

MASTER 2

*Domaines : Sciences Humaines et Sociales - Sciences Technologies Santé
Mention Géographie, Aménagement, Environnement et Développement*

Parcours GEOSPHERES :

**GEOgraphies - eSPaces - Homme / Environnement - Ressources - Systèmes
en réseau**

Évaluation de l'impact du tourisme sur la ressource en eau domestique : application de la méthodologie empreinte eau dans le bassin versant de l'Hérault

Stage réalisé au Laboratoire Hydrosociences Montpellier



Mémoire soutenu le : 13 septembre 2024

devant un jury composé de :

Maitre de stage : Mr JUNQUA Guillaume, Enseignant-Chercheur HDR

Tutrice pédagogique : Mme TERTI Galatea, Maitre de conférences en hydrologie

Examinatrice : Mme DUBUS Nathalie, Maitre de conférences en géographie

SMEETS Nastasia
M2 GEOSPHERES
ANNEE 2023-2024

Établissements partenaires :

Résumé

Dans un contexte de raréfaction et de dégradation de la ressource en eau, l’empreinte eau apparaît comme un outil privilégié d’aide à la gestion. Il a été inventé par Arjen Hoeskra en 2002 et permet d’évaluer la quantité et la qualité de l’eau douce dans un hydrosystème donné. D’abord récupéré par le monde de l’industrie puis par celui de l’agriculture, il n’a encore été que très peu appliqué au secteur touristique. Or, les communes les plus touristiques, et notamment sur le littoral méditerranéen, se confrontent à de nouveaux enjeux de gestion de l’eau domestique. En plus des conflits d’usages avec d’autres secteurs tels que l’agriculture, elles doivent gérer le partage de l’approvisionnement entre les populations locales et saisonnières. L’objectif de ce mémoire est d’appliquer la méthodologie empreinte eau à ce cas de figure, afin d’analyser les dynamiques spatio-temporelles de la répartition de l’eau domestique sur le bassin versant de l’Hérault. Les résultats obtenus, bien que possédant une marge d’erreur, sont cohérents avec les données de consommation du schéma directeur sur la ressource en eau de l’Établissement Public Territorial de Bassin (EPTB) du fleuve Hérault (2015), témoignant de l’applicabilité de la méthode. Ils mettent en avant une pression exacerbée sur les communes fortement touristiques du littoral, mais également sur celles qui détiennent un parc de résidences secondaires conséquent (>50%). L’utilisation de l’indice de stress hydrique permet de surcroît de tenir compte de l’état de la ressource en eau sur le territoire. Deux indicateurs de stress hydrique sont testés : le WSI (Pfister, 2009) et l’AWARE (WULCA, 2016). Ils traduisent tous deux une forte pression sur la ressource en eau à l’été, mettant ainsi en exergue le cumul des difficultés auxquelles les communes doivent faire face à l’été : baisse de la disponibilité en eau d’un côté et hausse de la demande de l’autre. Néanmoins, ces indicateurs ne sont pas encore efficaces à une échelle plus fine, en raison d’un manque d’intégration de données locales. Ce travail a permis de créer des données d’estimation de la demande en eau domestique directe du bassin versant de l’Hérault à un pas de temps mensuel et à un maillage communal. Cependant, la quantité d’eau domestique consommée par des utilisateurs tels que les écoles, les commerces, les établissements publics et les industries, n’étant pas connus, il est impossible de déterminer la part totale d’eau domestique consommée par les populations locales et saisonnières. De plus, ces résultats préliminaires pourraient être enrichis par des calculs d’empreinte eau indirecte et/ou qualitative, permettant ainsi d’évaluer de manière plus complète l’impact du tourisme sur la ressource en eau dans son ensemble.

Abstract

In a context of water scarcity and degradation, the water footprint emerges as a valuable management tool. It was developed by Arjen Hoekstra in 2002 in order to assess both the quantity and the quality of freshwater within a given hydroystem. Initially adopted by industrial sector and later by agriculture, it has yet not been applied to the tourism sector. However, big touristic cities, especially along the Mediterranean coast, are facing new challenges in managing domestic water resources. In addition to competing with other sectors like agriculture, these municipalities must manage the distribution of water supply between local and seasonal populations. The aim of this work is to apply the water footprint methodology to this specific case to analyze the spatio-temporal dynamics of domestic freshwater distribution over the Hérault river basin. The results, despite a margin of error, are consistent with the consumption data from the 2015 water resource management plan report of the Hérault river EPTB, hence demonstrating the applicability of the methodology. They highlight increase pressure on big touristic towns, as well as those with a significant part of secondary residences (>50%). In addition, a water stress index was used into take into account the state of water resources in the region. Two water stress indicators were tested: WSI (Pfister, 2009) and AWARE (WULCA, 2016). They both indicate an important pression on water resources during summer, thus emphasizing the compounded challenges faced by municipalities in this period: a decrease in water availability on the one hand, and an increase in demand on the other. However, these indicators are not yet effective at a finer scale due to the lack of integration of local data. Monthly estimations of domestic water demand within the Hérault river basin at a municipal scale were created during this word. Nevertheless, the amount of domestic water consumed by users such as schools, public institutions, stores or industries, is unknow, making it impossible to determine the total share of domestic water consumed by local et seasonal populations. Finally, theses preliminary results could be improved by including calculations for indirect and/or qualitative water footprint, thus permitting a more comprehensive evaluation of the overall impact of tourism on water resources.

Mots-clés

Empreinte Eau – Eau domestique – Population locale – Population saisonnière – Indicateur de stress hydrique – Région méditerranéenne

Keywords

Water Footprint –Domestic water – Local population – Seasonal population - Water Scarcity Index– Mediterranean region

Remerciements

Je profite de cette petite fenêtre pour remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de mon mémoire, et par extension de mon projet universitaire, pour la seconde fois. Il s'agit tout d'abord de l'équipe enseignante du master Géosphères pour laquelle j'ai un immense respect mêlé à une profonde admiration. Je pense particulièrement à Nathalie et à Jean-Jacques, qui ont rendu cette expérience assurément humaine. Merci d'avoir créé des espaces d'échanges et de partage, de nous avoir accueillis dans nos différences, et de nous avoir menés jusqu'au bout de cette aventure. Je remercie également Guillaume, mon maître de stage, qui m'a ouvert la porte sur le monde de la recherche. Merci de m'avoir suivie, conseillée et écoutée tout au long de ces six mois. Merci à ma tutrice universitaire, Galateia, pour son investissement dans le suivi de mon travail et pour son écoute bienveillante. Je tiens aussi à remercier chaleureusement Chloé et Thibault pour leur bonne humeur, leur aide précieuse et leur amitié tout au long de ce stage. Merci à Zoé, pour ces longues heures passées à débattre sur le thème qui nous anime depuis plusieurs mois : l'eau. Merci aussi d'avance pour toutes celles à venir. Enfin, je tenais particulièrement à remercier mes parents, qui n'ont jamais douté de ma capacité à réussir dans ce nouveau projet et qui ont fait preuve d'un soutien sans faille tout au long de cette année. Pour finir, merci à Romain pour qui tout ça est fou et incompréhensible, mais qui m'offre malgré tout un soutien absolu.

Sommaire

ÉVALUATION DE L'IMPACT DU TOURISME SUR LA RESSOURCE EN EAU DOMESTIQUE : APPLICATION DE LA METHODOLOGIE EMPREINTE EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE L'HERAULT 1

INTRODUCTION	10
1. ÉTAT DE L'ART	13
1.1 <i>L'empreinte eau : histoire d'un indicateur dynamique</i>	13
1.1.1 Aspects définitionnels	13
1.1.2 Intégrer les variations de disponibilité de l'eau : la naissance des indicateurs de stress hydrique	15
1.2 <i>Une gestion de l'eau soumise au changement climatique</i>	18
1.2.1 Résoudre les problèmes d'échelle de gestion de l'eau : enjeux globaux, réponses locales	18
1.2.2 Le changement climatique, catalyseur des variations de disponibilité de l'eau	20
1.3 <i>Le tourisme et la consommation d'eau domestique : une histoire saisonnière</i>	21
1.3.1 L'eau domestique : une petite part des extractions d'eau globales	21
1.3.2 L'utilisation de l'eau domestique par le secteur touristique : fonctionnement, impacts, enjeux	23
1.3.3 Les conflits d'usages	24
2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'HERAULT	26
2.1. <i>Géographie et climat</i>	26
2.1.1 Un territoire pluriel : du littoral méditerranéen aux Cévennes	26
2.1.2 L'influence du climat méditerranéen	27
2.2. <i>Le fleuve Hérault au centre du territoire</i>	27
2.2.1 Un régime hydrologique divisé en trois unités	27
2.2.2 Un fleuve sous influence anthropique	29
2.3 <i>Occupation du sol et activités humaines</i>	31
2.4 <i>La demande en eau domestique sur le Bassin versant de l'Hérault</i>	33
3. DONNEES, OUTILS, METHODE	35
3.1 <i>Données</i>	35
3.1.1 Données statistiques Hérault Data 2022	35
3.1.2 Données statistiques INSEE recensement 2022	35
3.1.3 Données de l'Observatoire des Territoire 2023	36
3.1.4 Les indices de stress hydrique WSI et AWARE	36
3.1.5 Les données spatiales	36
3.2 <i>Outils et méthodes</i>	37
3.2.1 Calcul de la capacité d'accueil sur le bassin versant	37
3.2.2 Les calculs d'empreinte eau	40
3.2.3 Mise en place de l'indice de stress hydrique	41
3.2.4 Création de typologies de communes	41
4. RESULTATS	43
4.1 <i>Les communes touristiques, grandes consommatrices d'eau</i>	43
4.1.1 Des disparités locales entre l'amont et l'aval du bassin	43
4.1.2 Des disparités saisonnière : une pression accrue en été	44
4.2 <i>Un bassin versant vulnérable face à la disponibilité de l'eau en été</i>	44
4.3 <i>Population touristique : une pression uniquement estivale ?</i>	48
5. DISCUSSION	50
5.1 <i>Création de nouvelles données à des échelles spatio-temporelles plus fines</i>	50
5.2 <i>Le stress hydrique, une donnée essentielle à l'évaluation de l'empreinte eau mais en cours de perfectionnement</i>	51
5.3 <i>Les résidences secondaires : enjeu fort de la gestion de l'eau</i>	52
5.4 <i>L'accessibilité des données relatives à l'eau : le cheval de bataille de la recherche</i>	53
Conclusion	55

Liste des abréviations (sigles et acronymes)

ACV	Analyse Cycle de Vie
AEP	Alimentation en Eau Potable
AWARE	Available Water Remaining
BV	Bassin Versant
CTA	Consumption to Availability
EPTB	Établissement Public Territorial de Bassin
ISO	International Standardization Organization
ONU	Organisation des Nations Unis
REUSE	Réutilisation des Eaux Usées
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
WF	Water Footprint
WSI	Water Scarcity Index
WTA	Withdrawals to Availability
WULCA	Water Use in Life Cycle Assessment

Avant-propos

La région Occitanie, depuis plusieurs années déjà, est en proie aux événements de sécheresse qui deviennent plus extrêmes ainsi que plus fréquents. D'un côté, le changement climatique et la modification des usages des sols accentuent les effets liés à la disponibilité de l'eau. De l'autre, les besoins en eau ne cessent de s'amplifier avec, la croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie, la production de biens et services en tout genre qui ne cesse de croître et l'apparition de nouveaux secteurs gourmands en eau tels que les biocarburants. D'après l'ONU, la demande en eau devrait augmenter de 50% à l'horizon 2030. Ces perspectives de changement interrogent le système de gestion de l'eau actuel. Comment garantir un accès équitable à tous les usagers, et particulièrement pendant les épisodes de sécheresse ? Comment protéger les milieux aquatiques et assurer un débit minimal de bon fonctionnement ? Quels usagers prioriser en cas de phénomène extrême ? Comment valoriser la ressource en eau ? Comment mettre en place des systèmes d'utilisation plus sobre ? Pour répondre à toutes ces interrogations, l'État et les collectivités locales en appellent à la recherche pour tenter, dans un premier temps de comprendre la crise de l'eau mais aussi, dans un second temps de proposer des solutions qu'elles soient d'ordre ingénieur, gestionnaire ou politique. C'est dans ce contexte qu'est né le Défi Clé Water Occitanie. Il s'agit d'un projet qui s'étend sur quatre ans et dont l'objectif principal est de stimuler la recherche interdisciplinaire et le partenariat entre les acteurs de l'eau. Il est organisé en plusieurs projets de recherche divisés au sein de 6 living labs répartis sur le territoire de l'Occitanie. Les axes de recherche s'articulent autour de quatre axes principaux : renforcer les capacités de mesure et d'analyses des données liées à l'eau, caractériser les solutions locales et leurs conditions de mise en œuvre, analyser leur insertion dans leur environnement local et évaluer leur intégration à l'échelle de bassin versant. Le côté innovant de ce projet est son intégration à échelle territoriale. Il s'agit bien ici de cerner les enjeux spécifiques au territoire et de proposer des solutions adaptées à ces derniers. Ce stage s'intègre au défi Clé Water Occitanie et plus particulièrement au volet de recherche TERR'REUSE dont les objectifs sont d'évaluer les impacts, les bénéfices et les perspectives de déploiement de la réallocation de l'eau par la REUSE en Occitanie. Il se déroule au laboratoire Hydrosiences de Montpellier en collaboration avec une doctorante, Chloé Delomel. Le sujet de sa thèse est d'analyser les effets éco hydrologiques, l'acceptabilité et la faisabilité de la réallocation de l'eau par celle issue de la REUSE au sein de deux territoires/bassins versants (BV) contrastés d'Occitanie (Atlantique et Méditerranée), incluant plusieurs Livings Labs du projet WOcc. Deux stages ont été créés en appui à cette thèse. Le premier sujet est l'« Évaluation

des possibilités de Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) dans le bassin versant de l'Hérault. Bénéfices et impacts sur le cycle hydrologique actuel et en contexte de changement global traité par un étudiant en ingénierie, Thibault Lagautrière. Le second est celui que j'effectue et s'intitule "Estimer l'empreinte eau actuelle et future des différentes activités humaines présentes sur le bassin versant de l'Hérault". Il est un point de départ aux projets de réutilisation de l'eau puisqu'il se propose d'observer les trajectoires de la disponibilité de l'eau et de sa demande dans le temps, dans l'espace et selon les différentes activités humaines au sein du bassin versant de l'Hérault. Enfin, un troisième stage, hors TERR'REUSE mais dans le cadre du Défi clé WOc s'attache à estimer la demande en eau des activités agricoles de la communauté de communes du Clermontois.

Introduction

En 2012, Stefan Gossling et al. publient un article intitulé: «*Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review*» dans lequel ils observent les liens unissant le tourisme et l'utilisation de l'eau. Cet article fait état de deux constats. Le premier est que la part de la consommation d'eau potable par le secteur touristique est infime à côté de géants tels que l'agriculture et l'industrie. Bien que l'augmentation du niveau de vie et du temps consacré aux loisirs induisent une augmentation des activités touristiques, ce secteur demeure loin derrière les deux autres et ne semble pas avoir de perspective de les concurrencer. Toutefois, ils constatent également que, bien qu'à priori minime à l'échelle du pays, cette utilisation de l'eau peut s'avérer bien plus néfaste considérée à échelle locale et saisonnière et en prenant compte des particularités climatiques territoriales. Cette observation est la pierre angulaire de ce mémoire. En effet, ces dernières années, le nombre de départements touchés par des arrêtés de restriction des usages de l'eau pendant l'été ne cesse d'augmenter. En réponse à un été particulièrement sec en 2022, le gouvernement français a mis en place le Plan Eau en mars 2023. Ce dernier est présenté comme un « plan de sobriété pour préserver une ressource limitée ». Bien que longtemps considérée comme une ressource renouvelable, l'eau revêt depuis plusieurs années déjà cet aspect de « limite ». Le changement de terminologie est ici évocateur. Ce nouveau paradigme selon lequel l'eau vient à manquer s'explique à la fois par la hausse de la consommation de l'eau ainsi que par l'accentuation des phénomènes de sécheresse. Au sein d'un territoire, la disponibilité en eau diminue car les nappes n'ont pas pu se recharger à cause d'une pluviométrie basse et que les fortes chaleurs accentuent l'évapotranspiration. Il est souvent très difficile de déterminer si les pénuries d'eau sont causées soit par une disponibilité insuffisante ou par une demande excessive (Rijsberman, 2006). En définitive, ce ne sont pas nos ressources totales d'eau qui diminuent mais bien le ratio des ressources par habitant (Zimmer, 2013). Par conséquent, un des enjeux forts de la gestion de l'eau concerne les conflits d'usage à venir. En comparaison avec d'autres secteurs économiques tels que l'agriculture par exemple, il n'existe pas de statistiques nationales ou régionales dédiées à la consommation d'eau par le secteur touristique. Les chiffres de consommation d'eau liés au tourisme ne sont pas encore suffisamment développés (Gossling, 2012). Qui plus est, les usages de l'eau et des infrastructures de réseaux sont fortement hétérogènes avec des usages classiques tels que l'alimentation en eau potable, mais également plus atypiques tels que l'irrigation des golfs ou encore le thermalisme (Bréthaut 2013). Notons également qu'outre l'eau consommée, l'eau peut être utilisée comme milieu. Elle participe à la beauté des paysages et crée des espaces de

loisirs tels que la pêche, la baignade, les sports nautiques, etc. (Medstat II, 2009). Ces attraits liés à l'eau sont un enjeu déterminant pour le tourisme. Néanmoins, il n'existe pas d'indicateurs pour évaluer cette utilisation singulière de l'eau. Or, il s'agit d'une variable clef à prendre en compte dans les études de gestion intégrée et adaptée de la ressource (Collet, 2013). L'objectif de cette étude est de mettre en place une méthodologie permettant d'observer les variations spatiales et temporelles induites par le tourisme sur la demande en eau domestique.

En 1998, les chercheurs américains Kaplan et Norton affirment que « *on ne gère que ce que l'on mesure* ». Impulsé par cet adage, mesurer l'eau devient, au début du XXI^e siècle, un enjeu déterminant sa gestion. Bien que de nombreuses méthodologies se développent, elles mettent du temps à parvenir jusqu'à la sphère de gestion de l'eau, se restreignant au champ de la recherche. Celle utilisée dans cette étude est la méthodologie de l'empreinte eau, développée en 2002 par Arjen Hoekstra, spécialiste de la gestion de l'eau. Initialement adoptée par le monde de l'industrie pour ses aspects ingénierie de l'eau, elle a ensuite été appliquée à la production agricole comme en témoignent plusieurs travaux (Chapagain et Or, 2008 ; Mekonnen et Hoekstra 2011 ; 2013 ; Xu et al., 2019). En revanche, son application au secteur touristique demeure encore faible (Hadjikakou et al., 2012 ; Hadjikakou, 2013).

L'empreinte eau se compose de deux volets : quantitatif et qualitatif. Le volet qualitatif évalue les impacts des polluants sur la ressource en eau. À l'heure actuelle, les impacts d'acidification, d'eutrophisation, de toxicité humaine et d'écotoxicité sont quantifiables mais ne seront pas abordés dans ce travail. Le volet quantitatif quant à lui, vise à estimer la quantité d'eau utilisée par un pays, une entreprise, un individu. Par extension, l'objet étudié peut être un procédé (Carré et al., 2017), un site (Yao et al., 2021), un territoire (Loiseau et al., 2013). Notre étude se focalisera uniquement sur l'empreinte eau directe, c'est-à-dire l'eau consommée pour les besoins du quotidien (vaisselles, douches, consommation, ...) sans inclure l'empreinte indirecte (eau utilisée en amont dans les processus de production de biens ou de services).

Au niveau quantitatif, l'empreinte eau s'est progressivement enrichie, passant d'une approche volumétrique à une approche régionalisée, visant à intégrer les aspects de stress hydrique. Plusieurs indicateurs de stress hydriques existent, et ils seront sélectionnés puis testés en fonction des besoins de notre étude.

L'objectif de ce mémoire est d'analyser l'empreinte eau domestique directe, en distinguant d'une part la population permanente et d'autre part la population saisonnière, sur le bassin versant de l'Hérault, avec une attention particulière aux variations spatio-temporelles. Ce travail s'articulera autour de deux axes principaux : Quelle méthode d'évaluation de l'empreinte hydrique directe est la plus appropriée pour estimer l'empreinte d'eau domestique,

et dans quelle mesure cette empreinte est-elle affectée par l'afflux touristique sur le bassin versant de l'Hérault ?

Dans cette étude, l'occupation touristique désigne la population temporaire présente sur le territoire pour des raisons de loisirs, séjournant au moins une nuit dans un établissement d'hébergement marchand ou non. Les objectifs principaux sont de choisir l'indicateur le plus pertinent pour observer la consommation de l'eau domestique par cette population touristique, d'analyser les variations de cette demande à différentes échelles spatiales et temporelles, et d'initier une réflexion sur les solutions de gestion de l'eau adaptées.

Les premières hypothèses de ce travail suggèrent une forte pression sur la ressource en eau à l'été, pendant la période de plus forte affluence touristique, et que ces pressions se ressentent surtout au niveau du littoral et dans les régions les plus attractives. L'analyse sera essentiellement quantitative, à partir de données statistiques et des différentes méthodologies de l'empreinte eau appliquées au bassin versant de l'Hérault, et traitées à l'aide des logiciels Excel et QGIS.

Le mémoire s'organisera autour de cinq grandes parties. D'abord, un état de l'art définira le concept d'empreinte eau ainsi que les implications du changement climatique sur la gestion de l'eau. Ensuite, le cadre d'étude sera présenté à travers la présentation du territoire, permettant de mieux comprendre ses dynamiques et ses enjeux. La troisième partie détaillera les données, outils et méthodes mobilisés dans ce travail. La partie quatre présentera les résultats obtenus, et enfin une dernière partie de discussion clôturera le travail.

1. État de l'art

1.1 L'empreinte eau : histoire d'un indicateur dynamique

1.1.1 Aspects définitionnels

Dès la fin des années 1990, avec l'accentuation des modes de production et l'augmentation de la population, la question de la disponibilité et du partage de la ressource en eau se pose. Le rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement de Rio en 1992 met en avant la nécessité de porter un regard davantage décloisonné sur l'eau et explique : *« C'est la première fois qu'une conférence internationale réunissant des experts du monde entier abordait la question de la gestion de l'eau dans une juste perspective, c'est-à-dire dans un contexte global, en prenant en compte toutes les utilisations et tous les besoins humains, et écologiques, et non ceux de tel ou tel secteur. »*. À partir de cette période et partout dans le monde, les travaux liés à l'évaluation de la disponibilité en eau douce se multiplient. Les premiers travaux en France (Boistard, 1993 ; Point, 1993 ; CREDOC, 1997) se concentrent sur la demande en eau domestique. Ces premières tentatives d'évaluation des consommations d'eau sont lacunaires en bien des aspects et ne cessent d'être questionnées, réévaluées et complétées.

Parmi ces apports, la notion d'eau virtuelle fait son apparition en 1993. Elle est théorisée par le chercheur britannique Tony Allan qui propose de mettre en perspective la quantité d'eau douce cachée dans le processus la production d'un bien ou d'un service tout au long de sa chaîne de production (Allan, 1998 ; 2001). De cette manière, l'estimation de la demande en eau d'un pays, d'une entreprise ou encore d'un individu s'affranchit du simple relevé de compteur. Cette intégration de l'eau indirecte permet de placer les consommations d'eau dans une perspective globale et géopolitique. Elle rend visible les transferts d'eau qui s'effectuent via le commerce international de biens et des services. Par exemple, les pays les plus arides ont tendance à importer les produits les plus coûteux en eau plutôt que de les produire eux-mêmes. En conséquence, à travers le commerce international, l'eau virtuelle se voit transférée des pays riches en eau vers les pays en pénurie (Allan, 1996).

Quelques années plus tard, l'hydrologue suédoise Malin Falkenmark théorise les concepts d'eau bleue et verte permettant ainsi de distinguer les différentes sources d'eau utilisées (Falkenmark, 1995). D'un côté, l'eau bleue représente l'eau douce de surface et souterraine, c'est-à-dire l'eau des cours d'eau et des nappes phréatiques. De l'autre, l'eau verte

représente l'eau de pluie stockée dans les sols et incorporée dans les végétaux ou évapotranspirée. Bien que l'eau verte ne vienne pas recharger les aquifères ou les rivières, elle constitue une réserve non négligeable pour l'agriculture et les écosystèmes. Aussi, cette eau consommée *in situ*, doit être intégrée dans les systèmes de gestion de l'eau.

À partir du début des années 2000, d'autres chercheurs apportent leur pierre à l'édifice. Parmi eux, le professeur en gestion de l'eau à l'Université de Twente aux Pays-Bas, Arjen Y. Hoekstra, crée le concept de l'empreinte eau, inspiré des travaux de Allan et Falkenmark. Cette méthode a par la suite elle-même été enrichie et a évolué avec les débats scientifiques. Dans un premier temps, l'empreinte eau telle que proposée par Hoekstra, contribue surtout à populariser les notions d'eau bleue et d'eau verte. Ces premiers travaux se focalisent sur la consommation d'eau bleue par la production de denrées végétales (Hoekstra et al., 2002) et animales (Hoekstra et al., 2003). Puis en 2004, il incorpore l'eau verte à ses calculs prouvant définitivement l'intérêt de cette distinction (Chapagain et al. ; 2004). Elle permet de mettre en avant les enjeux liés à l'irrigation mais aussi à la redistribution de l'eau à travers le commerce de denrées agricoles. Par la suite, Hoekstra fonde l'organisation *Water Footprint Network* qui rassemble des professionnels de tous horizons autour de la notion d'empreinte hydrique dans l'objectif d'améliorer encore la méthode et de standardiser le concept. Il s'intéresse par ailleurs aux aspects qualitatifs de l'eau et à la dégradation de la ressource induite par les différentes utilisations humaines. De ces réflexions naît le concept d'eau grise (Hoekstra et al., 2008) : il s'agit de la quantité d'eau qu'il a fallu utiliser pour diluer les polluants issus de la production avant de rejeter l'eau dans la nature à des seuils non dangereux pour l'Homme et l'hydrosystème. C'est le début des analyses multicritères qui différencient les usages :

- Consommatifs : l'eau est consommée et n'est pas restituée au milieu évaporée ou incorporée dans un produit

- Dégradatifs : l'eau est restituée au milieu mais avec une qualité amoindrie (Hoekstra et al., 2011). Ces aspects seront approfondis, notamment par les travaux de Ridoutt et Pfister qui considèrent l'approche d'Hoekstra comme étant trop simpliste et ne permettant pas de retranscrire les impacts de la pollution de l'eau (Pfister et al., 2009). Ils valorisent davantage des analyses éco toxicologiques afin de retranscrire précisément les effets d'une eau polluée sur l'environnement et la santé humaine. Pour autant, la connaissance de l'impact des polluants sur les milieux et la santé humaine demeurent imparfaits. Bien que ces impacts aient beaucoup été étudiés sur certaines catégories de polluants, notamment dans le domaine agricole, d'autres

demeurent encore inconnus à ce jour. Pour finir, les normes sanitaires varient en fonction des pays et rendent ainsi difficile la généralisation du concept d'eau grise.

En 2014, la création de la norme ISO 14046 marque une avancée importante dans la reconnaissance de l'empreinte eau comme indicateur environnemental clé. Elle pose les jalons d'une méthodologie Analyse Cycle de Vie (ACV) transposée au domaine de l'eau. Cette dernière permet notamment de pallier le problème de cloisonnement dans la gestion de l'eau mis en avant lors de la conférence de Rio. Elle offre une approche holistique et permet d'observer l'utilisation de l'eau tout au long de la chaîne de production et ainsi prendre en considération les transferts de pollution. Cette norme, préconisée par l'Union Européenne, devient un outil de référence pour évaluer les impacts sur l'écosystème, la santé humaine et la disponibilité de la ressource. Elle permet, via l'utilisation de facteurs de caractérisation, de convertir des volumes d'eau consommée en impacts potentiels, facilitant ainsi la comparaison entre différents usages de l'eau et différents territoires. Il est vrai que les impacts générés par les prélèvements d'eau varient selon les territoires et notamment selon la vulnérabilité du système hydrique ainsi que du nombre d'utilisateurs de ce système (Boulay, 2013). Bien qu'il existe plusieurs facteurs de caractérisation, c'est surtout l'indicateur de stress hydrique qui retient ici notre attention.

1.1.2 Intégrer les variations de disponibilité de l'eau : la naissance des indicateurs de stress hydrique

L'une des avancées significatives dans l'évaluation de l'empreinte eau est sa pondération par un indicateur de stress hydrique, introduite par le chercheur suisse Stephan Pfister en 2009 (Pfister, 2009). Cette approche permet d'intégrer les impacts potentiels induits par la rareté de l'eau sur un territoire. Cette meilleure prise en compte de la variabilité est notamment cruciale dans les régions méditerranéennes marquées par un régime hydrologique fluctuant. En outre, ces régions peuvent avoir des activités agricoles ou touristiques qui vont conduire à une grande variabilité saisonnière de la demande en eau. La variabilité liée à l'agriculture fait l'objet de nombreuses études, car de manière générale cette activité est la plus forte consommatrice en eau. L'impact de la fréquentation touristique sur l'utilisation de l'eau est moins étudié. Ce nouvel indice complète dorénavant l'empreinte eau : tandis que cette dernière quantifie l'utilisation de l'eau, l'indicateur de stress hydrique permet d'évaluer les impacts de cette pression sur l'environnement.

Dans cette perspective, le *Water Stress Index* (WSI) créé par Pfister utilise les données météorologiques du système WaterGap (Alcamo et al., 2003) pour modéliser les variations spatiales et saisonnière de la disponibilité en eau à l'échelle mondiale. Cette méthode s'intéresse à l'équilibre entre les prélèvements humains et la disponibilité de la ressource, exprimé par le ratio *Withdrawals To Availability* (WTA). Le résultat de cette équation varie de 0, reflétant des prélèvements nuls, à 1, où les prélèvements égalent la disponibilité totale. Il ne peut dépasser 1, les prélèvements ne pouvant surpasser la disponibilité réelle.

Plus tard, Hoekstra propose un autre indicateur nommé *Water Scarcity Indicator* (WSI), qui met l'accent sur le ratio de la consommation d'eau et par rapport à la disponibilité, soit le *Consumption To Availability* (CTA) (Hoekstra et al., 2012). Le chercheur explique que, puisqu'une part importante des prélèvements est restituée au milieu après usage, seule l'eau consommée, c'est-à-dire non restituée au milieu, devrait être prise en compte dans le calcul.

Le débat sur la pertinence de ces deux approches divise la communauté scientifique. D'un côté, le CTA permet d'éviter de surestimer les impacts anthropiques en ne considérant que les usages consommatifs de l'eau. De l'autre, le WTA permet de mesurer les impacts potentiels d'un manque d'eau, même temporaire, sur l'environnement. En outre, le WTA prend en compte le manque de disponibilité que peut engendrer une dégradation de l'eau, ce qui en fait un des rares indicateurs de stress hydrique à intégrer les aspects dégradatifs de la consommation de l'eau (Boulay, 2011). Malgré ces différences, les écarts entre les résultats obtenus avec l'une ou l'autre des méthodes ne sont généralement pas significatifs, comme le démontrent les travaux de Boulay (Boulay et al., 2013). Les écarts les plus marqués sont observés dans des régions à forte exploitation agricole, où une grande partie des prélèvements est consommée via l'évapotranspiration. Les zones nécessitant un refroidissement des usines par l'eau, comme les centrales nucléaires par exemple, où l'eau prélevée est souvent restituée immédiatement au milieu engendrent aussi des écarts importants entre les méthodes. Dans les autres cas, les résultats sont souvent similaires.

Depuis plusieurs décennies, les Analyses Cycle de Vie sont des outils précieux pour aider à la réduction des impacts environnementaux générés par la production de bien et de services. Dans cette optique, l'indicateur AWARE a été développé par le groupe Water Use in Life Cycle Assessment (WULCA) pour fournir un indicateur plus général et polyvalent. En 2016, WULCA propose la méthode AWARE (Available Water REMaining), basée sur les principes de l'ACV et répondant aux standards ISO (International Organizations for Standardization). Cet indicateur évalue l'eau disponible par surface après satisfaction des

besoins des humains et des écosystèmes, répondant ainsi à la question : "Quel est le potentiel de priver un autre utilisateur (humain ou non humain) lorsque l'on consomme de l'eau dans cette zone ?". Le résultat varie de 0,1 (faible impact) à 100 (il ne reste plus d'eau disponible).

L'indicateur AWARE présente deux caractéristiques remarquables. Tout d'abord, il évalue le stress hydrique en soustrayant les besoins en eau à la disponibilité (Availability Minus Demand, AMD). La disponibilité et la demande sont établies à partir du modèle WaterGap 2 (Müller Schmied et al., 2014). Ce dernier utilise des données climatiques sur la période 1960-2010 pour modéliser les écoulements à partir des précipitations et de l'évapotranspiration (Boulay et al., 2016). Elles sont valables à un pas de temps mensuel et prennent en considération certaines infrastructures anthropiques tels que les barrages. Ensuite, cet indicateur inclut pour la première fois les besoins environnementaux, c'est-à-dire le débit minimal requis par l'hydro-écosystème pour maintenir ses fonctions écologiques et hydrologiques. Bien que de nombreuses méthodes d'estimations de ce débit existent (Tennant, 1976 ; Tessman, 1980, Smakhtin et al., 2004 ; Richter et al. 2010 ; Opperman et al., 2018) c'est la méthode Pastor qui a été retenue pour ce modèle (Pastor et al., 2014).

En conclusion, les indicateurs de stress hydriques sont variés et permettent de répondre à des questions multiples. Ils sont parfois complémentaires et doivent être sélectionnés avec soin en fonction du sujet de recherche : aspect quantitatif/qualitatif, impacts sur la ressource, l'écosystème, la santé humaine, etc. Qui plus est, la recherche d'un indicateur performant est souvent entravée par la difficulté d'obtenir des données fiables sur l'eau, obligeant les scientifiques à trouver un équilibre entre la complexité du modèle et la disponibilité des données (Boulay, 2013). Dans le cadre de cette étude et afin de travailler à une échelle intra-annuelle, trois indicateurs retiennent particulièrement notre attention ici puisqu'ils sont disponibles à un pas de temps mensuel (*Tableau 1*).

Méthodologies d'évaluation du stress hydrique			
	Pfister Water Stress Index (WSI)	Water Footprint Network Water Scarcity Indicator	AWARE Available Water Remaining
Auteur.es	Pfister	Hoekstra	WULCA
Date de création	2009	2011	2016
Définition	$\frac{\text{Quantité d'eau prélevée} * \text{ par un système}}{\text{Disponibilité en eau de la région étudiée}}$ * Eau prélevée = l'eau restituée au milieu après utilisation est quand même comptabilisée dans l'empreinte	$\frac{\text{Quantité d'eau consommée} * \text{ par un système}}{\text{Disponibilité en eau de la région étudiée}}$ * Eau consommée = l'eau restituée au milieu après utilisation n'est pas comptabilisée dans l'empreinte	$\frac{\text{Quantité d'eau consommée par un système}}{(\text{Disponibilité en eau de la région étudiée}) - (\text{Demande} *)}$ * Demande = Quantité d'eau nécessaire aux activités humaines et aux écosystèmes
Type d'évaluation	Quantitative	Quantitative	Quantitative
Facteurs de caractérisation	WTA Withdrawal to Availability	CTA Consumption to Availability	AMD Availability Minus Demand
Spatialité	Échelle régionale	Échelle régionale	Échelle régionale
Temporalité	Annuelle/mensuelle	Annuelle / mensuelle / journalière	Annuelle/mensuelle

Sources: Maesele, Camille, Charlotte Pradinaud, Sandra Payen, et Philippe Roux. 2021. L'empreinte eau - Mémento graphique. doi:10.15454/rx5e-q558.
ADEME. MARTIN Edith (Quantis). 2019. Agribalyse ® 2 – Empreinte eau : rapport d'analyses – Rapport. 33p..

Tableau 1 : Méthodologies d'évaluation du stress hydrique mensuel

1.2 Une gestion de l'eau soumise au changement climatique

1.2.1 Résoudre les problèmes d'échelle de gestion de l'eau : enjeux globaux, réponses locales

En France, la gestion et la préservation de l'eau se heurtent à deux principaux obstacles. D'une part, les enjeux liés à la gestion de la ressource en eau sont multiscalaires. « *Dès lors, les droits d'usage de l'eau et des infrastructures de réseau doivent être définis, attribués et répartis entre des acteurs aux objectifs différents par un cadre réglementaire souvent complexe et multiniveaux, résultant à la fois de dispositions nationales (voire supranationales), régionales et communales.* » (Bréthaut, 2013). Il est donc nécessaire que les solutions oscillent entre une échelle globale et une échelle locale. De plus, le système hydrologique coïncide pas avec les frontières administratives. Par exemple, le bassin versant de l'Hérault s'étend sur quatre départements, créant une tension entre l'unité administrative et l'unité hydrologique.

Pour répondre à ces défis, l'Union Européenne a instauré en 2000 la Directive Cadre sur l'Eau, qui renforce les lois de 1964 et 1992 en France. Ces dernières proposent de superposer deux échelles de gestion : le Schéma Directeur d'Aménagement de Gestion de l'Eau (SDAGE) et le Schéma d'Aménagement de Gestion de l'Eau (SAGE). Ces deux outils se veulent complémentaires. Le SDAGE fixe des objectifs généraux à l'échelle du bassin hydrographique. Il instaure de ce fait une unité de gestion en cohérence avec le découpage hydrologique, tandis que le SAGE décline ces orientations à une échelle locale, tenant compte des particularités

administratives, politiques, sociales, économiques et environnementales du territoire. Ainsi, les politiques territoriales liées à l'eau en France se déclinent à plusieurs échelles (*Figure 1*).

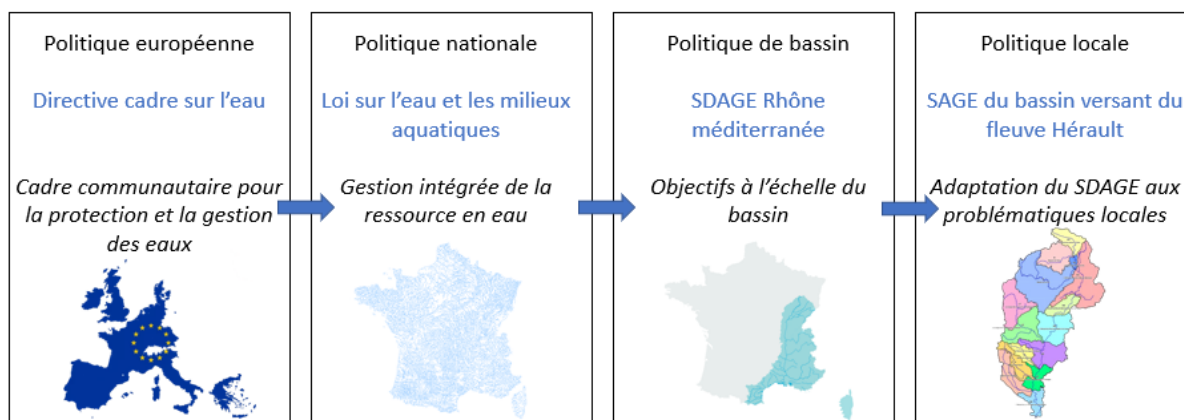


Figure 1 : Échelles des politiques de gestion de l'eau en France

Schéma adapté du schéma explicatif de la communauté de communes Vosges du Sud
Réalisé par N. Smeets

Initialement, ces documents ciblèrent avant tout des objectifs quantitatifs pour assurer un approvisionnement régulier tout au long de l'année et de garantir l'accès à l'eau à tous les acteurs du territoire. Cependant, à partir de 2006, et avec la loi sur l'eau et les milieux aquatiques, des enjeux qualitatifs ont émergé, tels que la préservation des zones humides, la non-dégradation des cours d'eau et la restauration de la continuité écologique des cours. Enfin l'un des apports majeurs de cette loi est l'introduction de stratégies d'adaptation aux défis climatiques. La loi NoTre de 2015 achève le transfert de compétences en matière d'eau et d'assainissement, confiant aux communes et aux EPCI la compétence dite GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) qui regroupe la gestion des prélèvements et des usages de l'eau, la protection de la ressource, l'entretien des cours d'eau, et la gestion des risques d'inondation. Ces enjeux revêtent un aspect saisonnier avec le partage de l'eau lors des périodes de sécheresse et la protection de la population et des infrastructures en période de crues.

Les stratégies d'adaptation au changement climatique se multiplient et sollicitent différents acteurs. En 2016, la région Occitanie organise les Assises régionales de l'eau afin de créer un espace de concertation et de coordination entre les acteurs concernés. Les communautés de communes contribuent également via le Plan Climat décliné localement par le Plan Local d'Adaptation au Changement Climatique (PLACC). Le Service Public Régional de l'Eau (SPRE), soutenu par la compagnie d'aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc (BRL) mettent en place des solutions alternatives pour garantir l'approvisionnement en eau à

l'image du projet de déviation du Petit Rhône vers les territoires d'Occitanie : Aqua Domitia. La recherche et le développement sont mis à l'honneur dans toute la région afin de mieux cerner les enjeux liés à l'eau. Le projet Aguamod SUDOE, par exemple, se concentre sur la gestion durable de l'eau et des milieux aquatiques sur tout le territoire sud-ouest européen, avec une attention particulière sur l'étiage (AGUAMOD, 2024). D'autres programmes se concentrent davantage sur des stratégies d'approvisionnement en eau non conventionnelle avec des projets à l'image de TERR REUSE (Réutilisation des eaux usées traitées).

1.2.2 Le changement climatique, catalyseur des variations de disponibilité de l'eau

L'eau circule en quantité relativement constante sur la Terre, mais sa disponibilité varie selon les saisons et les régions. Le changement climatique exacerbe cette tendance, accentuant la sécheresse dans les régions les plus arides et intensifiant les épisodes de précipitations extrêmes dans les régions les plus arrosées. Cette dynamique amplifie les inégalités d'approvisionnement d'un territoire à l'autre. Or, un des enjeux importants de la crise actuelle de l'eau repose sur cette hétérogénéité de la répartition de l'eau, tant dans le temps que dans l'espace (Zimmer 2013).

En Occitanie, ces irrégularités sont particulièrement marquées à l'échelle intra-annuelle, une tendance qui devrait se poursuivre et s'accroître dans les années à venir. En Occitanie, le GIEC prévoit une diminution des précipitations annuelles allant de 100 à 200 mm par rapport à la moyenne de 1976-2005 durant la période de basses eaux, tandis que le Réseau d'Expertise sur les Changements climatiques en Occitanie (RECO) observe déjà une augmentation de 20% des phénomènes de pluie extrême depuis les années 1960 (RECO, 2024). De plus, une hausse des températures de + 0,5 C° à + 1,4 C° d'ici 2050 aggraverait l'évaporation et l'assèchement des sols, prolongeant ainsi la période de sol sec de 2 à 4 mois (Plan Eau régional Occitanie, 2023), et limiterait la recharge des sources d'eau de surface et souterraine en été. Ces situations de stress hydrique perturbent l'hydro-écosystème des cours d'eau entraînant des étiages précoces et marqués, des événements d'assez plus fréquents, une perte de la biodiversité, ainsi qu'un déficit des fonctions hydrauliques et écologiques des cours d'eau.

La surexploitation des ressources en eau peut également contribuer à créer du stress hydrique, rendant parfois difficile de déterminer si ce stress est causé par une disponibilité insuffisante ou une demande excessive (Rijsberman, 2006). Par exemple, la partie amont du bassin versant de l'Hérault parvient à répondre à la demande en eau, contrairement à la partie

aval, où la baisse des écoulements combinée à une demande accrue (due à la concentration de la population, des industries, et des stations balnéaires) crée des tensions (Collet, 2013).

1.3 Le tourisme et la consommation d'eau domestique : une histoire saisonnière

1.3.1 L'eau domestique : une petite part des extractions d'eau globales

Les usages de l'eau sont généralement classés en trois grandes catégories : agricole, industriel et domestique. Depuis le milieu du XIX^e siècle, les prélèvements d'eau mondiaux tous secteurs confondus ont presque triplé (*Figure 2*). L'agriculture demeure de très loin la plus grande consommatrice d'eau, représentant plus de 70% des prélèvements mondiaux selon le Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (UNESCO, 2023). Cette tendance devrait se poursuivre dans les prochaines années et fonctionne de concert avec la croissance démographique et l'évolution des habitudes alimentaires et notamment l'augmentation de la consommation de viandes. Le secteur industriel, quant à lui, est en constante expansion et compte une branche énergétique qui croît de manière significative, à tel point qu'elle pourrait à l'avenir devenir un secteur d'utilisation distinct. L'objectif de neutralité carbone d'ici à 2050, impulsé par l'Union Européenne, place les énergies renouvelables au-devant de la scène. Parmi elles, l'énergie issue de la biomasse apparaît comme une solution privilégiée. Depuis l'intégration de l'objectif de décarbonation à la législation française en 2019, les projets de biocarburant fleurissent (projet E-Cho, Corridor H-2 Occitanie, etc.), apportant leur contrepartie en consommation d'eau. Enfin, l'augmentation conjointe de la population et du niveau de vie, a également fait gonfler la part des prélèvements domestiques, bien qu'elle reste minoritaire.

En France, après une hausse au cours du XX^e siècle, la consommation d'eau potable diminue depuis les années 1990 (Nauges et Thomas, 2000 ; Barraqué *et al.*, 2011). Cette baisse s'explique par la modernisation des équipements domestiques, qui favorise la sobriété énergétique, la lutte contre les fuites des réseaux d'alimentation. L'augmentation du prix de l'eau, qui incite à réduire sa consommation, ainsi que le développement d'une sensibilité écocitoyenne jouent également un rôle. Cependant, ces chiffres globaux masquent des variations plus fines, liées aux différences territoriales, à la saisonnalité ou encore aux catégories de population. Pour observer ces variations, il est nécessaire de disposer de données précises sur la demande en eau domestique, ce qui s'avère souvent complexe. Les recensements sont souvent imprécis ou biaisés. Une partie de l'eau domestique est utilisée par les communes

pour le nettoyage des voiries, l'arrosage public ou encore les accès d'eau dans les bâtiments publics (écoles, mairies, etc.), ne permettant pas toujours de répartir de manière précise la part de la consommation AEP entre chaque secteur d'utilisation (domestique, public, ...). Cette difficulté à dissocier les usagers est par exemple bien visible au sein d'un hôtel : les différents usages de l'eau (douches, toilettes, blanchisserie, cuisine, arrosage, etc.) sont souvent comptabilisés globalement faute de compteurs d'eau individualisés. Pourtant, connaître la répartition de la consommation de l'eau par sous-secteurs permettrait de mettre en place des solutions ciblées comme l'utilisation d'eau non-conventionnelles (eau de pluie, réutilisation, ...).

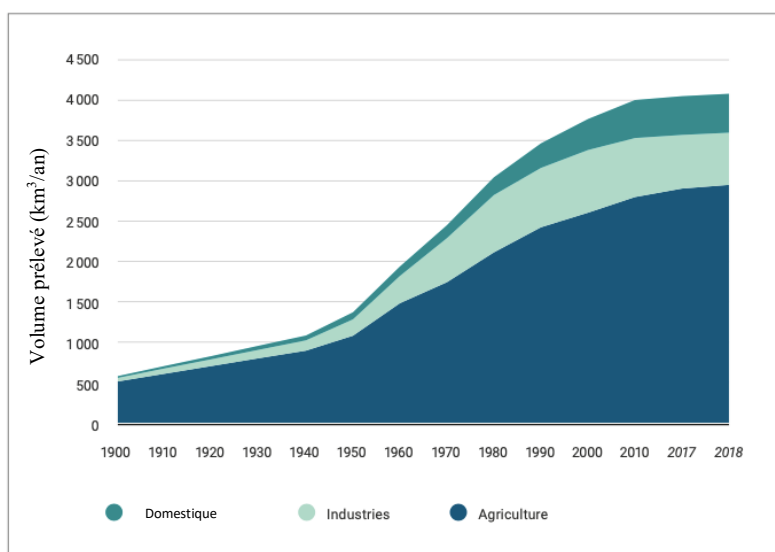


Figure 2 : Évolution des extractions mondiales d'eau (1900-2018)

Source : Organisation pour l'alimentation et l'Agriculture (FAO)

De ce fait, les estimations de la consommation d'eau domestique par les ménages varient largement. Par exemple, une étude menée sur la métropole de Nantes estime que les ménages consomment 92% de l'eau domestique (Favre et al., 2020), alors qu'à Perpignan et Montpellier, ce chiffre chute à environs 60-64 % (Montginoult, 2014). Ces écarts s'expliquent par la difficulté à distinguer les usages des ménages des autres usages collectifs ou industriels. Les estimations faites dans la littérature sont d'ailleurs très variables et peuvent passer du simple au double (*Annexe I*). Les statistiques varient en fonction de territoires : selon le Système d'Information des Services Publics d'Eau et d'Assainissement, la consommation d'eau dans le département de la Savoie est de 38m³/hab/an, contre 84m³/hab/an dans les Alpes Maritimes. Des variations dans le temps sont aussi présentes : Nina Collet note que la consommation d'eau est passée de 90m³/hab/an jusqu'en 1990 à 115m³/hab/an en 2000, avant de diminuer à nouveau à 105m³/hab/an après les années 2000.

1.3.2 L'utilisation de l'eau domestique par le secteur touristique : fonctionnement, impacts, enjeux

Le tourisme entraîne une fluctuation rapide et massive du nombre d'habitants sur certains territoires, ce qui accroît la demande en eau domestique. Cette demande recouvre les usages du quotidien (vaisselle, la douche, les lessives, toilettes, etc.) amplifiés par la pression démographique ; mais aussi de nouveaux usages plus hétérogènes et directement liés aux activités touristiques tels que l'irrigation des golfs, le thermalisme, les spas ou les centres aquatiques (Bréthaut, 2013). De plus, les touristes ont tendance à consommer davantage d'eau que les résidents locaux (De Stefano, 2004 ; Emmanuel and Spence 2009 ; Essex et al 2004 ; Gössling 2005). Par exemple, la consommation d'eau par touriste en Méditerranée varie de 300 à 850 litres par jour selon les travaux de De Stefano (De Stefano 2004) alors que la moyenne française est de 150 litres par jour selon l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME, 2012).

Les consommations d'eau indirectes ne sont pas encore quantifiables de manière exacte mais comptent pour une part importante de la consommation d'eau locale et globale. Ainsi, certaines consommations d'eau se retrouvent cachées dans les processus de production d'alimentation, de carburants, et d'infrastructures liées au tourisme (Chapagain & Hoekstra, 2008 ; Gössling, 2001 ; Hoekstra & Hung, 2002 ; Yang et al., 2011). Enfin, plus qu'une simple ressource, l'eau est également un milieu naturel, participant à la beauté des paysages et au développement d'activités récréatives comme la baignade, le canoë, la plongée ou la pêche (Medstat II, 2009).

Le secteur touristique exerce donc une pression sur la disponibilité de l'eau potable, visible à l'échelle locale, dans les zones à forte affluence, où le tourisme est souvent le secteur dominant de la consommation d'eau (Gössling, Hall et Scott, 2015 ; Hadjidakou, 2014). Cette pression affecte d'une part les approvisionnements en eau et d'autre part l'évacuation des eaux usées. Les communes très touristiques doivent investir dans des réseaux d'approvisionnement surdimensionnés pour répondre aux besoins saisonniers, mais ces équipements fonctionnent en sous-régime une fois la saison touristique passée, entraînant des frais d'entretien et d'exploitation élevés. Le principe de « l'eau paie l'eau » inflige, dans ce cas de figure, à faire supporter des frais supplémentaires aux habitants locaux (Bréthaut, 2013). Il apparaît donc nécessaire de mettre en place un système de gestion intégrée de l'eau potable, tenant compte des disparités environnementales, économiques et sociales des territoires à une échelle locale.

1.3.3 Les conflits d'usages

Les conflits d'usages sur le bassin versant de l'Hérault sont exacerbés par la saisonnalité des activités touristiques, qui masque souvent les impacts du tourisme sous les statistiques annuelles. L'été, le tourisme exerce une pression importante sur l'approvisionnement en eau, en raison de l'augmentation de la population et du développement d'activités récréatives gourmandes en eau. Or, à cette même période, les agriculteurs ont également besoin d'eau pour l'irrigation, créant ainsi une concurrence directe entre les usages. Pour répondre à cette situation, le préfet est autorisé à mettre en place un arrêté de restriction des usages. Ce dernier autorise les autorités départementales à restreindre l'accès à l'eau selon l'intensité de l'évènement et selon les usages. Au cours des dernières années, le nombre de départements touchés par ces arrêtés n'a cessé d'augmenter (*Figure 3*). Conformément à la législation française n° 92-3 du 3 janvier 1992, la priorité est accordée à la consommation humaine, la santé publique, la salubrité, et la sécurité civile, ce qui place souvent le secteur agricole et touristique en concurrence directe. Lorsque des restrictions d'eau sont imposées par des arrêtés sécheresse, les activités agricoles peuvent être sévèrement limitées, tandis que certaines infrastructures touristiques continuent de fonctionner, provoquant des tensions supplémentaires (Holden, 2000). Ce déséquilibre est accentué par la nécessité de protéger les revenus générés par le tourisme, qui constitue un pilier économique essentiel de la région, mais au détriment des besoins en eau des agriculteurs, eux-mêmes essentiels à la sécurité alimentaire du territoire (Loubier et al., 2003). À l'inverse, les prélèvements qui alimentent le secteur agricole à l'été limitent parfois le débit des cours d'eau, pénalisant de ce fait les activités touristiques en eau douce (location de canoë, paddle, etc.) (Loubier et al., 2003). C'est par exemple le cas du Canal d'irrigation de Gignac qui prélève dans l'Hérault laissant parfois moins de 1 m³/sec en pleine période d'étiage (Loubier et al., 2003). Un défi majeur de la gestion de l'eau sur le bassin versant de l'Hérault est donc de parvenir à concilier usages touristiques et usages agricoles pendant la période estivale.

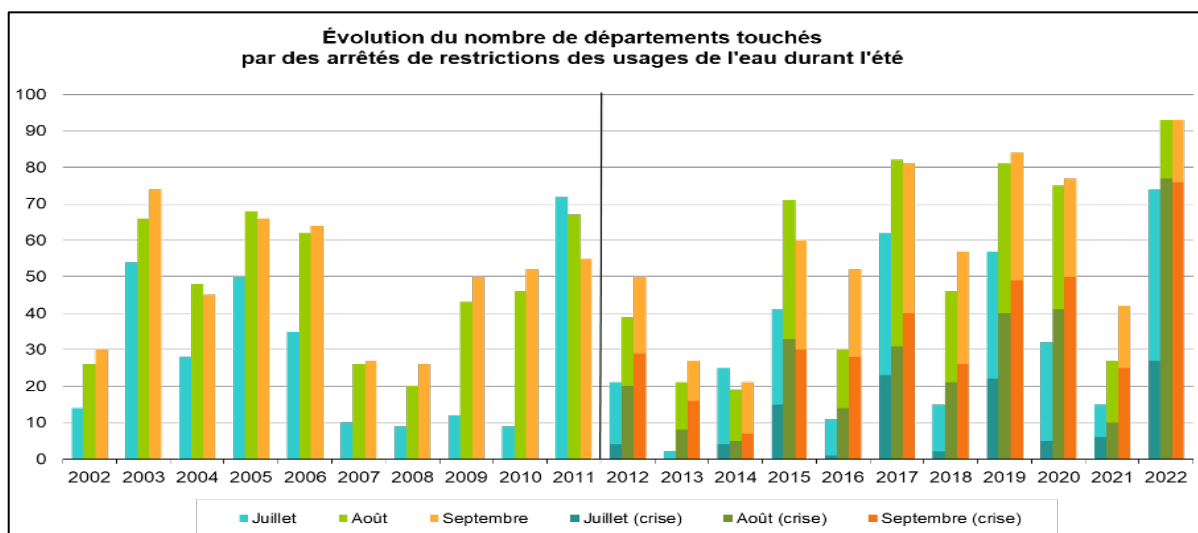


Figure 3 : Évolution des départements soumis aux restrictions sécheresse en France métropolitaine

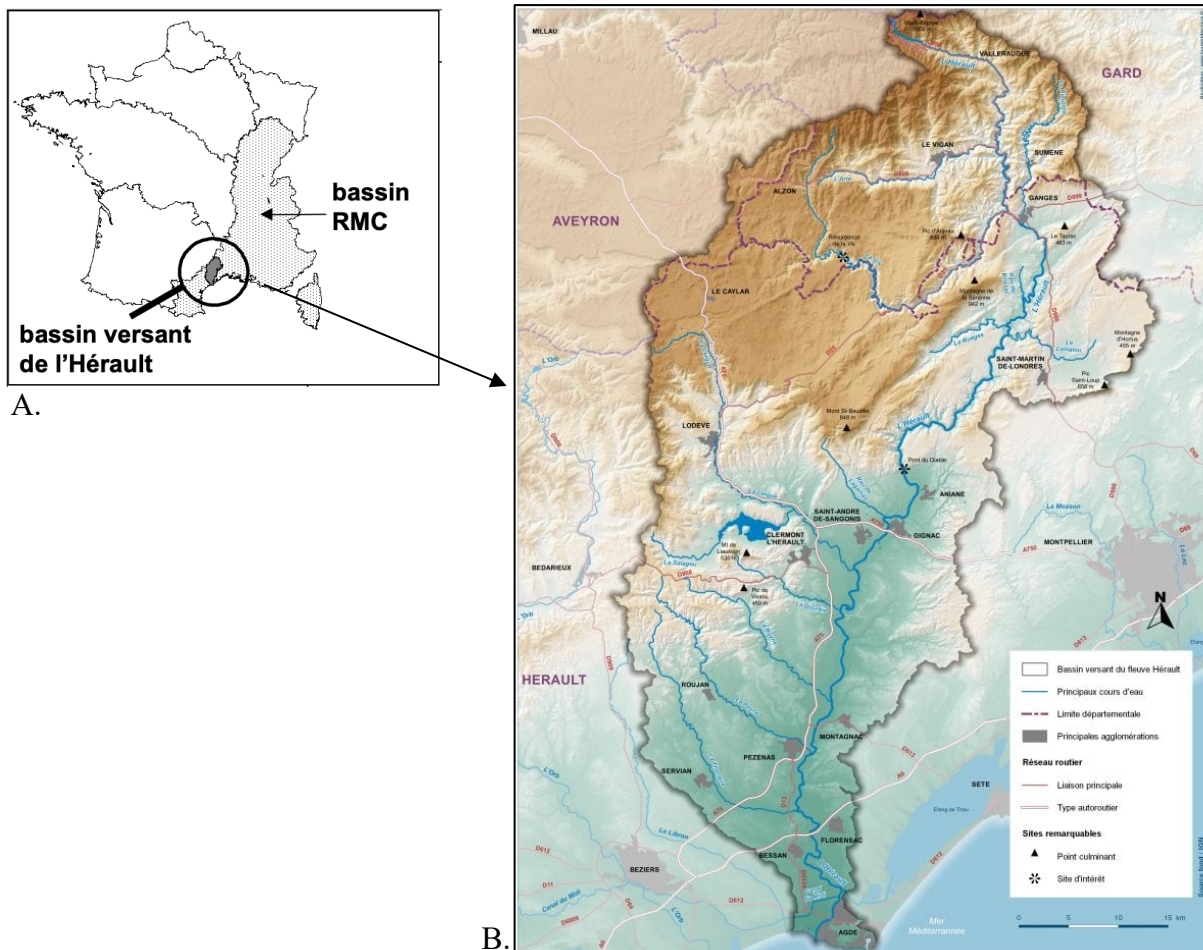
Source : Eau France, 2015

2. Présentation du bassin versant de l'Hérault

2.1. Géographie et climat

2.1.1 Un territoire pluriel : du littoral méditerranéen aux Cévennes

Le bassin versant de l'Hérault est situé dans le sud de la France dans la région Occitanie. Il couvre une superficie de 8 500 km², répartie sur quatre départements : l'Hérault, le Gard, la Lozère et l'Aveyron (*Carte 1*). Le principal cours d'eau est le fleuve Hérault, qui prend sa source au Mont Aigoual, dans les Cévennes, et s'étend environ sur 2 500 km² jusqu'à la mer Méditerranée, au niveau d'Agde. Ses principaux affluents sont : la Dourbie (linéaire de 75km), la Vis (58 km), la Lergue (45 km), la Thongue (36 km), la Peyne (33 km), La Boyne (25km), l'Arre (24km) et la Buèges (12km).



Carte 1 : A. Carte de localisation du bassin versant B. Carte topographique

Source : EPTB Fleuve Hérault

2.1.2 L'influence du climat méditerranéen

Le bassin de l'Hérault est influencé par le grand bassin Rhône Méditerranée et est soumis à un climat méditerranéen caractérisé par une forte irrégularité du régime pluviométrique. Les étés y sont généralement chauds et secs, tandis que les hivers sont doux et humides. Des pics de précipitations sont observés au printemps et à l'automne, lors des épisodes cévenols. Ils sont marqués par des quantités importantes de pluie sur de courtes périodes, concentrées sur des territoires localisés. Le bassin présente également une forte disparité pluviométrique, avec des précipitations plus importantes au nord qu'au sud, en raison de l'influence montagnarde dans les Cévennes (*Figure 4 et Carte 2*). Les températures moyennes oscillent entre 22 degrés en été et 5 degrés en hiver. Les précipitations peuvent atteindre plus de 6mm/jour en octobre, mois privilégié des épisodes cévenols et descendre à moins de 1mm/jour en juillet (*Figure 4*).

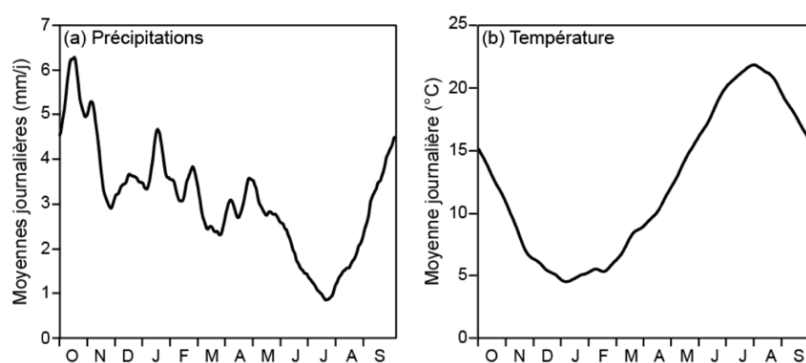
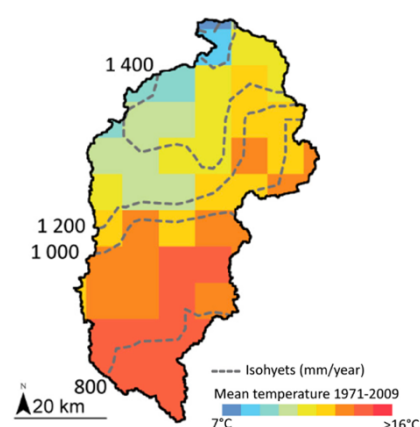


Figure 4 : Évolution moyenne journalière sur la période 1961-2010 (a) des précipitations et (b) de la température du bassin de l'Hérault

Source : Collet, 2013



Carte 2 : Gradient climatique sur le bassin versant de l'Hérault

Source : Fabre, 2015

2.2. Le fleuve Hérault au centre du territoire

2.2.1 Un régime hydrologique divisé en trois unités

Le débit moyen annuel de l'Hérault est de 43,7 m³/sec, offrant une indication du volume d'eau moyen écoulé sur une année (EPTB Fleuve Hérault, 2015). L'Hérault et ses affluents sont soumis au régime méditerranéen caractérisé par un étiage marqué pendant les mois d'été (3m³/sec) et une forte augmentation du débit en hiver. Des crues rapides peuvent intervenir notamment lors des épisodes cévenols au début de l'automne et du printemps (1300 m³/sec) (Fabre, 2015 ; EPTB Fleuve Hérault 2005). Toutefois, des disparités existent au sein du bassin,

divisé en trois grandes unités distinctes par leurs caractéristiques géologiques, météorologiques, et hydrologiques (*Annexe 2*).

La partie amont du bassin est assise sur un socle granitique et métamorphique. Le territoire est soumis à un climat montagnard avec des températures moyennes n'excédant pas les 11 degrés. Les précipitations moyennes annuelles sont abondantes, variant de 1 200 mm à Valleraugue à 2 500 mm au Mont Aigoual. Néanmoins, la roche étant peu perméable, ces apports ne sont pas stockés dans des réserves souterraines. Aussi, les cours d'eau de cette région sont fortement dépendants des précipitations directes. L'absence prolongée de précipitations, particulièrement en été, accentue l'étiage, rendant les cours d'eau particulièrement vulnérables aux sécheresses. La région est caractérisée par un relief escarpé et des vallées encaissées. Le débit moyen de l'Hérault à Valleraugue est de 2,2 m³/s, avec un pic de 4,7 m³/s en novembre et un étiage sévère pouvant descendre à 0,6 m³/s en août (*Figure 5*). Il se démarque des autres portions du fait d'un débit faible et relativement régulier sans fluctuations extrêmes.

La moyenne vallée de l'Hérault, présente des pentes plus douces et bénéficie des apports de la Vis et de la Buèges. Les précipitations annuelles moyennes varient entre 800 et 1 000 mm, avec une température moyenne de 13°C. La capacité d'écoulement du lit mineur dans cette portion de la vallée limite les débordements et les crues, qui y sont donc peu fréquentes. Cette région est caractérisée par un grand plateau karstique et un massif calcaire, qui favorisent l'infiltration de l'eau dans des réseaux souterrains. Grâce à cette composition géologique, le sol agit comme une éponge, absorbant les précipitations et les restituant progressivement aux cours d'eau. En effet, le secteur karstique joue un rôle crucial dans le système hydrologique et fournit environ 75 % du débit de l'Hérault pendant la période d'étiage (PGRE Hérault, 2015). Les débits moyens mensuels observés à Gange et à Saint Guilhem témoignent bien d'un régime méditerranéen avec des pics de débit en mars et en novembre. Le débit moyen sur cette portion est de 18 m³/sec avec un maximum à 40,4 m³/sec en novembre et un minimum de 2,2 m³/sec en août (*Figure 5*).

En aval, la basse vallée de l'Hérault reçoit l'apport de cinq affluents principaux : la Lergue, la Dourbie, la Boyne, la Peyne, et la Thongue. Les précipitations y sont modérées, allant de 500 à 800 mm par an, mais le fleuve subit des débordements fréquents en raison de sa plaine alluviale encadrée par des reliefs modérés. Les débits les plus élevés sont enregistrés en mars et en novembre, principalement en raison des épisodes cévenols. On y trouve des extrêmes

plus marqués avec un minimum enregistré à 0,9 m³/sec en août et un maximum à 56,1 m³/sec en novembre (Figure 5). La nappe phréatique joue un rôle fondamental en soutenant le débit du fleuve durant l'étiage, alors que les cours d'eau environnant souffrent davantage du manque d'eau en été. En période de crue, le fleuve recharge à son tour la nappe alluviale, illustrant un jeu constant entre les précipitations, les infiltrations souterraines, et les apports fluviaux (Weng et Dörfliger, 2002). Tout à fait en aval le territoire est pratiquement horizontal, augmentant le risque d'inondation.

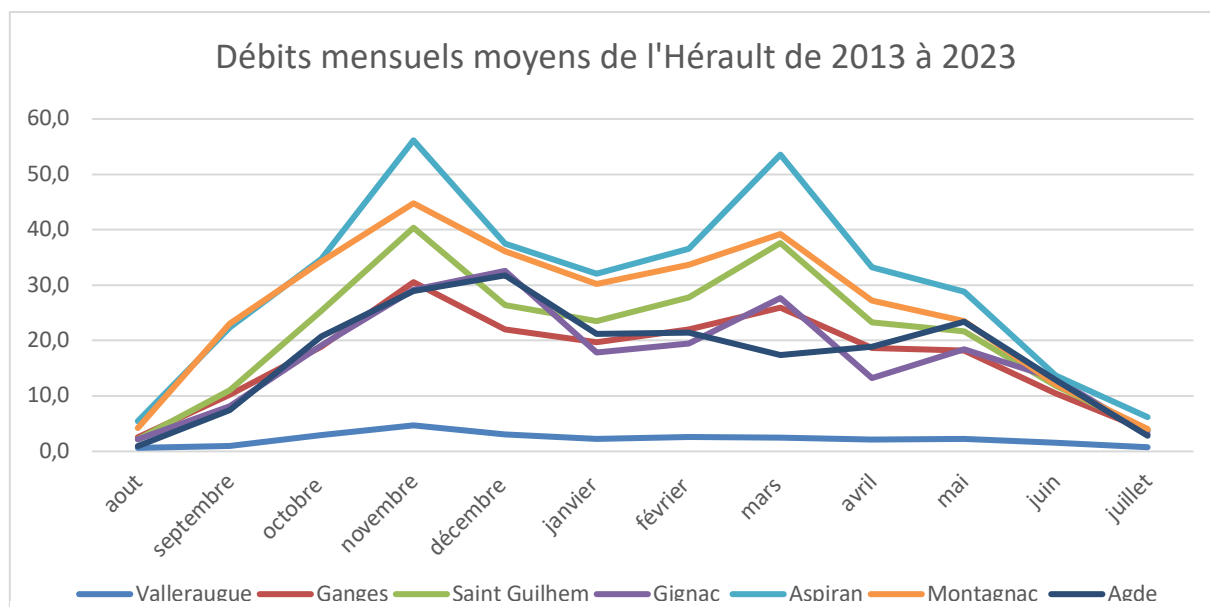


Figure 5 : Débits mensuels moyens de l'Hérault de 2013 à 2023

Source : Hydroportail
Calculs et graphique réalisés par N. Smeets sur Excel

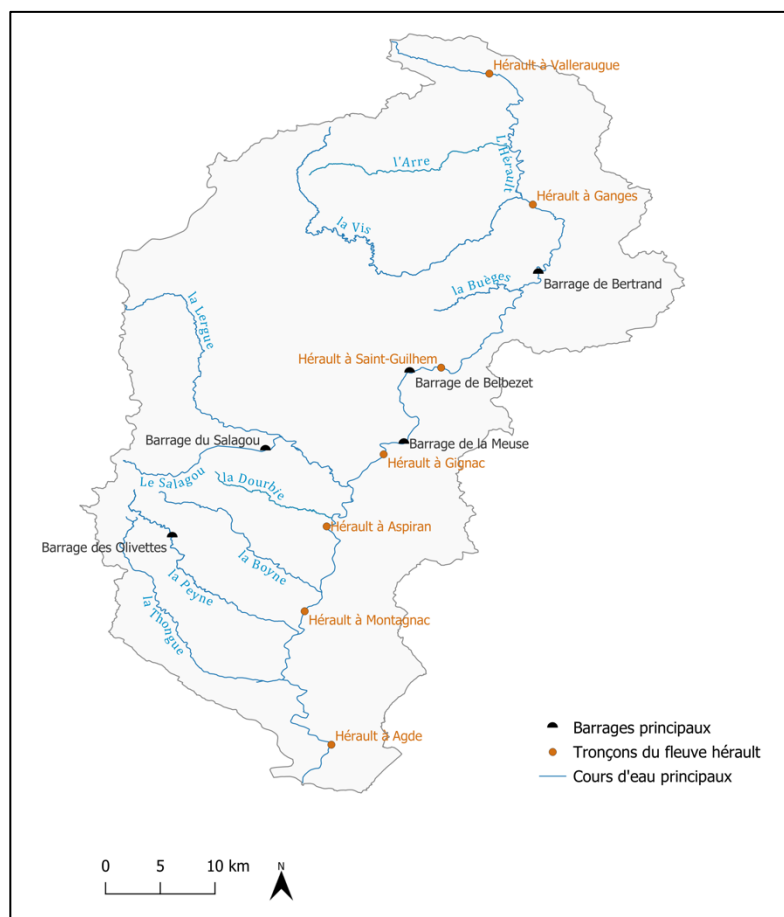
2.2.2 Un fleuve sous influence anthropique

Le réseau hydrographique de l'Hérault est marqué par cinq barrages principaux (Tableau 2 et Carte 3), dont trois sur le fleuve lui-même : barrages Bertrand, Belbezet et Meuse. Ce sont des ouvrages destinés à la production d'électricité et leur incidence sur les crues est moindre. La production est arrêtée en période d'étiage et les retenues sont presque toujours pleines. Deux autres ouvrages sont installés sur les affluents de l'Hérault : le barrage du Salagou mis en service en 1969 et le barrage des Olivettes en 1991. Ils soutiennent les étiages de la Lergue et de l'Hérault pour le Salagou et de la Peyne pour les Olivettes. Lors de la saison des pluies, ils écrètent la quasi-totalité des crues. Enfin, ces ouvrages constituent une réserve pour l'irrigation avec 0,4 hm³ et 0,1 hm³ prélevés respectivement pour le Salagou et les Olivettes chaque année. Le barrage du Salagou représente à lui seul 90 % des réserves artificielles du bassin de l'Hérault (Collet, 2013). Il regroupe à lui seul les principales fonctions : électricité, support du débit, irrigation, loisir.

Nom	Année de mise en eau	Capacité	Rejet	Utilisation
Barrage du Salagou	1969	102 hm ³	Lergue	Tourisme, irrigation, électricité et étiage
Barrage des Olivettes	1991	4,1 hm ³	Peyne	Irrigation et étiage
Barrage de Bertrand	123	1-2 hm ³	Hérault	Électricité
Barrage de Belbezet	1971	1-2 hm ³	Hérault	Électricité
Barrage de la Meuse	1984	1-2 hm ³	Hérault	Électricité

Tableau 2 : Caractéristiques des principaux barrages sur le bassin de l'Hérault

Source : Collet, 2013

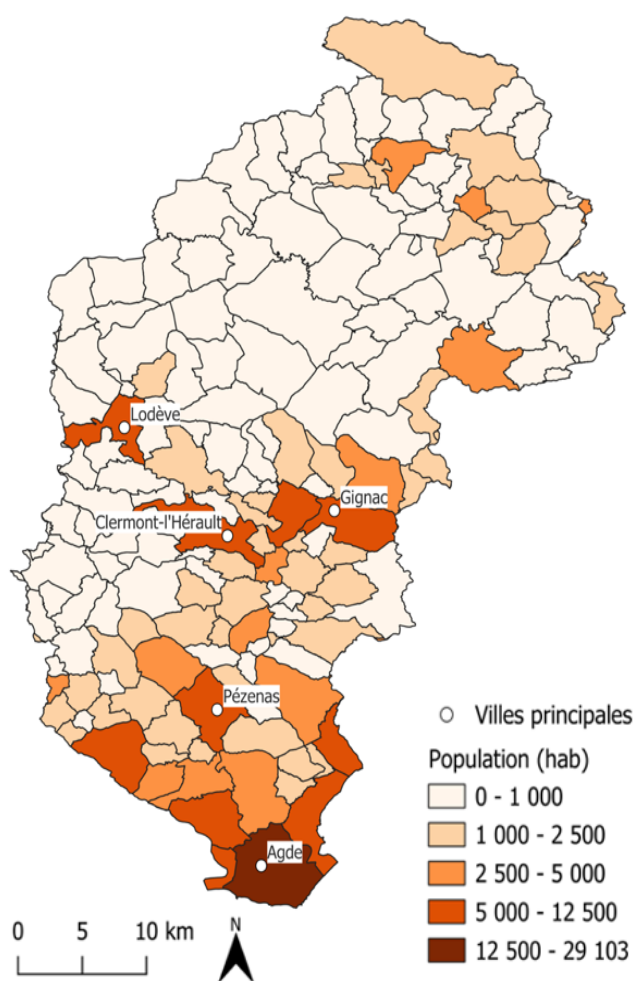


Carte 3 : Principaux barrages sur le bassin versant de l'Hérault

Source : DATAGOUV
Réalisé par N. Smeets sur QGIS

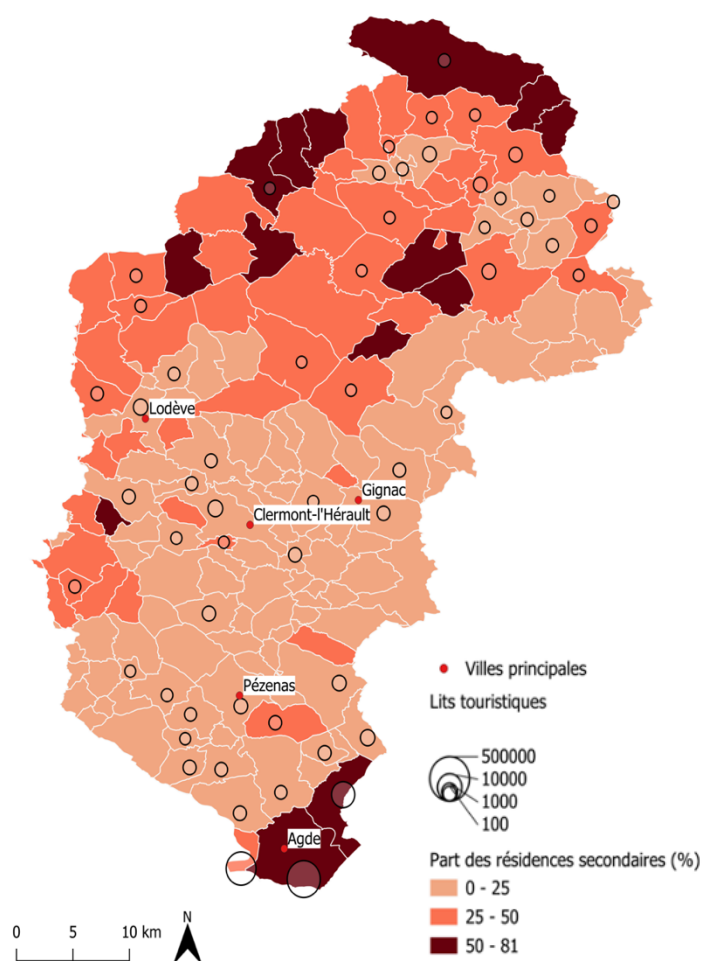
2.3 Occupation du sol et activités humaines

Le bassin versant de l'Hérault s'étend sur 166 communes, abritant environ 200 000 habitants. La répartition de la population est contrastée, avec une forte concentration sur le littoral méditerranéen, tandis que l'arrière-pays reste plus rural et faiblement peuplé. Quatre communes principales (Agde, Pézenas, Lodève, et Clermont-l'Hérault) concentrent près de 30 % de la population totale du bassin (*Carte 4*). La population estivale peut atteindre jusqu'à 200 000 personnes à Agde, un décuplement par rapport à sa population permanente de 27 000 habitants (INSEE 2015). L'attractivité de cette ville est largement due à sa station balnéaire, qui accueille plus de la moitié de la population saisonnière du bassin versant (EPTB du Fleuve Hérault, 2022).



Carte 4 : Répartition de la population sur le bassin de l'Hérault

Source INSEE et DATAGOUV
Réalisé par N. Smeets sur QGIS



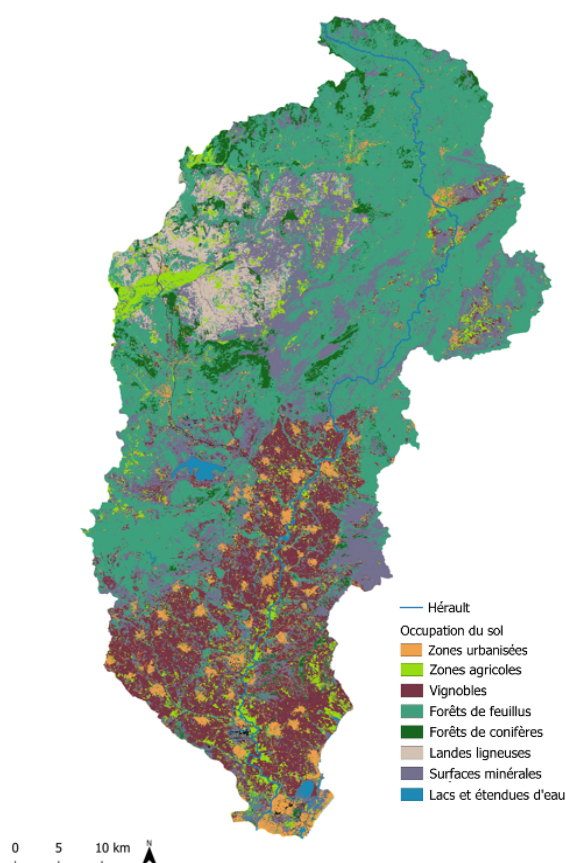
Carte 5 : Capacité d'accueil sur le bassin de l'Hérault

Source INSEE et DATAGOUV
Réalisé par N. Smeets sur QGIS

L'occupation du sol se répartit en plusieurs aires d'usages (*Figure 6*). Le nord, relativement peu peuplé, est principalement couvert de forêts couvrant près de la moitié du territoire. Au sud du bassin, la viticulture occupe une place majeure, contribuant de manière significative à l'économie locale. L'exploitation viticole s'étend sur 44 000 hectares et se concentre essentiellement dans la partie aval du bassin. Les zones les plus irriguées se concentrent autour du canal de Gignac, du Salagou et de la pointe littoral (EPTB Hérault, 2015).

Le bassin versant de l'Hérault offre également une grande capacité d'accueil touristique, avec plus de 987 000 lits répartis sur l'ensemble du territoire, dont 743 000 en résidences secondaires (INSEE 2021). Ces dernières représentent en moyenne 20 % des habitations, un chiffre nettement supérieur à la moyenne nationale de 8 % (INSEE, 2021). Cependant, la répartition des résidences secondaires reste inégale, avec une concentration marquée sur le littoral et dans la zone amont du bassin (*Carte 5*). Toutefois, en amont, les communes ont une population totale faible, limitant l'incidence d'une forte part de résidences secondaires. À l'inverse, la vallée de l'Hérault se distingue par une proportion relativement faible de résidences secondaires puisque c'est ici que se concentre la population locale. Enfin, la partie littorale, en plus d'accueillir un grand nombre de résidences secondaires, est fortement marquée par le tourisme. Les communes littorales d'Agde, de Marseillan et de Vias concentrent à elles seules plus de 30% de la capacité d'accueil touristique, avec respectivement 229 000, 49 000 et 48 000 lits. Cette forte densité touristique souligne non seulement l'importance économique du tourisme dans la région, mais aussi les défis qu'elle pose en matière de gestion des ressources et d'aménagement du territoire.

A.



B.

Occupation du sol	Surface occupée (Ha)
Forêts	128 992
Landes ligneuses	60 412
Vignobles	43 942
Zones agricoles	26 751
Zones urbanisées	12 142
Étendues d'eau	1 983
Surfaces minérales	120

C.

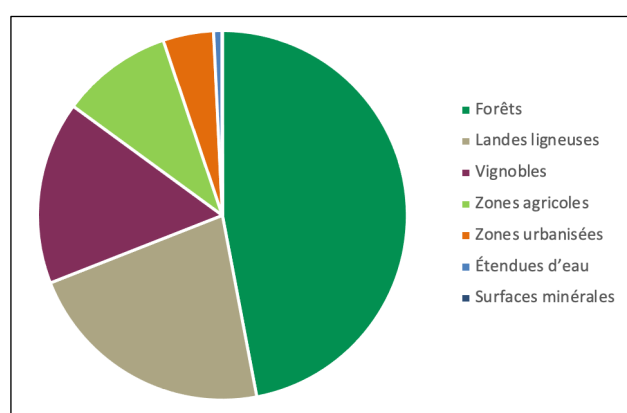


Figure 6 : A. Carte simplifiée de l'usage des sols sur le bassin versant B.C. Répartition des usages en fonction de la surface occupée

Source : Theia 2022
Réalisé par N. Smeets sur QGIS et Excel

2.4 La demande en eau domestique sur le Bassin versant de l'Hérault

Sur le bassin versant de l'Hérault, les prélèvements domestiques sont répartis sur l'ensemble du territoire, mais sont majoritairement concentrés dans la partie aval, où ils représentent 75 % des prélèvements totaux (*Annexe 3*). Cette demande est principalement satisfaite par des sources souterraines, avec la nappe alluviale de l'Hérault jouant un rôle prépondérant, représentant à elle seule 71 % des prélèvements (EPTB Fleuve Hérault, 2022 ; *Figure 7*). Autrefois, la nappe astienne constituait une source d'approvisionnement plus importante. Cependant, sa surexploitation a conduit à l'intrusion d'un biseau salé, réduisant ainsi sa capacité à fournir de l'eau de qualité (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de la Nappe Astienne, 2018).

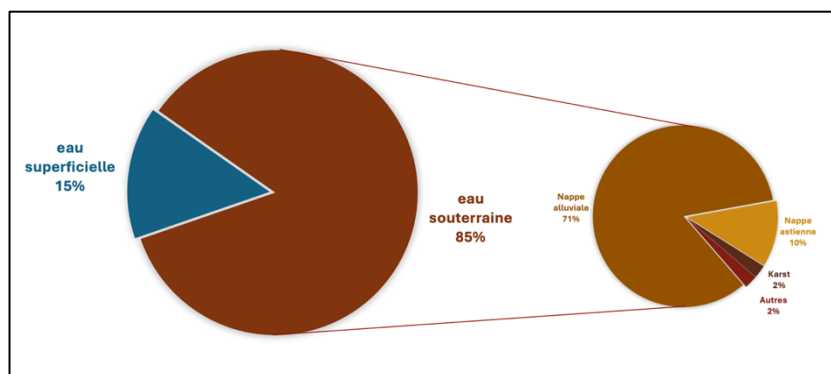


Figure 7 : Répartition des sources de prélèvements au sein du bassin de l'Hérault

Source : EPTB Fleuve Hérault, 2015

En moyenne, plus de 30 hm³ d'eau sont prélevés chaque année dans les aquifères du bassin, principalement dans la nappe alluviale. Cette nappe approvisionne plus de 300 000 personnes hors du bassin versant durant l'été. Le prélèvement le plus important en termes de quantité dans la nappe de l'Hérault se situe à Florensac. Or, la quasi-intégralité de cette eau prélevée est envoyée hors du bassin versant pour approvisionner l'ouest Montpellierain et les communes de la région de Thau, constituant ainsi une perte nette pour le bassin.

Le pic d'exploitation domestique se situe pendant la saison estivale, lorsque la population du bassin triple en raison de la fréquentation touristique. Les prélèvements AEP sont plus importants durant les mois de juillet et d'août, et particulièrement sur le littoral (*Figure 8*). Ces prélèvements représentent alors 25 % des prélèvements totaux, tandis que dans les arrière-pays, on observe une répartition plus homogène tout au long de l'année (entre 5% et 10 %).

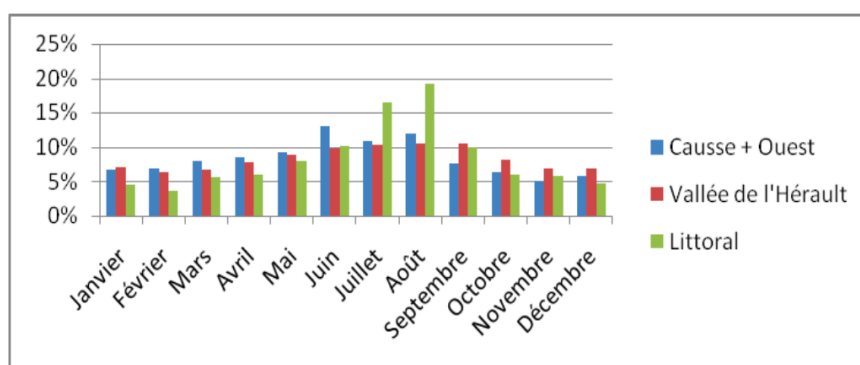


Figure 8 : Variation mensuelle des prélèvements AEP

Source : EPTB Fleuve Hérault, 2015

3. Données, Outils, Méthode

3.1 Données

Dans le cadre de cette recherche sur la consommation d'eau domestique et ses dynamiques spatiales et temporelles, plusieurs sources de données quantitatives ont été mobilisées. Elles ont permis d'étudier la relation entre la répartition de la population, de la fréquentation touristique et de l'empreinte eau sur le bassin versant de l'Hérault.

3.1.1 Données statistiques Hérault Data 2022

Ces données fournissent des informations précises sur le nombre de nuitées touristiques dans le département de l'Hérault au cours de l'année 2022. Elles incluent :

- **Le nombre total de nuitées touristiques** sur l'année, permettant de comprendre l'ampleur de la fréquentation touristique dans la région. Ce recensement comptabilise à la fois les hébergements marchands et les résidences secondaires.
- **La répartition des nuitées par zone touristique.** Le maillage de ces données est pour le moins atypique puisqu'il divise le territoire en cinq zones touristiques : le cœur d'Hérault, le littoral héraultais, la zone urbaine, le Pic Saint-Loup et Cévennes, ainsi que la région du Haut Languedoc et vignoble. De cette manière, il est possible d'observer la pression exercée par le tourisme en fonction du type de territoire (urbain, littoral, rural, montagnard).
- **La répartition des nuitées par mois sur l'année,** permettant d'analyser les variations saisonnières de la fréquentation. Cela est particulièrement pertinent pour comprendre comment la demande en eau peut fluctuer au cours de l'année.

3.1.2 Données statistiques INSEE recensement 2022

Les données INSEE, permettent de dresser le bilan démographique et d'observer la répartition des hébergements marchands des communes du bassin versant de l'Hérault. Elles sont constituées des informations suivantes :

- **La population par commune,** qui permet d'observer la répartition de la population permanente sur le bassin.
- **Le nombre de logements par commune,** permettant de se faire un aperçu de l'urbanisation du territoire.

- **Le nombre d'hébergements marchands (hôtels, campings, hébergements collectifs) par commune**, afin de connaître la capacité d'accueil de chaque commune et de repérer les zones les plus touristiques.

3.1.3 Données de l'Observatoire des Territoire 2023

Les données de l'Observatoire des Territoires ont permis de mettre en avant la répartition des résidences secondaires sur le bassin versant de l'Hérault en donnant la **part des résidences secondaires par commune**.

3.1.4 Les indices de stress hydrique WSI et AWARE

Les facteurs de caractérisation ont été récupérés sur le site de l'école polytechnique fédérale de Zurich (ETH) pour le WSI et sur le site WULCA pour l'indicateur AWARE (*Annexe 4*). Ils sont au format *Keyhole Markup Language* (kmz) et peuvent être lu sur Google Earth Pro. La résolution spatiale pour ceux deux indicateurs est de 0,5° x 0,5°. Ces deux mailles sont référencées selon les indicateurs de la manière suivante :

	Identifiant de la maille		Identifiant du bassin versant	
WSI (version 2012 ; modèle WaterGap 2.)	31 157	31 158	31 157	31 158
AWARE (version avril 2016)	5589	5590	31 157	31 158

3.1.5 Les données spatiales

Les données spatiales au format *shapefile* (.shp) proviennent de la plateforme des données publiques françaises DATAGOUV. Elles ont permis de spatialiser, extraire et joindre les données statistiques via le logiciel QGIS. La carte d'occupation du sol a quant à elle été créée à partir des données 2022 au format *Tagged Image File Format* (.tiff) issue du pôle de données en ligne Theia-land.

3.2 Outils et méthodes

Afin de calculer l’empreinte eau domestique, il est essentiel d’analyser la répartition de la population locale et saisonnière tout au long de l’année, dans le but de différencier la part d’eau attribuée à chacune. La première est aisément identifiable grâce au recensement de l’INSEE qui fournit le nombre d’habitant par commune. Ce chiffre n’évolue que très peu au cours d’une année. En revanche, bien que de nombreuses données relatives au tourisme soient disponibles, peu d’entre elles rendent compte la répartition spatio-temporelle à une échelle fine. Par exemple, la capacité d’accueil dans les hébergements marchands et dans les résidences secondaires est établie à l’année. Ces données permettent d’identifier rapidement les zones les plus attractives mais occultent totalement l’aspect saisonnier de cette occupation. À l’inverse, les rapports d’Hérault Tourisme fournissent le nombre de nuitées touristiques réparties sur un mois. Néanmoins, ces nuitées ne sont pas recensées par commune mais selon un zonage non conventionnel qui semble s’appuyer sur les particularités territoriales touristiques : littoral héraultais, zone urbaine, Grand Pics Saint Loup Cévennes, Haut Languedoc Vignobles, Cœur d’Hérault (*Figure 9*). Par conséquent, ces deux types de données ne coïncident ni en termes d’échelle, ni d’unité. La première étape du travail consiste donc à uniformiser les données afin d’obtenir le maillage souhaité.

3.2.1 Calcul de la capacité d’accueil sur le bassin versant

Inventaire du nombre de lits

Dans un premier temps, il a fallu fusionner les données fournies à échelles communales pour les résidences secondaires (Observatoire des territoires) et les établissements marchands (INSEE). L’objectif de cette première étape est d’obtenir une capacité d’accueil totale par commune en nombre de lits disponibles (*Figure 9*). Le recensement INSEE utilise trois unités différentes : les lits, les chambres et les emplacements. Il a donc fallu estimer le nombre de lits par chambre et par emplacement. Après plusieurs tentatives d’estimation, les chiffres retenus sont : deux personnes par chambre d’hôtel et quatre personnes par emplacement de camping. Une fois ces estimations appliquées on obtient un résultat de 244 581 lits en établissement marchand contre 222 000 annoncés par Hérault tourisme, soit une marge d’erreur de 10%.

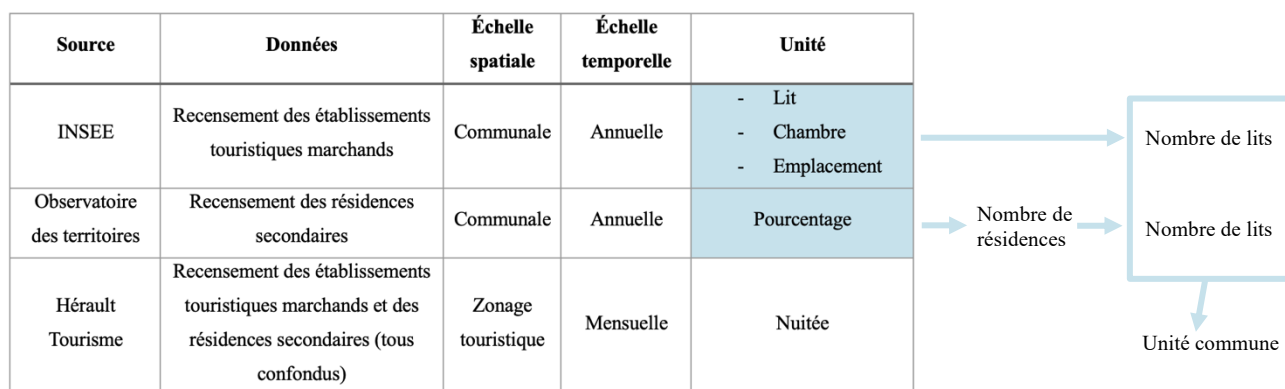


Figure 9 : Sources de données utilisées et processus d'uniformisation

Les données de l'Observatoire des territoires ont d'abord été converties en deux étapes. Dans un premier temps le passage d'une part de résidences à un nombre de résidences. Les chiffres de l'INSEE donnent le nombre de résidences par commune. Il est donc possible à partir du calcul suivant d'obtenir le nombre de résidences secondaires par commune :

$$\text{Nombre RS} = \frac{\text{part des résidences secondaires} * \text{nombre de résidences principales}}{100}$$

Hérault tourisme nous donne accès au nombre de lits en résidence secondaire dans le département. Ils s'élèvent à 726 000 lits. Le calcul précédent nous a permis d'estimer le nombre de résidences secondaires à 135 146 sur tout le département. Si nous divisons ces valeurs nous obtenons une moyenne de 5,4 lits par résidence. En arrondissant, nous obtenons 5,5 lits par résidence. Ce chiffre nous permet de nous rapprocher du nombre de lits estimés par Hérault tourisme avec une marge d'erreur de 2%.

Répartition des nuitées par lits

Dans le but d'intégrer les communes au maillage réalisé par Hérault tourisme, la carte du rapport a été utilisée comme couche de superposition pour répartir les communes dans la zone correspondante. Cette manipulation a été réalisée sur Qgis et a conduit à la création des zones touristiques au maillage communal (Figure 10).

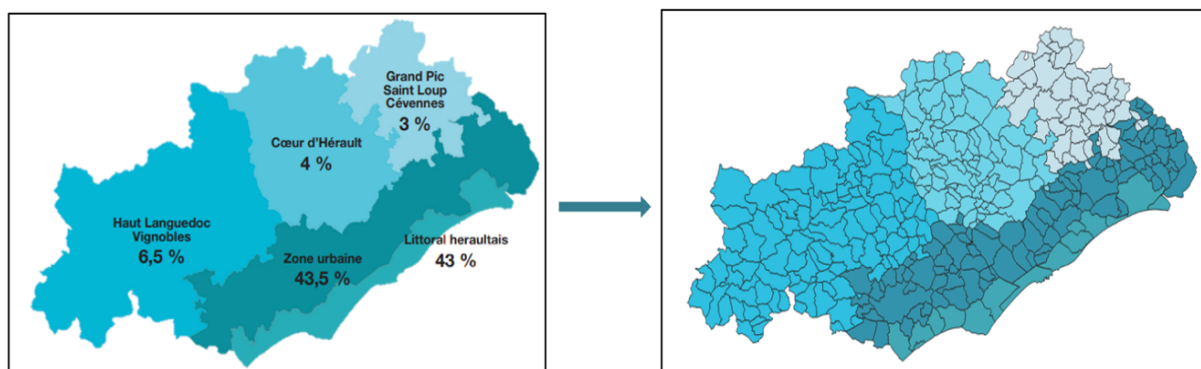


Figure 10 : Réalisation de la maille communale à partir du zonage touristique

Source : DATAGOUV et Hérault Data

Réalisé par N. Smeets sur QGIS et Excel

Hérault Data fournit d'un côté le nombre de nuitées par mois, de l'autre le pourcentage de nuitées par région touristique. L'objectif de cette étape est de fusionner les deux informations afin d'obtenir le nombre de nuitées par mois et par région touristique. Pour cela, nous utilisons la formule suivante :

$$\text{Nuitées/mois/régions} = \frac{\text{pourcentage de nuitées} * \text{nombre de nuitées pour le mois} \times}{100}$$

Le résultat nous permet d'obtenir les répartitions des nuitées par mois, tout en ajoutant la répartition de ces nuitées dans les zones touristiques (*Figure 11*).

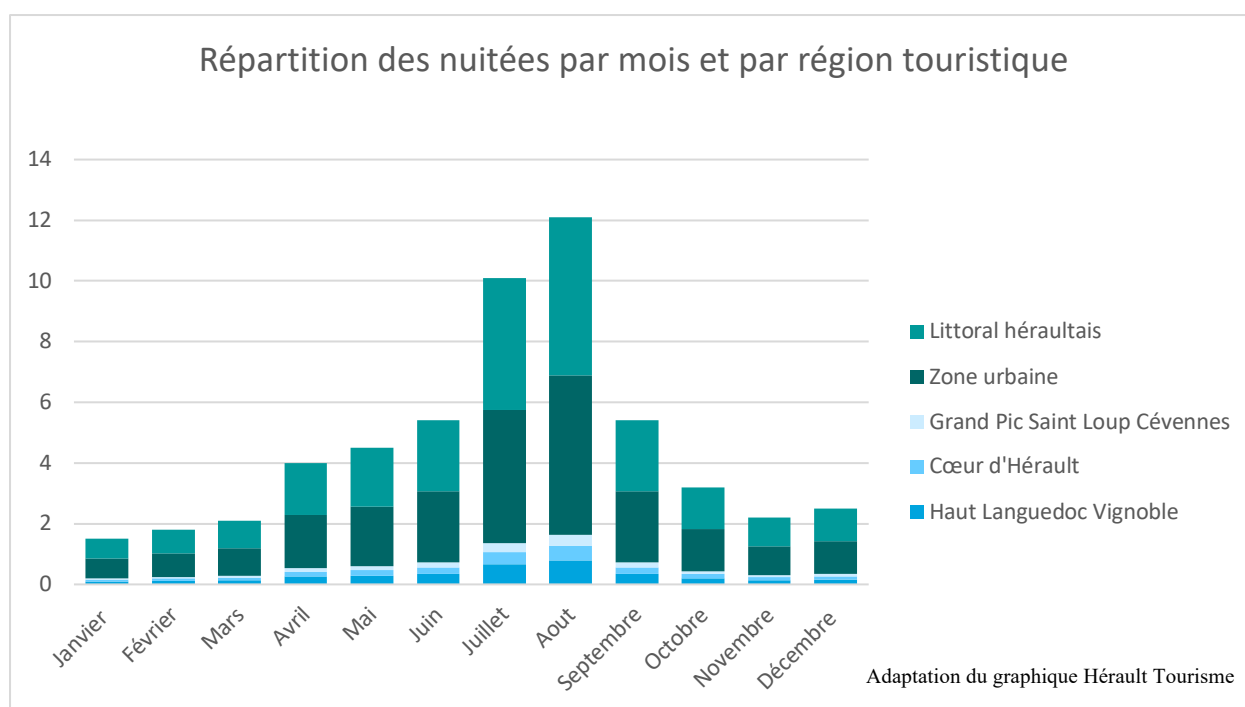


Figure 11 : Répartition des nuitées par mois et par région touristique

À l'aide de la table attributaire sur Qgis nous savons combien de lits touristiques sont disponibles par commune. Il suffit ensuite d'additionner tous les lits touristiques des communes de la zone et de diviser par le nombre de nuitées afin de se faire une idée du nombre de nuitées effectuées par lit, comme suit :

$$\text{Nombre de nuitées par lits} = \frac{\text{Nombre de nuitées de la zone}}{\text{Nombre de lits de la zone}}$$

À partir des résultats précédents et toujours à l'aide d'Excel, nous pouvons calculer le nombre de nuitées par commune à partir de la formule suivante :

$$\text{Nuitées par communes} = \text{total du nombre de lits touristiques} * \text{nuitées par lit pour le mois } x$$

3.2.2 Les calculs d'empreinte eau

Il existe de nombreuses méthodes d'estimation de l'empreinte eau domestique. Parmi elles, la méthode la plus simple et la plus fréquemment utilisée repose sur la connaissance de la population d'un territoire, ainsi que de la consommation moyenne par habitant (Collet, 2013). La première étape de répartition de la population saisonnière et permanente au sein du bassin versant va donc servir de socle aux différents calculs des empreintes eau. Tous les calculs ont été établis selon l'estimation de l'ADEME qui définit la consommation moyenne d'eau en France à 148 litres par jour et par personne.

De la population permanente

Les calculs de l'empreinte eau de la population permanente ont été obtenus selon l'équation suivante :

$$\text{Empreinte eau}_{POP_PERM} = \text{nombre d'habitants permanents} * 148 * \text{nombre de jour du mois } x$$

De la population saisonnière

L'empreinte eau de la population saisonnière a été établit de la même manière en considérant qu'une nuitée équivalait à une journée et à une personne :

$$\text{Empreinte eau}_{POP_SAIS} = \text{nombre de nuitées} * 148 * \text{nombre de jour du mois } x$$

3.2.3 Mise en place de l'indice de stress hydrique

L'empreinte eau mensuelle des communes permet de se faire une première idée de la répartition dans le temps et dans l'espace de la demande en eau domestique directe. Néanmoins et tel que critiqué par Pfister (Pfister, 2009) cette empreinte ne tient pas compte des caractéristiques régionales. Aussi, les empreintes eau vont être pondérées par un indicateur de stress hydrique. Il existe de nombreux indicateurs. Parmi ceux-là, seuls 3 fonctionnent à une échelle mensuelle et de ce fait permettent d'observer des variations intra-annuelles. Ce sont eux qui ont été retenus pour notre étude. Néanmoins, faute de disponibilité des données de l'indicateur Hoekstra, les deux indicateurs appliqués lors de cette étude sont le WSI de Pfister et l'indicateur AWARE.

Ces deux indicateurs sont délimités de la même manière selon un maillage $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Le bassin versant de l'Hérault est contenu sur trois mailles au total : une maille nord qui regroupe une petite portion de la zone amont, une maille centrale qui englobe la quasi-totalité du bassin et une maille sud qui recouvre la pointe sud-est (*Figure 12*). À partir du geopackage importé sur Qgis, les communes sont réparties entre ces trois zones. Dans certains cas, les communes sont à cheval entre deux mailles. C'est le cas d'Agde, coupée en moitié entre la maille centrale et la maille sud. Dans ce cas, elle a été intégrée à l'une et l'autre des mailles dans le but de comparer les résultats. Les communes sont divisées en trois tableurs : zone sud, zone centrale et zone nord. Pour finir, les empreintes eau sont pondérées par les coefficients correspondants en fonction de la zone à laquelle elles appartiennent et au mois de l'année.

3.2.4 Création de typologies de communes

Trois échantillons d'une dizaine de communes ont été créés dans la perspective d'analyser des variations particulières de l'empreinte eau en fonction de l'attractivité touristique des communes (*Annexe 5*). Les communes de type 1 ne sont pas très touristiques. Elles ont une faible part de résidences secondaires ($< 25\%$) et pas de lits marchands à disposition. Elles sont

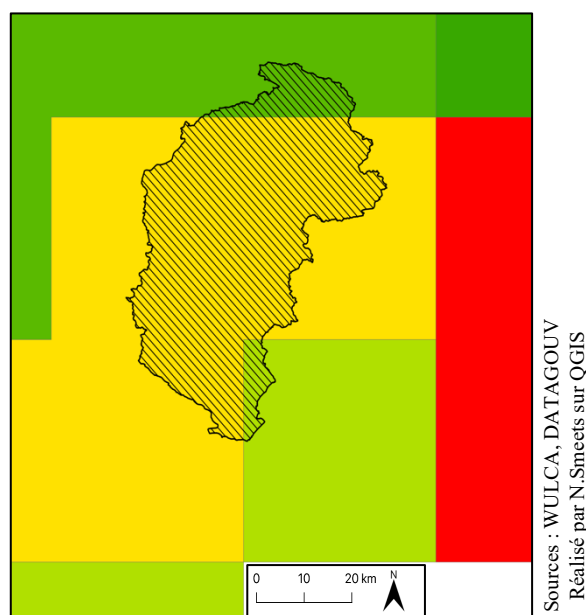


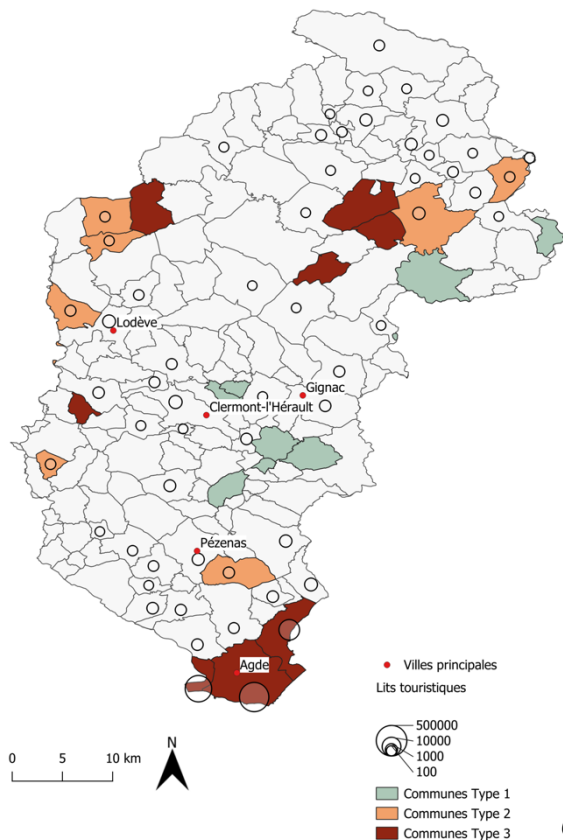
Figure 12 : Division du bassin de l'Hérault en trois mailles

localisées dans la vallée de l'hérault et dans la zone amont-est du bassin (*Carte 6 et Tableau 3*). Les communes de type 2 sont touristiques, ont une part de résidences secondaires comprise entre 25 et 50 %, et accueillent des touristes à hauteur de 100 à 1 000 lits marchands. Elles sont localisées au niveau de la pointe littoral ou dans la partie amont Cévennes et Causses, au niveau des parcs naturels (*Carte 6 et Tableau 3*). Les communes de type 3 sont très touristiques avec un taux de résidences secondaires supérieur à 50 % et / ou au moins 10 000 lits marchands à disposition des touristes (*Carte 6 et Tableau 3*).

Typologies de communes

	Part des résidences secondaires		Nombre de lits touristiques marchands
Communes de Type 1	0	et	0 à 100
Communes de Type 2	De 25 à 50 %	et	100 à 1 000
Communes de Type 3	> 50 %	et/ou	> 10 000

Tableau 3 : Typologie des communes



Carte 6 : Répartition des différents types de communes

Sources : INSEE, DATAGOUV
Réalisé par N.Smeets sur QGIS

4. Résultats

4.1 Les communes touristiques, grandes consommatrices d'eau

4.1.1 Des disparités locales entre l'amont et l'aval du bassin

L'empreinte eau directe des activités domestiques et touristiques du bassin versant est de 16 066 400 m³ par an, allant de 1 126 721 m³ en février à 1 766 375 m³ en août. Les empreintes hydriques les plus importantes sont observées au niveau des grands foyers de populations. Les communes de Lodève, Clermont-l'Hérault, Gignac, Pézenas et Agde, ainsi que leurs environs, se démarquent nettement, avec des valeurs allant de 370 000 m³/an à Gignac à 2 700 000 m³/an à Agde. À l'inverse les zones situées en amont et à l'ouest du bassin affichent des empreintes eau beaucoup plus faibles, variant plutôt de 1 200 à 36 000 m³/an. Cependant, la zone située au niveau de la pointe est, se distingue un peu de ce schéma avec des empreintes plus élevées, autour de 100 000 et 200 000 m³, en raison de la concentration de population autour de Gange. Les disparités spatiales de l'empreinte eau semblent donc dans un premier temps s'adosser à la répartition de la population.

Lorsque l'on observe les variations de l'empreinte eau à échelle du bassin versant il apparaît clairement que la population saisonnière est à l'origine des fluctuations inter-mensuelles (*Figure 13*). Les plus gros volumes sont d'ailleurs enregistrés au mois de juillet et d'août, à la période à laquelle la fréquentation touristique est la plus forte. Néanmoins, la part d'eau domestique attribuée à la population saisonnière ne dépasse pas en moyenne 30% sur le bassin versant. Or, à échelle communale, cette part peut dépasser les 50 % en été et peut aller jusqu'à 70 % pour les villes très touristiques comme Agde. À l'inverse, elle représente une part négligeable pour les communes qui ne reçoivent presque pas de touristes (<10%).

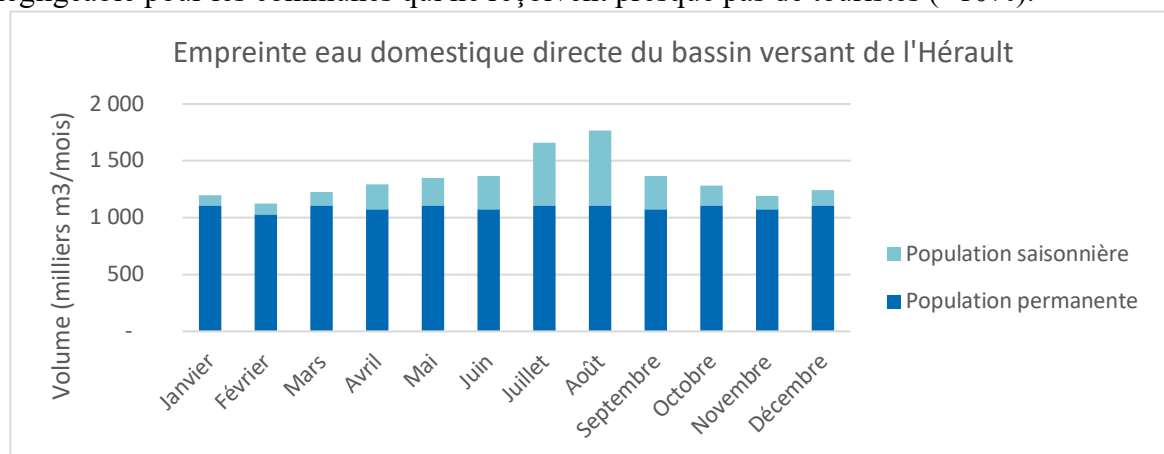


Figure 13 : Répartition de l'empreinte eau du bassin de l'Hérault entre population locale et saisonnière

4.1.2 Des disparités saisonnière : une pression accrue en été

Pour ce qui est des variations saisonnières, toutes les communes observent un pic à l'été et une phase basse en hiver. L'empreinte eau atteint son maximum en août pour l'intégralité des communes et son minimum en février pour la quasi-totalité des communes (97%). Ce résultat permet définitivement de pointer du doigt l'augmentation de l'empreinte eau pendant la période estivale. L'analyse à l'aide des typologies de communes permet de mettre en avant certaines particularités. Tout d'abord, les communes les moins touristiques (type 1) sont moins sujettes aux variations intra-annuelles intenses. La moyenne annuelle de l'empreinte eau de ces communes passe de 8 729 m³ en février à 9 939 m³ en août, soit une augmentation de 13%. Or, bien que les communes touristiques (type 2) aient une empreinte eau annuelle moyenne inférieure à celle des communes de type 1, la variation de cette empreinte entre février et août est de 125%. Pour finir, les communes très touristiques (type 3) ont non seulement une empreinte eau moyenne plus élevée (*Tableau 4*), mais cette dernière augmente également de 140 % entre février et août. Il existe donc une variation intra-annuelle particulièrement marquées dans les zones touristiques.

	Moyenne annuelle (m ³)	Moyenne février (min) (m ³)	Moyenne août (max) (m ³)
Communes de Type 1	9 390	8 729	9 939
Communes de Type 2	3 300	2 411	5 427
Communes de Type 3	37 435	26 623	63 918

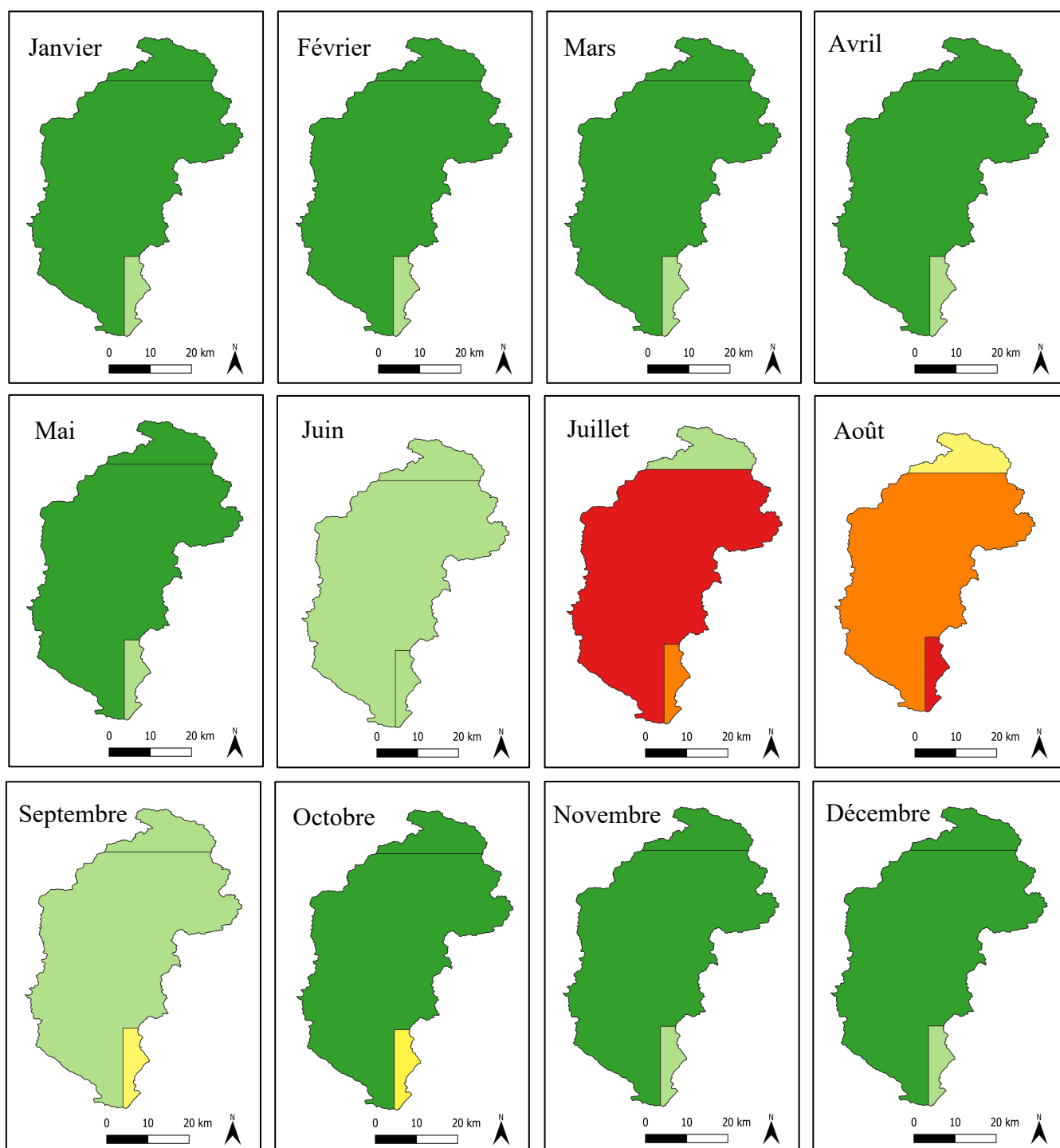
Tableau 4 : Empreinte eau moyenne par typologie de communes

4.2 Un bassin versant vulnérable face à la disponibilité de l'eau en été

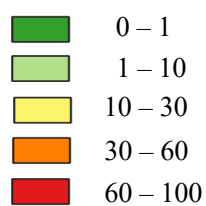
Les deux indicateurs de stress hydrique permettent de mettre en évidence la saisonnalité de la pression exercée sur la ressource en eau. Ils présentent un indice très élevé (de 30 à 100 pour AWARE et 0,6 à 1 pour WSI) pendant la période estivale (*Figure 14 et 15*). Toutefois, la période de pression maximale n'est pas la même pour l'un et l'autre des indicateurs. Pour AWARE elle s'exerce en juillet et en août, tandis que pour WSI, elle se décale d'août à septembre. En dehors de cette période critique, les indicateurs révèlent une certaine stabilité tout au long de l'année avec 7 mois de constance pour AWARE et 8 mois pour WSI.

Les résultats soulignent également une disparité spatiale marquée entre la partie nord du bassin versant et sa région centrale et sud. L'indice de stress hydrique pour la partie nord reste stable 8 mois de l'année pour AWARE et 11 pour WSI. Enfin, l'indicateur AWARE est le seul à mettre en avant une pression sur cette région (>30) en août. La maille centrale, quant à elle, recouvre la quasi-totalité du bassin versant, ce qui rend difficile la mise en évidence des disparités locales de stress hydrique au sein du territoire. Pourtant, une observation plus fine du schéma directeur de la ressource en eau montre que la disponibilité de l'eau et sa distribution sur le territoire varie à échelle locale (*Annexe 3*).

L'indicateur AWARE révèle un stress hydrique prononcé (>30) sur la pointe sud du littoral en juillet et août, avec une pression modérée en septembre et octobre, puis une stabilité le reste de l'année. En revanche, le coefficient WSI demeure inchangé tout au long de l'année alors même que le littoral méditerranéen est en première ligne face au changement climatique.



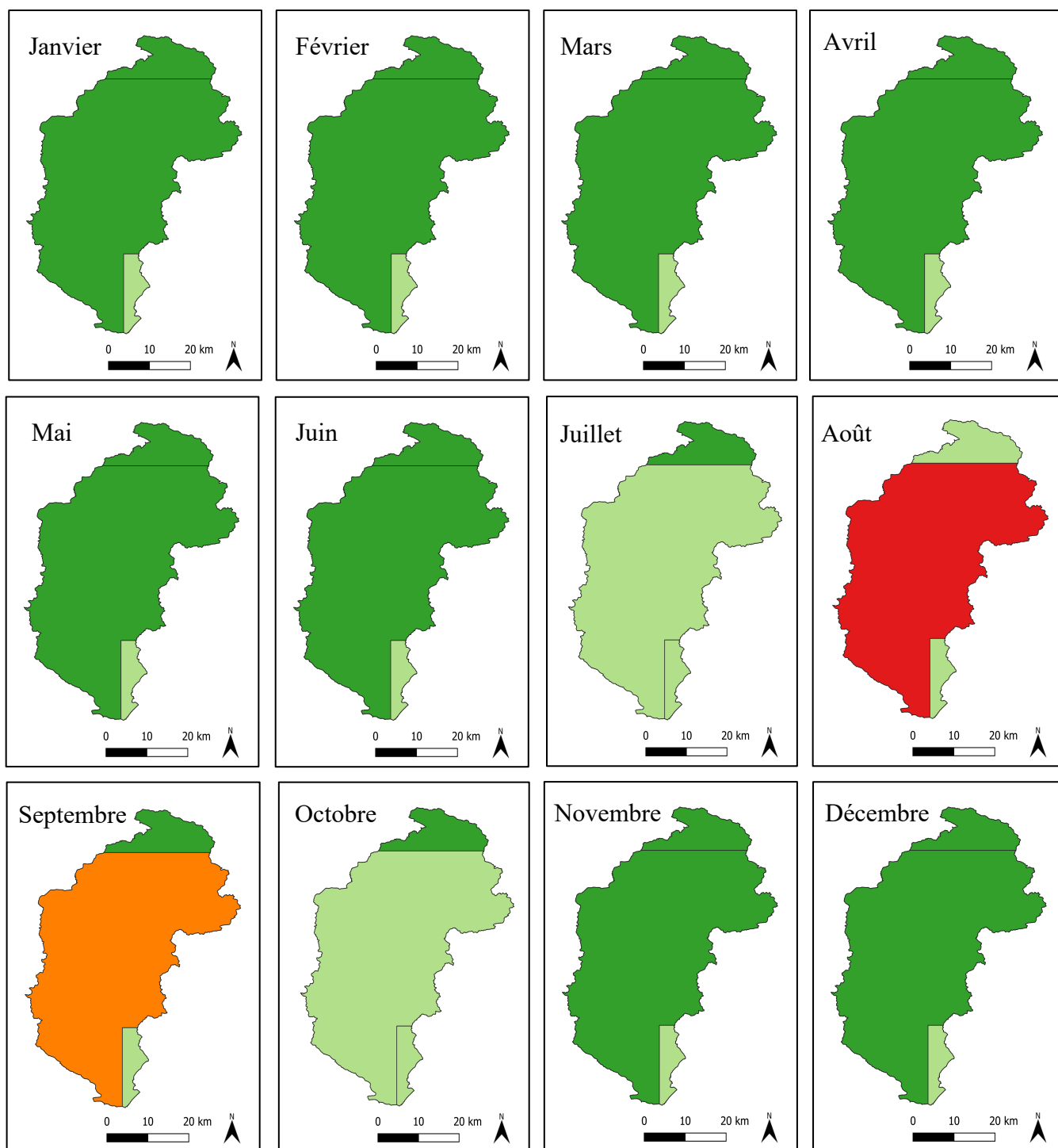
Légende



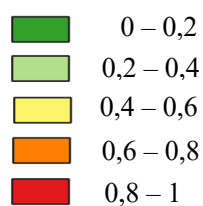
FACTEUR DE CARACTÉRISATION AWARE

Sources : WULCA, DATAGOUV
Réalisation : Qgis, N. SMEETS

Figure 14 : Cartes mensuelles d'évolution de l'indice de stress hydrique sur le bassin de l'Hérault avec l'indicateur AWARE



Légende



FACTEUR DE CARACTÉRISATION WSI (Pfister)

Sources : Université de Zurich, DATAGOUV
Réalisation : Qgis, N. SMEETS

Figure 15 : Cartes mensuelles d'évolution de l'indice de stress hydrique sur le bassin de l'Hérault avec l'indicateur WSI

4.3 Population touristique : une pression uniquement estivale ?

Cette première approche de l'évaluation de l'empreinte eau domestique directe permet déjà d'estimer les variations spatio-temporelles de la demande en eau sur le bassin versant. Néanmoins, on pourrait lui reprocher de ne pas tenir compte des écarts de consommation entre vacanciers et locaux. Or, c'est un sujet mis en avant dans de nombreuses publications (De Stefano, 2004 ; Gössling et al., 2010, 2012, 2015,) qu'il convient de prendre en compte. Si la littérature s'accorde à dire qu'un touriste consomme en moyenne davantage d'eau qu'un habitant local, ces estimations varient néanmoins énormément allant de 84 à 2 000 litres par jour et par touriste (Gössling et al., 2010).

Afin d'analyser les implications d'une consommation d'eau exacerbée par la population touristique, trois scénarios ont été imaginés (*Tableau 5*). Le premier scénario est celui initial sur lequel les premiers résultats ont été basés : tout le monde consomme 148 litres d'eau par jour sans distinction (ADEME). Un deuxième scénario s'appuie sur les estimations de Jean Michel Clerc, chargé de mission et expert en eau de la région Occitanie (2024) : 120 litres pour les locaux et 160 litres pour les saisonniers. Le troisième scénario est basé sur les chiffres de consommation moyenne du bassin versant de l'Hérault délivrés par le Système d'Information Services Publics d'Eau et d'Assainissement (160 litres par jour et par personne) et ceux de Gössling (2012) pour la consommation touristique (370 litres par jour et par personne)

Variables de l'analyse de sensibilité		
	Empreinte eau de la population locale	Empreinte eau de la population saisonnière
Scénario 1	148	148
Scénario 2	120	160
Scénario 3	160	370

Tableau 5 : Présentation des trois scénarios mobilisés pour l'analyse de sensibilité

Les résultats de cette analyse montrent peu de différence entre les scénarios 1 et 2. L'empreinte eau maximale est de l'ordre de 1 700 milliers de m³ pour le scénario 1 et 1 700 milliers de m³ pour le scénario 2. En revanche, le scénario 3 révèle des empreintes mensuelles plus importantes, particulièrement à l'été, pouvant aller jusqu'à dépasser 2 500 milliers de m³. Par la suite, les observations ont plutôt été concentrées sur l'évolution de la part de l'empreinte

eau domestique utilisée par l'une et l'autre des catégories de population. C'est surtout cet aspect qui nous intéresse. En moyenne, la part de l'empreinte eau est comprise entre 30 et 35% pour les deux premiers scénarios, et dépasse les 45% à l'été pour le scénario 3. Ainsi, la pression exercée par les touristes sur l'eau domestique pourrait être exacerbée dans le cas où ces derniers consomment une quantité d'eau bien supérieure à celle des locaux (*Figure 16*)

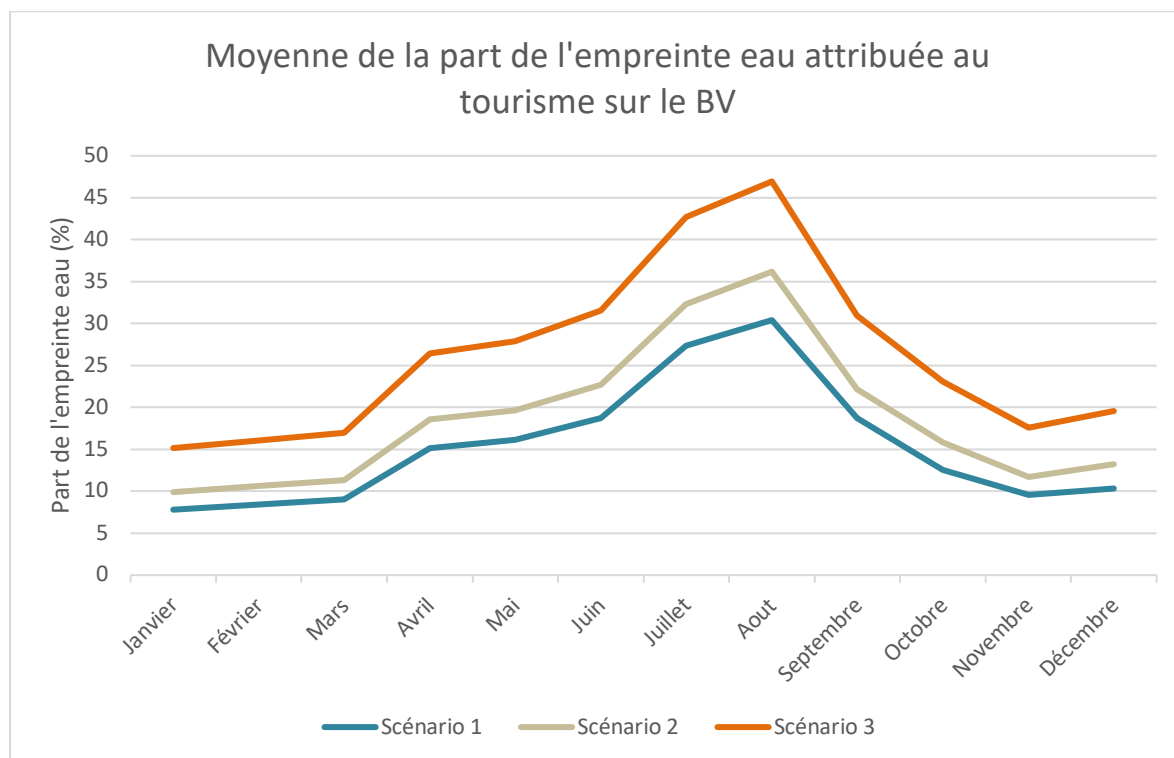


Figure 16 : Moyenne de la part de l'empreinte eau utilisée par la population saisonnière pour les trois scénarios

5. Discussion

5.1 Création de nouvelles données à des échelles spatio-temporelles plus fines

Les chiffres de la consommation d'eau domestique par le secteur touristique sont rares et dilués dans des bilans annuels, ne reflétant pas l'impact local et saisonnier réel (Hadjikakou et al., 2013). Cette étude, en générant des données à l'échelle communale et sur un pas de temps mensuel, met en évidence la pression exercée par les touristes sur la demande en eau, notamment à travers les usages quotidiens dans les hébergements touristiques, marchands ou non-marchands. Cette pression est particulièrement forte sur la partie littorale qui est très touristique. Bien que cette zone ne représente que 3% du bassin versant, elle concentre paradoxalement 60% du volume d'eau domestique distribué sur tout le bassin (EPTB Fleuve Hérault, 2015). En appliquant cette part à l'empreinte eau calculée, on obtient un total de 9 639 milliers de m³ dont 4 000 milliers de m³ répartis uniquement entre les communes d'Agde, de Marseillan et de Vias. Notons également que cette portion du bassin concentre 37% du volume d'eau dédié à l'agriculture sur le bassin (l'EPTB Fleuve Hérault, 2015), accentuant les risques de conflits d'usages.

Le rapport d'élaboration du schéma directeur de la ressource en eau sur l'EPTB du fleuve Hérault estime le volume d'eau domestique distribué à 15 090 milliers de m³ contre 16 066 milliers de m³ avec la méthodologie empreinte eau, soit un écart de 6%. Cependant, ces chiffres ne tiennent pas compte de la part utilisée pour les usages publics (arrosage des jardins publics, nettoyage des voiries, l'utilisation par les établissements publics) et privés (commerces et industries) qui pourraient représenter 30 à 40 % de la consommation (Montginoul et al. 2017). Cela creuse encore l'écart entre les chiffres du schéma directeur et ceux de notre étude. Toutefois, les résultats de l'EPTB sont également des estimations établies à partir de consommations moyennes connues, étendues à l'ensemble de la population, sans prendre en compte les spécificités sociales, économiques et politiques des territoires.

Ces résultats permettent ainsi d'estimer la consommation moyenne domestique par commune sans pour autant prendre en considération tous les facteurs de variations de cette consommation. L'éventail de l'estimation de la consommation moyenne d'eau en France est grand (*Annexe 1*). Il témoigne de la difficulté à appliquer une consommation moyenne à un ensemble hétérogène de populations. En effet, la consommation est influencée par de nombreux

facteurs. Ils peuvent être d'ordre économique comme le prix de l'eau dans la commune, les revenus par foyers, etc. (Neverre et al., 2010). Mais peuvent aussi dépendre des modes de vie, comme l'âge, la composition des foyers, la pratique d'un sport, etc. (Euzen, 2004 ; Barbier, 2013 ; Beslay et al., 2014). Aussi, si l'on estime que les politiques de gestion de l'eau, afin d'être efficaces, doivent être développées localement et en accord avec le contexte spécifique de pression et d'interaction, (Hadjikakou et al., 2013), l'empreinte eau ne permet pas encore d'explorer avec suffisamment de finesse ces interactions

Pour finir, l'empreinte eau n'a pu être calculée que pour les communes du bassin versant situées dans le département de l'Hérault, faute de disponibilité des données. Cela équivaut à 150 communes sur les 166 du bassin versant, ce qui demeure un échantillon représentatif. Enfin, l'estimation du nombre de nuitées par commune est réalisée « toutes choses étant égales par ailleurs » et ne prend pas en considération les variations de fréquentation d'un établissement à l'autre. Or, il est fort probable que certains établissements soient davantage visités que d'autres, notamment en fonction de l'attractivité du territoire.

5.2 Le stress hydrique, une donnée essentielle à l'évaluation de l'empreinte eau mais en cours de perfectionnement

L'évaluation du stress hydrique sur le bassin versant, réalisée à partir des méthodologies Pfister et AWARE (Pfister, 2009 ; WULCA, 2016), apporte une dimension régionale aux calculs d'empreinte eau. Bien que les résultats diffèrent d'une méthodologie à l'autre, ils révèlent tous deux la nature saisonnière du stress hydrique : faible en hiver et élevé durant les mois d'été. L'indicateur AWARE identifie un stress maximal en juillet et en août, tandis que celui de Pfister le place plutôt en août et septembre. Il serait intéressant de se pencher sur les raisons de ce décalage. Quoi qu'il en soit, le croisement de l'empreinte eau et des indicateurs de stress hydrique révèle que c'est au cours de cette saison que le bassin versant cumule toutes les difficultés liées à l'eau : besoin croissant d'eau pour l'irrigation en période sèche, demande accrue d'eau potable due au tourisme et baisse de la disponibilité de l'eau en raison de la sécheresse.

Si la répartition saisonnière du stress hydrique est clairement mise en avant à échelle du bassin versant, elle manque néanmoins de précision à échelle locale. La quasi-totalité du bassin est contenue dans une seule maille, ne permettant pas d'observer de distinction à échelle communale. Cela souligne l'importance d'intégrer des données locales aux indicateurs, afin de

développer des outils pertinents, respectant au mieux les réalités hydriques du terrain. Par exemple, la ville d'Agde se trouve divisée en deux mailles distinctes, ce qui ne correspond pas à l'unité administrative du territoire, alors que c'est à cette échelle que sont prises les décisions de gestion de l'eau. Dans ce cas, l'indicateur semble suivre un gradient ouest-est, qui n'est pas approprié au fonctionnement météorologique et géologique du bassin. En revanche, les distinctions entre la maille centrale et la maille nord semblent davantage respecter la logique nord-sud du bassin : un nord plus humide avec de faibles températures et un sud plus chaud et sec. En définitive, il semblerait que l'utilisation des indicateurs de stress hydrique AWARE et WSI soit plus pertinente à grande échelle qu'au niveau local. Néanmoins, de nouveaux modèles ont vu le jour depuis et pourraient pallier ce problème d'appréhension des disparités locales de disponibilité de la ressource (Wada et al., 2017 ; Burek et al., 2020). C'est le cas par exemple du Community Water Model (CWatM) qui intègre des données locales et journalières en open-source, et permet ainsi d'adapter le modèle aux spécificités de chaque territoire. Il prend davantage en considération l'interaction de l'Homme avec l'hydrosystème et intègre des informations variées telles que les politiques de gestions locales, la régulation des barrages, l'urbanisation et les changements d'occupation du sol, la qualité des réseaux d'assainissement, etc. Cette nouvelle génération de modèle semble également plus facilement utilisable par les acteurs du territoire.

Enfin, pour la maille sud, le coefficient WSI reste constant tout au long de l'année : 0,3850. Il semblerait que cela soit dû à la grande superficie de mer contenue dans cette maille. D'autres mailles, également situées au bord littoral et constituées d'une faible portion de terre, confirment cette tendance (mailles N° 30 400, 30 783, 31 164, ...).

5.3 Les résidences secondaires : enjeu fort de la gestion de l'eau

L'analyse par typologie de commune révèle les variations entre la consommation d'eau des populations locales et saisonnières. Dans les communes où les résidences secondaires représentent plus de 50% des logements, l'empreinte eau connaît un pic significatif en été, du fait de l'afflux de la population non permanente. Dans certains cas, l'empreinte eau saisonnière surpasse même celle locale, créant de ce fait des problématiques de gestion (approvisionnement, traitement, financement). Bien que la corrélation entre la consommation d'eau potable et la capacité d'hébergements touristiques (hôtels et campings) ne soit pas encore prouvée, l'importance du parc de résidences secondaires est quant à lui déterminant. Une étude

économetrique menée sur la demande en eau potable du département de l'Hérault indique que la consommation communale moyenne croît lorsque le nombre de résidences secondaires par habitant augmente (Neverre et al., 2010). De plus, les résidences secondaires, notamment sur la côte méditerranéenne, se distinguent par un nombre élevé de piscines privées, souvent de grande taille, avec une influence directe sur la consommation en eau domestique (Morote et al., 2016). Par exemple, les communes ultra-touristiques d'Agde, de Marseillan et de Vias sont parmi celles qui possèdent le plus de piscines privées sur le bassin versant : respectivement 2 414, 757 et 598 (INSEE, 2021).

La pression exercée par l'afflux de la population touristique à l'été est importante, même lorsque l'on considère qu'elle consomme en moyenne la même quantité d'eau que la population locale. L'analyse de sensibilité permet de pousser la réflexion plus loin et de projeter les conséquences d'une consommation excessive de la part des touristes (370 litres en moyenne par jour). Le scénario 3 met en avant la difficulté d'approvisionnement en eau qui pourrait survenir dans ce cas de figure. La part d'eau domestique consommée par les touristes pourrait aller jusqu'à 90% au mois d'août. Ces estimations pourraient encore être approfondies, notamment en distinguant plusieurs catégories de touristes, avec différents usages. Les statuts des usagers temporaires du littoral sont variés : entre le touriste occasionnel et le résident secondaire régulier, remettant en question l'existence d'une seule population touristique (Vacher et Vye, 2012).

5.4 L'accessibilité des données relatives à l'eau : le cheval de bataille de la recherche

Les données relatives à l'eau permettent une meilleure compréhension de l'utilisation de la ressource et par conséquent sont des clés d'amélioration de sa gestion. Néanmoins, aujourd'hui la production et le partage de telles données sont rendus difficiles par différents facteurs. Il est possible que le manque d'attention portée au lien entre utilisation de l'eau et tourisme puisse aussi être attribué à ce manque de données disponibles (Gössling, 2002). Qui plus est, il existe un large éventail d'utilisateurs de l'eau qui ne sont pas tous soumis aux mêmes règles de partage des données relatives au prélèvement, à l'utilisation et au rejet des eaux. Certaines données sont donc rendues plus opaques que d'autres. Enfin, il n'existe pas de plateforme unique sur laquelle les données pourraient être consultables. Il faut par conséquent jongler entre les différentes instances utilisatrices pour récupérer un ensemble de données. Ces

données ne sont pas standardisées et ne peuvent pas toujours être comparées ou unifiées par manque de correspondance des échelles ou des unités.

Conclusion

Le Plan d'Adaptation au Changement Climatique dans le domaine de l'eau du Bassin Rhône Méditerranée (BRM), publié en 2014, place le bassin versant de l'Hérault comme vulnérable face à la disponibilité de l'eau. Il nécessite de ce fait des actions fortes et ciblées d'adaptation au changement climatique. Or, afin de mettre en place des politiques de gestion adaptées, il convient dans un premier temps de connaître les dynamiques et les enjeux territoriaux relatifs à la ressource en eau. L'objectif de ce mémoire était de mettre en avant ces dynamiques sous le prisme de l'occupation touristique. Cette réflexion a été motivée par le constat suivant : les restrictions mises en place par les arrêtés sécheresse mettent essentiellement en compétition les usages agricoles et les usages domestiques. Il semblait donc intéressant d'aller observer la pression exercée sur la ressource en eau domestique par la population touristique ainsi que d'évaluer son intensité dans le temps et dans l'espace.

Lors de cette étude, de nouvelles données d'occupation touristique ont été produites à l'échelle du bassin versant. Elles ont l'avantage d'avoir été générées à une maille communale et selon un pas de temps mensuel, permettant une meilleure observation des dynamiques spatiales et temporelles de l'occupation du territoire, et par extension, de la demande en eau domestique. Cette approche a permis de mettre en avant les effets de saisonnalité de la consommation d'eau domestique par la population touristique. Elle a également révélé des dynamiques extrêmes, dans les communes ultra-touristiques du littoral, mais aussi dans les communes détenant un fort taux de résidences secondaires (< 50%). Toutefois, les communes littorales sont parmi les plus vulnérables en été. Elles cumulent une démultiplication de leur population conjuguée à un stress hydrique critique. À l'inverse, les communes peu touristiques et peu peuplées en amont et à l'ouest du bassin sont moins exposées, et à la fréquentation touristique, et au stress hydrique, avec une exception pour les communes détenant un fort taux de résidences secondaires. Ces communes sont essentiellement réparties au niveau des Cévennes. Il s'agit d'un territoire qui a été délaissé par la population locale, préférant s'installer dans la vallée de l'Hérault, à proximité des axes de communications ainsi que des services et des commerces. Toutefois, il semble offrir un lieu de vie attrayant dans le cadre des vacances, du fait de sa proximité avec la nature et le parc naturel régional, mais aussi grâce à sa faible fréquentation et au calme qu'il offre.

Cette étude est une première étape vers la compréhension de l'impact du tourisme sur la ressource en eau domestique. Elle permet d'élargir l'application de la méthodologie de l'empreinte eau au domaine touristique, perspective peu développée jusqu'à ce jour.

Néanmoins, certains aspects tels que la qualité de l'eau n'ont pas été considérés. Pourtant, le tourisme, notamment à travers les activités de baignades, participe à la dégradation de la qualité de l'eau. Il convient donc de favoriser à la fois les approches quantitatives et les approches qualitatives afin d'appréhender chaque situation dans sa complexité et en tenant compte de nombreuses variabilités spatiales et temporelles, objectives et subjectives, toutes dépendantes des activités humaines. (Euzen, 2012).

Bien que les indicateurs de stress hydrique aient été pertinents à observer, en corrélation avec l'empreinte eau, ils nécessitent encore quelques perfectionnements. Ils sont utiles pour mettre en évidence une dynamique globale. Ils confirment par exemple l'existence d'une pression saisonnière sur la ressource en eau. Néanmoins ils manquent de finesse au niveau local, confirmant la difficulté à prendre en considération, à la fois les enjeux globaux et locaux, de la pression du tourisme sur la ressource en eau (Hadjikakou 2012). Cette étude permet donc de mettre en perspective les enjeux d'échelle et souligne l'importance de jongler entre les différentes échelles spatiales et temporelles afin de cerner au mieux les enjeux.

Enfin, cette étude ne permet pas d'observer les impacts du tourisme sur l'ensemble de la consommation d'eau potable. En effet, une part de la consommation d'AEP est répartie entre des utilisateurs publics (mairies, écoles, jardins publics, ...) et privés (usines, commerces), pour lesquels l'estimation de la consommation est difficile. Pour autant, l'ajout de ces estimations au calcul de l'empreinte eau pourrait être envisagé par le futur, notamment à l'aide du document d'estimation des consommations publiques et privées mis en ligne sur le site de GEST'EAU (*Annexe 5*).

Pour conclure, la méthodologie empreinte eau présente l'avantage d'être facilement applicable, et pourrait de ce fait être reprise par les gestionnaires locaux, afin de mieux cerner les enjeux spécifiques à leur territoire. L'indicateur AWARE, bien qu'encore perfectible, semble être le plus adapté pour traduire les variations locales de stress hydrique et apporte une contribution essentielle à la compréhension globale des enjeux de disponibilité et de demande en eau. Les résultats de cette étude montrent que la gestion de l'eau domestique ne peut se faire sans intégrer l'influence de l'occupation touristique sur la consommation d'eau. En effet, la part d'eau domestique consommée par la population touristique est significative et ne peut être mise de côté. Aussi, cette étude met en lumière une nouvelle dimension des conflits d'usages à venir, qui se manifeste au sein même de la catégorie d'eau domestique, entre la population locale et saisonnière.

Bibliographie

- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., & Siebert, S. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 317-337. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.317.45290>
- Allan, J. A. (1998). Virtual Water : A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. *Groundwater*, 36(4), 545-546. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>
- Allan, J. A. (2008). *The Middle East water question : Hydropolitics and the global economy* (Pbk. ed., repr). I.B. Tauris.
- Anne-Marie Boulay. (2013). *Développement méthodologique et application du concept de l'empreinte eau en ACV*. École Polytechnique de Montréal.
- Barbier. (2013) Le consommateur d'eau : esquisse de portrait. *Sciences Eaux & Territoires*, 10, p. 28 - p. 35.
- Barraqué, B., Isnard, L., Montginoul, M., Rinaudo, J.-D., & Souriau, J. (2011). Baisse des consommations d'eau potable et développement durable: *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 63(3), 102-108. <https://doi.org/10.3917/re.063.0102>
- Beslay, C., Gournet, R., Zelem, M.-C., Lagogué, M.-J., Beaumont, C., Olagne, R., Chamignon, D., 2014, L'optimisation des pratiques sociales en matière d'Eau Chaude Sanitaire (ECS), un enjeu pour les politiques publiques de maîtrise de l'énergie, Rapport d'études ADEME
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., Margni, M., Motoshita, M., Núñez, M., Pastor, A. V., Ridoutt, B., Oki, T., Worbe, S., & Pfister, S. (2018). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints : Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2), 368-378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Boulay, A.-M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschênes, L., & Margni, M. (2011). Categorizing water for LCA inventory. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(7), 639-651. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0300-z>
- Boulay, A.-M., Bulle, C., Bayart, J.-B., Deschênes, L., & Margni, M. (2011). Regional Characterization of Freshwater Use in LCA : Modeling Direct Impacts on Human Health. *Environmental Science & Technology*, 45(20), 8948-8957. <https://doi.org/10.1021/es1030883>
- Boulay, A.-M., Hoekstra, A. Y., & Vionnet, S. (2013). Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. *Environmental Science & Technology*, 47(21), 11926-11927. <https://doi.org/10.1021/es403928f>

- Bréthaut, C. (2013). Le fonctionnement du réseau d'eau d'une station touristique : Spécificités et réinterprétation locale des règles: *Flux*, N° 92(2), 36-46. <https://doi.org/10.3917/flux.092.0036>
- Burek, P., Satoh, Y., Kahil, T., Tang, T., Greve, P., Smilovic, M., Guillaumot, L., Zhao, F., & Wada, Y. (2020). Development of the Community Water Model (CWatM v1.04) – a high-resolution hydrological model for global and regional assessment of integrated water resources management. *Geoscientific Model Development*, 13(7), 3267-3298. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3267-2020>
- Carré, E., Beigbeder, J., Jauzein, V., Junqua, G., & Lopez-Ferber, M. (2017). Life cycle assessment case study : Tertiary treatment process options for wastewater reuse. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(6), 1113-1121. <https://doi.org/10.1002/ieam.1956>
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. In: Value of Water Research Report Series No. 13. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., (2004). Water footprints of nations. In: Value of Water Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Chapagain, A. K., & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources : A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 1219-1228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006>
- Collet, L. (2013). Capacité à satisfaire la demande en eau sous contraintes climatique et anthropique sur un bassin méditerranéen.
- De Stefano, L. (2010). Facing the water framework directive challenges : A baseline of stakeholder participation in the European Union. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1332-1340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.014>
- Emmanuel, K., & Spence, B. (2009). Climate change implications for water resource management in Caribbean tourism. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 1(3), 252-268. <https://doi.org/10.1108/17554210910980594>
- Essex, S., Kent, M., & Newnham, R. (2004). Tourism Development in Mallorca : Is Water Supply a Constraint? *Journal of Sustainable Tourism*, 12(1), 4-28. <https://doi.org/10.1080/09669580408667222>
- Euzen. Agathe (2004) Que se cache-t-il derrière les courbes de consommation d'eau ? L'exemple de Paris. 15èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - Usages de l'eau : synergies et conflits, Créteil, France. hal-00686872

- Falkenmark, M.,(1995). Land-water linkages: A synopsis. Dans FAO Land and Water Bulletin No. 1. *Land and Water Integration and River Basin Management* ;
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2005). *Balancing water for humans and nature : The new approach in ecohydrology* (Repr). Earthscan.
- Favre, M., & Montginoul, M. (2020). Comment observer de façon optimale la consommation en eau potable ? Le cas de Nantes Métropole. *Techniques Sciences Méthodes*, 1-2, 29-42.
<https://doi.org/10.36904/tsm/201901028>
- Gössling, S. (2001). The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island : Zanzibar, Tanzania. *Journal of Environmental Management*, 61(2), 179-191.
<https://doi.org/10.1006/jema.2000.0403>
- Gössling, S., Peeters, P., Ceron, J.-P., Dubois, G., Patterson, T., & Richardson, R. B. (2005). The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 54(4), 417-434.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.006>
- Gössling, S., 2006. Tourism and water. In: Gossling, S., Hall, C.M. (Eds.), *Global Environmental Change, Ecological, Social, Economic and Political Interrelationships*. Routledge, Abingdon, pp. 180e194.
- Gössling, S., Hall, C. M., Peeters, P., & Scott, D. (2010). The Future of Tourism : Can Tourism Growth and Climate Policy be Reconciled? A Mitigation Perspective. *Tourism Recreation Research*, 35(2), 119-130. <https://doi.org/10.1080/02508281.2010.11081628>
- Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, J.-P., Dubois, G., Lehmann, L. V., & Scott, D. (2012). Tourism and water use : Supply, demand, and security. An international review. *Tourism Management*, 33(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.015>
- Hadjikakou, M., Chenoweth, J., & Miller, G. (2013). Estimating the direct and indirect water use of tourism in the eastern Mediterranean. *Journal of Environmental Management*, 114, 548-556. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.002>
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations : Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35-48.
<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Hoekstra, A.Y., 2003. Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12. IHE Delft, Delft, The Netherlands.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). *Globalization of Water : Sharing the Planet's Freshwater Resources* (1^{re} éd.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470696224>

- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (Éds.). (2011). *The water footprint assessment manual : Setting the global standard*. Earthscan.
- Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M., Chapagain, A. K., Mathews, R. E., & Richter, B. D. (2012). Global Monthly Water Scarcity : Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE*, 7(2), e32688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2002). Virtual Water Trade : A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to Crop Trade. *Natural Ressources*, 6(1).
- Holden, A., & Fennell, D. A. (Éds.). (2013). *The Routledge handbook of tourism and the environment*. Routledge.
- Loiseau, E., Roux, P., Junqua, G., Maurel, P., & Bellon-Maurel, V. (2013). Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), 1533-1548. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0588-y>
- Loubier, S., Rinaudo, J. D., Garin, P. & Boutet, A. (2003). Préparer la participation du public à l'échelle des bassins versants. Comparaison de trois méthodes appliquées au bassin versant de l'Hérault. In : Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant. Actes de l'atelier du PCSI. Montpellier, France : Le Goulven P., Bouarfa S., Kuper M. 13 p.
- Maresca, B., Poquet, G., Pouquet, L. et Ragot, K. (1997). L. L'eau et les usages domestiques. Comportements de consommation de l'eau dans les ménages , *Cahier de Recherche CREDOC*, 104.
- MEDSTAT II « water and tourism » pilot study*. (2009). Office for Official Publications of the European Communities.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Morote, Á.-F., Hernández, M., & Rico, A.-M. (2016). Causes of Domestic Water Consumption Trends in the City of Alicante : Exploring the Links between the Housing Bubble, the Types of Housing and the Socio-Economic Factors. *Water*, 8(9), 374. <https://doi.org/10.3390/w8090374>
- Müller Schmied, H., Eisner, S., Franz, D., Wattenbach, M., Portmann, F. T., Flörke, M., & Döll, P. (2014). Sensitivity of simulated global-scale freshwater fluxes and storages to input data, hydrological model structure, human water use and calibration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3511-3538. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3511-2014>

- Nauges, C., & Thomas, A. (2000). Privately Operated Water Utilities, Municipal Price Negotiation, and Estimation of Residential Water Demand : The Case of France. *Land Economics*, 76(1), 68. <https://doi.org/10.2307/3147258>
- Neverre, N., Rinaudo J-D et Montginoul, M. (2010) Étude de la demande en eau potable : résultats d’une analyse économétrique dans le département de l’Hérault en 2006. Rapport BRGM/RP 59056-FR 85P
- Opperman, J. J., Kendy, E., Tharme, R. E., Warner, A. T., Barrios, E., & Richter, B. D. (2018). A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 76. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00076>
- Pastor, A. V., Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H., & Kabat, P. (2014). Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 5041-5059. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5041-2014>
- Pfister, S., Scherer, L., Boulay, A.-M., Motoshita, M., Núñez, M., Damiani, M., Manzardo, A., Huang, J., Link, A., Bunsen, J., & Berger, M. (2022). Letter to the editor re : “The scarcity-weighted water footprint provides unreliable water sustainability scoring” by. *Science of The Total Environment*, 825, 154108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154108>
- Point, P. (1993). Partage de la ressource en eau et demande d’alimentation en eau potable , *Revue économique*, 4, p. 849-862.
- Richter, B. D. (2010). Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries. *River Research and Applications*, 26(8), 1052-1063. <https://doi.org/10.1002/rra.1320>
- Ridoutt, B. G., & Pfister, S. (2010). Reducing humanity’s water footprint. *Environmental Science & Technology*, 44(16), 6019-6021. <https://doi.org/10.1021/es101907z>
- Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity : Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 5-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>
- Schyns, J. F., & Hoekstra, A. Y. (2014). The Added Value of Water Footprint Assessment for National Water Policy: A Case Study for Morocco. *PLoS ONE*, 9(6), e99705. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099705>
- Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004). A Pilot Global Assessment of Environmental Water Requirements and Scarcity. *Water International*, 29(3), 307-317. <https://doi.org/10.1080/02508060408691785>
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regiments for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fisheries* 1 (4) : 6-10

- Tessman, S.A. (1980). Environmental assessment. Technical Appendix E in: Reconnaissance Elements - Western Dakotas, Regions of South Dakota Study. Water Ressources Research Institute, South Dakota State Institute
- Vanham, Davy, et Mesfin M. Mekonnen. (2021). The scarcity-weighted water footprint provides unreliable water sustainability scoring . *Science of The Total Environment* 756: 143992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143992>.
- Vacher L., Vye D., 2012. Penser l'habiter à travers la pratique des lieux touristiques par les excursionnistes, touristes et résidents, in Frelat-Kahn B., Lazzarotti O. (dir.), *Habiter Vers un nouveau concept*, Paris, Armand Colin, p. 197-210
- Wada, Y., Bierkens, M. F. P., De Roo, A., Dirmeyer, P. A., Famiglietti, J. S., Hanasaki, N., Konar, M., Liu, J., Müller Schmied, H., Oki, T., Pokhrel, Y., Sivapalan, M., Troy, T. J., Van Dijk, A. I. J. M., Van Emmerik, T., Van Huijgevoort, M. H. J., Van Lanen, H. A. J., Vörösmarty, C. J., Wanders, N., & Wheeler, H. (2017). Human–water interface in hydrological modelling : Current status and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(8), 4169-4193. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4169-2017>
- Weng P, Dörfliger N.(2002) Projet PACTES — module: contribution des eaux souterraines aux crues et inondations; site de l'Hérault. BRGM/RP-51718-FR;
- Xu, Z., Chen, X., Wu, S. R., Gong, M., Du, Y., Wang, J., Li, Y., & Liu, J. (2019). Spatial-temporal assessment of water footprint, water scarcity and crop water productivity in a major crop production region. *Journal of Cleaner Production*, 224, 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.108>
- Yang, M., Hens, L., De Wulf, R., & Ou, X. (2011). Measuring tourist's water footprint in a mountain destination of Northwest Yunnan, China. *Journal of Mountain Science*, 8(5), 682-693. <https://doi.org/10.1007/s11629-011-2062-2>
- Yao, K. A. F., Yao, B. K., Belcourt, O., Salze, D., Lasm, T., Lopez-Ferber, M., & Junqua, G. (2021). Mining Impacts Assessment Using the LCA Methodology : Case Study of Afema Gold Mine in Ivory Coast. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(2), 465-479. <https://doi.org/10.1002/ieam.4336>
- Zimmer, D. (2013). *L'empreinte eau : Les faces cachées d'une ressource vitale*. C. L. Mayer.

Webographie

AGUAMOD. (s. d.). AGUAMOD. <http://www.aguamod-sudoe.eu/fr/>, consulté le 10/06/2024

ETH Zürich - Homepage. (s. d.-a). ETH Zürich - Homepage | ETH Zürich. <https://ethz.ch/de.fr.html>, consulté le 20/08/2024

Home - WULCA. (s. d.). WULCA. <https://wulca-waterlca.org>, consulté le 06/08/2024

RECO Occitanie. (s. d.). RECO. <https://reco-occitanie.org>, consulté le 08/07/2024

Table des figures

FIGURE 1 : ÉCHELLES DES POLITIQUES DE GESTION DE L'EAU EN FRANCE	19
FIGURE 2 : ÉVOLUTION DES EXTRACTIONS MONDIALES D'EAU (1900-2018)	22
FIGURE 3 : ÉVOLUTION DES DEPARTEMENTS SOUMIS AUX RESTRICTIONS SECHERESSE EN FRANCE METROPOLITAINE	25
FIGURE 4 : ÉVOLUTION MOYENNE JOURNALIERE SUR LA PERIODE 1961-2010 (A) DES PRECIPITATIONS ET (B) DE LA TEMPERATURE DU BASSIN DE L'HERAULT	27
FIGURE 5 : DEBITS MENSUELS MOYENS DE L'HERAULT DE 2013 A 2023	29
FIGURE 6 : A. CARTE SIMPLIFIEE DE L'USAGE DES SOLS SUR LE BASSIN VERSANT B.C. REPARTITION DES USAGES EN FONCTION DE LA SURFACE OCCUPEE	33
FIGURE 7 : REPARTITION DES SOURCES DE PRELEVEMENTS AU SEIN DU BASSIN DE L'HERAULT	34
FIGURE 8 : VARIATION MENSUELLE DES PRELEVEMENTS AEP	34
FIGURE 9 : SOURCES DE DONNEES UTILISEES ET PROCESSUS D'UNIFORMISATION.....	38
FIGURE 10 : REALISATION DE LA MAILLE COMMUNALE A PARTIR DU ZONAGE TOURISTIQUE	39
FIGURE 11 : REPARTITION DES NUITEES PAR MOIS ET PAR REGION TOURISTIQUE	39
FIGURE 12 : DIVISION DU BASSIN DE L'HERAULT EN TROIS MAILLES	41
FIGURE 13 : REPARTITION DE L'EMPREINTE EAU DU BASSIN DE L'HERAULT ENTRE POPULATION LOCALE ET SAISONNIERE.....	43
FIGURE 14 : CARTES MENSUELLES D'EVOLUTION DE L'INDICE DE STRESS HYDRIQUE SUR LE BASSIN DE L'HERAULT AVEC L'INDICATEUR AWARE.....	46
FIGURE 15 : CARTES MENSUELLES D'EVOLUTION DE L'INDICE DE STRESS HYDRIQUE SUR LE BASSIN DE L'HERAULT AVEC L'INDICATEUR WSI.....	47
FIGURE 16 : MOYENNE DE LA PART DE L'EMPREINTE EAU UTILISEE PAR LA POPULATION SAISONNIERE POUR LES TROIS SCENARIOS	49

Liste des tableaux

TABEAU 1 : METHODOLOGIES D'EVALUATION DU STRESS HYDRIQUE MENSUEL	18
TABEAU 2 : CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX BARRAGES SUR LE BASSIN DE L'HERAULT	30
TABEAU 3 : TYPOLOGIE DES COMMUNES	42
TABEAU 4 : EMPREINTE EAU MOYENNE PAR TYPOLOGIE DE COMMUNES.....	44
TABEAU 5 : PRESENTATION DES TROIS SCENARIOS MOBILISES POUR L'ANALYSE DE SENSIBILITE	48

Liste des cartes

CARTE 1 : A. CARTE DE LOCALISATION DU BASSIN VERSANT B. CARTE TOPOGRAPHIQUE	26
CARTE 2 : GRADIENT CLIMATIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DE L'HERAULT.....	27
CARTE 3 : PRINCIPAUX BARRAGES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'HERAULT	30
CARTE 4 : REPARTITION DE LA POPULATION SUR LE BASSIN DE L'HERAULT	31
CARTE 5 : CAPACITE D'ACCUEIL SUR LE BASSIN DE L'HERAULT.....	31
CARTE 6 : REPARTITION DES DIFFERENTS TYPES DE COMMUNES	42

Table des matières

ÉVALUATION DE L'IMPACT DU TOURISME SUR LA RESSOURCE EN EAU DOMESTIQUE : APPLICATION DE LA METHODOLOGIE EMPREINTE EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE L'HERAULT 1

INTRODUCTION	10
1. ÉTAT DE L'ART	13
1.1 <i>L'empreinte eau : histoire d'un indicateur dynamique</i>	13
1.1.1 Aspects définitionnels	13
1.1.2 Intégrer les variations de disponibilité de l'eau : la naissance des indicateurs de stress hydrique	15
1.2 <i>Une gestion de l'eau soumise au changement climatique</i>	18
1.2.1 Résoudre les problèmes d'échelle de gestion de l'eau : enjeux globaux, réponses locales	18
1.2.2 Le changement climatique, catalyseur des variations de disponibilité de l'eau	20
1.3 <i>Le tourisme et la consommation d'eau domestique : une histoire saisonnière</i>	21
1.3.1 L'eau domestique : une petite part des extractions d'eau globales	21
1.3.2 L'utilisation de l'eau domestique par le secteur touristique : fonctionnement, impacts, enjeux	23
1.3.3 Les conflits d'usages	24
2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'HERAULT	26
2.1 <i>Géographie et climat</i>	26
2.1.1 Un territoire pluriel : du littoral méditerranéen aux Cévennes	26
2.1.2 L'influence du climat méditerranéen	27
2.2 <i>Le fleuve Hérault au centre du territoire</i>	27
2.2.1 Un régime hydrologique divisé en trois unités	27
2.2.2 Un fleuve sous influence anthropique	29
2.3 <i>Occupation du sol et activités humaines</i>	31
2.4 <i>La demande en eau domestique sur le Bassin versant de l'Hérault</i>	33
3. DONNEES, OUTILS, METHODE	35
3.1 <i>Données</i>	35
3.1.1 Données statistiques Hérault Data 2022	35
3.1.2 Données statistiques INSEE recensement 2022	35
3.1.3 Données de l'Observatoire des Territoire 2023	36
3.1.4 Les indices de stress hydrique WSI et AWARE	36
3.1.5 Les données spatiales	36
3.2 <i>Outils et méthodes</i>	37
3.2.1 Calcul de la capacité d'accueil sur le bassin versant	37
3.2.2 Les calculs d'empreinte eau	40
3.2.3 Mise en place de l'indice de stress hydrique	41
3.2.4 Création de typologies de communes	41
4. RESULTATS	43
4.1 <i>Les communes touristiques, grandes consommatrices d'eau</i>	43
4.1.1 Des disparités locales entre l'amont et l'aval du bassin	43
4.1.2 Des disparités saisonnière : une pression accrue en été	44
4.2 <i>Un bassin versant vulnérable face à la disponibilité de l'eau en été</i>	44
4.3 <i>Population touristique : une pression uniquement estivale ?</i>	48
5. DISCUSSION	50
5.1 <i>Création de nouvelles données à des échelles spatio-temporelles plus fines</i>	50
5.2 <i>Le stress hydrique, une donnée essentielle à l'évaluation de l'empreinte eau mais en cours de perfectionnement</i>	51
5.3 <i>Les résidences secondaires : enjeu fort de la gestion de l'eau</i>	52
5.4 <i>L'accessibilité des données relatives à l'eau : le cheval de bataille de la recherche</i>	53
Conclusion	55

Liste des annexes

ANNEXE 1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTES ESTIMATIONS DE CONSOMMATION MOYENNE D'EAU POTABLE EN FRANCE.....	69
ANNEXE 2 : TYPOLOGIES DE TERRITOIRE DU BASSIN DE L'HERAULT	70
ANNEXE 3 : VOLUMES PRELEVES POUR L'AEP PAR SOUS-BASSIN	71
ANNEXE 4 : COEFFICIENTS DE STRESS HYDRIQUE DES MAILLES DU BASSIN VERSANT DE L'HERAULT	72
ANNEXE 5 : ÉCHANTILLONS DE COMMUNES SELON LEUR CAPACITE D'ACCUEIL.....	73
ANNEXE 6 : TABLEAU DES PRINCIPAUX RATIOS UTILES AU CALCUL DE LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE PAR LES ETABLISSEMENTS PUBLICS ET PRIVES	74

**ANNEXE 1: TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTES ESTIMATIONS DE CONSOMMATION
MOYENNE D'EAU POTABLE EN FRANCE**

Consommation eau potable	Territoire	Référence
<i>90m³/hab/an</i>	Bassin versant de l'Hérault	Collet, 2013
<i>115m³/hab/an</i>	Avant 1990	
<i>105m³/hab/an</i>	De 1990 à 2000	
	Après 2000	
<i>71m³/hab/an</i>	France	Chazot et al., 2012
<i>54m³/hab/an</i>	France	ADEME
<i>59m³/hab/an</i>	Département Hérault	Système d'Information
<i>De 38m³/hab/an</i>	Département de la Savoie	Services Publics d'Eau et
<i>à 84m³/hab/an</i>	Département des Alpes Maritimes	d'Assainissement
<i>125m³/abonné/an en moyenne</i>	Communauté d'agglomération de Perpignan Méditerranée	Montginoul et al.,2013
<i>De 88m³/abonné/an</i>	Commune de Villelongue de la Salanque	
<i>à 266m³/abonné/an</i>	Commune de Canet en Roussillon	
<i>120m³/hab/an</i>	Arrière-pays du bassin versant de l'Hérault	Jean Michel Clerc, 2024 communication personnelle
<i>117m³/abonné/an</i>	France entière	Favre et al.2020

ANNEXE 2 : TYPOLOGIES DE TERRITOIRE DU BASSIN DE L'HERAULT

	Amont	Portion médiane	Aval
Caractéristiques climatiques	1200 à 1400 mm/an De 7 à 11 degrés	800 à 1000 mm/an 13 degrés	500 à 800 mm/an 15 degrés
Caractéristiques géologiques	Domaine socle schistes et granites Peu perméable	Réservoirs karstifiés Très perméable	Plaine alluviale Échanges avec la nappe
Débit Min	0,6 m ³ /s	2,2 m ³ /s	0,9 m ³ /s
Débit Max	4,7 m ³ /s	40,4 m ³ /s	56,1 m ³ /s
Débit Moyen	2,2 m ³ /s	18,4 m ³ /s	24,5 m ³ /s
Apports	Arre	Vis, Buèges	Lergue, Dourbie, Boyne, Peyne, Thongue
Ouvrages		Barrage Bertrand, Barrage de Belbezet	Barrage de la Meuse, Canal de Gignac, Canal du midi

ANNEXE 3 : VOLUMES PRELEVES POUR L'AEP PAR SOUS-BASSIN

Source : EPTB Fleuve Hérault, 2015

Sous-bassin	Nombre moyen d'habitants	Volume prélevé (milliers m ³ /an)	Part du volume total prélevé	Volume distribué (milliers m ³ /an)
A L'Arre	10 103	1 110	3%	660
B La Boyne	2 366	270	1%	160
H1 L'Hérault amont	2 897	320	1%	120
H2 L'Hérault entre l'Arre et la Vis	503	60	<1%	30
H3 L'Hérault de la Vis à Moulin Bertrand	17 940	1 600	4%	1 160
H4 L'Hérault de Moulin Bertrand au Pont du Diable	655	70	<1%	40
H5 L'Hérault du Pont du Diable à la Lergue	22 760	2 220	6%	1 490
H6 L'Hérault entre la Lergue et la Boyne	20 669	2 110	5%	1 360
H7 L'Hérault entre la Boyne et la Thongue	11 749	960	2%	720
H8 L'Hérault aval	54 814*	23 850	60%	5 660
L1 La Lergue amont	11 515	1 660	4%	780
L2 La Lergue aval	12 719	1 310	3%	730
P La Peyne	16 378	2 270	6%	1 090
T La Thongue	14 533	1 430	4%	950
V La Vis	2 273	280	1%	130
Total	201 873	39 520	100%	15 090

* Sont pris en compte uniquement les habitants du bassin versant, et non les habitants desservis par le SBL hors bassin.

**ANNEXE 4 : COEFFICIENTS DE STRESS HYDRIQUE DES MAILLES DU BASSIN VERSANT DE
L'HERAULT**

	CF AWARE			CF WSI		
	Zone Nord (5360)	Zone centrale (5589)	Zone Sud (5590)	Zone Nord (29586)	Zone centrale (31 157)	Zone Sud (31 158)
Janvier	0,37	0,25	4,51	0,0146	0,0145	0,3850
Février	0,45	0,27	4,21	0,0132	0,0137	0,3850
Mars	0,47	0,40	3,72	0,0131	0,0148	0,3850
Avril	0,52	0,50	4,29	0,0143	0,0198	0,3850
Mai	0,64	0,77	5,56	0,0166	0,0304	0,3850
Juin	1,60	2,06	7,54	0,0257	0,0806	0,3850
Juillet	7,94	100	47,40	0,068	0,3675	0,3850
Août	14,72	36	95,38	0,1674	0,8495	0,3850
Septembre	3,18	2,04	17,97	0,3402	0,9833	0,3850
Octobre	0,97	0,48	11,69	0,1538	0,2909	0,3850
Novembre	0,53	0,27	7,88	0,0375	0,0537	0,3850
Décembre	0,40	0,23	5,21	0,0172	0,0182	0,3850

ANNEXE 5 : ÉCHANTILLONS DE COMMUNES SELON LEUR CAPACITE D'ACCUEIL

Communes de type 1					
Code postal	Nom	Population	Part RS	Lits marchands	NB_piscines
34078	Claret	1695	4	0	180
34274	Saint-Martin-de-Londres	2759	6	0	326
34328	Vendémian	1151	3	0	135
34222	Puilacher	638	6	0	80
34210	Le Pouget	2099	6	0	207
34194	Paulhan	4031	5	0	328
34076	Ceyras	1382	6	0	163
34343	Viols-le-Fort	1226	2	0	144
34163	Montarnaud	4164	0	0	591
34254	Saint-Félix-de-Lodez	1149	4	0	169

Communes de type 2					
Code postal	Nom	Population	Part RS	Lits marchands	NB_piscines
34171	Montoulieu	176	30	196	15
34042	Brissac	599	37	1034	60
34056	Castelnau-de-Guers	1215	36	496	112
34064	Le Caylar	465	26	190	10
34253	Saint-Félix-de-l'Hérès	33	31	112	1
34205	Les Plans	305	27	400	43
34144	Lunas	670	36	184	41
34104	Fos	128	30	212	13

Communes de type 3					
Code postal	Nom	Population	Part RS	Lits marchands	NB_piscines
34238	Saint-André-de-Buèges	43	56	0	10
34195	Pégairolles-de-Buèges	56	56	0	1
34115	Gorniès	110	55	0	12
34150	Marseillan	7643	62	14134	757
34003	Agde	29103	68	44040	2414
34332	Vias	5882	47	32608	598
34091	Le Cros	57	60	0	5
34156	Mérifons	52	57	0	12
34093	Dio-et-Valquières	149	53	0	35

ANNEXE 6 : TABLEAU DES PRINCIPAUX RATIOS UTILES AU CALCUL DE LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE PAR LES ETABLISSEMENTS PUBLICS ET PRIVES



Le tableau suivant donne les principaux ratios connus à ce jour, avec des remarques permettant d'apprécier leur amplitude ou leur domaine d'emploi :

TYPE D'ETABLISSEMENT	RATIO	REMARQUES
Employé administratif dans un bâtiment de faible capacité (5 à 30 employés)	30 à 50 litres / jour et employé 4l/j/m ² de bureau	s'applique à des bureaux recevant peu de public. Peut aussi correspondre à la consommation stricte des sanitaires d'un employé de bureau.
	100 à 150 litres / jour et employé	Ce ratio s'applique plutôt aux grands ensembles de bureaux multiservices (cantine, climatisation, réception de nombreux visiteurs, arrosage..). Il est souvent présenté, à tort, par rapport au précédent ratio comme correspondant aux bureaux climatisés. En effet, tous les types de climatisation ne consomment pas beaucoup d'eau, et d'autres postes de consommation peuvent expliquer la différence.
Scolaire	3 à 4 m ³ / an et élève 3.2 m ³ /an/collégien (étude CG33)	Peut aller jusqu'à 6 m ³ /an/élève, pour les établissements techniques ou les laboratoires universitaires.
Centre de vacances (avec hébergement) CLSH	100 à 150 litres / jour et personne 20 à 30 litres / jour et personne	
Arrosage des espaces verts	arbuste ou vivaces : 4 l/m ² gazon : 2.6 l/m ² fleurs, annuelles : 5.3 l/m ²	Ces données moyennes peuvent varier de l'ordre de 20 à 40% en fonction de la nature du sol (besoin en eau supérieur si sol sableux par rapport à un sol argileux), à l'exposition au vent... La consommation d'eau peut être optimisée par un ajustement de doses au plus juste des besoins des plantes et de la pluviométrie (gain : environ - 30 % par rapport à ce ratio moyen)
Activités sportives sans douche	15 à 35 litres / personne	A rapporter au nombre de pratiquants réguliers
Activités sportives avec douche	50 à 90 litres / personne	A rapporter au nombre de pratiquants réguliers
Stade nautique/piscine	50 à 200 litres / baigneur	80 à 120 litres / baigneur en moyenne, 40 à 60 l/j/baigneur si optimisé
Nettoyage des voiries	5litres / m linéaire nettoyé	
Curage de réseau d'assainissement	20 à 30 m ³ /km curé	
Nettoyage des véhicules	50 à 300 l/véhicule	Suivant l'état de propreté du véhicule (et la fréquence de nettoyage), et son volume (la fourchette haute correspond plus aux camions ; on retient 150 l pour une voiture lavée au jet)
Maison de repos et de retraite	60 à 90 m ³ / an et lit	82 m ³ /an/lit en moyenne en Gironde