une même parcelle) initial de 7-10 jours à une durée de 3-5 jours conduisant à une augmentation du débit de prélèvement inversement proportionnelle. Des informations précises sur les matériels d'irrigation utilisés seraient donc nécessaires pour estimer finement le niveau et la dynamique des apports et donc des prélèvements.

La collecte des données sur les pratiques culturales ou systèmes de culture peut être réalisée suivant deux grandes logiques :

- en cours d'année sur la base de connaissances expertes (ex. des conseillers des Chambres d'Agriculture), de dispositifs d'observation et mesure (ex. suivi de parcelles représentatives) ou encore au travers d'un dispositif d'échange d'information entre le gestionnaire de l'eau et les agriculteurs. Des exemples de ce dernier type de dispositif sont présentés dans Balestrat et Therond 2014. Dans tous ces cas, les données collectées sont des dates d'opérations techniques réalisées (ex. semis, variété, démarrage irrigation) voire des prévisions de besoins ou d'apports d'eau (prévision d'irrigation). Les OUGC pourraient mettre en œuvre cette collecte d'information avec l'outil développé par l'APCA (Cf. 3.1.1) puisque celui-ci offre nativement la possibilité de les gérer.

- sur une ou plusieurs années afin de construire un système d'information sur les stratégies de conduite des cultures ou permettant d'établir des statistiques sur la distribution des opérations techniques dans l'espace. Ces dispositifs de collecte de données sont plus lourds mais comme indiqué ci-dessus permettent des simulations de la dynamique des apports suivant le climat annuel et donc des prélèvements que ce soit en cours de campagne à partir d'hypothèses sur la météorologie des jours et/ou semaines à venir ou sur une série d'années dans une logique de conception de stratégie de gestion ou de planification. Ce type d'information peut également être établi, pas à pas, sur la base des informations collectées chaque année.

Les développements de la télédétection et l'arrivée à court terme (2015 et 2016) de nouveaux capteurs satellites à hautes résolutions spatiale (10 m) et temporelle (délais de repassage 5 jours) pourraient révolutionner la manière d'acquérir ces informations dans les années à venir (voir section 3.4). Plusieurs laboratoires en France (ex. UMR CESBIO – Toulouse) travaillent sur le développement d'algorithmes de traitement de série d'images permettant d'acquérir des données spatialisées sur des pratiques culturales telles que l'implantation de couverts intermédiaires, le travail du sol, la date de semis, la longueur du cycle de végétation (et donc la précocité de la variété pour des cultures comme le maïs). Des travaux de télédétection sont également réalisés pour estimer les besoins en eau des plantes, l'évapotranspiration réelle des plantes, les surfaces irriguées et, de manière plus exploratoire, les pratiques d'irrigation. La télédétection de la présence voire du type de couvert intermédiaire est importante puisque leur développement peut avoir un impact significatif sur l'eau disponible dans le sol pour la culture suivante, tout particulièrement dans les régions à déficit climatique.

Il est important de noter que la possibilité de décrire les principales caractéristiques des sols (ex. RU et % argile) associées aux surfaces de culture irriguée permet un gain notable de précision dans l'estimation des besoins en eau des cultures. La description des surfaces de culture irriguée par type de sol est un critère utilisé dans quelques bassins (ex. Ariège) pour estimer les autorisations de prélèvement annuel par exploitation. C'est le principal critère d'allocation des autorisations de prélèvement préconisé par la DREAL de bassin Adour-

Garonne aux OUGC du bassin pour établir leur plan de répartition. Cela met en lumière l'importance de récupérer l'information sur le triplet culture-surface-sol via les procédures d'autorisation des OUGC et DDT ou de l'estimer par le croisement de couches d'information spatialisées telles que le Registre Parcellaire Graphique et une carte des sols⁵.

D'un point de vue général, les acteurs institutionnels rencontrés par Balestrat et Therond (2014), plus particulièrement ceux des bassins Adour-Garonne et de Loire Bretagne, considèrent qu'il y a un gros enjeu à développer un système d'information sur la spatialisation des systèmes de culture au sein des bassins. Ce système d'information permettrait non seulement d'estimer la dynamique des prélèvements mais aussi d'identifier la nature des systèmes de production et enjeux agricoles associés à une ressource et ainsi mieux définir les voies de progrès envisageables et leurs conséquences socio-économiques potentielles. Les informations qui pourraient être recueillies soit par les DDT soit par les OUGC sur les systèmes de culture associés à chaque point de prélèvement sont donc stratégiques. Un des grands enjeux semble être la généralisation de ces procédures de collecte d'informations et leur mise à disposition des organisations impliquées dans la gestion opérationnelles ou la planification des mesures de gestion des ressources en eau.

3.2. Les données sur les petites retenues

En France, de nombreuses retenues de petite taille à vocation et usages multiples existent. Dans les bassins Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée, elles sont pour partie utilisées pour l'irrigation mais aussi pour d'autres usages tels que les loisirs (pêches) voire sans usage ou abandonnées. Beaucoup d'acteurs institutionnels font l'hypothèse que ces retenues jouent un rôle significatif sur l'intensité et la durée des étiages. Certains SDAGE (ex. celui du BAG) identifient dans leur programme de mesure la nécessité d'évaluer l'influence des effets cumulés de ces retenues sur l'hydrologie à l'échelle des bassins versant.

Cependant, la BD Carthage® base de données géographique produite par l'IGN et les Agences de l'Eau pour décrire les ressources en eau de surface ne fournit pas d'information sur ce type de retenues. Seules les retenues de grandes tailles (ex. de plus de 50 ha) sont spatialement positionnées et décrites. Les bases de données des AE ne fournissent pas non plus d'information sur ce type d'objet. Enfin, les bases de données des DDT sont extrêmement hétérogènes sur la nature et la forme des informations recueillies dans le cadre de la procédure de déclaration ou d'autorisation de la construction de ces retenues. Ainsi, certains départements (ex. départements 32 et 82) possèdent des bases de données géographiques considérées comme relativement exhaustives sur ces retenues (associant à chaque objet des informations sur les usages, les volumes déclarés et estimés et les caractéristiques des ouvrages) alors que d'autres ne possèdent que des documents papiers archivés.

Ce manque d'information sur ces surfaces en eau a conduit l'AEAG puis l'UMR AGIR (INRA Toulouse) à initier des travaux exploratoires sur la possibilité d'utiliser la couche « surfaces en eau » de la BD TOPO®, composante du Référentiel à Grande Echelle® de l'IGN, pour identifier ces objets. Cette couche d'information géographique décrit l'emprise spatiale de toutes les surfaces d'eau de plus de 20 m de long, des cours d'eau de plus de 7,5 m de large et des bassins maçonnés de plus de 10 m. Par contre elle ne fournit pas d'information attributaire sur les caractéristiques des retenues tels que leur volume, la hauteur de digue et la nature des usages. Dans le cadre de l'actualisation du référentiel hydrographique français, les travaux actuels pour la migration du référentiel sur la description des ressources en eau superficielles de la BD Carthage® vers la BD « Topage® » (basé sur les informations géographique de la BD Topo®) devraient conduire à mener des réflexions sur les attributs à associer à cette nouvelle base concernant les retenues. Le potentiel de la télédétection pour fournir des informations sur ces retenues reste à définir.

3.3. Les données sur les ressources en eau souterraine

Concernant les ressources souterraines les acteurs soulignent souvent une très forte méconnaissance des nappes profondes plus particulièrement en termes de délimitation, dimension et propriétés hydrodynamiques. Souvent, les dispositifs de mesure à disposition ne permettent pas de connaître avec une précision suffisante la dynamique spatio-temporelle de ces ressources. En fonction des moyens et de l'acuité des enjeux, des études dédiées sont réalisées, souvent par le BRGM, pour caractériser ces nappes souterraines. Du fait du caractère très spécifique de ces

⁵ Soit celle au 1/1.000.000 couvrant toute la France ou celle en cours de développement sur la France au 1/250.000. Pour plus d'information voir ici : <http://www.gissol.fr/index.php>

travaux et données associées ce rapport n'a pas vocation à aller plus avant dans l'analyse de ces dernières.

3.4. Synthèse des alternatives en terme de développement d'un système d'information sur les relations entre systèmes agricoles et ressources en eau

Considérant les objectifs de représentation des spécificités des situations de gestion, quatre voies nous semblent possibles pour développer un système d'information décrivant, au sein des bassins versants, les relations entre systèmes de production, systèmes de culture, sol, points de prélèvements et ressources en eau :

- le déploiement de l'outil OASIS dans les DDT intégrant les données collectées par les OUGC via le schéma de données unique pour toute la France de la BNPE. Ce déploiement et la mise en œuvre de la collecte des informations par les OUGC pourraient prendre plusieurs années. Bien que le schéma de base de données soit unique la nature des données collectées pourrait être (sera encore longtemps ?) hétérogène d'un département et d'un territoire d'OUGC à l'autre. En outre, il reste à évaluer dans quelle mesure l'outil OASIS et la BNPE permettront de reprendre l'ensemble des informations que pourront collecter les OUGC.

- l'appariement des informations recueillies d'une part par les DDT (et donc OUGC) via les déclarations/autorisations de prélèvements et d'autre part par les Agences de l'Eau (AE) via les redevances sur l'eau effectivement prélevée peut être réalisé soit localement soit au niveau national (via la BNPE). A l'échelle nationale l'échéance de cet appariement n'est actuellement pas définie. Il est important de noter que les données sur les volumes annuels prélevés, principale information disponible dans la base de données des agences, devraient être collectées par les OUGC, transmises au DDT et intégrées dans OASIS. Pour les bassins sur lesquels un OUGC gère(ra) le volume prélevable cet appariement devrait donc être réalisé par celui-ci.

- le développement par la recherche d'un système d'information « socle » sur l'étendue de la France qui a vocation à être affiné localement par les OUGC ou DDT. C'est par exemple l'objectif du travail de l'UMR AGIR sur l'appariement des bases de données RPG, AEAG et sur les ressources en eau (Cf. section 3.2). La principale difficulté de ce travail réside dans l'utilisation de données rendues anonymes et agrégées qui complique et limite l'efficacité de ces travaux.

- de manière originale, le développement localement et/ou nationalement par les services de l'État (DDT, DRAFF/DREAL ou MAAF) d'un système d'information basé sur l'appariement des bases de données RPG, RA 2010, BNPE, sur la base des identifiants des exploitations/préleveurs. Ce système d'information pourrait également via l'intégration de couches de données spatialisées sur les sols et le climat caractériser la situation pédoclimatique des îlots du RPG. Il représenterait ainsi un référentiel majeur en terme de données sur l'agriculture et l'eau. Au delà des moyens à déployer, la principale limite à son développement pourrait être le respect de la réglementation sur les données individuelles. Ce problème pourrait être résolu par la mise à disposition des informations issues de l'appariement à un niveau agrégé comme par exemple les zones sécheresses c'est-à-dire les zones de gestion de restriction des usages. Son développement pourrait être réalisé en collaboration avec la recherche publique. Il pourrait également être alimenté au fil des années par les données collectées par les OUGC mais aussi par les données produites par la télédétection sur les pratiques agricoles à l'échelle des îlots du RPG voire des parcelles.

Les trois premières voies de développement sont engagées. La dernière est une proposition dont les conditions de mise en œuvre restent entièrement à définir.

Il est à noter que la solution mise en œuvre par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, imposer au bureau d'étude en charge des études de définition des VP de produire un jeu de données précis suivant un format unique sur les prélèvements (préleveurs, points de prélèvement, ressources impactées, volumes prélevés, lien entre points de prélèvement et de rejet...) est aussi une option possible.

Bien sûr, ces différentes options ne sont pas exclusives. Il existe de nombreuses possibilités d'hybridation entre elles ou de séquençage.

Enfin, il est important de noter que plusieurs initiatives institutionnelles devraient permettre de promouvoir et grandement faciliter l'utilisation de données satellitaires à haute résolution spatiale et temporelle pour produire des données intéressantes pour la gestion des ressources en eau en général et des étiages en particulier. Trois exemples emblématiques de cette dynamique sont (i) le nouveau modèle technologique et économique mis en œuvre par l'ESA (European Space Agency)

au travers du programme COPERNICUS⁶ basé sur le déploiement des satellites SENTINEL, (ii) le développement du pôle français inter-organisme de mises à disposition de Données Surfaces Continentales appelé « Theia⁷ » et (iii) le plan d'applications satellitaires du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie⁸.

4. Attentes en termes d'outils de modélisation pour la gestion des étiages, caractérisation d'outils et plateformes de modélisation existants et bilan des enjeux

De nombreux modèles, plateformes de modélisation ou outils de modélisation sont développés ou mis en œuvre par la recherche ou des bureaux d'étude voire des institutions publiques pour traiter de questions relatives à la gestion quantitative de l'eau. Dans la grande majorité des cas l'objectif est de l'ordre du diagnostic sur la disponibilité des ressources : reconstitution/simulation des débits naturels, définition de seuils de gestion, estimation de volume prélevables, etc (Balestrat et Therond, 2014). Il existe peu d'outils pour simuler les interactions spatiotemporelles entre ressources, prélèvements et modes de gestion des ressources en eau permettant d'évaluer *ex ante* l'impact de mesures de gestion à l'échelle des unités de gestion ou de bassins hydrologiques. Pourtant dans les trois bassins étudiés par Balestrat et Therond (2014), les acteurs rencontrés sont demandeurs de modélisation intégrée permettant de représenter finement les spécificités des situations de gestion de chaque sous bassin et, ainsi, aider à la conception de plans d'action de moyen terme ou de mesures de gestion en cours de campagne.

4.1. Attentes en terme d'outils de modélisation pour la gestion des étiages

Il ressort des entretiens réalisés par Balestrat et Therond (2014) un besoin d'outils basés sur la modélisation intégrée des situations de gestion pour trois grands types d'objectif :

4. **Concevoir une stratégie d'action publique réglementaire ou incitative à l'échelle d'un territoire**, par exemple dans le cadre de l'élaboration d'un SAGE ou d'un Plan de Gestion des Etiages à l'échelle du bassin versant concerné par celui-ci. L'objectif ici est de permettre d'identifier quelles combinaisons de leviers d'action et de degrés d'action de chacun mettre en œuvre sur le territoire concerné pour atteindre un objectif donné sur la gestion des étiages voire également sur l'agriculture. Les leviers d'action possibles sont relatifs aux pratiques agricoles (ex. décalage des périodes de forts besoin en eau d'irrigation par modification des date de semis, variétés ou espèces, modification des assolements), modifications des ressources sollicitées (ex. création d'équipement hydraulique permettant d'accéder à une ressource non déficitaire, stockage de ressources en eau), modes de gestion des lâchers de soutiens d'étiage (ex. amélioration de la connaissance des gestionnaires de lâchers sur les pratiques des agriculteurs passées et à venir), procédures de restriction des usages (ex. niveau et période de restriction à mettre en œuvre par zone sécheresse, délimitation des zones sécheresses).
5. **L'aide à la gestion des étiages en temps réel** à l'échelle des bassins versant par exemple pour les DDT et EPTB voire OUGC. L'objectif ici est de fournir à ces organisations un outil permettant de centraliser et structurer l'analyse, au jour le jour, de la situation agro-hydrologique et de réaliser des prévisions d'interactions entre stratégies de lâcher, soutien d'étiage, restrictions et agriculture et hydrologie afin de prendre les décisions de gestion (lâchers et/ou restrictions, tour d'eau...) qui ont le meilleur potentiel pour atteindre les objectifs de gestion sur l'eau (ex. maintenir un débit au-dessus du Débit d'Objectif d'Etiage) ou obtenir un compromis entre objectifs sur l'eau et impacts sur l'agriculture à court et moyen termes dans la période d'irrigation et d'étiage. Pour les gestionnaires, l'objectif finalisé est de pouvoir anticiper les crises pour tenter de les éviter ou les gérer au mieux. Un des enjeux de développement de ce type d'outil concerne l'intégration de données sur l'état des ressources et la distribution spatiale des systèmes de culture au fur et à mesure de la campagne afin de recalibrer le modèle par assimilation et ainsi affiner la description de l'état initial des simulations de prévision.
6. **Assister les OUGC dans l'élaboration des plans de répartition des volumes prélevables (VP)** à l'échelle des unités hydrologiques de définition et de gestion de

⁶ Pour plus d'information voir ici : http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

⁷ Pour plus d'information voir ici : <http://smc.cnes.fr/Fr/theia.htm>

⁸ Pour plus d'information voir ici : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-d-applications.html>

ces volumes. L'objectif ici est de permettre à ces organisations de définir les critères d'attribution des autorisations de prélèvement entre usagers agricoles qui permettent d'atteindre des objectifs donnés par exemple d'équité entre les usagers agricoles ou de prise en compte de la vulnérabilité de ceux-ci.

Dans les deux premiers cas, l'enjeu réside dans la capacité de développer et instancier localement un Outil Intégré pour la Gestion des Etiages (OIGE) permettant de simuler dynamiquement, au sein des bassins versant, la variabilité des interactions entre sol, système de culture, hydrologie et gestion des ressources en eau à une résolution spatiale compatible avec les échelles de décision et d'action des gestionnaires des étiages (ex. zone d'édiction des restrictions d'usage) voire en permettant d'évaluer les effets potentiels des décisions sur les systèmes de production agricoles (ex. la perte financière pour les exploitations impactées). La nécessité de gérer au jour le jour, ou sur quelques jours, les interactions entre ressources et prélèvements en eau pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques et le respect des réglementations sur l'eau⁹ impose que ces outils puissent simuler ces interactions à une résolution temporelle fine.

Dans le troisième cas (élaboration de plans de répartition des VP), l'enjeu réside dans la capacité de l'outil de modélisation à permettre d'estimer les effets de l'utilisation d'un ou une combinaison de critères de répartition des autorisations de prélèvement entre usagers agricoles au regard des autorisations passées voire sur les performances agricoles des systèmes de production et possiblement sur la gestion de l'eau. Alors que les OUGC avec lesquels l'UMR AGIR interagit sont demandeurs d'un tel outil les spécifications précises de celui-ci reste à définir. Un travail conduit par la Chambre Régionale de Midi-Pyrénées et ARVALIS Institut du Végétal est en cours en 2014 dans le Bassin Adour-Garonne pour établir le cahier des charges de ce type d'outil en partenariat avec les OUGC du « Système Neste¹⁰ » et des bassins de l'Adour-Amont, du Tarn et de l'Aveyron. Si ce type d'outil a pour objectif de simuler la vulnérabilité des systèmes de production à la variabilité climatique intra et interannuelle en fonction du quota alloué, il nécessitera, comme les deux premiers types d'outil ci-dessus, de représenter la variabilité des interactions entre sol, système de culture, système de production, hydrologie et gestion des ressources en eau au sein du bassin versant.

Il est important de noter que les acteurs rencontrés par Balestrat et Therond (2014) souhaitant le développement d'OIGE insistent sur la nécessité que ce type d'outil produise des informations synthétiques, fiables et compréhensibles. L'équilibre entre niveau de complication des outils et lisibilité/accessibilité est un enjeu clairement mentionné par les acteurs rencontrés et de ce fait, pour les développeurs de ce type de modèle intégré.

Deux remarques récurrentes concernent plus particulièrement les modèles hydrologiques. La première concerne un déficit de représentation des interactions entre nappe et cours d'eau dans les modèles hydrologiques existants. Des premiers travaux et développements ont été menés, entre autres dans le bassin Loire-Bretagne, sur la plateforme SIM (voir section suivante) mais restent à déployer et généraliser. La seconde concerne le manque d'outil de modélisation pour estimer l'impact cumulé des retenues de petites tailles (« retenues collinaires ») sur l'hydrologie des cours d'eau et ainsi définir, à l'échelle des bassins versants, leur niveau de pression sur les étiages et un niveau acceptable de création de nouvelles retenues permettant une gestion durable des étiages. Enfin, tout particulièrement dans le bassin Rhône-Méditerranée, du fait d'un manque de stations de mesure débit dans certains bassins, certains acteurs expriment le besoin de développer des modèles d'hydrologie calibrés pour ces bassins et permettant une estimation fiable des ressources disponibles.

Du fait du manque et des attentes en termes de solutions de modélisation intégrée disponibles localement pour les institutions publiques et les OUGC, dans la suite de ce rapport nous nous concentrons sur ce type de modélisation et ne traitons donc pas des nombreuses solutions de modélisation centrées sur la représentation de l'hydrologie naturelle (non influencée par les activités humaines) et sur les enjeux d'amélioration et de développements qui leurs sont propres.

⁹ D'un point de vue général, la gestion des lâchers d'étiages, par les EPTB ou DDT, a souvent pour objectif de tenter de respecter le DOE (c'est-à-dire de maintenir le débit des cours d'eau à un niveau au moins égal à ce débit) jour après jour. Le déclenchement des restrictions des usages (agricoles) a lieu, par exemple, lorsque le débit moyen quotidien d'un cours d'eau passe sous le DOE (ou un pourcentage du DOE) pendant 3 jours consécutifs et s'il n'est pas prévu de pluies significatives sur le bassin versant du cours d'eau. Sur les zones hydrologiques non équipées de station de mesure de débit, c'est les informations de l'Observatoire National Des Etiages, géré par l'ONEMA, basées sur un relevé qualitatif de l'état des écoulements des cours d'eau, souvent hebdomadaire, qui sont à la base des décisions de restrictions. Ces restrictions temporaires, appliquées à l'échelle de « zone sécheresse », prennent généralement la forme soit de restrictions de débits autorisés soit de jour(s) d'interdiction de prélèvements qui tournent sur une semaine sur plusieurs secteurs géographiques prédéfinis au sein des zones sécheresses, phénomène généralement appelé « tour d'eau ».

¹⁰ Rivières de Gascogne réalimentés par le canal de la Neste et gérés par la CACG.

4.2. Caractérisation de modèles ou outils de modélisation existants

Bien que très peu d'OIGE soient utilisés par les institutions et organisations impliquées dans la gestion des étiages certains outils et plateformes de modélisation existants répondent plus ou moins complètement aux besoins exprimés dans la section précédente. Nous présentons une sélection de cinq d'entre eux. Cette sélection exclut les modèles d'hydrologie globale puisqu'ils ne permettent pas de représenter les interactions en jeu au sein des bassins. La sélection est composée de :

- la plateforme de modélisation multi-agent MAELIA des socio-agro-hydrosystèmes, issue de la recherche française. Elle a été développée pour représenter les interactions entre sols, systèmes de culture, systèmes de production, hydrologies et modes de gestion des ressources en eau au sein des bassins versants à des résolutions spatiale et temporelle fines ;

- la plateforme agro-hydrologique semi-distribuée SWAT, issue de la recherche des USA et internationale. Très utilisée dans le monde entier sur une très large gamme de situations agro-hydrologiques, elle permet de représenter les interactions entre sol, système de culture, hydrologie et gestion des barrages à des résolutions spatiale et temporelle fines ;

- la plateforme d'hydrologie distribuée SIM, issue de la recherche française. Bien que SIM soit une plateforme d'hydrologie (sans prise en compte des systèmes de culture) elle est présentée ici de part son potentiel à être support de développement d'un OIGE. En effet, la représentation fine de l'hydrologie, l'intégration d'un modèle sol-plante-atmosphère, une large utilisation en France, la représentation pour certains bassins des échanges nappes-rivières et des retenues collinaires, nous a semblé représenter un bon potentiel pour développer un OIGE ;

- l'outil RIO MANAGER®, développé par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG). Il permet de définir des stratégies de gestion de ressources stockées sur un bassin versant. Cet outil est utilisé par la CACG dans le cadre de ses activités de gestionnaire d'ouvrage et études stratégiques et de prospective (planification) mais aussi par d'autres gestionnaires d'ouvrage (ex. « Entente de Montbel » pour le barrage de Montbel en Ariège) pour la gestion opérationnelle. C'est donc un outil opérationnel pour les gestionnaires mis en œuvre dans plusieurs bassins en France et dans plusieurs autres pays ;

- l'outil STRATEAU, développé par le bureau d'étude Énergies Demain à la demande de l'Ambassade de l'Eau (en partenariat avec le MEDDE, l'ONEMA et les Agences de l'Eau) pour conduire une analyse stratégique et prospective sur les équilibres demandes/ressources en eau à la résolution des communes. De manière originale, il représente finement la demande des secteurs de l'énergie, du résidentiel, du tertiaire et de l'industrie (représentation également des secteurs agriculture et autres couverts végétaux –forêts – landes- appelés secteur « Environnement »). Il ne s'agit pas d'un outil de modélisation des comportements hydrologiques des nappes et des rivières, mais bien d'un outil de modélisation des équilibres offre/demande en eau à l'échelle d'un territoire. Il est paramétré pour être utilisé sur tous les bassins de France.

Le tableau 1 détaille les caractéristiques de ces cinq plateformes et outils de modélisation en termes de (i) nature de la plateforme de modélisation/simulation, (ii) modes de représentation des processus, (iii) nature et sources des données utilisées pour décrire l'état initial des entités représentées et les variables de forçage des simulations et (iv) procédures de mise en œuvre.

Tableau 1 : Caractéristiques de cinq plateformes et outils de modélisation présentant un bon potentiel pour le développement d'un modèle intégré pour la gestion des étiages

	MAELIA (Gaudou et al., 2013)	SWAT (Neitsch et al., 2009)	SIM (Habets et al., 2008)	STRATEAU (ADE– Energies Demain, 2012)	RIO MANAGER® (CACG)
Nature de la plateforme de modélisation/simulation					
Plateforme de développement et nature de l'architecture	- Plateforme de développement GAMA® - Modèle multi-agent, spatialisé (représentation vectorielle) - Modules activables / désactivables suivant besoins - Les processus interagissent au travers des entités (vs. équations emboîtées ; Sibertin et al., 2011)	- FORTRAN 77 - Modèle agro-hydrologique de bassin versant, semi distribué par sous-bassin versant spatialement explicite - Modules activables / désactivables suivant besoin	- Fortran 90 - Surface : modèle ISBA. Modèle de type sol-végétation-atmosphère : bilan d'eau, d'énergie (carbone) couplés, calcul direct de l'évapotranspiration réelle - MODCOU : modèle hydrologique distribué (maille de 1x1 à 8x8 km)	- Interface web - Basé sur une base de données délocalisées - Export possible des résultats sous forme de fichier Excel	- C# - Architecture multi-agents / progiciel client-serveur - Un des modules du progiciel d'aide à la gestion de la CACG RIO®
Résolutions spatiale (RS) et temporelle (RT)	- RS : zone hydrologique de référence de la BD Carthage® ou tout autre taille de bassin versant pour l'hydrologie, îlot PAC pour la croissance des cultures et la réalisation des opérations techniques agricoles, exploitation du RPG (ensemble d'îlots) pour les aspects économiques - RT : jour	- RS : bassin versant de taille adaptable à la question - RT : jour	- Surface : 8 km, RT:~1h - RS Modèle hydrologique : de 1 à 8 km - RT Débits : 3h - RT Nappes : 1j	- RS : commune ou commune x bassin hydrologique - RT : mois et, pour les secteurs du résidentiel et de l'industrie seulement, potentiellement horo-saisonnier ³	- RS à définir dans le modèle (pas de limite autre que la précision des données disponibles) - RT native : mensuelle / en cours d'adaptation pour adapter à des simulations journalières, voire horaires (gestion de crues)
Etendues et exemple de secteur d'application	- Sous bassin versant Aveyron et Garonne Amont	- Très nombreux bassins d'application dans le monde - Bassin Adour-Garonne et Garonne Amont	- France entière - Développement en cours sur le bassin de l'Ebre et du Tensift (Maroc)	- France entière - Destiné à être aussi appliqué sur le bassin méditerranéen	- Utilisé comme outil de planification sur Système NESTE, Garonne 2050, transfert Nord-Sud au Maroc, SDAGE Sénégal... - En cours de développement pour une utilisation opérationnelle sur systèmes gérés CACG et clients externes (Ariège, Vendée)

	MAELIA	SWAT	SIM	STRATEAU	RIO MANAGER®
Nature des expérimentations numériques	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation de scénarios relatifs aux modalités de gestion des ressources (quota, lâchers, restriction), systèmes de culture (nature et distribution spatiales) et aux changements environnementaux (changement climatique et mode d'utilisation du sol) et sociétaux (ex. démographies) - Pas d'optimisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation de scénarios relatifs aux systèmes de culture (nature et distribution spatiales) et aux changements environnementaux (changement climatique et mode d'utilisation du sol) - Pas d'optimisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Longues ré-analyses (50 ans) - Scénarios climatiques - Pas d'optimisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Outil d'analyse stratégique et de prospective sur les équilibres demande / ressources en eau à l'échelle d'un territoire donné - Evaluation de scénarios sur changement de technologie de transport et de transformation de l'eau, climatiques, occupation du sol et création de ressources - Les estimations de ressources indiquent une tendance d'un mois sur l'autre et entre scénarios, elles n'ont pas pour but de représenter une valeur absolue 	<ul style="list-style-type: none"> - Scénarios d'aménagement (création de barrage) et de gestion des ressources stockées sous contraintes (débits objectifs, dynamique de manœuvre de vannes...) et comparaison de trajectoires de déstockage - Algorithme d'optimisation du choix de la ressource déstockée (objectif = minimiser le risque de défaillance « long terme »)
Mode de représentation des processus					
Hydrologie cours d'eau et nappes	<ul style="list-style-type: none"> - Phase sol et phase routage¹ du modèle « Soil and Water Assessment Tool » (SWAT, Modèle semi-empirique) 	<ul style="list-style-type: none"> - Phase sol basée soit sur « SCS Curve Number procedure » ou sur « Green and Ampt infiltration method » - Phase routage (flux dans les cours d'eau) basé sur les équations de Manning et la méthode "Muskingum Routing". 	<ul style="list-style-type: none"> - Sol : anciennement approche conceptuelle « Force-Restore » ; équations de Richards pour la nouvelle version - Rivières : zones isochrones pour transfert vers la rivière, puis méthode Muskingum ou onde cinématique. - Loi de Darcy pour la nappe 	Combinaison de : <ul style="list-style-type: none"> - Estimation du ruissellement par utilisation de l'indice IDPR⁴ pour estimer la part de la pluie efficace⁵ s'infiltrant et ruisselant. Le volume ruisselant est réparti uniformément au prorata du nombre de tronçons de cours d'eau situés dans la commune - Extrapolation des données de débit de la banque hydro le long du réseau BD Carthage® 	<ul style="list-style-type: none"> - Chroniques hydrologiques en entrée : possibilité d'intégrer un modèle dynamique de génération de ces chroniques (GR3H, GR4J)
Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> - Nappe superficielle (une seule vitesse d'écoulement) et profonde (puits sans fond) de SWAT 	<ul style="list-style-type: none"> - Nappe superficielle (une seule vitesse d'écoulement) et profonde (puits sans fond) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nappes explicitement simulées : résolution explicite dans MODCOU (demande description de la géométrie des nappes), sinon, réservoir conceptuel sur chaque maille ISBA (à calibrer) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nappes alluviales alimentées par infiltration calculée grâce à l'utilisation de l'IDPR (pas de sol pris en compte) - Le surplus d'irrigation (gravitaire) s'infiltré dans les nappes 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'intégrer un module « nappe » en interaction avec l'hydrologie superficielle (modélisation des échanges)
Echange nappe rivière	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation de l'alimentation de la rivière par la nappe superficielle, pas de modélisation des phénomènes inverses (alimentation de la nappe superficielle par la rivière) 	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation de l'alimentation de la rivière par la nappe superficielle, pas de modélisation des phénomènes inverses (alimentation de la nappe superficielle par la rivière) 	<ul style="list-style-type: none"> -Echanges nappes rivières dans les 2 sens pour les nappes simulées par MODCOU 	<ul style="list-style-type: none"> - Non modélisé 	<ul style="list-style-type: none"> - Cf. ci-dessus - Mise en œuvre sur planification Maroc et Sénégal

	MAELIA	SWAT	SIM	STRATEAU	RIO MANAGER®
Hydrologie des (petites) retenues	<ul style="list-style-type: none"> - Distinction de trois types de retenues (i) déconnectée, (ii) connectée sur réseau secondaire et (iii) connectée sur cours d'eau principal de la ZH. - Dynamique de remplissage proportionnelle au ratio surface de l'impluvium/surface ZH de la phase sol pour premier type et routage pour deuxième et troisième type de retenues 	<ul style="list-style-type: none"> - Une seule retenue (« pounds ») par bassin versant correspondant à l'agrégation des retenues du bassin - Dynamique de remplissage proportionnelle au ratio surfaces d'impluvium agrégées/surfaces sous-bassins 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de simuler des retenues collinaires avec règles de remplissage. Affectation des retenues aux mailles MODCOU. Habets et al., 2014 	- Non modélisé	- Non modélisé mais gérable a priori en interaction avec l'hydrologie
Hydrologie des (grands) barrages	<ul style="list-style-type: none"> - Dynamique de remplissage proportionnelle au ratio surface de l'impluvium/surface ZH 	<ul style="list-style-type: none"> - Le barrage est considéré à l'exutoire du sous bassin et donc se remplit suivant l'hydrologie de l'exutoire 	- Pas de grands barrages explicitement simulés	- Remplissage du barrage par ruissellement (modalité non décrite dans documentation méthodologique)	<ul style="list-style-type: none"> - Au cœur de la modélisation - Définition de fonctions de coûts pour modéliser la valeur des lâchers selon le niveau de remplissage des barrages - simule de la dynamique de remplissage des barrages en fonction de la météo
Croissance des plantes (modèle d'échange sol-atmosphère) et besoin en eau des plantes	<ul style="list-style-type: none"> - Pour parcelles de culture : modèle de culture générique (multi culture) développé par l'UMR AGIR, empirique, basé sur coefficient cultural simulé et fonction de production unique sur saison culturale ($RdtETR/RdtETM = f(ETR/ETM)$). - - - Possibilité de définir un indice moyen de couverture des besoins en azote constant - Pour zones forêt et prairie : dynamique de LAI (Leaf Area Index) simplifiée intégrée dans formalisme de SWAT 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle générique interception-conversion de la lumière paramétré pour les différentes cultures et autres couverts (forêts et prairies) permettant d'estimer la croissance de de biomasse potentielle - Biomasse réelle estimée en fonction des stress hydrique, azoté et phosphore estimés et appliqués quotidiennement. - Rendement estimé à partir d'un indice de récolte appliquée à la biomasse produite. - Dynamique de hauteur de couvert, de LAI et de profil racinaire 	<ul style="list-style-type: none"> - L'option standard suppose une prescription du LAI (provenant d'une carte de paramètres génériques ECOCLIMAP (Faroux et al., 2013) - L'option AGS permet de simuler la croissance de la végétation (LAI) et de la biomasse - Pas de représentation du stress azoté 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de simulation de biomasse - Besoin en eau mensuel estimé par $ETM = kc \times ETP$ - les coefficients culturaux Kc et période de végétation sont ceux de la FAO - La demande en eau des surfaces boisées est estimée suivant la même logique - Pas de prise en compte du sol (RU) - Pas de représentation du stress azoté 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de simulation de biomasse - Demandes en eau sont des données d'entrées (calcul réalisé hors RIO MANAGER pour le moment = coefficient de comportement x ($kc \times ETP - P - RFU$)) - Pas de représentation du stress azoté
Choix d'assolement de culture annuel	<ul style="list-style-type: none"> - Assollement forcé (données d'entrée) ou module de choix d'assolement multicritère, représentant une rationalité limitée et procédurale. 4 critères de choix : profit, variabilité du profit, temps de travail, similarité à l'assolement précédent (Taillandier et al, 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> - Données d'entrées (forçage) et représenté par des HRU par culture et ressource en eau (si culture irriguée). 	<ul style="list-style-type: none"> - Possible via une modification de la carte ECOCLIMAP - Utilisé à grande échelle pour évaluer l'impact de l'utilisation du sol sur l'hydrologie 	- Données d'entrées définies par commune	<ul style="list-style-type: none"> - Non modélisé - Assollement figé d'une année sur l'autre

	MAELIA	SWAT	SIM	STRATEAU	RIO MANAGER®
Système de culture (conduite des cultures)	<ul style="list-style-type: none"> - Algorithme (SI ALORS) décrivant un système de culture type, sous la forme d'ensemble de règles de décision décrivant les stratégies de semis, fertilisation, irrigation, récolte de chaque culture de la séquence de culture⁵ - Un système de culture est affecté à chaque parcelle de chaque îlot du RPG (CF. ci-dessous). Cette affectation est soit réalisée par le module choix d'assolement soit fourni en entrée (forçage)⁵ - Paramètres des règles (SI ALORS) par opération technique relatifs à pluie passée, état réserve en eau du sol, pluie prévue, température min ou max, stades phénologiques... - Editeur de systèmes de culture intégré 	<ul style="list-style-type: none"> - Le déclenchement des opérations techniques (semis, fertilisation, phytosanitaire, récolte) par culture peut être spécifié soit sous la forme date ou d'une somme de température base zéro. - Pour fertilisation et irrigation possibilité de spécifier le déclenchement des apports en fonction d'un niveau de stress azoté et hydrique (seuil relatif au potentiel de croissance) ou d'un état hydrique du sol (« soil water deficit ») - Chaque culture représente une HRU² au sein d'un sous bassin. Une culture irriguée est déclinée en HRU en fonction de la ressource en eau utilisée : cours d'eau, retenue, aquifère superficiel, aquifère profond, source extérieur au bassin 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de simulation des cultures - La seule possibilité est une irrigation automatique des cultures d'été (en « C4 ») 	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation pour toute culture pour couvrir déficit Pluie-ETM - L'efficacité du matériel d'irrigation (goutte à goutte, aspersion, gravitaire) - Période de végétation défini par les données FAO 	<ul style="list-style-type: none"> - Non modélisé - La chronique de débit prélevé est définie hors RIO MANAGER
Economie agricole	<ul style="list-style-type: none"> - Bilan économique annuel par exploitation du RPG 	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non Modélisé	<ul style="list-style-type: none"> - Non modélisé - Module agro-économique externe utilisant les sorties des simulations RIO MANAGER
Distribution spatiale et temporelle des opérations techniques agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisé en fonction de la durée d'exécution de chaque opération technique agricole et de la distribution spatiale des îlots agricoles 	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé
Prélèvements domestiques (AEP) et industriels	<ul style="list-style-type: none"> - AEP : Fonctions économétriques paramétriques en fonction de la nature de l'habitat - Industriel : données de forçage 	<ul style="list-style-type: none"> - Données d'entrées sur les quantités d'eau prélevées par ressource par mois dans chaque sous bassin 	- Non modélisé	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'eau établie en fonction de la production de déterminants finals de chaque secteur (Industrie, Tertiaire, Energie, Résidentiel)⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> - Localisation des prélèvements et fonctions de besoins classiques (variabilité temporelle faible)
Rejets d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Fonction des prélèvements AEP et industriel 	<ul style="list-style-type: none"> - Données d'entrées sur les quantités d'eau prélevées par ressource par mois dans chaque sous bassin 	- Non modélisé	<ul style="list-style-type: none"> - Rejets estimés en en fonction de la nature des prélèvements (réseau résidentiel//tertiaire, industrie, énergie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisés en tant que rejets ou intégrés directement dans les prélèvements

	MAELIA	SWAT	SIM	STRATEAU	RIO MANAGER®
Lâchers d'eau des barrages	- Algorithme (SI ALORS) reproduisant stratégie de lâchers en fonction de débits aux points de mesure et caractéristiques des barrages (débit réservé et max, cote touristique, date d'utilisation, courbe de vidange, ordre de priorité entre barrages, etc) [§]	Rythme de lâchers représenté : - par un fichier de forçage journalier, - prise en compte d'un débit max. et min. (réservé) - par des règles simples basées sur un niveau critique, un niveau de réserve et les teneurs en eau du sol pour les périodes d'inondation	- Non modélisé	- Rythme de lâchers prédéfini dépend de la saison, du volume du barrage ainsi que du type de barrage (barrage hydroélectrique ou barrage servant au soutien d'étiage).	- Variable d'optimisation dans les simulations en cours de campagne, notamment en situation de crise (stocks des barrages très inférieurs à demande théorique pour la fin de campagne) - Lâchés optimisés en fonction d'un horizon de calcul prédéfini soit de long ou de court terme avec plus ou moins d'incertitude sur l'avenir et donc avec une gestion plus ou moins prudente
Transfert d'eau entre ressources en eau	Algorithme (SI ALORS) reproduisant stratégie de transfert (ex. via un canal) qui peut dépendre de l'état des deux ressources connectées et des objectifs de gestion (ex. tenir un débit dans un point en aval)	Transfert en fonction de l'état des ressources connectées (transfert quotidien constant). Possibilité de forcer les volumes transférés quotidiennement (utilisation d'un fichier de données de forçage).	- Non modélisé	- Non modélisé sauf cas particulier (alimentation AEP de Paris, Marseille, Lyon)	- Modélisation des organes de transfert et de leurs caractéristiques - Le modèle intègre les marges de manœuvre de gestion apportées par ces aménagements (pour l'optimisation de la gestion)
Ediction de restriction des usages	- Algorithme (SI ALORS) reproduisant stratégie des DDT - Prise en compte des zone de restriction et secteur de tour d'eau [§]	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé	- Possibilité de définir des restrictions des usages (taux/demande prédéfinie) en début de campagne en fonction des niveaux de remplissage des barrages
Nature et source de données utilisées pour décrire l'état initial des entités et les variables de forçage des simulations					
Sol	- Carte des sols au 1/1.000.000, utilisation de règles et fonctions de transfert pour estimer les paramètres sols nécessaires pour les modèles SWAT (ex. conductivité hydraulique) et Jeu d'O	- Carte des sols au 1/1.000.000, utilisation de règles et fonctions de transfert pour estimer les paramètres sols nécessaires au modèle SWAT	- Utilisation de la base de données mondiale HWD, qui inclut la carte au 1/1.000.000 sur la France	- Pas de sol représenté	- Non modélisé : les régions agricoles caractérisées par leur RFU sont un palliatif
Climat	- Données SAFRAN Météo France (8 km x 8 km) - Le climat de chaque ZH correspond au climat du point le plus proche de son centroïde	- Données d'entrées (ex. SAFRAN)	- Données SAFRAN ou données de scénarios climatiques	- Données SAFRAN Météo France (8 km x 8 km), 2004, 2005 et 2006	- Données d'entrée à caractériser pour chaque maille d'espace et chaque pas de temps choisis pour la modélisation (pour simulation remplissage de barrage)

	MAELIA	SWAT	SIM	STRATEAU	RIO MANAGER®
Assolement de culture et séquences de culture	- Registre Parcellaire graphique de la dernière année disponible et séquences de culture depuis 2006 reconstituées par traitement des RPG annuels réalisés par UMR AGIR	- Données d'entrées issues d'expertise ou base de données ad hoc	- Non modélisé	- Assolement et modes d'irrigation : RA 2000, Statistiques Agricoles Annuelles 2006 et Enquête Vergers 2006 départementales et Corine Land Cover 2006 (pour la reconstitution du choix d'assolement)	- Assolement figé (demande variable en donnée d'entrée)
Occupation du sol	- Corine Land Cover 2006 (hors zones couverte par RPG et entités hydrologiques)	- Corine Land Cover 2006 (hors zones couverte par RPG et entités hydrologiques)	- ECOCLIMAP à 1 km (basée sur Corine Land Cover)	- Corine Land Cover (pour les surfaces de forêts par commune)	- Non modélisé
Entités hydrologiques	- Cours d'eau : BD Carthage ® - Nappes : BD BRGM - Barrages : BD Carthage ® - Retenues : BD Topo ®, BD des DDT et/ou traite ^t géomatiques dédiés pour caractérisation retenues à usage irrigation - Point DOE et DOE/DCR : SDAGE	- Utilisation de l'outil ARCSWAT pour, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain, numériser les limites des sous-bassins versant et leur drain (cours d'eau) principal, voire les retenues et générer les paramètres hydrologiques nécessaires (ex. longueur maximale de pente d'écoulement) - Données d'entrées ad hoc pour les barrages et les retenues	- Cours d'eau BD Carthage® interpolée sur des mailles MODCOU de 1 km	- Cours d'eau : BD Carthage ® (pour la spatialisation) et Banque Hydro (pour les débits) - Nappes : dimension géographique estimées par une enveloppe convexe des points de prélèvements des bases de données agences de l'eau - Barrages : BD Carthage ®	- En fonction des besoins de modélisation et des singularités des systèmes gérés (points de mesure, points de prélèvement, barrages...)
Relation hydraulique	- Traitements géomatiques élaborés pour établir relation entre parcelles du RPG, points de prélèvements et ressources en eau (Cf. entités hydrologiques)	- Définition des relations entre HRU et ressources en eau	- Non modélisé	- Affectation des demandes uniformément aux différentes ressources de la commune (ex. nappes) et traitements géomatiques simples basés sur l'affectation d'une demande au point de prélèvement le plus proche dans un rayon de 60 km	- Non modélisé
Points de prélèvement et de rejet	- AEP et industriel : données agence de l'eau - Agricole : données agence de l'eau ou des DDT ^s	- Données ad hoc	- Non modélisé	- Données agences de l'eau	Selon bases de données disponibles (Agences de l'eau, DDT...)
Economie agricole	- Données locales sur les prix des produits et intrants agricoles, charges opérationnelles de chaque itinéraire technique, - Barème de la FR CUMA sur durée d'exécution de chaque opération technique agricole et coût associé par ha	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé - Module externe non interfacé avec RIO MANAGER
Zone et secteur de restrictions	- Zonages fournis par les DDT	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé	- Non modélisé

MAELIA

SWAT

SIM

STRATEAU

RIO MANAGER®

Procédure de mise en œuvre

Calibration-évaluation	- Evaluation de la cohérence des modules un à un sur chaque terrain - Procédure de calibration par module et de l'ensemble du modèle pour chaque terrain	- Procédure et outil de calibration de SWAT (Muleta and Nicklow, 2005). Calibration généralement réalisé à l'aide d'algorithme génétique (ex. Deb et al., 2002, 2003)	Pas de calibration en général car basé sur des modèles génériques validés par ailleurs Calibration nécessaire pour retenues collinaires ou réservoir conceptuels de nappes	- Calage de l'écoulement des cours d'eau par utilisation de données sur les débits issues de certaines stations de la banque HYDRO - Calage par analyse des résultats par un panel d'experts	Calage par rapport à une situation « actuelle » connue des différents acteurs (reproduction des débits observés, des dynamiques de déstockage...)
------------------------	---	---	---	---	---

^s Paramètres descriptifs des stratégies de conduite des cultures, barrages, de restriction des usages à recueillir pour chaque terrain et chaque entité à caractériser (ex. barrage, zone pédoclimatique ou ensemble de parcelles conduites de manière similaire)

¹ Processus de la phase sol de SWAT intégré dans MAELIA : snow cover and melt, runoff with the curve number method, infiltration, redistribution in soil profile, evapotranspiration for non-crop plants, lateral subsurface flow and percolation into shallow and deep aquifer. Processus de la phase routage de SWAT intégré dans MAELIA : transmission through the bed of the channel in and from shallow aquifer, evaporation and water routing through the channel with the Muskingom routing method.

² HRU (Hydrologic Response Units) : correspondent à des surfaces, au sein des sous-bassins, homogènes en termes de classe de sol, de pente et d'occupation du sol. Elles sont considérées avoir un comportement hydrologique homogène (ruissellement, évapotranspiration...).

³ profils de demande horaire pour trois journées type : jour de semaine, samedi et dimanche

⁴ Indice de développement et de persistance des réseaux, développé par le BRGM, qui traduit l'aptitude des formations du sous-sol à laisser ruisseler ou s'infiltrer les eaux de surface. Il se fonde sur l'analyse du modèle numérique de terrain et des réseaux hydrographiques naturels, conditionnés par la géologie. L'IDPR est disponible à l'échelle de la France sous forme de grille, l'échelle de validité est le 1/50.000.

⁵ Pluie moins évapotranspiration réelle.

⁶ Déterminants de production (produits) pour l'industrie, d'emploi pour le tertiaire, du nombre d'habitants pour le résidentiel. Pour chaque sous-branche du secteur industriel une consommation d'eau par déterminant final est établie (combien de litres d'eau par tonne d'acier produite, par voiture produite, employé du tertiaire, nombre d'habitants par type de logement pour le résidentiel...). La demande par production déterminants de production x consommation d'eau par déterminant final x taux d'équipement. Ce dernier correspond à l'efficacité d'utilisation de l'eau, liée aux technologies d'utilisation et transformation de l'eau et perte de réseaux d'eau.

4.3. Synthèse des enjeux en termes de développement de modèle intégré pour la gestion des étiages

Partant des caractéristiques des plateformes de modélisation décrites dans la section précédente, et des caractéristiques attendues d'un OIGE décrites dans la section 3.2.1 nous proposons ci-dessous une analyse des principales forces et faiblesses de ces plateformes et des enjeux de développements complémentaires associés.

4.3.1. Représenter la dynamique des systèmes de culture et de production dans l'espace

Peu de plateforme permet de représenter explicitement les règles de décision décrivant les conditions de déclenchement des opérations techniques agricoles autrement dit le système de culture. Comme présenté ci-avant ces règles permettent de décrire les conditions de l'environnement biophysique (ex. stade phénologique de la culture, stock d'eau dans le sol, température, nombre de jours sans pluie) voire socio-économique (ex. régulation des usages) pour déclencher une opération technique donnée (ex. travail du sol, semis, apport d'azote, d'eau, récolte). L'intégration de ces règles de décision dans un simulateur informatique permet de représenter la dynamique de ces opérations en fonction de la variabilité spatiale et intra et inter annuel des conditions de l'environnement. Parmi les cinq plateformes, seules MAELIA, et dans une moindre mesure SWAT, permettent de représenter ces règles de décision. Dans les autres plateformes seule une période de végétation (SIM, RIO MANAGER, STRATEAU) par culture et par zone géographique et un niveau d'irrigation dépendant du bilan hydrique climatique (RIO MANAGER, STRATEAU) sont représentés. Le développement d'une représentation formelle des systèmes de culture dans SIM et RIO MANAGER est programmé dans le cadre respectivement du projet REGARD¹¹ coordonné par le CNRM et d'un partenariat entre la CACG et l'UMR AGIR.

Enfin, seule la plateforme MAELIA représente le niveau exploitation (système de production) en s'appuyant sur l'utilisation d'une version du Registre Parcellaire Graphique fournissant un identifiant exploitation pour chaque îlot cultural. L'objectif est de prendre en compte les contraintes de fonctionnement qui s'expriment à ce niveau d'organisation (ex. contraintes de disponibilité de travail, de tour d'eau) mais aussi, et peut-être surtout, de pouvoir simuler les impacts de modes de gestion des ressources ou de changement d'assolement et de pratiques sur les systèmes de production du territoire étudié. Par exemple, il est possible de déterminer et caractériser les systèmes de production impactés en fonction de leur taille, de leur orientation (interprété à partir de leur assolement), de la part du revenu impacté, de la nature des ressources en eau mobilisées. Cette représentation du niveau exploitation sera également nécessaire pour le développement d'un outil d'aide à la conception d'un plan de répartition des Volumes Prélevables puisque les autorisations de prélèvement seront allouées à des exploitations ou des collectifs d'irrigants en fonction de critères historiques ou de leurs caractéristiques actuelles (ex. surfaces de cultures par type de sol, présence d'élevage, nature et volume des ressources en eau disponibles).

4.3.2. Représenter la demande des usages non-agricoles

La représentation des prélèvements domestiques et industriels (tout secteur) est nécessaire dans un OIGE au moins pour estimer l'eau disponible pour l'agriculture considérant des objectifs données sur la protection du milieu aquatique (ex. tenir un DOE). C'est dans STRATEAU que ces deux types de demandes sont le plus finement représentés. Cette représentation est basée sur l'estimation d'une consommation unitaire d'eau par déterminant final propre à chaque sous-secteur d'activité. Pour les usages domestiques, le déterminant final est le nombre d'usagers par type d'habitat. Les données de l'INSEE sont utilisées pour estimer ces informations par commune. Pour les usages industriels, il s'agit de déterminants de production, d'emploi pour le tertiaire, et de production d'énergie par type de mode de production pour l'énergie. La consommation unitaire pour chaque déterminant final et un ratio moyen de consommation par employé pour la France ont été estimés par Énergies Demain sur la base de recherches bibliographiques. Les données sur les effectifs des salariés en fonction des codes de la Nomenclature des Activités Françaises (« code NAF ») par commune de l'INSEE sont utilisées pour estimer la demande en eau pour chaque branche du secteur industriel sur le territoire considéré. Enfin, un coefficient d'efficacité d'utilisation de l'eau pour chaque activité est utilisé pour estimer les prélèvements en eau brute. L'ensemble des

¹¹ Pour plus d'information voir ici : <http://www.cnrm-game.fr/spip.php?article809>

paramètres permettant d'estimer ces prélèvements peut être modifié pour construire des scénarios d'évolution de la demande domestique et des activités économiques (ex. variation de la démographie, de la production, des modes d'utilisation de l'eau).

Cette représentation fine des prélèvements domestiques et des activités économiques pourrait être intégrée dans les autres plateformes de modélisation. La question est alors de déterminer dans quelle mesure les bases de données développées par Énergies Demain sont publiques ou utilisables par la recherche publique pour intégration dans ses modèles.

4.3.3. Représenter l'hydrologie des cours d'eau, des nappes, interactions nappe-cours d'eau et retenues dites collinaires

L'enjeu en terme de représentation de l'hydrologie dans un OIGE est avant tout de simuler la dynamique intra annuel des étiages de manière à fournir des informations sur l'eau disponible pour les activités humaines considérant les objectifs fixés en terme d'environnement (ex. la DOE) durant cette période critique. Les plateformes SIM et SWAT, sont deux plateformes d'hydrologie au pas de temps journalier, l'une distribuée sur des mailles de 1x1 ou 8x8 km², l'autre semi distribuée à l'échelle de sous-bassins versant de taille adaptable à la question à traiter. En terme de mise en œuvre, la grande différence entre ces deux plateformes est liée à la phase de calibration. Du fait de ses formalismes à base physique et de leur calibration sur sites expérimentaux, les concepteurs de la plateforme SIM considèrent qu'il n'est pas nécessaire de réaliser une calibration sur chaque site d'instanciation. SWAT, par contre, modèle semi-empirique doit être calibré sur chaque site. Il peut l'être à l'échelle d'un bassin hydrographique (ex. le bassin Adour-Garonne) mais pour une application locale, il devrait l'être sur le sous bassin concerné. Que ce soit SIM ou SWAT, il serait nécessaire d'évaluer la qualité des simulations pour représenter spécifiquement la dynamique intra et interannuelle des étiages sur des sites contrastés, en termes de déterminants de l'hydrologie, en France. Cette évaluation est particulièrement importante pour déterminer dans quelle mesure ces plateformes pourraient être utilisées dans un OIGE nécessitant de représenter les débits au pas de temps journalier ou de quelques jours avec une précision donnée. Elle sera conduite, entre autres, sur le bassin Adour-Garonne dans le cadre du projet REGARD (voir section 4.3.1).

La représentation de l'hydrologie dans la plateforme MAELIA correspond à un recodage des formalismes de SWAT. Dans l'outil STRATEAU, l'hydrologie est représentée de manière simple au pas de temps mensuel. Elle est basée sur l'utilisation de l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux, développé par le BRGM, qui traduit l'aptitude des formations du sous-sol à laisser ruisseler ou s'infiltrer les eaux de surface, dont l'échelle de validité est le 1/50.000. L'objectif n'est pas de simuler un niveau absolu réaliste mais plutôt de donner une base de comparaison lors de l'évaluation de plusieurs scénarios. Dans l'outil RIO MANAGER l'hydrologie n'est pas simulée mais est prise en compte au travers de chroniques hydrologiques en entrée (possiblement générées par un modèle hydrologique externe).

SIM et SWAT représente le fonctionnement des nappes. Pour SIM, des travaux dédiés sont réalisés sur certains bassins (Cf. Balestrat et Therond, 2014) est l'enjeu actuel est de les déployer sur les autres bassins français à enjeu. L'enjeu pour SWAT reste d'évaluer sa capacité à représenter correctement le fonctionnement des nappes des bassins français. Des travaux conduits par l'UMR ECOLAB (Toulouse) sont en cours sur cette question.

Des travaux sont en cours pour améliorer la représentation des interactions nappes-rivières dans SIM et SWAT. Dans SWAT actuellement seuls les écoulements des nappes alluviales dans les rivières sont représentés. L'UMR ECOLAB développe actuellement des formalismes qui seront intégrés dans cette plateforme pour représenter les effets des cours d'eau sur les nappes alluviales. Par ailleurs, un des objectifs du projet REGARD (voir ci-dessus) est de coupler sur le bassin Adour-Garonne les modèles de nappes développés par le BRGM (Cf. Balestrat et Therond, 2014) avec les plateformes SIM et SWAT. Cette approche de couplage de modèle d'hydrologie de surface avec des modèles de nappes existants pourrait être une solution reproductible sur d'autres bassins hydrographiques ou bassin versant.

Enfin, des développements ont été réalisés et sont en cours pour représenter l'hydrologie des petites retenues, dites « collinaires », au sein des plateformes SIM, SWAT et MAELIA. Ils devraient permettre d'instruire les questions relatives (i) aux effets cumulés de ces retenues sur les étiages et (ii) aux dynamiques de remplissage de ces retenues et du potentiel de ressources qu'elles représentent considérant les changements climatiques estimés.

4.3.4. Représenter la gestion des ressources en eau : lâchers de soutien d'étiage et édiction des restrictions des usages

Dans beaucoup de bassins en déficit, des ressources stockées dans des barrages sont

utilisées pour soutenir l'étiage. Lorsque ces ressources ne sont pas suffisantes ou disponibles, les services de police de l'eau des DDT peuvent proposer au préfet d'édicter des arrêtés de restriction des usages, prioritairement les usages agricoles. Un des enjeux d'un OIGE est d'être en capacité de représenter ces modes de gestion des ressources en eau.

RIO MANAGER[®] est un outil dédié à la conception et la planification de modes de gestion des ressources stockées. Actuellement au pas de temps mensuel, des développements sont en cours au sein de la CACG pour passer à un pas de temps journalier. Il représente les principales contraintes effectives de gestion d'un barrage. Il est mis en œuvre dans des processus de planification et de gestion opérationnelle de barrages en France et à l'étranger. Dans MAELIA, le processus de gestion des barrages est représenté sous forme d'emboitements de règles SI-ALORS qui formalisent les règles de décision du gestionnaire des lâchers de soutien d'étiage. Dans SWAT la représentation des modes de gestion est plus simpliste et est actuellement principalement ciblée sur la représentation de modes de gestion des inondations. Des modifications pourraient être apportées au code de SWAT pour représenter des règles simples de gestion des étiages. La documentation de STRATEAU ne précise pas les formalismes utilisés pour représenter la gestion des barrages. Le pas de temps mensuel de STRATEAU ne nécessite pas obligatoirement une représentation fine de ce type de processus.

Que ce soit dans RIO MANAGER ou MAELIA, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des contraintes de fonctionnement de chaque barrage (ex. débit minimum et maximum, cote à respecter sur une période donnée, courbe de vidange, priorité entre barrage, lien entre point DOE et barrage(s)..) et des règles de décision actuelles ou à tester. La force de RIO MANAGER est d'intégrer un module d'optimisation permettant d'identifier des modes de gestion répondant au mieux aux objectifs du gestionnaire des ressources en eau d'un bassin donné.

Aucun des modèles décrits ne représente la gestion des lâchers hydroélectriques. Le projet IMAGINE 2030 (2007-2009) porté par l'IRSTEA et EDF en partenariat avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne¹² a développé un formalisme simple permettant de représenter la gestion des lâchers hydrologiques. Ce formalisme est basé sur l'estimation de « l'intérêt à turbiner » basé sur la T° moyenne en France. Ce formalisme pourrait être facilement intégré dans d'autres plateformes de modélisation.

Seule MAELIA représente le processus d'édiction des restrictions d'usage agricole. Comme pour la gestion des barrages ce processus est représenté par un emboitement de règles de décision SI-ALORS. Cette formalisation permet de simuler le rythme d'occurrence, la durée et l'assiette géographique des restrictions. La plateforme permet alors d'évaluer leurs effets potentiels sur la protection des ressources en eau et sur les systèmes de culture irriguée et de production associés.

Il est à noter que l'architecture multi-agent de MAELIA facilite la représentation des comportements et interactions entre différents agents comme des gestionnaires de barrage, des services de police de l'eau, des agriculteurs...

4.3.5. Représenter les interactions entre agriculture, prélèvements non agricoles, hydrologie et gestion des ressources

Le premier enjeu d'un OIGE, basé sur un simulateur de la dynamique des socio-agro-hydrosystèmes est de représenter les interactions entre activités agricoles, prélèvements non agricoles, hydrologie et gestion des ressources. Comme nous l'avons vu, les plateformes ont des « capacités » différentes pour représenter plus ou moins finement et de manière plus ou moins élaborée ces différents processus et leurs interactions. Les architectures informatiques des plateformes MAELIA, SIM, SWAT et RIO MANAGER ne semblent pas poser de contraintes particulières à l'intégration de nouveaux formalismes représentant, entre autres, les comportements humains (conduite des cultures, gestion des barrages, restriction d'usage). Les contraintes d'intégration d'un modèle hydrologique distribué ou semi-distribué dans RIO MANAGER restent à étudier. STRATEAU se différencie des autres plateformes de modélisation. C'est avant tout un outil (vs. une plateforme de modélisation) dont la vocation est de permettre d'établir des bilans besoins/ressources aux résolutions de la commune et du mois. De notre point de vue, sa principale force par rapport aux autres plateformes est de représenter finement les prélèvements domestiques et des activités économiques non agricoles.

Dans le cadre d'un projet de développement d'un OIGE correspondant aux attentes de

¹² <http://www.irstea.fr/la-recherche/unites-de-recherche/hhly/hydrologie-des-bassins-versants/projet-imagine2030>
30 / 38

gestionnaires donnés (ex. DDT, EPTB, OUGC), une fois le cahier des charges établi, une procédure de développement de cet outil pourrait être de partir de l'analyse des fonctionnalités et performances (avérées ou attendues) des modules des différentes plateformes et outils existants (par ex. les cinq décrits ci-dessus) pour identifier ceux réutilisables directement ou après adaptations dans cet outil.

Il est important de noter que le projet REGARD dont il est question ci-dessus à plusieurs reprises se donne comme principaux objectifs (i) d'intégrer les formalismes de représentations des activités humaines ayant un impact sur l'eau de MAELIA dans SIM et d'améliorer celle de SWAT, (ii) de coupler les modèles de comportement de nappes alluviales du BRGM et SIM voire SWAT, (iii) de développer une base de données permettant d'instancier les deux plateformes de modélisation intégrées (SIM et SWAT modifiés) sur la bassin Adour-Garonne et (iv) d'explorer le potentiel de la télédétection actuel et à court terme pour renseigner cette base de données (ex. décrire certaines pratiques culturales comme les surfaces irriguées, les dates de semis, les périodes de végétation, les couverts intermédiaires), calibrer les modèles (ex. la production de biomasse) voire permettre une assimilation de données en cours de campagne (ex. sur les assolements).

Le principal intérêt du développement de plateformes de modélisation intégrée à l'échelle des bassins hydrographiques en France est de permettre de simuler les interactions entre les sous-bassins versants les composant et donc de permettre de réaliser une analyse stratégique des modes de coordination et des modes de gestion actuels par sous bassin pour aider à la conception de nouvelles modalités de coordination permettant d'atteindre des objectifs sur les grands fleuves (intégrateurs) de ces bassins.

Pour ce qui est d'un outil d'aide à la conception de plan de répartition des volumes prélevables, la principale question actuelle est d'établir les spécifications précises de ce type d'outil considérant les stratégies et attentes des OUGC. Le projet CASDAR « Conception et développement d'un modèle de territoire pour la gestion collective de la ressource en eau par les Organismes Uniques », coordonné par ARVALIS et déposé en mars 2014 à l'appel à projet CASDAR « recherche technologique » a pour objectif, s'il est financé d'établir ces spécifications. Ce projet prévoit également de développer un prototype d'outil opérationnel pour la conception et évaluation des plans des répartitions des volumes prélevables et des protocoles de gestion en cours de campagne en s'appuyant, entre autres, sur les composants de MAELIA et de RIO MANAGER.

Enfin, dans tous les cas, pour assurer l'intérêt des outils de modélisation développés pour les gestionnaires d'étiage, il est indispensable de fournir avec ces outils des procédures de calibration et d'évaluation permettant, pour les premières, de représenter au mieux les processus modélisés (ex. prélèvements, rendements et hydrologie) et pour les deuxièmes de définir le degré de fiabilité de l'outil une fois calibré. Ces procédures sont indispensables pour permettre l'instanciation locale et assurer le caractère opérationnel des outils développés. Comme les outils eux-mêmes, elles doivent donc faire l'objet d'une attention particulière en termes de facilité de mise en œuvre et d'opérationnalité.

5. Conclusion

Comme souligné en introduction de la section 3, **chaque situation de gestion est spécifique du fait de ses caractéristiques biophysiques, socio-économiques et institutionnelles** (ou de gouvernance). Au-delà des enjeux propres à chaque situation de gestion et bassin hydrographique, un consensus semble se dégager, autour de la **nécessité de développer des outils (bases de données et/ou modèles) pour (i) les OUGC afin de concevoir, suivre les effets et réviser les plans de répartition des Volumes Prélevables entre usagers agricoles** (leur mission réglementaire) , **(ii) les organisations impliquées dans la gestion des étiages afin de leur permettre d'élaborer des stratégies (ou protocole) de gestion permettant de réduire l'occurrence des crises de gestion quantitative** (c'est-à-dire le passage sous un seuil réglementaire de débit ou de hauteur de nappe). Les acteurs rencontrés soulignent l'importance d'assurer la compatibilité et l'interopérabilité de ce type d'outil avec ceux en cours de développement pour gérer les autorisations de prélèvement, par exemple au sein des DDT (outil OASIS). Les programmes nationaux au sein des services de l'Etat (programmes BNPE et OASIS) et du monde agricole (outil pour les OUGC développé par l'APCA) devraient permettre au fil des années à venir d'homogénéiser les modèles de données et peut-être à terme les données manipulées par ces différents organismes et donc favoriser cette interopérabilité.

Les travaux de recherche sur le développement de système d'information et de plateforme de modélisation devraient s'appuyer sur ces schémas de données de manière à faciliter leur opérationnalisation. Les modes d'articulation entre ces travaux de recherche et les actions en cours au

sein des organisations impliquées dans la gestion des étiages restent à inventer et développer. Ils pourraient impliquer des bureaux d'étude chargés de la transposition des connaissances produites par la recherche en outils opérationnels pour les gestionnaires. Dans certains cas, ces outils, pouvant demander une grande expertise pour leur utilisation, pourraient être mis en œuvre, par exemple, par des bureaux d'étude en vue de produire les informations nécessaires aux gestionnaires.

De manière à avancer sur la détermination des spécifications précises des outils de modélisation à développer, deux programmes clefs sont en cours. Le premier conduit par l'UMR AGIR en partenariat avec la DDT 82 et la Chambre d'Agriculture 82, OUGC du bassin de l'Aveyron, vise à développer le cahier des charges d'un outil de gestion opérationnelle des étiages pour ce type d'organisations. Le second, mentionné ci-dessus, correspond au projet « Conception et développement d'un modèle de territoire pour la gestion collective de la ressource en eau par les Organismes Uniques », coordonné par ARVALIS et déposé en mars 2014 à l'appel à projet CASDAR.

Bien sûr, les projets de développement des systèmes d'information et outils de modélisation ne sont pas indépendants les uns des autres. Les données disponibles sur un territoire déterminent le type de modélisation que l'on peut mettre en œuvre et, inversement, les objectifs de modélisation peuvent conduire à définir un nouveau protocole de collecte de données. C'est un aller-retour entre ces deux objectifs qui peut être, et sera sûrement, observé localement.

6. Glossaire

QMNA : Débit Mensuel Minimal d'une Année hydrologique. Correspond au débit mensuel minimal d'une année hydrologique, c'est-à-dire au débit mensuel le plus faible recensé sur l'année (le mois pouvant varier selon les années). Le QMNA peut être associé à une période de retour (2, 5 ou 10 ans), ainsi, le QMNA2 équivaut au débit mensuel minimal annuel ayant une probabilité de 1/2 d'être dépassé chaque année. Plusieurs QMNA sont communément utilisés dans le domaine hydrologique, le plus populaire étant le QMNA5, car il correspond au débit réglementaire pour la police de l'eau.

VCN : Débit minimal moyen annuel calculé sur n jours consécutifs, c'est-à-dire le débit moyen le plus faible enregistré sur n jours consécutifs. Ainsi, VCN3, correspond au débit minimum moyen annuel sur 3 jours consécutifs. Le VCN peut être associé à une période de retour, ainsi le VCN3 (2) équivaut au débit moyen annuel le plus faible enregistré sur 3 jours consécutifs et ayant une probabilité de 1/2 d'être dépassé (Glossaire Eau France).

Débit d'objectif d'étiage (DOE) : Valeur de débit à un point nodal (point clé de gestion) au-dessus de laquelle il est considéré qu'à l'aval l'ensemble des usages (activités, prélèvements, rejets, ...) est en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique. Le DOE est le plus souvent défini par référence au débit moyen mensuel minimal de fréquence quinquennale (QMNA5) ou un débit moyen minimal annuel calculé sur 10 ou 30 jours (VCN10 ou 30) de fréquence quinquennale.

7. Sigles & Abréviations

AE : Agence de l'Eau

AEAG : Agence de l'Eau Adour-Garonne

AELB : Agence de l'Eau Loire-Bretagne

AERMC : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

AEP : Alimentation en Eau Potable

BAG : Bassin Adour-Garonne

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CA : Chambre d'Agriculture

CACG : Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne

DOE : Débit Objectif Etiage

DDT(M) : Directions Départementales des Territoires (et de la Mer)

DREAL : Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EDF : Electricité De France

EPTB : Etablissements Publics Territoriaux de Bassin

IGN : Institut Géographique National

LB : Loire-Bretagne

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

OUGC : Organismes Uniques de Gestion Collective

PGE : Plan de Gestion des Etiages

R&D : Recherche et Développement

RGA : Recensement Général Agricole

RM : Rhône-Méditerranée

RMC : Rhône-Méditerranée-Corse

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SI : Système d'Information

SIE : Système d'Information sur l'Eau

SIM : Safran, Isba, Modcou

SNDE : Schéma National des Données sur l'Eau

UMR AGIR : Unité Mixte de Recherche Agroécologies, Innovations, Ruralités

UG : Unité de Gestion

VP : Volume Prélevable

8. Bibliographie

ADE - Ambassade de l'eau, STRATEAU - Outil d'analyse stratégique et de prospective sur les équilibres demande / ressources en eau. Note méthodologique.

Balestrat et Therond, 2014. Enjeux de la gestion quantitative de l'eau en France. Quels données et outils de modélisation pour les institutions publiques en charge de la gestion des étiages ? Rapport d'étude ONEMA-INRA, 75 pp.

Deb, K., Mohan, M., Mishra, S., 2003. A fast multi-objective evolutionary algorithm for finding well-spread pareto-optimal solutions. KanGAL Rep. 2003002.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Trans. Evol. Comput. 6, 182–197.

Energies Demain, ONEMA, 2012. Comparaison des résultats de l'outil STRATEAU aux données de prélèvements pour redevances des Agences de l'Eau. 71 pp.

Faroux, S.; Kaptué Tchuenté, A. T.; Roujean, J.-L.; Masson, V.; Martin, E. & Le Moigne, P. ECOCLIMAP-II/Europe: a twofold database of ecosystems and surface parameters at 1 km resolution based on satellite information for use in land surface, meteorological and climate models Geoscientific Model Development, 2013, 6, 563-582.

Gaudou Benoit, Sibertin-Blanc Christophe, Therond Olivier, Amblard Frédéric, Arcangeli Jean-Paul, Balestrat Maud, Charron-Moirez Marie-Hélène, Gondet Etienne, Hong Yi, Louail Thomas, Mayor Eunat, Panzoli David, Sauvage Sabine, Sanchez-Perez Jose, Taillandier Patrick, Van Bai Nguyen, Vavasseur Maroussia, Mazzega Pierre 2013. The MAELIA multi-agent platform for integrated assessment of low-water management issues. International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation (MABS 2013), Saint-Paul, MN, USA, May 2013, Post proceedings to appear.

Habets, F.; Boone, A.; Champeaux, J. L.; Etchevers, P.; Franchistéguy, L.; Leblois, E.; Ledoux, E.; Moigne, P. L.; Martin, E.; Morel, S.; Noilhan, J.; Seguí, P. Q.; Rousset-Regimbeau, F. & Viennot, P. The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France Journal of Geophysical Research, 2008, 113, 18.

Habets, F., Philippe, E., Martin, E., David, C. H., and Leseur, F.: Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 10, 14391-14431, doi:10.5194/hessd-10-14391-2013, 2013.

Muleta, M.K., Nicklow, J.W., 2005. Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model. J. Hydrol. 306, 127–145.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. 2009. Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation, Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report, Texas A&M University System, College Station, Texas 77843-2118.

Sibertin-Blanc C., Therond O., Monteil C. and P. Mazzega (2011) Formal modelling of socio-ecological systems. In ESSA 2011, Proceedings of the Seventh Conference of the European Social Simulation Association, Sept. 2011, Montpellier.

Site de l'UMR AGIR « Agrosystèmes et agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités » <http://www.agir.toulouse.inra.fr/agir/>.

Taillandier P., Therond O. and B. Gaudou (2012) A new BDI agent architecture based on the belief theory. Application to the modelling of cropping plan decision-making. Intern. Congress on Environmental Modelling and Software. R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange & D. Bankamp (Eds.) Leipzig, Germany.

9. Table des illustrations

Tableau 1 : Principales caractéristiques de quatre plateformes de modélisation présentant un bon potentiel pour le développement d'un modèle intégré pour la gestion des étiages	21
--	----

10. Remerciements

Nous tenons à remercier, Ludovic Lhuissier et ses collègues de la CACG (Tarbes) pour les informations fournies sur l'outil RIO MANAGER®, Eric MARTIN du CNRM (Météo France – Toulouse) pour les informations fournies sur la plateforme SIM et Sabine Sauvage de l'UMR ECOLAB (Toulouse) pour son expertise sur les caractéristiques de la plateforme SWAT.

Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.onema.fr

INRA

I.N.R.A. - Centre de Recherches
de Toulouse

BP 52627 - F 31326 Castanet
Tolosan Cedex

05 61 28 50 28

<http://www.toulouse.inra.fr/>