

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la
ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable



FICHE CONTRÔLE QUALITE

REFERENT MAITRE D'OUVRAGE	
Destinataire du projet	Agence de l'Eau Artois Picardie
Site	Bassin Artois Picardie
Interlocuteurs	Karine VALLEE
Adresse	200 rue Marceline - BP 80818 59508 DOUAI Cedex
Email	K.Vallee@eau-artois-picardie.fr
Téléphone	03 27 99 90 52
REFERENT INTERNE	
Interlocuteurs	RIZZA Jean-Philippe GUICHOUX Cyrille
Adresse	Parc de L'Ile 15-27, Rue du Port 92022 NANTERRE CEDEX - France
Email	jean-philippe.rizza@suez.com
Téléphone	01 46 14 73 89
REFERENCE PROJET	
Numéro du projet	19NRE026
Intitulé du projet	Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie
Intitulé du document	Rapport synthèse de Phase 4
Date	28/04/2022

GESTION DES REVISIONS

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
1	RIZZA Jean-Philippe	RIZZA Jean-Philippe	4 juin 2021	Version transmise aux maitres d'ouvrage
2	ENEZIAL Lise	RIZZA Jean-Philippe	24/09/2021	Version transmise aux maitres d'ouvrage

Sommaire

1 Préambule	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Données nécessaires sur le SAGE à retenir	1
2 Collecte des données	1
2.1	Etat des lieux	1
2.2	Localisation prévisionnelle des points de référence	1
2.3	Recueil de données complémentaires	2
2.3.1	Données relatives à la ressource	2
2.3.2	Découpage en entités cohérentes	5
2.4	Détermination du débit minimum biologique.....	5
2.4.1	Définition	5
2.4.2	Analyse préalable	6
2.4.3	Détermination des débits biologiques.....	9
2.5	Détermination du QMN5 influencé et désinfluencé	15
2.5.1	Caractérisation de la ressource en eau superficielle en régime influencé et en régime naturel	15
2.5.2	Caractérisation de la ressource en eau souterraine	20
2.6	Détermination du débit objectif d'étiage (DOE)	25
2.7	Détermination du Volume prélevable	27
2.7.1	Calcul des volumes prélevables superficiels et DOE	28
2.7.2	Focus sur les eaux souterraines.....	30
2.7.3	Calcul des volumes prélevables souterrains et POE.....	30
2.8	Prise en compte du changement climatique/Perspectives futures pour les volumes prélevables	31

Tables des illustrations

Figure 1 : Principe de modélisation de la méthode ESTIMHAB	11
Figure 2 : Exemple de courbes d'habitats obtenues dans le cadre de l'évaluation de débits biologiques (Source : SUEZ Consulting, SM3A, 2020)	11
Figure 3 : Tableau de synthèse des débits issus d'une modélisation ESTIMHAB (Doux 1 - % de SPUmax en fonction du débit)	12
Figure 4 : Tirant d'eau minimal nécessaire pour la nage de quelques espèces (Baudoin et al., 2014).....	13
Figure 5 : Températures létales pour différents stades de développement du saumon atlantique et de la truite commune (source : CRESEB, 2015)	13
Figure 6 : Exemple d'évolution de la SPU sur un cycle hydrologique annuel pour plusieurs scénarios de prélèvements (source : CRESEB, 2015)	14
Figure 7 : Exemple de tableaux récapitulatifs des débits caractéristiques sur le bassin versant de l'Oudon (Source : SUEZ Consulting, 2016)	16
Figure 8 : Exemple d'analyses des données climatiques réalisées sur le bassin de l'Oudon (Source : SUEZ Consulting, 2016)	17
Figure 9 : Schéma conceptuel permettant de visualiser le bilan hydrique du territoire	17
Figure 10 : Schéma conceptuel du modèle de réservoir GR6J, version de Pushpalatha (2013)	18
Figure 11 : Exemple de calage hydrométrique et piézométrique sur le bassin versant de l'Huisne (Source : SUEZ Consulting, 2017)	20
Figure 12 : Représentation schématique d'un hydrogramme avec débit de base pouvant être associé à la part d'alimentation à partir du soutien de nappes	22
Figure 13 : Exemple de courbe fréquentielle sur niveau piézométrique	23
Figure 14 : Exemple d'autocorrélation en système karstique	24
Figure 15 : Exemple de chroniques piézométrique de la nappe du Cénomaniens inférieur à moyen à Civray-sur-Esves qui sera comparé aux chroniques de pluie efficace/recharge sur la même période	24
Figure 16 : Exemple de corrélation croisé en système karstique	25
Figure 17 : Schéma de principe pour la détermination du DOE (source : AERM&C).....	29

1 Préambule

1.1 Contexte

En première approche, une étude Volume Prélevable (EVP) permet de déterminer les objectifs à atteindre pour maintenir ou restaurer le bon état des milieux naturels. On en déduira ce qui peut être prélevé en faisant la différence entre l'hydrologie naturelle et ces objectifs à atteindre.

Puisque la notion d'objectifs est présente, alors sera aussi présente la nécessité de les tenir 8 années sur 10. Les 2 autres années pourront faire l'objet de mesures de gestion de crise, cette dernière étant uniquement due aux conditions hydrométéorologiques.

Les objectifs de l'EVP sont donc de :

- Décrire, voire de reconstituer l'hydrologie naturelle des bassins versants ;
- Déterminer l'état naturel de la recharge annuelle des nappes ;
- Identifier précisément l'état des relations entre les nappes et les rivières ;
- Faire le bilan des prélèvements existants ;
- Découper la zone d'étude en unités de gestion cohérentes ;
- Définir, pour la période d'étiage, les débits biologiques (DB) sur les cours d'eau principaux, et proposer une méthode d'extrapolation de ces DB aux autres cours d'eau ;
- Définir les conditions des prélèvements hors période d'étiage (en hiver particulièrement) ;
- Définir des objectifs de débit (DOE) et de niveau piézométrique (POE) en période d'étiage, et les seuils de prélèvements durant les autres périodes ;
- Conclure sur les volumes globaux prélevables par ressource et par saison.

1.2 Données nécessaires sur le SAGE

Les critères devant guider le choix du SAGE à retenir sont les suivants :

- Découpage en sous-bassins versants déjà réalisé
- Débit minimum biologiques déterminés sur les sous-bassins versants du SAGE
- Sous-bassin versant homogènes en termes d'hydrologie, d'usage et hydrogéologie
- Stations hydro disponibles pour chacun des sous-bassins versants du SAGE
- Stations piézométriques disponibles pour chacun des sous-bassins versants du SAGE
- Stations Météo-France disponibles sur le secteur d'étude avec des données pluviométriques et ETP couvrant la période 1999-2019
- Possibilité d'utiliser le logiciel GARDENIA du BRGM

2 Collecte des données

2.1 Etat des lieux

L'état des lieux débute par une phase préliminaire de recueil de données et de bibliographie, notamment issues des données du territoire du SAGE. Les différentes données relatives à la ressource à collecter à ce stade sont les suivantes :

- Les chroniques de débits mesurées à chaque station hydrométrique sur toute la durée disponible. Ces données sont en effet essentielles pour caractériser le fonctionnement hydrologique des différents bassins versants. Elles servent également de données d'entrée pour l'analyse visant à quantifier le potentiel naturel du bassin versant. Une attention particulière est portée à la validité et la robustesse des chroniques de débits. Il est recommandé de prendre contact avec les services producteurs pour s'assurer de la qualité des débits mesurés notamment en période de basses eaux.
- Les chroniques mesurées à chaque piézomètre jugé représentatif du territoire. De même que pour les chroniques hydrométriques, ces informations sont essentielles pour caractériser l'état actuel des masses d'eau souterraines et permettre d'évaluer le potentiel des différentes masses d'eau souterraines.
- Des données de jaugeages ponctuelles afin de faciliter le traitement et l'analyse de l'hydrologie désinfluencée. Pour cela, se rapprocher de manière systématique des conseils départementaux, des DDTM, des DREAL, mais aussi d'acteurs tiers susceptibles d'avoir mené de telles investigations et de disposer d'une connaissance technique du territoire (OFB, fédérations de pêche, pétitionnaires...).

2.2 Localisation prévisionnelle des points de référence

Les données relatives aux suivis quantitatifs sur le bassin sont analysées dès leur collecte réalisée. En effet ces données permettent d'alimenter la réflexion pour positionner rapidement les points de référence complémentaires où seront déterminés les débits biologiques, puis calculés les DOE. A ce stade, il s'agit donc de positionner les stations hydrométriques existantes sur le territoire d'étude, mais aussi l'ensemble des jaugeages ponctuels réalisés dans le passé ou le suivi hydrologique mené par ailleurs.

Sur la base de ces informations, construire un référentiel de suivi. Ce référentiel, croisé avec une première cartographie des enjeux (notamment ouvrages et prélèvements issus des bases de données de l'Agence de l'Eau), permet de positionner les points de référence complémentaires. Ces points doivent notamment permettre :

- De caractériser les écoulements de surface dans des secteurs peu ou pas instrumentés ;
- De mieux comprendre l'influence des plans d'eau et des principales zones humides dans la réalimentation des cours d'eau ;
- De caractériser les échanges nappes/rivières qui sembleraient avérés au regard de la bibliographie disponible ;
- De bien caractériser les principaux prélèvements, comme ceux pour l'AEP et l'irrigation déjà cartographiés ;
- D'envisager l'extrapolation de chroniques hydrométriques au niveau des stations au niveau de sites intermédiaires de suivi.

Les points seront de manière privilégiée positionnés au droit de « verrous » hydrauliques, où l'intégralité de l'écoulement superficiel est concentrée (par exemple au droit d'ouvrages de franchissement ou de seuils, si tant est que la lame d'eau reste suffisante en étiage pour permettre la mesure).

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Les points sont validés par les commissions techniques sur la base de nos propositions. Une fois ceux-ci calés, il faudra établir un planning d'intervention pour les différentes campagnes proposées.

2.3 Recueil de données complémentaires

La première étape indispensable, avant la collecte de données complémentaires sur la ressource en eau et les usages, est de prendre connaissance des éléments acquis et des études existantes sur le territoire.

2.3.1 Données relatives à la ressource

En plus des données contenues dans les études existantes et de celles relatives aux prélèvements par usage, certain nombre de données complémentaires sont à collecter pour parfaire l'état des lieux :

- Les courbes de récession afin de calculer les débits de base provenant des eaux souterraines. En effet, compte tenu des caractéristiques du territoire, il convient d'analyser finement le lien nappe / rivière et d'évaluer la contribution des aquifères souterrains aux débits des cours d'eau.
- L'historique des arrêtés sécheresse. En effet, au-delà des arrêtés cadre départementaux, il est important d'analyser la période, la durée, la sévérité ainsi que les principaux usages impactés en période d'étiage. Cet historique est généralement disponible auprès des DDTM.
- Les données sur les suivis des écoulements issues notamment des réseaux RDOE/ROCA/ONDE de l'OFB. Ces observations permettent de juger des perturbations subis par les cours d'eau en période d'étiage.
- Les données sur les ouvrages hydrauliques. Les ouvrages et certains aménagements hydrauliques peuvent, en effet, influencer l'hydrologie des cours d'eau, en particulier en période d'étiage (débit réservé, soutien d'étiage, obstacle à l'écoulement...). Les ouvrages hydrauliques présents sur le linéaire de rivière sont donc listés et décrits, notamment les ouvrages hydroélectriques. Les règlements d'eau des principaux ouvrages sont également collectés ;
- Les données sur l'occupation du sol afin d'évaluer la sensibilité du territoire aux étiages notamment. Elle est analysée sur la base des atlas cartographiques existants, ou au besoin à partir de données de type Corine Land Cover, ou tout autre support que le maître d'ouvrage pourra mettre à disposition. Sont distinguées notamment les surfaces imperméabilisées, boisées, agricoles...

Par ailleurs, l'acquisition de données météorologiques est nécessaire pour analyser leur évolution sur les dernières décennies, mais aussi pour alimenter les éventuelles modélisations/calculs de bilans hydriques pour la définition des débits désinfluencés sur le bassin versant :

- Données pluviométriques et évapotranspiration de 1999 à nos jours au pas de temps journalier (pluie) et décadaire (ETP et température). Compte tenu de la taille de la zone d'étude et du nombre de stations mesurant la précipitation horaire, la température et l'ETP sur la période souhaitée, nous retenons l'acquisition de chroniques de pluie, de données d'ETP et de température dans les conditions énoncées ci-dessus pour 4 stations.
- Les données pluviométriques et l'évapotranspiration au pas de temps annuel sur l'ensemble de la période disponible (20 ans à 50 ans si possible) pour 4 stations. Ces données sont utilisées pour caractériser notamment le contexte météorologique sur le territoire d'étude et aborder la problématique du changement climatique.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

2.3.1.1 Données relatives aux milieux

L'analyse des enjeux écologiques sur le bassin versant vise à mieux identifier les secteurs d'intérêt particulier sur la zone d'étude, mais aussi les espèces en présence. Cette analyse s'appuie sur une large collecte de données visant à caractériser les milieux en présence et leur qualité. Si le besoin était avéré, il est à envisager de venir reconnaître certains sites d'enjeu particulier, notamment dans le cadre des investigations de terrain associées à la localisation des sites de jaugeages et de déploiement du protocole de microhabitats.

Les données à collecter sont notamment les suivantes :

- La présence d'obstacles latéraux sur les cours d'eau (ouvrages), et les zones de remous associées ;
- Les caractéristiques morphologiques des cours d'eau ;
- Les rapports de 2009 à nos jours de l'étude de l'impact des éclusées ;
- Les données de qualité de l'eau ;
- Les peuplements piscicoles, à travers l'analyse de la base de données IMAGE de l'OFB, mais aussi les résultats de pêches électriques réalisées par la fédération de pêche ou les AAPPMA ;
- Les inventaires faune/flore ou relevés hydrobiologiques témoignant de la présence d'espèces patrimoniales ou protégées ;
- Les périmètres de protection réglementaires ou contractuels associés à la préservation des milieux, notamment Natura 2000, ZNIEFF, Arrêté de Biotope, ZICO, Espaces Naturels Sensibles...
- Les zones de frayères, bras morts et zones d'expansion de crue reconnues pour leur intérêt piscicole ;
- Le classement Listes 1 & 2 des cours d'eau sur le territoire d'étude.

Cette liste n'est pas exhaustive et peut être enrichie au contact des commissions techniques en fonction des données existantes qui pourraient paraître pertinentes. L'objectif est bien de définir, à l'issue de cet inventaire, les zones sur lesquelles des enjeux biologiques particuliers sont présents, et dans quelle mesure ils pourraient se voir impactés par des déséquilibres quantitatifs. L'opportunité de cibler certaines zones comme devant faire l'objet d'une priorité d'intervention particulière d'un point de vue quantitatif sera arrêtée dans le cadre de l'analyse croisée besoins/ressources prévue en fin de phase 1 et en phase 2.

2.3.1.2 Données relatives aux usages

Il s'agit ici de mieux connaître les usages, leur évolution constatée et prévisible, afin de confronter, lors de la phase 2, les besoins en eau de ceux-ci (prélèvements ou autres) avec les ressources disponibles et les besoins des milieux.

Le bilan des prélèvements et rejets doit être effectué dans les eaux superficielles et les masses d'eau souterraines du sous bassin. Cet inventaire des usages de l'eau se fera sur la période d'étude, en incluant les années pour lesquelles les prélèvements ont été exceptionnels, pour d'autres raisons que les conditions climatiques.

L'objectif de cette phase est de :

- Disposer d'une vision la plus exhaustive possible des prélèvements actuels dans les eaux superficielles, les nappes d'accompagnement et les eaux souterraines aussi bien en termes de localisation que de volumes ;
- Construire un scénario d'évolution des besoins aux échéances 2050 et 2070, si possible en fonction des données disponibles, de l'avis des acteurs du territoire et sans introduire d'incertitudes trop importantes.

Il s'agit de recenser, quantifier et caractériser de manière exhaustive tous les usages (et leurs pratiques) et activités consommatrices d'eau sur le territoire (prélèvements, drainages, alimentation des plans d'eau, etc.) sur 20 ans minimum. La nature et finalité, la localisation, les

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

volumes ou débits, le milieu concerné ainsi que la répartition temporelle dans l'année seront précisés.

Bilan des prélèvements

Les usages suivants devront être intégrés au calcul du bilan des prélèvements :

- Alimentation en eau potable ;
- Prélèvements pour l'agriculture (irrigation et abreuvement) ;
- Prélèvements industriels ;
- Alimentation des voies navigables ;
- Surévaporation des plans d'eau ;
- Prélèvements domestiques non déclarés.

Une méthode d'estimation des prélèvements domestiques sous le seuil de déclaration pourra être proposée

Bilan des restitutions et des transferts d'eau

Les usages suivants devront être intégrés au calcul du bilan des restitutions au milieu naturel :

- Pertes des réseaux d'alimentation en eau potable ;
- Rejets de l'assainissement collectif ;
- Rejets de l'assainissement non collectif ;
- Rejets industriels.

Une méthode sera proposée par le prestataire pour prendre en compte les transferts d'eau interbassins.

Analyse de l'évolution des usages et propositions de scénarii prospectifs

Etablir une projection dans le temps (horizons 2050 et 2070) des différents usages (prélèvements, rejets), en se basant sur l'évolution de la démographie et des activités consommatrices (en intégrant, si possible à ce stade, des évolutions envisageables selon les conditions climatiques). Le prestataire pourra se baser à minima sur les projections de l'INSEE et sur les données issues des SCoT et PLU/PLUi.

A minima deux scénarii d'évolution seront proposés incluant un scénario de maintien des usages à leur niveau actuel (en moyenne sur la dernière période de 5 à 10 ans) et un scénario d'évolution probable des usages, avec une tendance à la baisse ou à la hausse selon les avis des acteurs du territoire.

2.3.1.3 Données relatives au climat

Le volet Climat consiste à dresser les perspectives d'évolution de la ressource en eau sur le territoire d'étude.

Analyse bibliographique des perspectives climatiques

Une première partie portera sur une analyse bibliographique des travaux réalisés. Sur la base des études disponibles (étude Explore 2070 et Explore2, AqualFR et AqualFR2, travaux du GIEC, DRIAS2020, etc.) ainsi que sur les dernières projections climatiques disponibles auprès de Météo France, afin d'effectuer un travail de synthèse pour :

- Analyser les dernières projections disponibles en matière d'évolution des paramètres climatiques (température de l'air et de l'eau, précipitations, évapotranspiration),
- Déterminer l'évolution quantitative prévisible de la ressource (piézométrie et régime hydrologique, en particulier débit d'étiage des cours d'eau),
- Déterminer l'évolution prévisible des milieux et de leurs besoins en eau (qualité de l'eau, biodiversité), ainsi que celle des usages anthropiques de l'eau,

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

- Mettre en évidence les masses d'eau en risque de déficit hydrologique, ainsi que les éventuels futurs points de tension entre les différents usages à l'horizon 2050 et 2070.

Ce volet reste un travail essentiellement de synthèse. Ce travail doit cependant être rigoureusement effectué afin de pouvoir procéder à un croisement des différents volets par la suite.

Projections hydrologiques futures par la modélisation

La situation hydrologique future pourra être approchée par la modélisation. A partir du modèle et de son calage, réalisé pour le volet hydrologie de la phase 1, ainsi que des données climatiques futures (MétéoFrance et DRIAS 2020), plusieurs projections hydrologiques aux horizons 2050 et 2070 seront proposées :

- Selon un seul scénario climatique, en privilégiant le scénario médian du GIEC : RCP4.5 ;
- Selon les deux (ou plus) scénarii d'usages définis lors du volet Usages.

Les résultats de la modélisation aux horizons futurs seront présentés avec une estimation des incertitudes. Le régime hydrologique futur pourra être comparé au régime de la période actuelle de référence (2000-2020 par exemple) au travers des indicateurs suivants :

- Module ;
- QMNA5 ;
- VCN30(5) ;
- QMN5 ;
- Niveau piézométrique moyen et minimal annuel ;
- Autres indicateurs d'étiage.

2.3.2 Découpage en entités cohérentes

Un découpage en unités hydrologiques/de gestion cohérentes sur l'ensemble du territoire est proposé. C'est à l'échelle de ces unités que seront menées les investigations prévues aux étapes suivantes : elles guident de fait la localisation des points de référence, au droit desquels seront reconstituées les chroniques de débit désinfluencées et déterminés les débits biologiques (voir plus loin). La sectorisation proposée doit notamment respecter les critères suivants (en gardant un découpage par masse d'eau superficielle quand cela est possible) :

- Proximité avec une station hydrométrique, et un piézomètre ;
- Superficie des sous-bassins versants drainés globalement homogène ;
- Usages de l'eau correctement répartis. Il s'agit de répartir et cerner correctement les principales pressions anthropiques qui s'exercent sur la ressource en eau.

Il faut de préférence retenir un territoire le découpage en entités cohérentes générant un nombre limité de sous-bassins versants.

2.4 Détermination du débit minimum biologique

2.4.1 Définition

Le débit minimum biologique (DMB) est le débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux. Son application est donc essentiellement estivale.

Le DMB est préférentiellement déterminé par les méthodes dites micro-habitats, les plus utilisées étant la méthode EVHA et la méthode ESTIMHAB. Elles permettent de déterminer la variation de surface potentiellement utile (SPU) aux poissons en fonction du débit (*Reconstitution des courbes d'habitat des espèces et guildes cibles*). En fait, ces méthodes permettent de déterminer deux débits : le débit optimal et le débit de survie.

D'où le fait qu'on parle plutôt de DB que de DMB.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

A défaut de méthodes micro-habitats, l'approche hydrologique est admise. Dans ce cas le DMB sera pris au 1/10 du module interannuel naturel, et le débit de survie au 1/20. Si les chroniques hydrologiques ne sont pas assez anciennes pour avoir des valeurs naturelles, ces valeurs seront à reconstituer en désinfluençant les chroniques existantes des prélèvements et des rejets. C'est un des objectifs de la modélisation.

Retour d'expérience : Attention aux méthodes alternatives pour estimer le débit nécessaire aux milieux aquatiques. Sur les territoires où l'on a calculé les DMB par ESTIMHAB, la méthode hydrologique donne souvent des résultats inférieurs, ce qui peut être problématique comme il s'agit d'un débit à réserver pour le maintien des milieux. Si ces méthodes sont employées, cela risque de dégrader la qualité des résultats.

2.4.2 Analyse préalable

2.4.2.1 Préambule

L'évaluation des besoins des milieux repose sur la détermination des valeurs minimum de débit et de niveau piézométrique permettant le bon fonctionnement des milieux et la survie des espèces (vie, reproduction, déplacement, etc.), sur l'ensemble du cycle hydrologique (des basses eaux aux hautes eaux), sans négliger les saisons intermédiaires, l'importance de la variabilité des débits ou encore l'influence d'autres facteurs, à commencer par la température de l'eau.

Retour d'expérience : Selon ces termes, les besoins des milieux intègrent bien les besoins des espèces piscicoles, mais aussi les besoins de la végétation associée aux milieux aquatiques et des zones humides. (Attention à une formulation qui pourrait laisser penser que tous ces besoins sont inclus dans la méthode Estimhab).

Afin de permettre la définition de ces valeurs objectifs et des volumes prélevables à l'échelle de chaque point de référence/tronçon du territoire visé par l'étude, il est indispensable qu'une valeur de débit plancher estival soit défini au droit de chaque point de référence.

La méthode proposée pour aboutir à la définition de ces débits planchers, repose sur le déploiement de la méthode ESTIMHAB, au droit de sites jugés propices sur le bassin versant.

La définition de débits biologiques doit prendre en compte le contexte environnemental de chaque cours d'eau étudié mais également ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques. Ainsi, la démarche de détermination d'un débit ou d'un régime minimum biologique doit-elle prendre en compte un ensemble de critères, parmi lesquels se trouvent les résultats de modèles d'habitats, mais aussi une démarche plus générale d'expert.

La référence de 80% de la SPU1 max, notamment, bien qu'elle ait été proposée comme un repère possible lors des premières applications de ces méthodes en France, n'est plus utilisée compte tenu des connaissances actuelles. La définition de DMB à l'aide de la méthode des micro-habitats doit également s'appuyer sur les éléments du contexte environnemental et notamment de l'hydrologie naturelle de la rivière.

Ainsi, il est nécessaire de récolter un maximum de données sur chaque cours d'eau afin de proposer des débits biologiques les plus réalistes et tenant compte de tous les compartiments (biologique, morphologique et physicochimique).

La première partie de l'analyse consiste donc à récolter des informations sur chacun des cours d'eau pré-identifiés comme devant faire l'objet d'une définition de débit biologique, afin de déterminer, sur la base des données disponibles et des observations de terrain, la méthode la plus adaptée pour évaluer les DMB. Cette analyse préalable se déroule en deux étapes :

¹ Surface Pondérée Utile

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

- La collecte de données physico-chimiques, biologiques, hydrologiques et hydromorphologiques,
- Une expertise de terrain pour vérifier la faisabilité technique de la méthode (microhabitats) sur un tronçon, de préférence proche des stations hydrométriques.

Pour justifier le fait de s'intéresser exclusivement aux débits biologiques (nécessaires au maintien et développement des espèces piscicoles) :

- *Difficulté d'estimer à une échelle macro les volumes d'eau nécessaires pour le maintien des zones humides. Le calcul des débits « écologiques » pour le maintien des zones humides et de la végétation des milieux aquatiques peut se faire, mais par des modèles à l'échelle de la zone humide – bien inférieure à l'échelle du SAGE*
- *Règlementairement (https://aida.ineris.fr/consultation_document/6935), les débits réservés sont définis comme le max entre le DMB (qui permet de garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux) et le débit plancher (10e ou 20e de module désinfluencé, qui permet, d'après expérimentations, le maintien d'un écosystème suffisamment fonctionnel, donc incluant les besoins en eau des zones humides) ;*
- *Si DMB > 10e module désinfluencé, alors le DMB permet indirectement également le maintien des zones humides, d'après les travaux qui ont mené à la réglementation en cours.*

Il est donc envisageable d'ajouter une étape à la méthodologie de comparaison du DMB au 10^e du module désinfluencé pour s'assurer de cette relation.

2.4.2.2 Recueil et analyse des données

Les données collectées seront issues des données décrites dans la bibliographie fournie par le SAGE (liste figurant dans le CCTP), de la consultation des bases de données nationales (qualité de l'eau, données hydrobiologiques, liste des poissons présents...) et des informations récoltées lors de l'atelier spécifique organisé avec les acteurs locaux. Elles sont décrites ci-après :

○ **Caractéristiques physiques du cours d'eau et des peuplements**

Afin de définir des débits biologiques, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de chaque cours d'eau. A partir des éléments disponibles, les éléments suivants doivent être décrits pour chaque portion de cours d'eau : la typologie physique, le fonctionnement (mode d'alimentation, régime hydrologique naturel, pertes, présence d'ouvrages et de passes à poissons, barrages infranchissables, seuils naturels ou artificiels, radiers avec faible hauteur d'eau, importance de la ripisylve...), la présence d'annexes hydrauliques, les espèces aquatiques sensibles (espèces protégées, écrevisses ...), le peuplement de poissons et la qualité physico-chimique et biologique.

Les données hydromorphologiques analysées sont issues des bases de données (ROE notamment) et de la reconnaissance de terrain.

Pour les peuplements piscicoles, les informations suivantes sont à rechercher:

- Perturbations et impacts (en relation avec le milieu physique principalement, mais également la qualité de l'eau) ;
- Frayères potentielles et qualité des habitats pisciaires ;
- Qualité des peuplements actuels (sur la base, notamment, de la base WAMA) ;
- Seuils et barrages (franchissabilité, débits de fonctionnement des éventuels équipements de franchissement, ...).

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Les données de qualité de l'eau et biologiques sont issues des bases de données de l'Agence de l'eau. Une attention particulière sera apportée aux paramètres sensibles à la baisse des débits, notamment, la température et les phosphates.

○ Hydrologie

Quelle que soit la méthode utilisée, il est indispensable de disposer d'une très bonne connaissance de l'hydrologie de chaque cours d'eau. En effet, de façon générale, il faut connaître les variations de débits (débits d'étiage et de crue ...) dans la situation naturelle mais également les débits caractéristiques (Q50, module, QMNA5, VCN3, débits moyens mensuels).

Cette projection est nécessaire car l'effet écologique d'un bas débit diffère selon son amplitude, sa durée, sa fréquence et la période de l'année concernée. Par exemple, un faible débit n'aura pas le même effet s'il concerne une période de reproduction ou de croissance. La connaissance des débits naturels d'étiage permet de situer la valeur des DMB proposés par rapport à une situation naturelle. Ainsi proposer un DMB, par exemple, supérieur à un débit moyen mensuel estival (en situation naturelle) n'a pas de sens. Il est indispensable de proposer un DMB en cohérence avec l'hydrologie naturelle. En effet, un cours d'eau présente naturellement, certaines années sèches, des débits qui peuvent être considérés comme critiques pour le peuplement piscicole.

○ Atelier pour collecter les données

Un atelier spécifique devra être organisé avec le comité de suivi technique de l'étude. Celui-ci aura pour objectif de réunir tous les acteurs de l'eau du territoire afin de recueillir leurs connaissances du secteur d'étude et d'identifier d'éventuelles données complémentaires. Cet atelier permettra de récolter toutes les informations nécessaires à l'étude dans un temps limité. Des questions seront transmises en amont de l'atelier pour que les acteurs puissent se préparer.

2.4.2.3 Reconnaissance des cours d'eau

La première étape consiste en une sectorisation préalable de chaque rivière en tronçons morphologiques homogènes, dont la succession doit décrire le mieux possible le profil en long de la rivière. L'objectif pour l'application des méthodes « microhabitats » est de sélectionner des tronçons dont la morphologie est la moins artificialisée possible en évitant les zones influencées par des seuils ou fortement rectifiées.

Cette reconnaissance a également pour objectif de compléter les informations recueillies dans la bibliographie. Elle doit permettre de recenser les points sensibles (zones de frayère, radiers difficilement franchissables à bas débit, les ouvrages et seuils (en précisant leur franchissabilité selon le débit), les annexes hydrauliques, les zones humides alimentées par le cours d'eau...) mais également d'identifier les alternances de faciès (proportion de radiers notamment) et l'accès aux caches et refuges (sous berges, annexes...) en fonction du débit.

Ce linéaire sera bien évidemment adapté en fonction des éléments caractéristiques de chaque cours d'eau (présence d'affluent important, confluence, présence d'ouvrage à fort impact, secteur artificialisé...). Ainsi, le linéaire parcouru pourra être légèrement inférieur ou supérieur.

Pour les cours d'eau retenus, la reconnaissance donne lieu à une cartographie sommaire sur laquelle figurera :

- Par tronçon homogène, les éléments de morphologie caractéristique (alternance de faciès, type de ripisylve...),
- Précisément géolocalisés : les ouvrages, les points sensibles (exemple : longs radiers).

Un reportage photographique est également recommandé.

La reconnaissance permet de vérifier si la méthode des microhabitats est applicable sur ces cours d'eau. Dans l'affirmative, il s'agit de proposer des stations sur lesquelles elle doit/pourrait être appliquée. Le choix de leur localisation apparaît primordial pour obtenir des résultats fiables.

La localisation des stations est proposée au maître d'ouvrage qui doit la valider avant toute intervention sur le terrain pour les mesures.

2.4.3 Détermination des débits biologiques

2.4.3.1 Choix du modèle

Les modèles les plus fréquemment utilisés en matière d'évaluation de débits biologiques sont :

- Le modèle EVHA qui permet un calage hydraulique précis et de nombreuses représentations graphiques ;
- Le modèle ESTIMHAB, plus simple et moins coûteux, donne des résultats proches d'EVHA mais demande deux interventions sur le site ;
- Le modèle LAMMI, développé par EDF, en particulier dans les tronçons de cours d'eau court-circuités par une prise d'eau.

Dans certaines évaluations de débits biologiques, certains tronçons de cours d'eau présentant peu de variations de hauteur malgré les écarts de débit, les modèles de microhabitat (tel ESTIMHAB) n'y sont, de ce fait, pas applicables. Cela est notamment le cas sur des cours d'eau ayant de nombreux ouvrages maintenant un niveau d'eau. Aussi, pour ces cours d'eau, il est nécessaire de développer une approche permettant de proposer des débits biologiques en s'appuyant essentiellement sur le contexte environnemental du cours d'eau et les données de qualité de l'eau.

2.4.3.2 Détermination des espèces cibles

La première étape pour la modélisation et pour définir des débits minimums biologiques consiste à déterminer la ou les espèces cibles. Les courbes de préférence disponibles sont assez nombreuses et directement intégrées dans le modèle. Il est également possible d'en ajouter si besoin.

Le modèle de calcul ESTIMHAB fonctionne pour le saumon (alevins, juvéniles), la truite (adultes, juvéniles), l'ombre (adultes, juvéniles, alevins), le vairon, le chabot, le barbeau, le goujon et la loche franche. Des courbes de préférences ont également été établies par groupes d'espèces (appelées guildes) selon leur affinité pour les habitats/faciès (chenal, mouille, radier, berges) : Par exemple :

Guilde « radier » : loche franche, chabot, barbeau <9cm

Guilde « chenal » : barbeau >9cm

Guilde « mouille » : anguille, perche, gardon, chevesne >17cm

Guilde « berge » : goujon, chevesne <17cm



Pour déterminer les espèces cibles, il faut consulter la bibliographie pour recenser les espèces actuellement présentes. On peut aussi définir le peuplement piscicole théorique. Un cours d'eau peut en effet être considéré comme une succession longitudinale définissant une zonation (Huet, 1949 ; Verneaux, 1973 ; Schlosser, 1987). A chaque secteur du cours d'eau correspond un peuplement potentiel qui dépend de la position longitudinale de ce secteur. Il s'agit des bien connues zones "à truite", puis "à ombre" ... Pour tenir compte de cette répartition longitudinale

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

des espèces, il faut choisir de ne modéliser l'habitat que de ces espèces potentielles, qu'on considère comme représentatives de chaque zone.

2.4.3.3 La méthode ESTIMHAB

○ Principe

Le principe consiste à coupler une description hydraulique dynamique d'une portion représentative de cours d'eau avec des modèles de préférence d'habitats d'espèces (24 espèces disponibles) ou de groupes d'espèces (ou guildes) se comportant de façon semblables vis-à-vis de l'habitat.

○ Mesures par stations

La station représentative a une longueur de 12 à 30 fois la largeur à débit pleins bords, soit de 2 à 5 séquences répétitives de faciès sur le cours d'eau.

Le modèle est alimenté par des mesures de terrain. Il s'agit notamment d'estimer, à 2 débits différents (Q1 et Q2 avec $Q2 > 2 \times Q1$, et Q2 idéalement proche du Q50%) :

- Les largeurs mouillées (L1 et L2) de la station modélisée à partir du relevé d'une quinzaine de largeurs,
- Les hauteurs d'eau moyennes (H1 et H2) à partir de mesures ponctuelles en une centaine de points, et au cours d'une des deux campagnes :
- La taille moyenne des éléments du substrat (à partir de mesures effectuées en une centaine de points).

Outre les mesures de terrain, l'estimation du débit journalier médian du cours d'eau (Q50%) en conditions naturelles fait aussi partie des variables d'entrée du modèle. ESTIMHAB est moins sensible à l'estimation du Q50% que celle des débits Q1 et Q2, mais celle-ci doit néanmoins rester précise (erreur < 20%).

○ Choix des débits

Les largeurs et hauteurs moyennes à tout débit sont extrapolées à partir des mesures faites à Q1 et Q2, après ajustement de lois puissances reliant la largeur et la hauteur au débit (lois dites de "géométrie hydraulique"). Les extrapolations doivent être correctes à la fois dans la gamme de simulation et au débit naturel médian Q50% de la rivière, car ESTIMHAB va estimer des valeurs de largeur et hauteur à Q50%.

Les débits de mise en œuvre doivent donc être aussi contrastés que possible, avec les règles suivantes :

- $Q2 > 2 \times Q1$
- La simulation sera comprise entre $Q1 / 10$ et $5 \times Q2$
- Le débit médian naturel Q50 est aussi compris entre $Q1 / 10$ et $5 \times Q2$
- Les deux débits Q1 et Q2 restent inférieurs au débit de plein bord du cours d'eau.

C'est aux bas débits que les conditions hydrauliques changent vite et que les mesures sont faciles, donc l'idéal est de choisir Q1 le plus bas possible et Q2 plus proche du Q50. Peu importe le temps passé entre les deux campagnes de mesures (sauf crue exceptionnelle).

La gamme de modélisation doit être cohérente avec les valeurs de Q1 et Q2 comme expliqué ci-dessus. Les notes de qualité de l'habitat et les surfaces utiles sont estimées par le logiciel entre les deux valeurs de débit précisées ici.

Ainsi, le choix du débit d'intervention est primordial pour disposer de résultats fiables et précis. Les campagnes de jaugeages régulières permettront de connaître la situation hydrologique des cours d'eau.

○ Modélisation

Le principe de la modélisation consiste à coupler une description hydraulique dynamique d'une portion représentative de cours d'eau avec des modèles de préférence d'habitats d'espèces ou de groupes d'espèces se comportant de façon semblable vis-à-vis de l'habitat.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

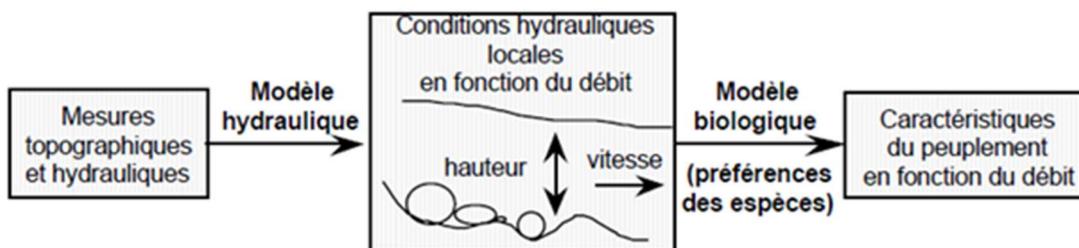


Figure 1 : Principe de modélisation de la méthode ESTIMHAB

Le produit de la méthode se présente sous forme de courbes d'évolution d'une qualité ou d'une quantité d'habitat en fonction du débit (surface pondérée utile SPU et valeur d'habitat VH) pour une station. Il est alors possible de représenter cette évolution pour des espèces, des guildes ou des stades particuliers.

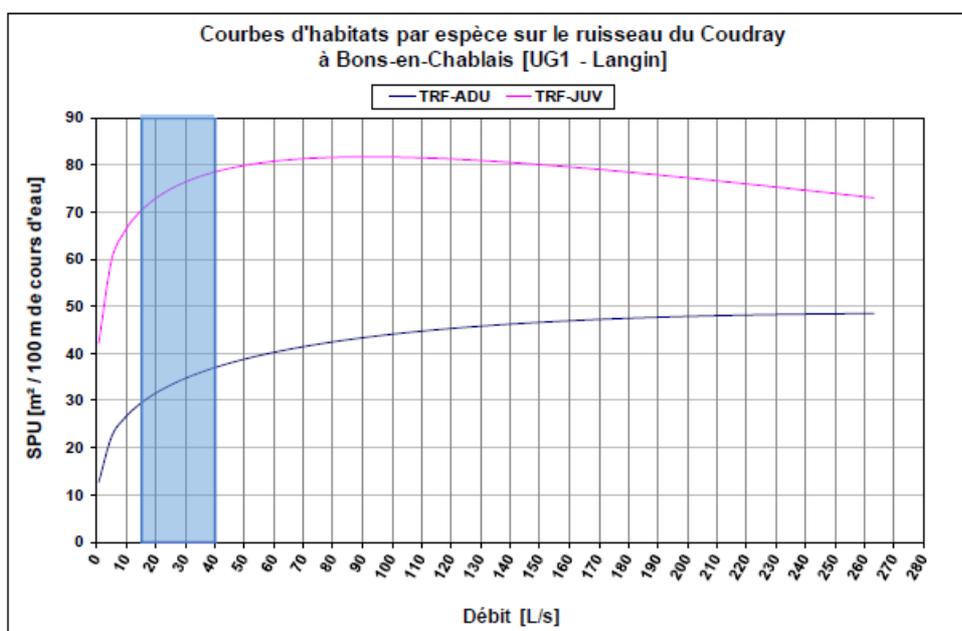


Figure 2 : Exemple de courbes d'habitats obtenues dans le cadre de l'évaluation de débits biologiques (Source : SUEZ Consulting, SM3A, 2020)

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

		% SPU max /100m	
Type de débit	Valeur débit en l/s	Truite adulte	Truite juvénile
QMNA5 naturel	43	43,8%	69,6%
QMNA2 naturel	65	49,3%	75,2%
Module	1200	96,6%	97,4%
débit 1/10ème du module	120	58,5%	83,6%
100% de SPU max truite juvénile	764	90,5%	100,0%
100% SPU max truite adulte	1210	96,7%	97,3%
Inflexion	200	67,0%	90,3%

Figure 3 : Tableau de synthèse des débits issus d'une modélisation ESTIMHAB (Doux 1 - % de SPUmax en fonction du débit

2.4.3.4 Proposition d'un ou plusieurs débits minimums biologiques

La méthode des microhabitats ne permet pas de calculer automatiquement une valeur de DMB, elle constitue une aide à l'évaluation de ces DMB sur la base du contexte environnemental apprécié au cours des étapes précédentes et des résultats de la relation SPU/débit.

La règle du "80% de la SPU au QMNA", bien qu'elle ait été proposée comme un repère possible lors des premières applications de ces méthodes en France, n'a pas de base biologique et n'est plus recommandée compte tenu des connaissances actuelles (Cf. Guide ESTIMHAB 2008).

La proposition de débit(s) doit intervenir sur la base de l'examen des étapes précédentes : plusieurs débits « minimum » sont proposés, afin de tenir compte des cycles piscicoles et de la saisonnalité des débits. Les débits biologiques sont donc aussi définis par « plages » de débits graduels représentant les situations critiques ou satisfaisantes pour les différents stades de développement des groupes d'espèces par faciès. Des DMB haut et bas (« de survie ») sont ainsi proposés.

Les débits proposés sont comparés aux débits caractéristiques issus des statistiques (en particulier QMNA5 et 1/10 module), pour mettre en évidence leur fréquence d'occurrence.

Généralement les courbes produites par les modèles ESTIMHAB présentent une allure permettant de déterminer un ou plusieurs seuils de débits critiques. En dessous de ces seuils, les débits deviennent défavorables aux espèces cibles ou guildes, en particulier lors de certaines périodes (reproduction et premières semaines après l'éclosion par exemple) : la SPU chute même pour une faible baisse du débit.

La détermination du ou des DMB est proposée sur la base de l'examen des étapes précédentes et après avoir répondu aux questions suivantes :

- Existe-t-il un débit en dessous duquel la continuité écologique n'est plus assurée (radiers infranchissables, passes à poissons non fonctionnelles...) ? Dans ce cas, pour quelles espèces la continuité n'est plus assurée et à quelle période est-ce (le plus) problématique ?

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Espèces	Tirant d'eau minimum nécessaire pour la nage
Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	20 cm
Truite de mer ou de rivière [50-100 cm] (<i>Salmo trutta</i>)	
Truite de rivière ou truite de mer [25-55 cm] (<i>Salmo trutta</i>)	10 cm
Truite de rivière [15-30 cm] (<i>Salmo trutta</i>)	5 cm
Vandoises (<i>Leuciscus sp hors Idus</i>)	5 cm
Barbeau fluviatile (<i>Barbus barbus</i>)	10 cm
Chevaîne (<i>Squalius cephalus</i>)	
Hotu (<i>Chondrostoma nasus</i>)	
Chabots (<i>Cottus sp</i>)	5 cm
Goujons (<i>Gobio sp</i>)	
Grémille (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)	
Lamproie de Planer (<i>Lampetra planeri</i>)	
Loche franche (<i>Barbatula barbatula</i>)	
Loche de rivière (<i>Cobitis taenia</i>)	

Figure 4 : Tirant d'eau minimal nécessaire pour la nage de quelques espèces (Baudoin et al., 2014)

- Existe-t-il un débit minimum de fonctionnement des frayères identifiées ? Quel est-il ? Quelle est la période concernée ?
- Quelle est la perte de SPU en étiage entre une situation naturelle moyenne et le DMB estimé ? Cette perte est-elle significative ? idem par rapport au QMNA5,
- Quelles sont les différentes gammes de débit par rapport à la perte de SPU calculée (aucune perte de SPU, perte peu significative, perte importante, mise en danger de l'espèce) ? Comment se situent ces gammes de débit par rapport à une situation naturelle et par rapport à la gestion actuelle des cours d'eau ? Dans quelle gamme de débit se situe le 1/10 du module ? le QMNA5 ? les VCN3 ?

Il s'agit également lors de cette étape de s'assurer que **des facteurs autres que le débit ne sont pas limitants pour la biologie des espèces les plus sensibles** et ce, en fonction de leurs stades de développement car les besoins ne sont pas les mêmes tout au long de leur cycle de vie. A titre d'exemple, pour les salmonidés, il s'agit de la température du cours d'eau, du pH, du couple ammonium / ammoniac, des matières en suspension, de l'oxygène dissous ainsi que des nutriments : azote et phosphore favorisant l'eutrophisation du cours d'eau.

Espèces	Stades	Températures létales	Référence
Truite commune (<i>S. trutta</i>)	adultes	≥ 24,7°C	Elliott, 1994
	œufs	< 0°C et >15°C < 13°C	Crisp, 2000 Elliott et Elliott, 2010
	embryons vésiculés	Idem œufs	
	juvéniles	24,7°C	Elliott 1994
Saumon atlantique (<i>S. Salar</i>)	adultes	≥ 27,8°C	Dill <i>et al.</i> , non daté
	œufs	< 0°C et >12°C > 16°C	Crisp, 2000 Elliott et Elliott, 2010
	embryons vésiculés	Idem œufs	
	juvéniles	26,7 à 28,5°C	Elliott, 1991

Figure 5 : Températures létales pour différents stades de développement du saumon atlantique et de la truite commune (source : CRESEB, 2015)

Ces questions ne sont pas exhaustives. Elles dépendent des éléments recueillis au cours des différentes étapes. Elles permettent, pas à pas, d'affiner le ou les DMB.

Les éléments de réflexion ayant permis de déterminer le ou les DMB sont clairement exposés. Ceci permet au maître d'ouvrage de comprendre le cheminement, d'en discuter et éventuellement d'intervenir sur un élément (exemple : l'accès à une zone de reproduction du brochet est à l'origine du DMB de printemps : peut-on restaurer le site pour le rendre opérationnel à un débit plus faible ? Ou par exemple la modification des modalités de gestion d'une station d'épuration si c'est le rejet qui constitue le facteur limitant pour déterminer le DMB d'étiage).

Ainsi, conformément aux préconisations de l'IRSTEA, les débits minimums biologiques sont proposés en fonction de l'hydrologie naturelle. En effet, il ne s'agit pas de proposer des DMB dont les valeurs soient nettement supérieures au débit d'étiage naturel. Ainsi, cette nouvelle

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

l'approche consiste à compiler deux séries de résultats : ceux des SPU et l'approche hydrologique (débits naturels reconstitués).

Au final il faut confronter les valeurs de débits biologiques issues de l'analyse hydraulique, biologique et hydromorphologique aux contraintes socio-économiques existant sur les différentes unités de gestion (usages consommateurs et non-consommateurs).

Il faut pour cela valoriser le modèle pluie-débit évoqué plus haut. Il s'agit ici de simuler des scénarios complémentaires de prélèvements, permettant de juger de leurs impacts sur les débits, et donc sur la qualité de l'habitat modélisée via la méthode de micro-habitats. 3 scénarios, dont le contenu reste à préciser avec le comité technique pourraient être construits de la manière suivante :

- Scénario 1 : Réduction de 20% des prélèvements agricoles ;
- Scénario 2 : Réduction de 20% des prélèvements agricoles et augmentation du rendement des réseaux à 80% sur l'ensemble du territoire ;
- Scénario 3 : Augmentation du rendement des réseaux à 80% sur l'ensemble du territoire et substitution des prélèvements agricoles et industriels par des prélèvements hors étiage et/ou hors bassin versant.

Sur la base de ces chroniques, il est possible de calculer les évolutions des valeurs hydrologiques de référence citées plus haut, et de mesurer l'impact des scénarios sur les gains de SPU via les courbes d'habitat. Le gain relatif en termes de SPU est ainsi quantifiable directement à l'aune de scénarios réalistes. Par ailleurs, il est aussi possible de raisonner sur des chroniques pluriannuelles de pertes de SPU (par rapport à la situation désinfluencée, considérée comme référence) pour chacun des scénarios. En observant la durée des pertes significatives de SPU (par exemple en recherchant les pertes de SPU supérieures à 10% sur 10 jours consécutifs), il faut affiner la fourchette de débits, considérant qu'une altération hydrologique significative sur une durée supérieure à 10 jours est susceptible d'être significative sur un peuplement.

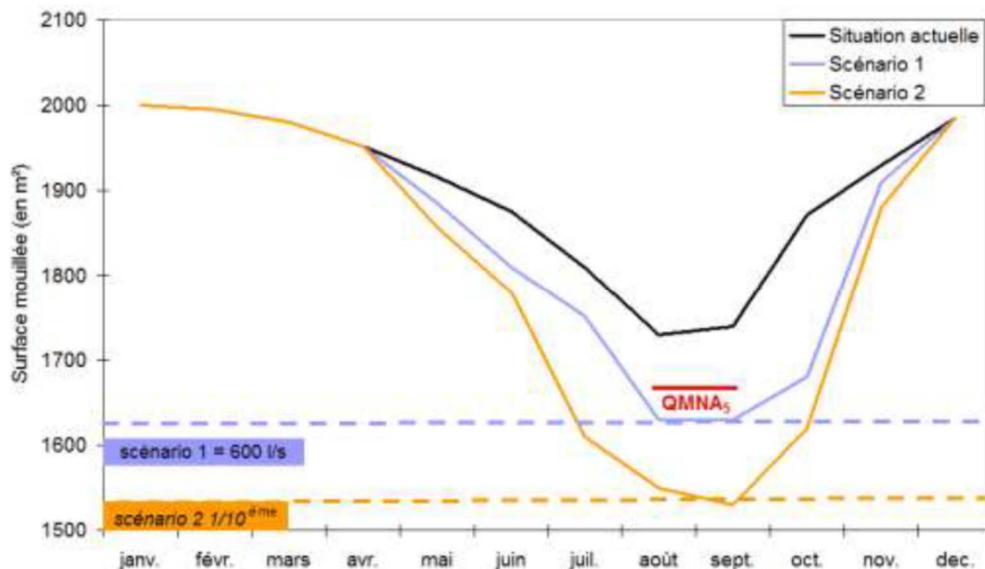


Figure 6 : Exemple d'évolution de la SPU sur un cycle hydrologique annuel pour plusieurs scénarios de prélèvements (source : CRESEB, 2015)

2.4.3.5 Proposition de valeurs de référence

L'analyse croisée de toutes ces informations permet de proposer une fourchette de débit biologique incluant :

- Un débit optimal qui assure une bonne qualité d'habitat sur le tronçon concerné ;

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

- Un débit altéré, qui permet de conserver des conditions satisfaisantes d'habitats malgré des ruptures locales de continuité.

Sur la base de la fourchette proposée, des contraintes socio-économiques en présence et de l'avis des membres du comité de suivi, une valeur de référence qui entrera dans le calcul des volumes prélevables est ensuite arrêtée. La sensibilité de cette valeur, notamment en termes d'évolution de la SPU, mais aussi d'impacts sur les usages (via les scénarios évoqués précédemment), est analysée. L'objectif est d'identifier :

- Quelle typologie de scénario de réduction des prélèvements est nécessaire pour garantir cette valeur la plupart du temps, et ce que cela implique pour les différents usagers du bassin versant ?
- Quelle altération de la qualité de l'habitat est attendue en cas d'ajustement à la baisse de la valeur retenue ?

Ces éléments permettent au comité de suivi de l'étude de se positionner sur la pertinence et la robustesse de la valeur, notamment au regard des attentes des acteurs locaux (préleveurs notamment).

Le caractère concerté de cette phase d'ajustement conditionne l'acceptabilité des valeurs de référence proposées aux différents points de référence du bassin versant. La cohérence des débits biologiques proposée avec les valeurs réglementaires fixées en différents points du bassin est également vérifiée au cours de cette étape (points de contrôle, valeurs attachées à des aménagements particuliers).

2.5 Détermination du QMN5 influencé et désinfluencé

2.5.1 Caractérisation de la ressource en eau superficielle en régime influencé et en régime naturel

2.5.1.1 Analyse des débits en régime influencé

Une analyse hydrologique est effectuée pour déterminer les différents régimes (étiage, moyen et crue) sur l'ensemble des stations hydrométriques de la zone d'étude. Les débits caractéristiques obtenus, notamment d'étiage et moyen, en situation « influencée » seront comparés à l'issue de cette phase aux débits caractéristiques « désinfluencés ». Cette comparaison permettra d'évaluer l'impact des prélèvements et des rejets sur l'hydrologie des cours d'eau.

La détermination des débits repose sur la démarche suivante :

- Analyse des données disponibles via les stations de la DREAL ;
- Détermination des débits caractéristiques par une analyse statistique.

Les valeurs obtenues pour chaque régime sont présentées dans des tableaux de synthèse.

Cours d'eau	Oudon				Chéran	Verzée		Argos	Uzure
Station	Oudon à Cossé-le-Vivien	Oudon à Châtellais	Oudon à Segré	Oudon à Andigné	Chéran à la Boissière	Verzée à Noëllet	Verzée au Bourg d'Iré	Argos à Sainte-Gemmes-d'Andigné	Uzure à Saint-Michel-de-la-Roë
Taille BV (km ²)	133	734	1310	1409	85	103	205	153	21
Période considérée	1988-2014	1973-2014	1995-2014	1969-2001	1971-2014	1975-1992	1990-2014	1982-2014	1981-2002
Nombre d'années utilisées pour le calcul	26	42	20	32	43	18	25	33	21
Débits d'étiage (m³/s)									
Module	0.954	4.030	8.740	6.900	0.513	0.627	1.280	0.780	0.196
1/10e module	0.095	0.403	0.874	0.690	0.051	0.063	0.128	0.078	0.02
1/20e module	0.048	0.202	0.437	0.345	0.025	0.032	0.064	0.039	0.01
QMNA2	0.020	0.073	0.150	0.110	0.020	0.009	0.038	0.032	0.009
QMNA5	0.005	0.015	0.047	0.024	0.008	0.002	0.019	0.013	0.003
VCN3 2	0.006	0.030	0.067	0.039	0.008	0.005	0.016	0.012	0.006
VCN3 5	0.002	0.005	0.022	0.009	0.002	0.001	0.007	0.004	0.002
VCN10 2	0.009	0.036	0.092	0.051	0.010	0.006	0.020	0.017	0.007
VCN10 5	0.002	0.006	0.030	0.011	0.003	0.001	0.009	0.005	0.002
Q spécifique moyen (l/s/km ²)	7.2	5.5	6.7	4.9	6.0	6.1	6.3	5.1	9.3
Q spécifique QMNA5 (l/s/km ²)	0,04	0,02	0,04	0,02	0,09	0,09	0,02	0,08	0,14

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Station hydrométrique	Oudon à Cossé-le-vivien		Oudon à Châtellais		Oudon à Segré		Oudon à Andigné		Chéran à la Boissière		Verzée à Noëllet		Verzée au Bourg d'Iré		Argos à Sainte-Gemmes-d'Andigné		Uzère à Saint-Michel-de-la-Roë	
	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX	QJ	QIX
Biennale	10	12	42	45	86	93	80	87	6,8	8	4,9	5,5	14	16	13	17	1,8	2,9
Quinquennale	16	20	66	71	140	150	130	140	11	14	8	8,8	23	26	20	26	3,1	4,7
Décennale	20	24	83	88	170	180	170	180	13	17	10	11	29	32	25	32	3,9	5,8
Vicennale	24	29	98	100	200	220	200	210	16	20	12	13	35	38	29	38	4,7	7
Cinquantennale	29	35	120	130	242	263	244	260	19	24	15	16	42	46	35	46	5,7	8,4
Centennale	29	39	135	143	272	297	277	292	24	27	20	18	48	52	39	51	6,5	9,5

Figure 7 : Exemple de tableaux récapitulatifs des débits caractéristiques sur le bassin versant de l'Oudon (Source : SUEZ Consulting, 2016)

Il faut également valoriser les données de jaugeages ponctuels disponibles auprès des différents acteurs listés précédemment, ainsi que celles issues des études précédentes. Il est attendu que les données issues des jaugeages permettent :

- De vérifier la faisabilité d'extrapoler des chroniques à partir des stations hydrométriques existantes, notamment en vérifiant les corrélations entre les débits ;
- D'analyser la cohérence des débits spécifiques à un instant t donné ;
- De caractériser le fonctionnement de l'hydrosystème au droit de sites particuliers (impact d'un plan d'eau, des zones humides, des échanges nappes/rivières...) ;
- De caractériser l'impact de prélèvements et/ou rejets.

L'analyse des jaugeages réalisés dans le cadre de l'étude doit permettre d'identifier les écarts de débits mesurés tout au long du cours d'eau, et de les expliquer par des facteurs naturels et/ou anthropiques.

Le contexte climatique est également analysé à travers l'analyse des données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle au droit d'une station jugée représentative du territoire. A partir de ces données, l'objectif est de caractériser le contexte climatique sur le territoire d'étude et de mettre en évidence l'évolution de ces deux paramètres (pluie et ETP) sur les dernières décennies.

- Pour les données pluviométriques :
 - Le cumul annuel est principalement exploité. Il permet de juger de la représentativité de la période d'étude (1999-2019) par rapport à la chronique totale. Il permet également d'identifier les années atypiques : quinquennale sèche, médiane, quinquennale humide.
 - Les données mensuelles permettent également d'identifier les mois les plus/les moins critiques en termes de pluviométrie sur le territoire.
- Pour l'évapotranspiration potentielle

Le cumul annuel est exploité également et permet de juger de la représentativité de la période d'étude (1999-2019) par rapport à la chronique totale.

Les données mensuelles permettent quant à elles lorsqu'elles sont confrontées au cumul de précipitations d'évaluer la période de déficit sur le territoire (ETP > pluie).

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

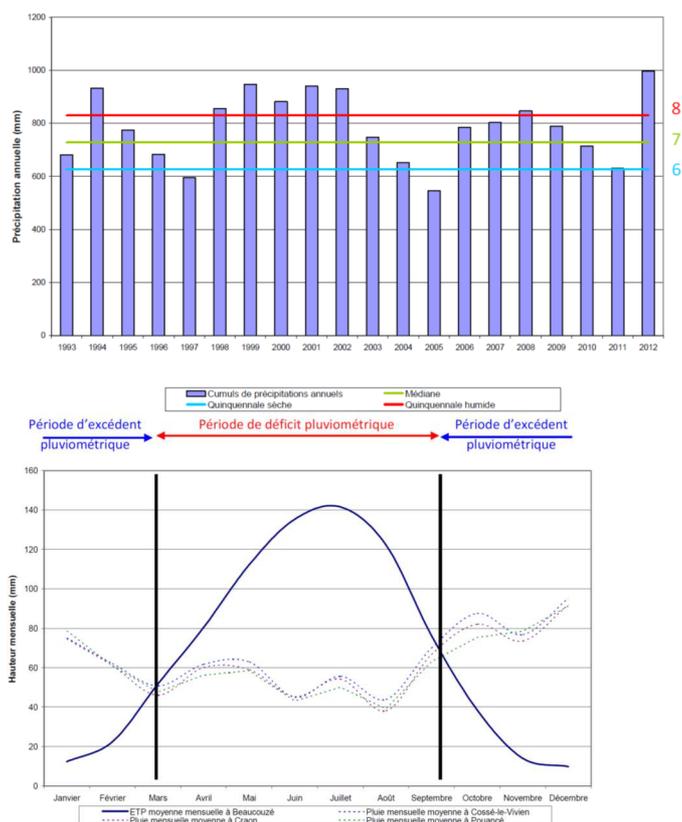


Figure 8 : Exemple d'analyses des données climatiques réalisées sur le bassin de l'Oudon (Source : SUEZ Consulting, 2016)

Enfin précisons que cette analyse permet également d'aborder la problématique du changement climatique, notamment en visualisant les évolutions des cumuls de pluie et d'ETP sur les dernières décennies.

2.5.1.2 Reconstitution de l'hydrologie non influencée

L'objectif de cette étape est d'aboutir à la quantification du potentiel naturel de la zone d'étude. Ce travail revient à répondre à la question : quels seraient les débits s'écoulant « naturellement » dans les cours d'eau en l'absence de prélèvements et de rejets ?

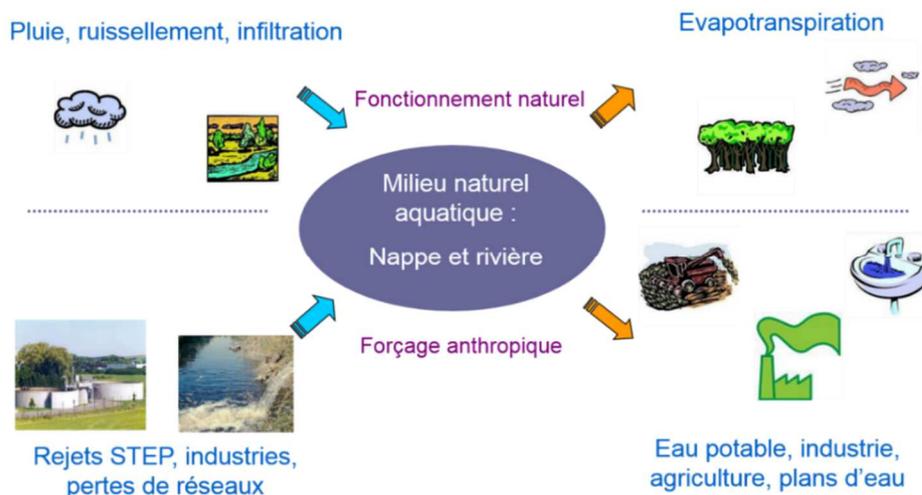


Figure 9 : Schéma conceptuel permettant de visualiser le bilan hydrique du territoire

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Cette étape nécessite une bonne connaissance des facteurs anthropiques (prélèvements / rejets) influençant le régime des eaux : ceux-ci sont déterminés selon les modalités décrites précédemment. Ainsi, l'objectif de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée est de pouvoir disposer des débits désinfluencés des prélèvements et rejets au droit de différents points de référence du bassin versant. Une telle reconstitution permet d'estimer le régime hydrologique du bassin versant en l'absence d'action anthropique sur les milieux aquatiques de surface et souterrain. Ces données servent notamment d'outils de comparaison pour appuyer l'analyse critique des débits / niveaux d'objectif.

L'utilisation de la modélisation pour la reconstitution de l'hydrologie/hydrogéologie désinfluencée repose sur les étapes suivantes :

- Étape 1 : Construction du modèle hydrologique / hydrogéologique pour la masse d'eau considérée en intégrant pour sa superficie, les données de pluviométrie et d'évapotranspiration, les données sur les aquifères et les prélèvements et rejets.
- Étape 2 : Calage des paramètres des modèles hydrologiques et de nappe sur la masse d'eau en question.
- Étape 3 : Une fois le modèle calé de manière satisfaisante, nouvelle simulation du cycle hydrologique sur les unités de gestion étudiées, en ne considérant plus les prélèvements et rejets.
- Étape 4 : Comparaison des séries temporelles et des valeurs caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques issues des simulations avec et sans intégration des prélèvements et rejets.

L'utilisation d'un modèle Open Source est à privilégier pour conduire ces investigations, à savoir Gardenia développé par le BRGM qui permet de prendre en compte les usages de l'eau, ce qui est problématique pour la reconstitution des débits désinfluencés. Il s'agit d'un modèle conceptuel fonctionnant à l'échelle du bassin versant, et permettant notamment les différenciations suivantes :

- Séparer l'écoulement global entre sa composante souterraine et sa composante surfacique ;
- Prendre en compte des pertes de cours d'eau ;
- Reconstituer le débit surfacique ;
- Reconstituer le débit souterrain ;
- Reconstituer les niveaux de nappe.

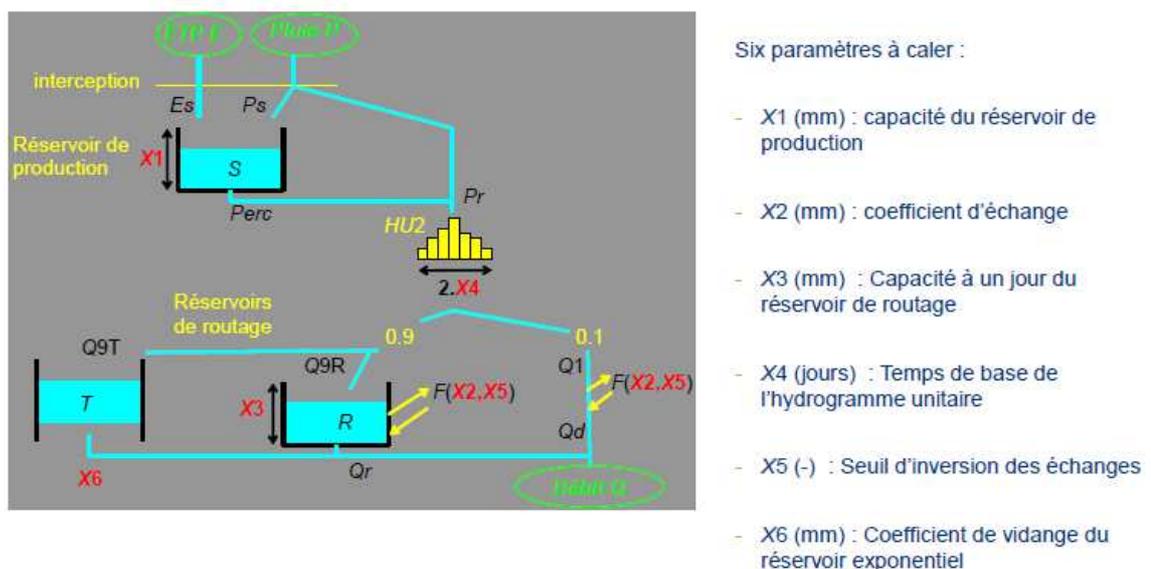
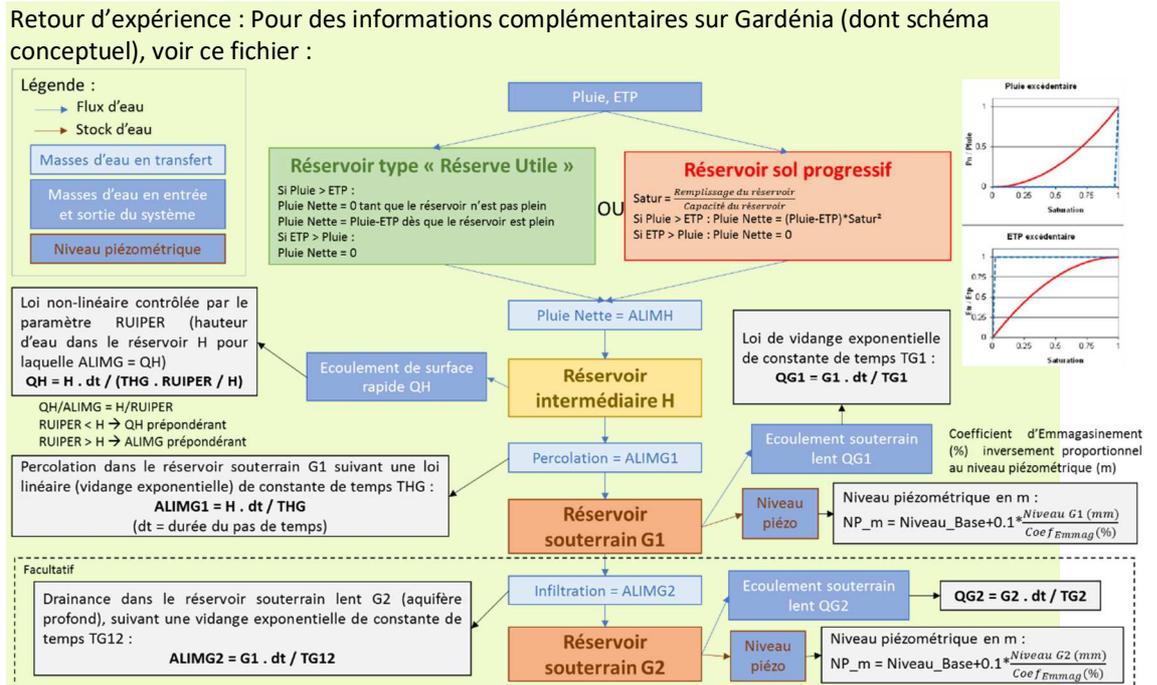


Figure 10 : Schéma conceptuel du modèle de réservoir GR6J, version de Pushpalatha (2013)

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie



Pour les unités de gestion disposant d'une station hydrométrique de référence ou d'un piézomètre de référence, les paramètres sont calés de façon itérative afin de rechercher la meilleure solution numérique de l'ensemble des paramètres pour maximiser la vraisemblance entre les débits/chroniques piézométriques mesurés et simulés. Pour les autres unités de gestion ne disposant pas de point de référence pour le calage, les paramètres de calage sont ajustés de façon à simuler correctement le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des unités en fonction de celles calées. Le calage tente de valoriser au mieux les éléments suivants :

- La meilleure reproduction par le modèle de la forme de la chronique des débits mensuels mesurés sur la période 1999-2019. La vraisemblance des débits mensuels est primordiale pour l'exploitation des résultats du modèle sur l'ensemble du cycle hydrologique dans la suite de l'étude.
- La mesure de la qualité du calage du modèle est faite en utilisant le critère de Nash (E), en mesurant la vraisemblance des chroniques. Ce critère adimensionnel a été proposé par Nash et Sutcliffe (1970).
- La meilleure reproduction des valeurs caractéristiques hydrologiques : notamment le module interannuel, le débit mensuel minimal de période de retour 5 ans sec (QMNA5) et les débits mensuels de période de retour 5 ans sec (QMN5). Ces valeurs sont particulièrement intéressantes car elles servent de base pour la détermination des débits objectifs et des volumes prélevables en période estivale. La bonne reproduction des valeurs caractéristiques infra-mensuelles (notamment VCN10(5) et VCN3(2)) est aussi recherchée, car celles-ci constituent des valeurs de référence intéressantes pour appuyer la définition des besoins des milieux naturels (débits biologiques).
- La meilleure reproduction du nombre de jours de dépassement du module sur la période considérée. La vraisemblance de ces éléments est importante notamment pour la définition des volumes prélevables en période de hautes eaux.
- La meilleure reproduction du comportement des aquifères souterrains. Le modèle de nappe étant ici simplifié, il conviendra de vérifier la vraisemblance des évolutions du niveau de nappe entre les chroniques piézométriques et les sorties du modèle numérique.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

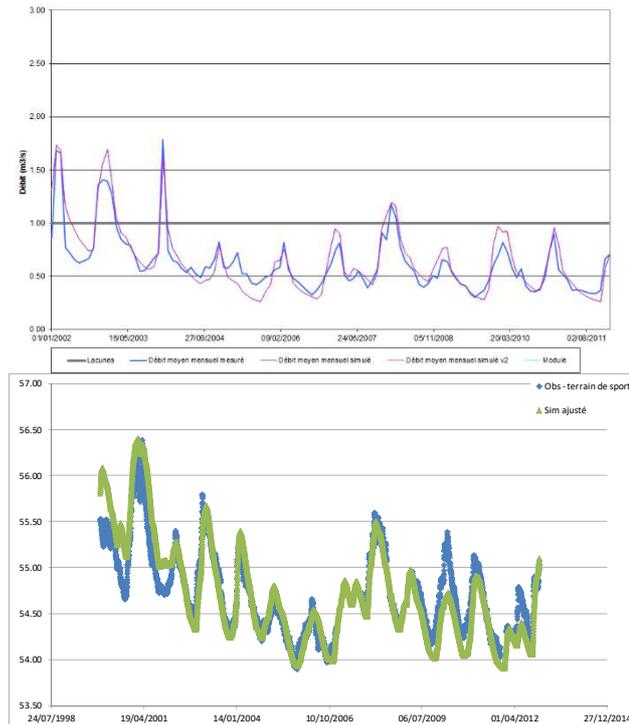


Figure 11 : Exemple de calage hydrométrique et piézométrique sur le bassin versant de l’Huisne réalisé sous Mike Basin (Source : SUEZ Consulting, 2017)

Une fois le modèle calé, celui-ci est utilisé pour simuler une nouvelle fois la chronique sur la période 1999-2019, mais sans influence des prélèvements et rejets. Les résultats obtenus sont alors similaires à ceux obtenus par l’approche simplifiée évoquée plus haut, avec en supplément des informations sur l’évolution de la piézométrie en l’absence de prélèvements.

2.5.2 Caractérisation de la ressource en eau souterraine

2.5.2.1 Synthèse du contexte géologique et hydrogéologique

Relation entre les aquifères

La première partie de notre travail consistera à recenser et valoriser l’ensemble de la bibliographie disponible à l’échelle de la zone d’étude. Il s’agira évidemment de l’ensemble des études qui pourront être complétées par des ressources complémentaires d’extension générales ou locales.

La zone d’étude ne constitue donc pas une entité homogène d’étude et de gestion, et les données bibliographiques offrent donc peu de synthèse à l’échelle de cette zone. Il s’agira de considérer l’ensemble de cette bibliographie pour tirer les informations pertinentes à la problématique du volume prélevable, à savoir

- Caractérisation des aquifères (géologie des réservoirs), limites physiques et contexte ;
- Argumentation sur les limites hydrogéologiques des masses d’eau souterraines ;
- Etat de fonctionnement piézométrique délimitant des bassins hydrogéologiques unitaires en termes de fonctionnement ;
- Bilan des connaissances sur le fonctionnement nappe/rivière.

Contexte géologique et caractérisation physique des aquifères

Le contexte géologique du territoire sera présenté sur la base des études existantes principalement réalisées par le BRGM. Seront notamment mises en évidence :

- La lithologie : les variations de faciès latéraux et leur implication d’un point de vue hydrogéologique ;

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

- Les accidents structuraux sur le bassin et les incidences certaines ou potentielles sur le cloisonnement des réservoirs ;
- Logs litho-stratigraphiques et coupes transversales du bassin : les variations d'épaisseur des formations aquifères

La présentation du contexte géologique et hydrogéologique (caractérisation physique) de la zone d'étude s'appuiera :

- Sur la présentation d'une carte hydrogéologique du territoire ;
- Sur une cartographie des limites pour chaque masse d'eau souterraines à l'échelle de la zone d'étude ;
- Sur les nombreuses coupes structurales disponibles à l'échelle départementale ou régionale harmonisées et réadaptées à l'échelle de notre étude. Elles serviront notamment à la caractérisation verticale des aquifères et à la vérification des secteurs potentiels d'échanges inter-aquifères ;
- Sur la reconstitution d'un log stratigraphique complet à l'échelle du bassin. Ce log stratigraphique sera mis au regard d'un log hydrogéologique qui mentionnera les unités aquifères, les aquicludes mais également les niveaux lithologiques karstogènes susceptibles de provoquer des écoulements et des comportements différenciés au sein d'une même masse d'eau souterraine.

Etat de connaissance des limites de bassins versants hydrogéologiques et des modalités d'écoulements des aquifères

Les modalités d'écoulement de la piézométrie des principaux aquifères seront présentées sur la base des références disponibles sur le bassin.

Notre description des écoulements souterrains sera basée sur ces supports qui ne permettent toutefois pas une vision de l'état piézométrique local synchrone pour des conditions de hautes et basses eaux.

Les cartes d'écoulement à l'extension des masses d'eau souterraines seront complétées, pour certains secteurs, par les précisions des cartes locales avec une meilleure densité de points (Etudes d'aire d'alimentation de captage).

Le but de cette synthèse est de présenter les bassins hydrogéologiques naturels et d'étudier leurs potentielles variations saisonnières. En tout état de cause, la connaissance la plus fine possible des sous bassins-versants hydrogéologiques permet de considérer des unités fonctionnelles de l'écoulement souterrain. **Il s'agit du socle de réflexion pour la définition d'unités de gestion argumentées et justifiées.**

2.5.2.2 Etat de connaissance des échanges nappe/rivière

Ces échanges seront, dans un premier temps, caractérisés par les éléments de connaissance apportés par les études et données existantes. **Notamment, il faut comparer à des instants T et aussi à partir de moyennes mensuelles les débits des cours d'eau aux différentes stations, de manière à mettre en évidence les zones les plus contributives au débit aux points nodaux.**

Si ces données existent les modélisations conduites par le BRGM (modélisations Tempo et Marthe) seront bien entendu prises en compte pour estimer l'apport de connaissance aux volumes de soutien d'étiage par les nappes.

De manière complémentaire, l'étude s'attachera à analyser les courbes de tarissement désinfluencées (ou pour des cycles peu influencés par les prélèvements anthropiques) obtenues sur les stations hydrométriques existantes dans l'unité de gestion investiguée et qui peuvent être rattachées à des unités de fonctionnement hydrogéologiques.

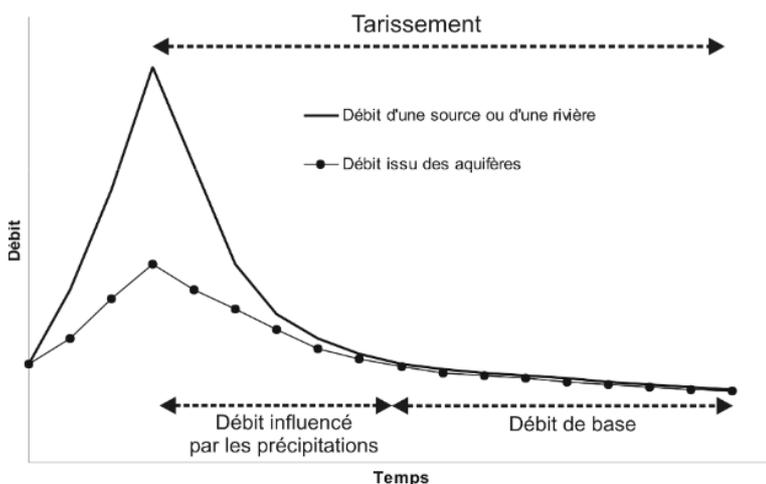


Figure 12 : Représentation schématique d'un hydrogramme avec débit de base pouvant être associé à la part d'alimentation à partir du soutien de nappes

L'étude de la courbe de tarissement sera effectuée à partir des lois de Maillet ou de Mangin (linéaire ou quadratique) avec le filtre de Chapman. Les apports potentiellement karstiques sur certains sous-bassins versant seront mis en lumière avec ce filtre. L'intégration de la courbe de tarissement permet également d'évaluer la notion de volume de ressource disponible pour le soutien des écoulements superficiels. Il s'agira d'un moyen de comparaison et de vérification de la validité du modèle réservoir.

L'évolution de la part d'alimentation par la ressource en eau souterraine obtenue à l'étiage pourra notamment être réalisée de l'amont vers l'aval pour un même cycle en comparant l'évolution du soutien de nappe sur les différentes stations hydrométriques disponibles.

Les stations présentes sur les affluents seront également valorisées, de même que les suivis hydrologiques.

2.5.2.3 Caractérisation de la dynamique des masses d'eau souterraines

Prérequis : analyse des conditions climatiques passées

Pour l'analyse hydrologique comme pour l'analyse hydrogéologique des niveaux historiques, une caractérisation des conditions climatiques sera nécessaire pour établir les caractéristiques climatiques de l'année hydrologique, en croisant la pluviométrie annuelle globale à la pluviométrie estivale et en définissant la typologie pluviométrique du cycle étudié :

- Hiver sec / été sec ;
- Hiver sec / été pluvieux ;
- Hiver humide / été humide ;
- Hiver humide / été sec ;

La période d'analyse correspondra aux historiques de suivis de débit et piézométrique sur la zone d'étude.

Dynamique de chaque masse d'eau souterraine

Pour chaque masse d'eau souterraine comprise dans la zone d'étude, la dynamique sera étudiée à partir des historiques des piézomètres indicateurs de gestion de nappes, complétés par les historiques des ouvrages complémentaires disponibles sur la base de données ADES. Une recherche des points complémentaires dans les unités de gestion pourra par ailleurs être effectuée (exemple des points de suivis complémentaires utilisés dans le cadre d'étude du BRGM par exemple...).

L'ensemble de ce réseau de données permet de disposer d'une base de données permettant une approche statistique spatialisée par unité de gestion. Cette approche permettra d'établir le degré de relation existant par unité de gestion entre les ressources en eau souterraines et

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

superficielles et de caractériser l'inertie du système pour juger des périodes les plus opportunes pour la fixation des seuils de gestion saisonniers.

De manière globale, la démarche poursuivie est de rechercher les relations pertinentes entre les niveaux piézométriques et les débits en rivières pour ensuite caractériser la relation entre les niveaux piézométriques et l'importance des volumes pompés. Elle a un intérêt particulier dans la vérification du réalisme des résultats apportés par le modèle réservoir

Analyse de l'historique piézométrique

Les historiques piézométriques des indicateurs seront analysés notamment dans la recherche des niveaux d'étiages pour être confrontés :

- Aux périodes où le milieu superficiel a subi des dépassements des débits seuils actuellement fixés aux points nodaux ;
- Aux périodes à conséquences pour l'hydrosystème (à secs ou dépassement des seuils de gestion issus du trop faible soutien d'étiage par les ressources eaux souterraines) ;
- Aux caractéristiques climatiques de l'année hydrologique, en croisant la pluviométrie annuelle globale à la pluviométrie estivale et en définissant la typologie pluviométrique du cycle étudié :
 - Hiver sec / été sec ;
 - Hiver sec / été pluvieux ;
 - Hiver humide / été humide ;
 - Hiver humide / été sec ;
- Aux historiques de la gestion volumétrique instaurée au cours de ces années (date de prise de mesures de restriction ou de coupure).

Cette analyse historique permettra alors de mettre en évidence :

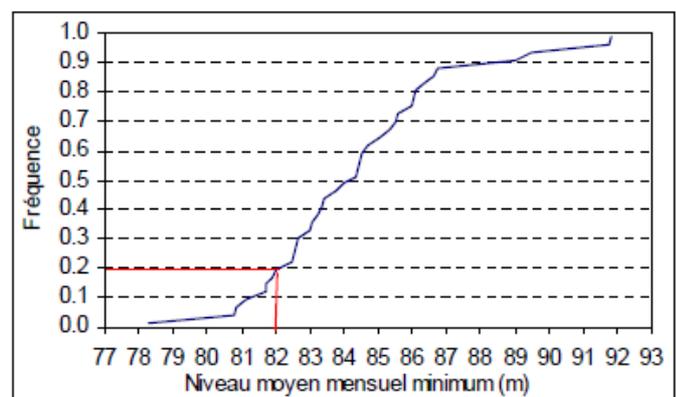
- Les occurrences de respects des seuils actuels et de juger de fonctionnement bon/mauvais des règles actuelles de gestion par unités ;
- Par extension, de vérifier quels auraient été les occurrences de respect des débits minimums biologiques qui vont être définis dans le cadre de la présente étude

Par ailleurs, les valeurs de recharges efficaces déduites du modèle réservoir pourront être comparées aux prélèvements annuels. Il s'agira d'un premier indicateur annuel du ratio prélèvement/ressource à l'échelle de chaque unité de gestion.

L'étude des courbes de fréquences cumulées permettent de vérifier l'occurrence de dépassement des seuils piézométriques pour des valeurs « particulières » (quinquennale sèche, humide) mais également, par raisonnement inverse, de vérifier la fréquence historique des seuils de gestions définis jusqu'à présent. Cette approche, réalisée par indicateur permettra :

- de juger de la robustesse des outils actuels de gestion de la ressource ;
- de porter la réflexion sur les seuils piézométriques à définir à l'échelle saisonnière en portant la construction des graphiques fréquentiels pour différentes périodes du cycle hydrologie (printemps, étiage, automne pour les seuils de remplissages hivernaux....).

Figure 13 : Exemple de courbe fréquentielle sur niveau piézométrique



Inertie de la nappe

Une analyse statistique des chroniques piézométriques désinfluencées sera menée à l'aide de la construction des autocorrélogrammes de niveaux qui permettent de caractériser l'inertie

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

du système étudié ou, autrement dit, le degré de relation d'un niveau piézométrique à un instant t avec les niveaux observés plus tôt dans la chronique. Cet effet mémoire a toute son importance dans la réflexion sur la fixation des seuils de gestion saisonniers. Il s'agit par exemple de vérifier à quelle période il est opportun de fixer un seuil de printemps pour respecter les objectifs d'étiage.

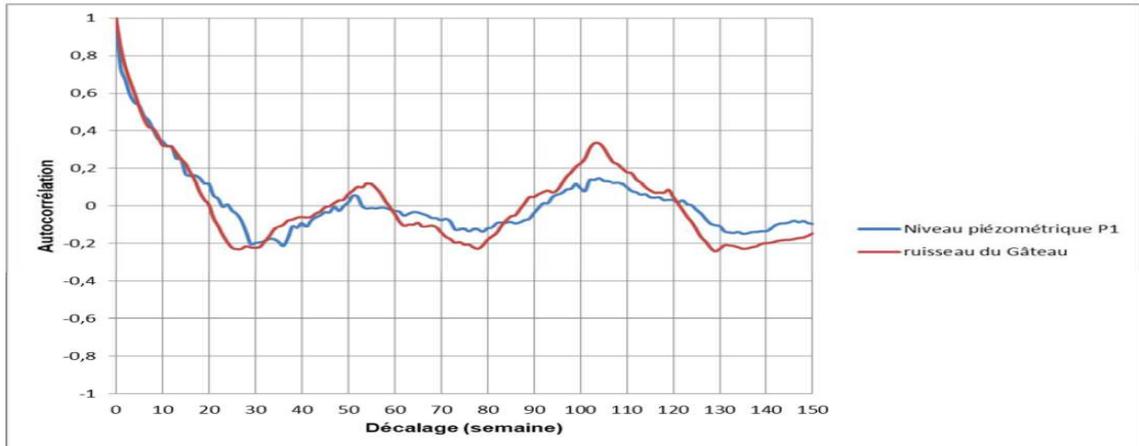


Figure 14 : Exemple d'autocorrélation en système karstique

Etude des phases de tarissement

L'étude de la dynamique des ressources en eaux souterraines sera également basée sur l'analyse des phases de tarissement. A l'image du réseau hydrographique, les phases de tarissement en nappe peuvent souvent s'apparenter à une loi de type exponentielle. Les caractéristiques de cette loi de vidange peuvent être calibrées sur les périodes où aucune recharge efficace ne réalimente le système. Ces caractéristiques, appliquées et comparées aux divers indicateurs piézométriques disponibles, permettront de vérifier l'homogénéité, ou au contraire, l'hétérogénéité des zones de gestion actuelles.

Tendances pluriannuelles

Les grandes tendances pluriannuelles seront étudiées à partir des évolutions temporelles par comparaison à la recharge. La notion de chronique désinfluencée sera ici très importante pour déduire les évolutions interannuelles strictement soumises aux variations de recharge efficace.

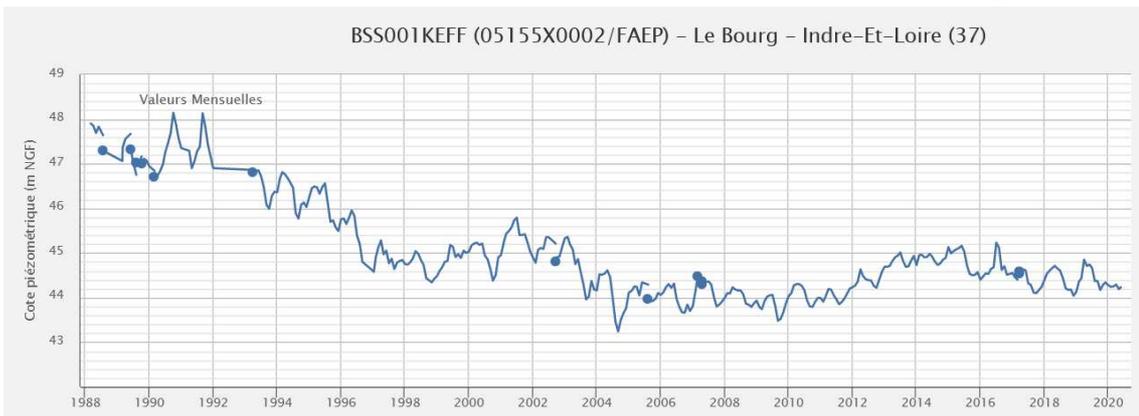


Figure 15 : Exemple de chroniques piézométrique de la nappe du Cénomaniens inférieur à moyen à Civray-sur-Esves qui sera comparé aux chroniques de pluie efficace/recharge sur la même période

Réponse à la pluie

L'étude des réponses impulsionnelles sera effectuée par corrélation pluie/débit. Cette analyse est particulièrement importante car elle permet d'obtenir le temps de réponse moyen de la ressource à une sollicitation aléatoire (pluviométrie). Avec l'inertie et dans une réflexion de définition des outils de gestion, il s'agira donc d'un bon indicateur de la période à partir de laquelle des seuils doivent être fixés.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Cette analyse sera produite sur les chroniques historiques (et pas sur les données désinfluencées) car le pas de temps des données doit être journalier.

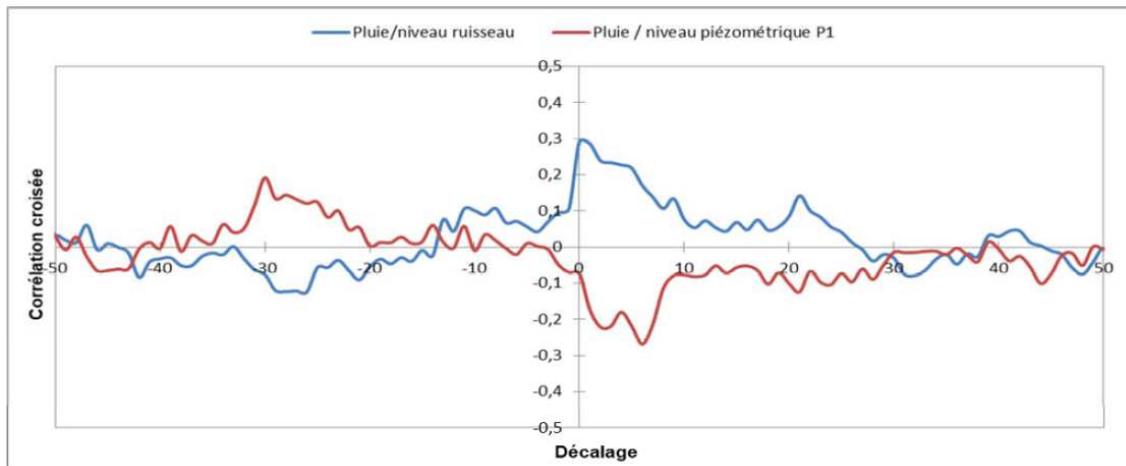


Figure 16 : Exemple de corrélation croisée en système karstique

Indicateurs et suivi complémentaires

Enfin, à l'issue du cycle de suivi des stations piézométriques optionnelles, les données récoltées seront comparées avec celles des indicateurs les plus proches, afin de déterminer l'homogénéité ou l'hétérogénéité d'unités de gestion, et de caractériser la représentativité des indicateurs actuels.

Ces suivis complémentaires fourniront en outre des données précieuses pour l'analyse de la validité de la modélisation.

Recherche de relation entre niveau piézométrique et débit

La prise en compte des facteurs d'inertie et de décalage niveau/débit obtenus avec les analyses corrélatoires permettront de rechercher la présence de relations entre les niveaux mensuels piézométriques à une période particulière et les débits d'étiages. Il pourra s'agir notamment de vérifier :

- La corrélation entre l'étiage piézométrique et l'étiage hydrologique pour le cas des nappes à faible inertie ;
- La corrélation entre les niveaux de recharge printanière et les niveaux d'étiage hydrologique pour le cas de nappe à plus forte inertie. Le « décalage » statistique observé entre la chronique piézométrique et le débit sur une unité de gestion est une donnée cruciale pour poser la réflexion sur la saisonnalité de la gestion volumétrique et les dates de fixation de piézométries objectives.

Dans l'hypothèse de l'obtention d'un coefficient de corrélation acceptable, il sera alors possible d'associer des niveaux piézométriques seuils à des objectifs de débits sur l'hydrosystème.

2.6 Détermination du débit objectif d'étiage (DOE)

Le débit objectif d'étiage (DOE) est le débit qui, en période estivale, permet de satisfaire l'ensemble des usages en moyenne 8 années sur 10, dont l'atteinte du bon état écologique des milieux aquatiques. Son pendant pour les nappes est la piézométrie objectif d'étiage (POE). Dans les deux cas, il s'agit de valeurs mensuelles, dont le respect est constaté a posteriori.

Pour les usages, on se référera au maximum des prélèvements connus des 15 dernières années. Pour les milieux naturels, on se référera au DB.

Les usages à satisfaire à un point nodal doivent intégrer les usages à l'aval, qui sans cela se feraient sur le DB. Cette nécessité de fournir de l'eau à l'aval induit une approche itérative des DOE/POE.

Les résultats des méthodes EVHA et ESTIMHAB doivent être pris avec précaution : ils doivent être notamment mis en rapport avec l'hydrologie naturelle du cours d'eau (est-ce que

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

naturellement la rivière fournit bien ces débits ou non ?), et avec la hauteur d'eau correspondant à ces débits (est-ce qu'au DMB proposé il y a assez de hauteur d'eau pour que le déplacement des poissons soit réellement possible ?). Attention aussi au choix des espèces cibles : existantes et/ou potentielles ?

Ces méthodes ayant été mises au point pour des cours d'eau aux écoulements vifs, les résultats doivent faire l'objet d'une critique partagée. L'intérêt de faire ces mesures est de permettre une discussion autour de valeurs objectivées, plutôt que de lancer les discussions sans valeur de référence...

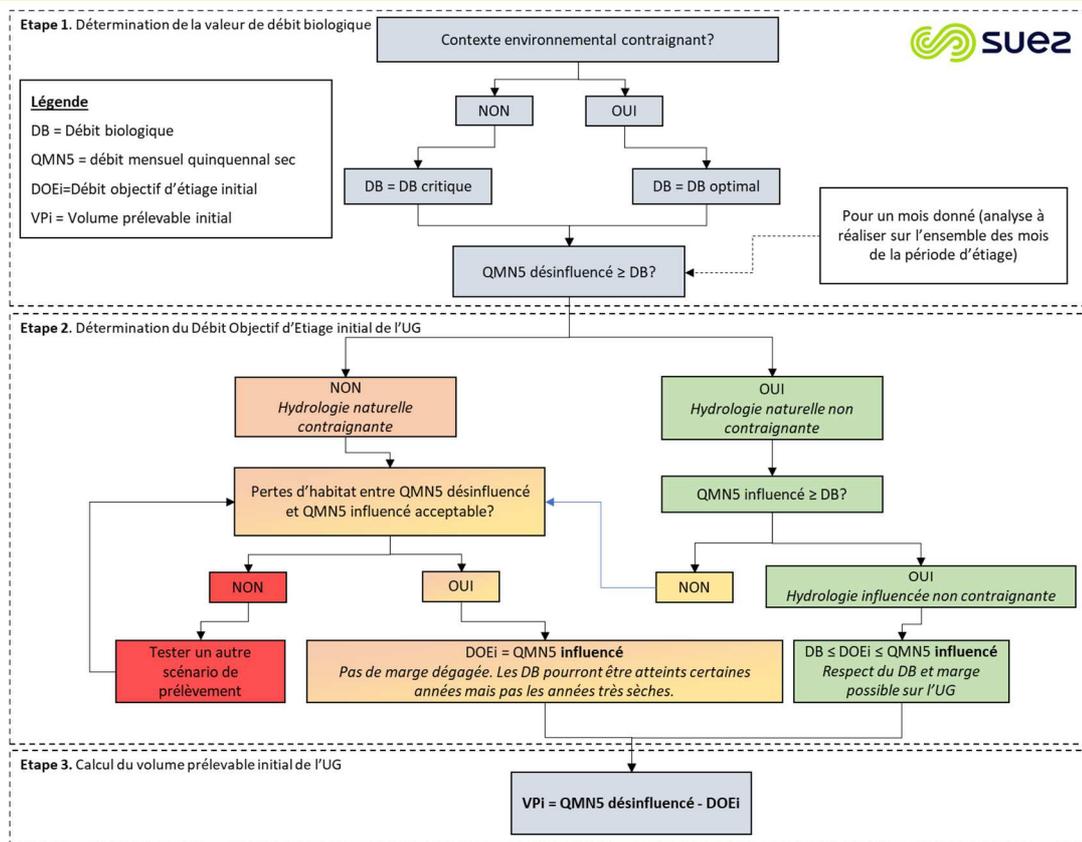
Les règles de gestion structurelle de la ressource en eau (volume, ressource sollicitée, période de prélèvement, répartition entre les usages) sont donc établies de façon à ce que tout fonctionne 8 années sur 10 sans intervention de l'autorité administrative.

Compte-tenu des difficultés d'évaluation des DMB, et compte-tenu des différents enjeux à satisfaire, pour chaque point une plage de DB sera proposée qui comprendra un débit optimal et un débit de survie. Ces débits seront évalués au vu des espèces présentes dans les cours d'eau, mais aussi au vu des espèces souhaitées, ou guildes d'espèce en cas d'utilisation d'ESTIMHAB. Il sera donc nécessaire de contacter les acteurs locaux (syndicat de bassin, ONEMA, Fédération de pêche, ...) et proposera au COPIL une liste d'espèces ou une guildes d'espèces cibles. Cette liste tiendra compte des espèces liées aux éventuels classements (type liste 2).

La période de retour statistique de chacun de ces DB sera évaluée, en faisant référence aux débits caractéristiques d'étiage (débits naturels reconstitués) estimés dans la phase précédente. Les secteurs d'assecs naturels où l'hydrologie ne permet pas d'atteindre tous les ans le DMB qui aura été évalué seront identifiés. Il faudra également confronter les DB proposés aux débits réglementaires existants sur les cours d'eau (DSA et DCR des arrêtés cadre sécheresse, débits réservés des ouvrages, ...).

Enfin, le comité de pilotage arrêtera des valeurs de débit et/ou de régime minimum biologique, au niveau de l'ensemble des points retenus à l'étude.

Détermination du DOE initial (avant l'itération d'ajustement des DOE et VP) selon le synoptique suivant :



Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Pour appliquer ce synoptique, il est nécessaire d'évaluer les pertes d'habitats entre la situation influencée et désinfluencée, d'après les courbes d'habitats obtenues grâce au protocole ESTIMHAB ou EVHA. Si les pertes d'habitats sont trop importantes sous l'effet des prélèvements/rejets, alors on considère a minima de fixer le DOE au DB minimal et d'arbitrer en comparant les volumes prélevables sous ces conditions aux prélèvements « usuels moyens ».

2.7 Détermination du Volume prélevable

Le volume prélevable est le volume que le milieu est capable de fournir dans des conditions écologiques satisfaisantes, pour satisfaire tous les usages 8 années sur 10 en moyenne.

Le volume global prélevable sur un bassin versant concerne tous les usagers de l'eau (eau potable, milieux, industrie, agriculture,...) et toutes les ressources (eaux superficielles, eaux souterraines).

Le volume prélevable devra être réparti selon ces ressources et ces usages, ce qui implique que les besoins et l'évolution de ces besoins auront été définis préalablement. Cette approche prospective se fait à minima à échéance du SAGE en cours, et idéalement à échéance de 15 à 20 ans.

Le volume prélevable sera calculé par différence entre le débit objectif et le débit naturel ou désinfluencé. A une échelle mensuelle et avec une période de retour 5 ans donc l'indicateur hydrologique de référence est le QMN5 désinfluencé. Soit $VP = QMN5 \text{ désinfluencé} - DOE$. On procède de même avec les eaux souterraines. Ce volume peut ensuite faire l'objet d'ajustement :

- dans certains bassins versants, des dispositifs de réalimentation estivale ont été aménagés. Cette réalimentation se fait alors par lâchers de barrages, voire par transferts d'eau d'un bassin versant à un autre. Dans ce cas, les volumes concernés par cette réalimentation s'ajoutent à ce qui est naturellement disponible ;
- de même avec d'éventuels soutien des nappes.

Les eaux issues des stations d'épuration (STEP) ne seront pas considérées comme des volumes prélevables en été :

- elles sont trop aléatoires dans le temps pour être considérées comme réellement de la réalimentation (variation intra-annuel comme inter-annuel) ;
- la nécessité de garantir le volume prélevable pourrait devenir un motif pour ne pas baisser les consommations AEP, et/ou ne pas lutter contre les eaux parasites en STEP (pour maintenir le niveau de rejet) ;
- en cas de nouveaux projets de réutilisation de ces eaux, il faudrait revenir sur le volume prélevable, ce qui sera très compliqué.

En hiver, le volume des eaux issues des STEP est marginale par rapport aux débits.

Il faut donner un aspect temporel à ce volume prélevable en le déclinant selon des périodes adaptées au système étudié : hiver/printemps/été. Il est généralement proposé de considérer plusieurs périodes :

- du 1er novembre au 31 mars : c'est la période hivernale. Elle peut être exceptionnellement étendue au 30 avril en cas d'hiver sec suivi d'un mois d'avril particulièrement pluvieux, mais l'EVP ne doit pas tenir compte de cette extension qui reste une dérogation occasionnelle accordée ou non par l'autorité administrative ;
- du 1er juin au 31 octobre : c'est la période estivale, calée sur le DOE ;
- du 1er avril au 31 mai : c'est la période de printemps pour laquelle il est délicat d'envisager des hausses de prélèvements sans qu'elles ne grèvent les écoulements estivaux (voir cas particulier d'avril au premier alinéa). Notre avis est de ne pas y définir de volume prélevable ;

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

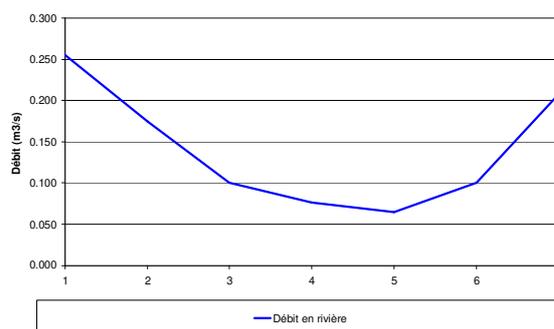
- à noter que le mois d'octobre est parfois sorti des périodes de prélèvements pour favoriser la reprise des écoulements après l'étiage.

2.7.1 Calcul des volumes prélevables superficiels et DOE

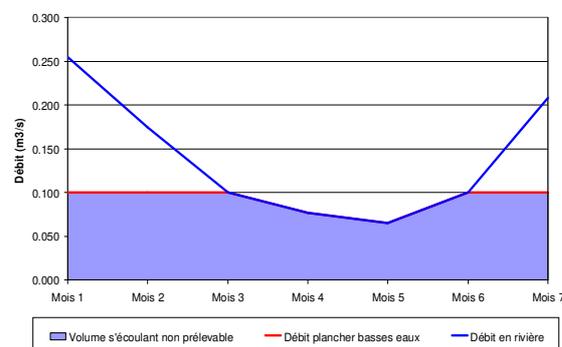
En période estivale ou de basses eaux, le calcul des volumes prélevables sur un tronçon donné se base sur deux variables fondamentales :

- Les chroniques de débits désinfluencés obtenues en phase 1 en sortie de modèle ;
- Et le débit « plancher » estival, correspondant au débit biologique optimal déterminé en phase 1 de l'étude.

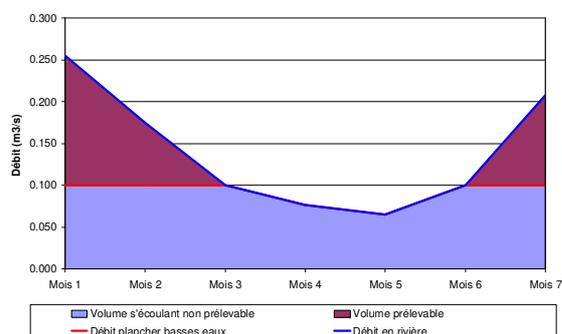
A partir des chroniques de débits désinfluencés obtenues en phase 1, la première étape consiste à calculer le débit mensuel minimal de période de retour 5 ans (QMN5 désinfluencé) par ajustement statistique pour les mois de mai à octobre pour chaque unité de gestion. Les valeurs obtenues représentent les débits qui ont 8 chances sur 10 d'être disponible chaque mois dans le cours d'eau considéré (1).



La deuxième étape du calcul vise à déterminer le débit « plancher » en dessous duquel les conditions de vie du milieu sont altérées. Généralement, ce débit correspond au débit biologique du cours d'eau déterminé en phase 1. Ce débit correspond à un seuil bas en-dessous duquel les prélèvements ne sont pas autorisés.



Les volumes prélevables s'obtiennent par soustraction du débit « plancher » aux QMN5 désinfluencés obtenus par ajustement statistique. Ces volumes garantissent ainsi le respect du débit biologique sans recours aux premières restrictions de la gestion de crise, 8 années sur 10, dans chaque unité contrôlée par les points stratégiques.



Dans le cas où les débits désinfluencés sont inférieurs au débit « plancher » fixé, le volume prélevable est nul.

Cette méthode permet d'aboutir aux volumes maximum prélevables sur une unité de gestion donnée :

- En l'absence de prélèvement sur les sous bassins versants amont ;
- Et sans tenir compte des besoins en eau à l'aval pour les usages.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

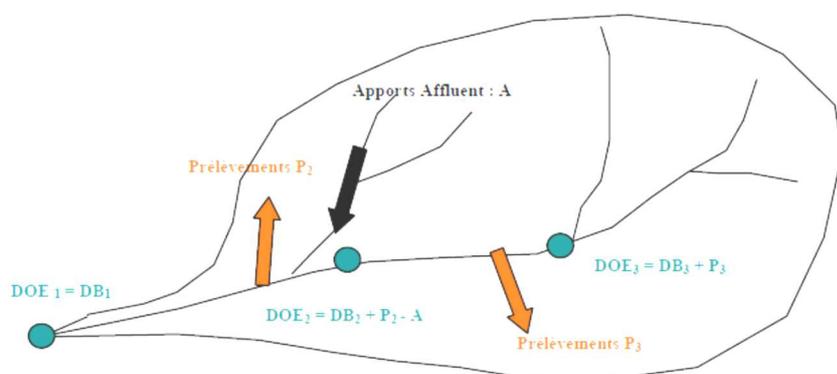
Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Néanmoins, la détermination des volumes prélevables nécessite une approche intégrée à l'échelle du bassin versant qui pourrait être résumée par le postulat suivant : « le volume prélevable sur un sous bassin donné devra tenir compte du débit entrant (et donc des prélèvements sur d'éventuels bassins versants amont), tout en garantissant le débit biologique en son exutoire et les volumes prélevables sur les bassins versants aval ».

L'hypothèse implique donc la mise en œuvre d'une solidarité amont-aval sur le bassin versant : ainsi, même si des volumes pourraient être prélevés en plus grande quantité sur un bassin amont tout en maintenant le débit plancher à son exutoire (volumes maximum prélevables), ceux-ci peuvent être éventuellement réduits pour permettre le maintien des débits plancher et des usages à l'aval.

Cette analyse (réduction des volumes prélevables en tête de bassin au profit de l'aval) se fait généralement à la lumière de la répartition des prélèvements historiques par sous bassin. Les bassins versants où les besoins en eau sont les plus importants sont identifiés. L'objectif est de ne pas contraindre démesurément un sous bassin versant où les usages de l'eau actuels sont très développés.

La figure suivante présente les termes qui entrent en compte dans le calcul des volumes prélevables, et des DOE qui en découlent, dans le cadre d'une gestion intégrée à l'échelle d'un bassin versant.



Avec

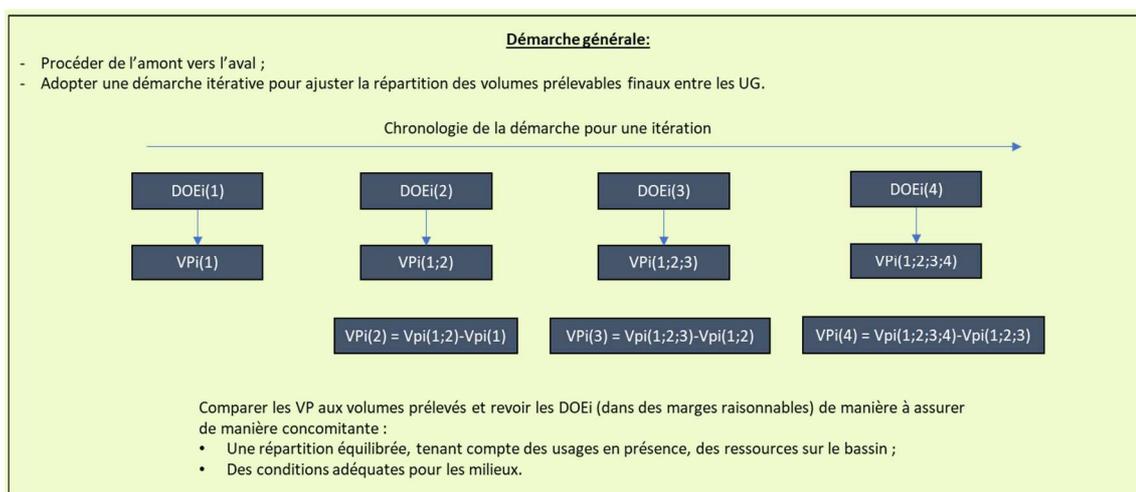
DOEn = Débit d'Objectif d'Étiage pour le tronçon n

DBn = Débit biologique pour le tronçon n

Pn = Volume prélevable sur le tronçon n

An = Apports latéraux sur le tronçon n

Figure 17 : Schéma de principe pour la détermination du DOE (source : AERM&C)



NB : ce schéma peut-être adapté à des structures de bassin plus complexe que des sous-bassins en séquence.

Les termes du calcul présentés sur le schéma sont détaillés ci-dessous.

- Débit biologique : débit biologique optimal déterminé

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

- Apports latéraux : Les apports latéraux correspondent à l'augmentation de débit observée entre l'amont et l'aval d'un tronçon. Ils sont calculés sur chaque tronçon par soustraction des débits entrants aux débits sortants.
- Volume prélevable : Il est calculé de prime abord selon la méthode décrite précédemment, et éventuellement ajusté pour s'assurer de la solidarité amont-aval évoquée précédemment.

De fait, le débit objectif d'étiage au droit d'un point de référence intègre le débit biologique et potentiellement les débits « provisionnés » pour assurer des volumes prélevables sur les sous bassins aval.

Si le contexte du bassin conduit à souhaiter définir cet objectif sur une autre échelle de temps que mensuelle, on le fera en complément (et non en remplacement) de la durée mensuelle adoptée sur l'ensemble du bassin, notamment s'il est constaté des incohérences avec des objectifs de soutien d'étiage et que les enjeux sur la préservation de certaines zones humides deviennent primordiaux au terme de la tranche optionnelle.

2.7.2 Focus sur les eaux souterraines

L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes en application du principe de gestion équilibrée.

Cette approche est assez facile pour les aquifères des roches sédimentaires : l'ensemble des fissures de ces roches fait que les nappes forment généralement de grands ensembles qui sont assez aisés à délimiter, à caractériser et à suivre (en veillant toutefois à ce que les piézomètres ne soient pas trop influencés par des prélèvements proches).

C'est plus compliqué avec le socle granitique où la ressource en eau souterraine est fragmentée, donc moins facile à délimiter, à caractériser et à suivre. Le volume prélevable ne peut donc y être appréhendé comme pour les grands aquifères des bassins sédimentaires. À défaut de pouvoir déterminer un volume prélevable global, une alternative consiste à déterminer sur le terrain des points et des seuils de suivi, afin de permettre la prise en compte des effets cumulatifs au fur et à mesure des autorisations de prélèvements délivrées. Le lien nappe-rivière sera ici étudié avec finesse car ces relations ne sont pas homogènes sur tout le linéaire d'un cours d'eau.

Les débits (et niveaux) désinfluencés sont reconstitués par la modélisation en l'absence des prélèvements et rejets totaux, soit surfaciques et souterrains.

- *Dans le cas d'une rivière alimentée par la nappe (ou du moins qu'il y a des échanges entre la nappe et la rivière), l'absence de prélèvements souterrains a un effet positif sur le débit de surface. Donc dans la suite, quand on détermine le DOE pour le maintien de la biologie des cours d'eau puis les VP d'après le QMN5 désinfluencé, on définit en tout état de cause un volume prélevable total soit incluant les prélèvements surfaciques et souterrains. Dans ce cas on peut logiquement définir un POE d'après le DOE.*
- *Dans le cas d'une nappe « isolée » soit sans échanges avec les masses d'eau superficielles (cas théorique). L'absence de prélèvements souterrains n'a pas d'effet sur le débit de surface et les DOE et POE sont « indépendants ». Les VP calculés selon la méthode détaillée ne prennent a priori pas en compte les VP souterrain. On peut dans ce cas définir le POE pour maintenir la recharge ? Se référer aux particularités hydrogéologiques dans ce cas pour trouver un critère de calcul du POE. Les VP souterrains peuvent être calculés d'après le niveau désinfluencé simulé et le POE.*

2.7.3 Calcul des volumes prélevables souterrains et POE

Des piézométries d'objectifs sont définies en tenant compte des plus bas niveaux connus (période de référence 20 ans pour les piézomètres de référence). Ces niveaux bas sont associés à des débits par le modèle pluie/débit.

Rapport synthèse de Phase 4 – Méthode pour déterminer le volume prélevable

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie

Ainsi, pour les nappes à recharge annuelle avec côte de débordement, un niveau peut être défini de manière à maintenir des usages de l'eau. Pour les nappes à recharge variable, on peut étudier la possibilité de définir des niveaux en fonction des usages (notamment AEP). Dans le cas contraire, un niveau moyen est défini en fonction de l'analyse statistique des chroniques.

Un indicateur piézométrique peut être calculé à partir des données de plusieurs piézomètres présents dans l'unité de gestion déjà investiguée.

2.8 Prise en compte du changement climatique/Perspectives futures pour les volumes prélevables

La situation hydrologique future pourra être approchée par la modélisation. A partir du modèle et de son calage, réalisé pour le volet hydrologie, ainsi que des données climatiques futures (MétéoFrance et DRAIS 2020), le prestataire pourra proposer plusieurs projections hydrologiques aux horizons 2050 et 2070 :

- Selon un seul scénario climatique, en privilégiant le scénario médian du GIEC : RCP4.5 ;
- Selon les deux (ou plus) scénarii d'usages définis lors du volet Usages

Les résultats de la modélisation aux horizons futurs seront présentés avec une estimation des incertitudes. Le régime hydrologique futur pourra être comparé au régime de la période actuelle de référence (2000-2020 par exemple) au travers des indicateurs suivants :

- Module ;
- QMNA5 ;
- VCN30(5) ;
- QMN5 ;
- Niveau piézométrique moyen et minimal annuel ;
- Autres indicateurs d'étiage.

Sur les usages, il faudra établir une projection dans le temps (horizons 2050 et 2070) des différents usages (prélèvements, rejets), en se basant sur l'évolution de la démographie et des activités consommatrices (en intégrant, si possible à ce stade, des évolutions envisageables selon les conditions climatiques). Le prestataire pourra se baser à minima sur les projections de l'INSEE et sur les données issues des SCoT et PLU/PLUi.

A minima deux scénarii d'évolution seront proposés par le prestataire incluant un scénario de maintien des usages à leur niveau actuel (en moyenne sur la dernière période de 5 à 10 ans) et un scénario d'évolution probable des usages, avec une tendance à la baisse ou à la hausse selon les avis des acteurs du territoire.

Ces données seront intégrées dans le modèle construit précédemment (même calage) afin de simuler les débits et niveaux de nappe aux horizons futurs.

Sous l'hypothèse que les débits minimums nécessaires au maintien des espèces et guildes cibles ne variera pas (ou de manière négligeable) aux horizons futurs, on est alors en mesure d'estimer les tendances d'évolutions des volumes prélevables et des débits/niveaux objectifs d'étiage (selon la méthode décrite au 2.6 et 2.7).