



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture



ÉTUDES ODD 6.4 SUIVI DE L'UTILISATION
DURABLE DES RESSOURCES EN EAU

La désagrégation du niveau de stress hydrique par bassin hydrographique

Cas du sous-bassin du cap Matifou (Algérie)





ÉTUDES ODD 6.4 SUIVI DE L'UTILISATION
DURABLE DES RESSOURCES EN EAU

La désagrégation du niveau de stress hydrique par bassin hydrographique

Cas du sous-bassin du cap Matifou (Algérie)

Citer comme suit:

FAO. 2024. *La désagrégation du niveau de stress hydrique par bassin hydrographique: Cas du sous-bassin du cap Matifou (Algérie)*. Études ODD 6.4 – Suivi de l'utilisation durable des ressources en eau. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9424fr>

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Le fait qu'une société ou qu'un produit manufacturé, breveté ou non, soit mentionné ne signifie pas que la FAO approuve ou recommande ladite société ou ledit produit de préférence à d'autres sociétés ou produits analogues qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-138558-6

© FAO, 2024



Certains droits réservés. Cette œuvre est mise à la disposition du public selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 Organisations Intergouvernementales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode.fr>).

Selon les termes de cette licence, cette œuvre peut être copiée, diffusée et adaptée à des fins non commerciales, sous réserve que la source soit mentionnée. Lorsque l'œuvre est utilisée, rien ne doit laisser entendre que la FAO cautionne tels ou tels organisation, produit ou service. L'utilisation du logo de la FAO n'est pas autorisée. Si l'œuvre est adaptée, le produit de cette adaptation doit être diffusé sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si l'œuvre est traduite, la traduction doit obligatoirement être accompagnée de la mention de la source ainsi que de la clause de non-responsabilité suivante: «La traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ni de l'exactitude de la traduction. L'édition originale [langue] est celle qui fait foi.»

Tout litige relatif à la présente licence ne pouvant être résolu à l'amiable sera réglé par voie de médiation et d'arbitrage tel que décrit à l'Article 8 de la licence, sauf indication contraire contenue dans le présent document. Les règles de médiation applicables seront celles de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (<http://www.wipo.int/amc/fr/mediation/rules>) et tout arbitrage sera mené conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI).

Matériel attribué à des tiers. Il incombe aux utilisateurs souhaitant réutiliser des informations ou autres éléments contenus dans cette œuvre qui y sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, de déterminer si une autorisation est requise pour leur réutilisation et d'obtenir le cas échéant la permission de l'ayant-droit. Toute action qui serait engagée à la suite d'une utilisation non autorisée d'un élément de l'œuvre sur lequel une tierce partie détient des droits ne pourrait l'être qu'à l'encontre de l'utilisateur.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés sur demande adressée par courriel à: publications-sales@fao.org. Les demandes visant un usage commercial doivent être soumises à: www.fao.org/contact-us/licence-request. Les questions relatives aux droits et aux licences doivent être adressées à: copyright@fao.org.

Photographie de la couverture: © Nabil Kherbache

Table des matières

AVANT-PROPOS	vii
REMERCIEMENTS	ix
ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	x
RÉSUMÉ	xiii
1. INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE: INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES	5
3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ET SOURCES DES DONNÉES	7
3.1. Méthodologie	7
3.2. Approvisionnement en eau	8
3.2.1. Les ressources superficielles	8
3.2.2. Les ressources souterraines	10
3.2.3. Le dessalement de l'eau de mer	12
3.2.4. Les transferts d'eau vers le cap Matifou	12
3.3. La demande en eau	14
3.3.1. La demande du grand périmètre irrigué de Hamiz	14
3.3.2. La demande en eau agricole de la petite et moyenne hydraulique	15
3.3.3. La demande en eau potable	15
3.3.4. La demande en eau industrielle	16
3.3.5. Les transferts vers l'extérieur du bassin	17
3.4. Données climatiques	18
3.5. Données et variables supplémentaires	18
3.6. Lacunes dans les données	19
4. STRUCTURE ET SCHÉMA DU MODÈLE DU CAP MATIFOU	21
4.1. Représentation des composants du système dans le logiciel de la planification intégrée des ressources en eau	21
4.2. Schéma du modèle du cap Matifou	22
5. APPROCHE POUR LE TRAITEMENT ET LA MODÉLISATION DES DONNÉES	25
5.1. Bassins versants	25

5.2. La modélisation des barrages de Hamiz et Keddara	27
5.3. Les eaux souterraines	28
5.4. Les importations et les exportations d'eau et le dessalement	29
5.5. Les eaux usées	29
5.6. Les demandes en eau modélisées à l'aide de l'outil utilisé pour la planification intégrée des ressources en eau de WEAP	29
6. ÉTALONNAGE DU MODÈLE ET HYPOTHÈSES	31
6.1. Étalonnage hydrologique	31
6.2. Les besoins environnementaux en eau (<i>Environmental Flow Requirements</i>)	33
6.3. Étalonnage opérationnel	34
7. SCÉNARIOS ET PROJECTIONS	35
8. RÉSULTATS: ÉVALUATION DU STRESS HYDRIQUE	37
9. LIMITES DU MODÈLE ET DÉVELOPPEMENT FUTUR	41
10. CONCLUSION GÉNÉRALE	43
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
ANNEXES	48

Figures

1. Les sous-bassins modélisés du cap Matifou	5
2. Schéma perceptuel des flux d'eau au cap Matifou	8
3. Volumes observés dans les barrages de Hamiz et de Keddara	9
4. Évaporation nette dans les deux barrages du cap Matifou	10
5. Les nappes du cap Matifou	11
6. Apport de la station de cap Djanet dans l'approvisionnement en eau potable de l'Algérois en 2013 et 2021	12
7. Production d'eau à la station de Boudouaou entre 1987 et 2007. Volume d'eau produite, entre 2008 et 2021, à partir du SPIK et du SPET	13
8. Les débits de la station de Taksebt	14
9. Croissance démographique entre 2008 et 2030	16
10. Les débits de la demande non agricole vers le Grand Alger	17
11. Les coefficients cultureux du modèle	19

12. Schéma conceptuel du sous-bassin du cap Matifou à l'aide de WEAP	23
13. Occupation du sol des sous-bassins modélisés du cap Matifou – ESA 2020 à 10 m (à droite) et ESRI 2020 à 10 m (à gauche)	25
14. Statistiques d'occupation du sol 2020 par sous-bassin	26
15. Statistiques d'occupation du sol (ESRI, 2020)	27
16. Résultat de calibrage des deux barrages du cap Matifou	27
17. Bilan des nappes souterraines de la zone modélisée	28
18. La demande en eau modélisée du cap Matifou	29
19. La demande en eau mensuelle du cap Matifou	30
20. Calibrage et comparaison entre les débits simulés et observés dans les deux stations de jaugeage	32
21. Les besoins environnementaux en eau mensuels et annuels du cap Matifou	34
22. Les scénarios du cap Matifou	35
23. Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) pour la période de référence entre 2010 et 2020	38
24. Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) en 2019 (période de référence)	38
25. Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique à l'horizon 2030	39
26. Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique à l'horizon 2030	39
27. Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique et de la croissance démographique à l'horizon 2030	40
28. Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique et de la croissance démographique à l'horizon 2030	40

Tableaux

1. Caractéristiques et recharge de nappes	11
2. Évolution de la superficie irriguée dans le périmètre de Hamiz entre 2008 et 2020	15
3. Données des précipitations utilisées dans le modèle	18
4. Source des données hydrométriques (jaugeages)	18
5. Représentation des éléments du système dans WEAP	21



Avant-propos

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) soutient le Programme 2030 de développement durable par la transformation vers des systèmes agroalimentaires plus efficaces, inclusifs, résilients et durables pour une amélioration de la production, de la nutrition, de l'environnement et des conditions de vie. La transformation des systèmes agroalimentaires est au cœur du mandat de la FAO.

L'eau est l'essence de la vie et est au cœur des systèmes agroalimentaires. La voie vers la réduction du stress hydrique passe par des systèmes agroalimentaires durables. Pour assurer une gestion durable des ressources en eau pour tous, il est essentiel de considérer le cycle de l'eau dans son intégralité, y compris toutes les utilisations et tous les utilisateurs.

La FAO est l'organisme dépositaire responsable du suivi de la cible 6.4 des objectifs de développement durable (ODD), qui porte sur l'utilisation et la pénurie d'eau et vise à «accroître sensiblement l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau dans tous les secteurs et assurer des prélèvements et un approvisionnement durables en eau douce pour faire face à la pénurie d'eau et réduire sensiblement le nombre de personnes souffrant de pénurie d'eau d'ici 2030». À la FAO, la collecte, la gestion et la communication des données relatives aux indicateurs de la cible 6.4 au niveau mondial s'effectuent par le biais du système mondial d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture (AQUASTAT).

En 2015, la FAO a rejoint l'Initiative de suivi intégré pour l'ODD 6 coordonnée par l'ONU-Eau. L'Initiative vise à accélérer la réalisation des cibles de l'ODD sur l'eau et l'assainissement durables par la mise en place d'un cadre de suivi cohérent pour l'eau et l'assainissement et en soutenant les pays dans la réalisation de progrès à travers une prise de décision éclairée sur l'eau. Un tel cadre aidera les pays à progresser grâce à une prise de décision éclairée dans le domaine de l'eau, sur la base d'informations harmonisées, complètes, opportunes et précises.

L'évaluation du cycle de l'eau et des situations potentielles de stress hydrique tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle infranationale utilisée pour la gestion des ressources en eau est essentielle pour fournir aux utilisateurs et aux décideurs les informations nécessaires au processus de planification.

Ce rapport présente le modèle selon le système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) tel que développé en Algérie dans le sous-bassin du cap Matifou, pour désagréger spatialement le calcul du niveau de stress hydrique: prélèvement d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles, après avoir pris en compte l'exigence de débit environnemental, de l'échelle nationale à l'échelle infranationale. L'activité a été lancée en novembre 2021 dans le cadre de la formation «WEAP pour l'ODD 6.4.2» organisée par l'Initiative de suivi intégrée de la FAO pour l'ODD 6 et le centre américain Institut de l'environnement de Stockholm (SEI) en étroite collaboration avec le projet FAO WEPS-NENA («Efficacité, productivité et durabilité de l'eau dans les régions NENA»). L'analyse a été réalisée par le Ministère de l'hydraulique. Le stress hydrique

a été calculé pour le sous-bassin du cap Matifou en utilisant le nouveau *plugin* de stress hydrique développé par la FAO en collaboration avec le SEI, pour la période de référence 2010-2020. Le manque de données a représenté la principale contrainte de cette activité. Les données sur l'eau ont été soit collectées auprès de différentes institutions nationales, lorsqu'elles étaient disponibles, soit dérivées de bases de données de télédétection. Les résultats montrent comment le niveau de stress hydrique varie dans le sous-bassin – les estimations de 2020 indiquent 98 pour cent pour l'oued Boudouaou et plus de 101 pour cent pour l'oued Réghaïa. L'ensemble des scénarios analysés indiquent que les niveaux de stress hydrique seront alarmants à l'horizon 2030 et il convient donc de se préparer dès maintenant. La principale recommandation qui émerge de ce travail invite à accorder davantage d'importance aux mesures des ressources et à leur suivi en prévoyant notamment l'installation de nouvelles stations pluviométriques et hydrométriques. Le renforcement de la collecte ainsi que le suivi et l'amélioration de la qualité de données produites sont des conditions sine qua non vers la réalisation de l'ODD 6 et l'obtention d'un meilleur suivi de l'ODD 6.4.2.

En coordination et en collaboration avec les autres acteurs, la FAO continuera à soutenir ses États membres pour atteindre cet objectif en fournissant une assistance scientifique et technique.



Lifeng Li

Directeur de la Division des terres et des eaux, FAO

Remerciements

Cette enquête a été dirigée par le Ministère de l'hydraulique, avec la rédaction du rapport confiée à Nabil Kherbache, consultant pour la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), la FSECG (Faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion) et le LED (Laboratoire d'économie et développement) de l'Université de Béjaïa. Le rapport a été validé par l'équipe du projet et le point focal du Ministère de l'hydraulique.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier les chercheurs de l'Institut de Stockholm pour l'environnement (SEI), Doreen Salazar et Brian Joyce, pour le coaching et la formation dispensée. Nous remercions également Michela Marinelli pour ses orientations et sa patience au cours de la «longue» formation qui s'est tenue du 29 novembre 2021 au 30 juin 2022. Nous adressons aussi un remerciement particulier à Riccardo Biancalani, coordinateur de l'initiative IMI-SDG6 à la FAO, pour sa contribution précieuse à notre travail. Nos remerciements vont également à Issam Chariag. Nous souhaitons aussi remercier Hassina Hammouche, point focal du projet. Quant aux membres de l'équipe qui ont suivi la formation et les différentes séances de coaching sur la désagrégation de l'ODD 6.4.2 (Hacene Benamara, Zahir Ouhocine et Assia Azirou du Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique¹; Thiziri Amoura et Farida Berdja de l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH); et Khaled Chorfi, doctorant à l'université de Tlemcen (Algérie) qui s'est donné sans compter pour finaliser le modèle), nous les remercions et nous attendons beaucoup d'eux, car nous espérons améliorer le modèle et en généraliser l'application à d'autres bassins du pays. Toute personne ayant contribué de près ou de loin à la finalisation de ce travail trouve ici l'expression de nos chaleureux remerciements.

¹ Lors de la réalisation de cette étude et à la suite d'un remaniement ministériel, daté du 8 septembre 2022, la gestion des ressources en eau est passée de la tutelle du Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique à celle du Ministère des travaux publics, de l'hydraulique et des infrastructures de base. Le 16 mars 2023, un autre remaniement ministériel a fait passer la gestion des ressources en eau sous l'égide du Ministère de l'hydraulique.

Abréviations, sigles et acronymes

AEP	alimentation en eau potable
ANRH	Agence nationale des ressources hydrauliques
AQUASTAT	Système mondial d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture
EFR	besoins environnementaux en eau (<i>Environmental Flow Requirements</i>)
ESA	Agence spatiale européenne (<i>European Space Agency</i>)
ESRI	Institut de recherche sur les systèmes environnementaux (<i>Environmental Systems Research Institute</i>)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GEFIS	Système mondial d'information sur les besoins environnementaux en eau (<i>Global Environmental Flows Information System</i>)
IWMI	Institut international de gestion des ressources en eau (<i>International Water Management Institute</i>)
Kc	coefficients culturaux
mm³	millimètres cubes
Mm³	millions de mètres cubes (ou mégamètres cubes)
ODD	objectifs de développement durable
OMD	objectifs du Millénaire pour le développement
ONID	Office national de l'irrigation et du drainage
PMH	petite et moyenne hydraulique
PNE	Plan national de l'eau
SEAAL	Société des eaux et de l'assainissement d'Alger
SEI	Institut de Stockholm pour l'environnement (<i>Stockholm Environment Institute</i>)



SPET	système de production d'eau de Taksebt
SPIK	système de production Isser-Keddara
STEP	station d'épuration (ou de traitement) des eaux usées
WaPOR	portail de données en libre accès sur la productivité de l'eau (<i>Water Productivity Open-access portal</i>)
WEAP	Système d'évaluation et de planification des eaux (<i>Water Evaluation And Planning System</i>)



Résumé

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km² et se caractérise par un contexte hydro-climatique très diversifié. La majeure partie du pays (87 pour cent) est un désert où les précipitations sont quasi nulles ou inférieures à 50 millimètres par an. Quatre-vingt-dix pour cent des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7 pour cent du territoire. Le sud de l'Algérie se caractérise par des ressources en eau souterraine qui s'avèrent faiblement renouvelables. Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro-climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chroniques. L'Algérie présente une grande vulnérabilité au climat, notamment dans les hauts-plateaux et la steppe qui couvrent environ 60 pour cent des terres viables au nord du pays.

L'évaluation de l'indicateur l'ODD 6.4.2. «Niveau de stress hydrique : prélèvements d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles» ne s'avère pas très représentative à l'échelle du pays. L'objectif de cette étude vise à définir une méthodologie de désagrégation de l'indicateur à l'échelle des bassins versants pour se rapprocher de la valeur réelle de l'indicateur. L'étude élabore un modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2 à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP). Ce rapport résume la méthodologie utilisée, les sources des données et les modélisations mobilisées ainsi que les principaux résultats, et elle concerne le sous-bassin de cap Matifou (proche d'Alger) dont la superficie est de 795,7 km². Le modèle a été testé sur six petits sous-bassins du cap Matifou, pour une superficie totale d'environ 636,5 km², qui correspondent aux oueds Arara, Boumerdès, Corso, Boudouaou, Réghaïa et Hamiz. L'approche méthodologique utilisée est multidimensionnelle et mobilise des données sur les mesures qui émanent des différentes institutions impliquées dans la gestion de l'eau en Algérie. Le manque d'informations a été une contrainte que nous avons dépassée en recourant aux données d'observation par télédétection (a) du portail WaPOR, pour l'évapotranspiration potentielle et (b) de l'Institut de recherche sur les systèmes environnementaux (ESRI) et l'Agence spatiale européenne (ESA), pour l'occupation du sol. Le niveau du stress hydrique a été calculé à l'aide d'un *plugin* développé par l'Institut de Stockholm pour l'environnement (SEI) avec l'appui de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Après le calibrage du modèle dans le système WEAP, les niveaux de stress hydrique ont été calculés pour la période de référence de 2010 à 2020. Les résultats confirment l'intérêt de mesurer la pression sur les ressources en eau à l'échelle des sous-bassins, et l'exécution d'un *plugin* montre comment les taux de stress varient entre les sous-bassins – les estimations de 2020 indiquent 98 pour cent pour l'oued Boudouaou et plus de 101 pour cent pour l'oued Réghaïa.

L'importance de l'outil WEAP est qu'il permet de développer des scénarios sur la disponibilité et l'utilisation des ressources en eau en jouant sur les paramètres du modèle. Nous avons ainsi effectué des projections pour le cap Matifou à l'horizon 2030. Les trois scénarios se sont focalisés sur: (a) le changement climatique; (b) la croissance démographique; et (c) la combinaison des deux phénomènes. L'approche prospective adoptée a confirmé que le changement climatique est une réalité et que nous devons nous y préparer et prévoir des mesures d'adaptation, car

l'augmentation de la température entraîne forcément une baisse des précipitations et une augmentation de l'évapotranspiration. Face à une telle situation, il convient d'élaborer des plans d'action scientifiquement et techniquement rigoureux.

Indépendamment des limites du modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2 pour le cap Matifou, principalement tributaire de la qualité des données disponibles nécessaires à l'estimation du stress hydrique, l'approche de l'estimation du stress hydrique à l'aide de WEAP représente pour l'Algérie une «fenêtre d'opportunité» qui permettra de généraliser l'évaluation à l'ensemble des bassins versants du pays et d'améliorer la qualité des données disponibles. À cet effet, l'étude émet une vive recommandation en signalant la nécessité voire l'obligation d'accorder une priorité absolue à la création de réseaux de surveillance et de modalités d'observation des ressources en eau. Notons que le système d'information joue un rôle crucial dans la mise en place d'une telle approche d'évaluation du stress hydrique pour un pays aussi vaste que l'Algérie, aux nombreux contrastes géographiques. Ces recommandations et d'autres, si elles sont suivies, garantiront la gestion durable de nos faibles ressources en eau et la réalisation de l'ODD 6 et ses différentes cibles.

1. Introduction générale

«Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles»

Georges E. P. Box.

Située en Afrique du Nord, l'Algérie est bordée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la Tunisie et la Libye, au sud-est par le Niger, au sud-ouest par le Mali et la Mauritanie, à l'ouest par le Maroc et le Sahara occidental. En termes de superficie, l'Algérie est considérée comme le premier pays d'Afrique avec 2 381 741 km² dont le Sahara représente environ 80 pour cent de la superficie totale. Le pays est considéré comme étant un pays aride, semi-aride et hyperaride dans sa partie saharienne. Ainsi, l'Algérie est soumise à des conditions climatiques défavorables et subit des phases de pénurie d'eau qui sont accentuées par des périodes de sécheresse chroniques. L'Algérie présente une grande vulnérabilité au climat, notamment dans les hauts-plateaux et la steppe qui couvrent environ 60 pour cent des terres viables au nord du pays (Nichane et Khelil, 2015).

Par ailleurs, la majeure partie du territoire algérien (87 pour cent) est un désert où les précipitations sont inférieures à 100 mm/an. Quatre-vingt-dix pour cent des eaux de surface se trouvent dans la région du Tell qui couvre environ 7 pour cent du territoire. En revanche, le sud du pays se caractérise par des ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Les réserves d'eau y sont très importantes et sont estimées selon certaines études à 60 000 milliards de m³. La particularité de cette ressource est qu'elle est faiblement renouvelable.

L'Algérie subit depuis plusieurs décennies (1970) les aléas du changement climatique, qu'il s'agisse de sécheresses et de pénuries chroniques ou d'inondations. Simultanément à cela, elle connaît une croissance démographique et elle enregistre des besoins croissants en eau potable et à destination industrielle et agricole. La contribution du ruissellement de surface a systématiquement diminué. Les apports actuels sont faibles et ne permettent plus de remplir suffisamment les barrages existants; en effet, le niveau actuel des barrages est inférieur à 42 pour cent de leurs capacités selon les chiffres de juin 2021 du Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique, et il est passé de 32 pour cent en décembre 2022 à moins de 29 pour cent en avril 2023, selon le Ministre de l'hydraulique².

L'un des indicateurs utilisés dans la mesure du stress hydrique est l'indicateur de Falkenmark. Pour Falkenmark *et al.* (1989), lorsque les niveaux de dotation en eau sont compris entre 500 et 1 000 m³/hab/an, le pays souffre d'un stress hydrique (*water stress*) qui est susceptible de devenir un frein au développement économique et une menace pour la santé et le bien-être humains

² Déclaration lors d'une conférence de presse animée, le 29 avril 2023, en marge de la Conférence nationale des cadres du Ministère de l'hydraulique au siège du ministère sur le thème: «Modernisation de la gestion du service public d'eau».

(Feitelson et Chenoweth, 2002). L'Algérie n'échappe pas à cette situation et si les dotations ont été estimées à 1 770 m³/hab/an³ pour 1955 (CNES, 2000), elles sont estimées à environ 380 m³/hab/an pour 2021 (Kherbache et Molle, 2022). Par conséquent, l'Algérie figure parmi les pays de la région classée dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques. Plusieurs facteurs expliquent cette baisse de la disponibilité de l'eau par habitant et, parmi eux, la croissance démographique et le changement climatique.

Plusieurs indicateurs et approches sont utilisés dans le calcul du stress hydrique, depuis celles qui utilisent des indicateurs quantitatifs (Falkenmark, 1997; Falkenmark *et al.*, 1989; Raskin *et al.*, 1997) en passant par les approches qui tentent d'intégrer des dimensions sociales (Aguilera-Klink *et al.*, 2000; Buchs, 2012; Honegger et Bravard, 2005; Ohlsson, 2000; Turton et Ohlsson, 1999), environnementales et qualitatives (Feitelson et Chenoweth, 2002; Smakhti *et al.*, 2004), et jusqu'aux approches qui incluent l'indice de la pauvreté en eau (El-Gafy, 2018; Jemmali et Matoussi, 2013; Lawrence *et al.*, 2003; C. Sullivan *et al.*, 2006; C. A. Sullivan *et al.*, 2003; C. A. Sullivan et Jemmali, 2014). Chacune de ces approches a ses propres limites et a été critiquée dans plusieurs travaux (Brown et Matlock, 2011; Buchs, 2012; Damkjaer et Taylor, 2017; Margat, 2005; Molle et Mollinga, 2003; Rijsberman, 2006).

Ces approches de calcul, souvent sujettes à la critique, restent parfois théoriques. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et les autres institutions onusiennes ont tenté de développer un cadre permettant la surveillance de l'utilisation des ressources en eau dans les pays, et le suivi de l'avancement des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) entre 2000 et 2015 (ONU, 2000), notamment avec l'indicateur 7.5 «Proportion de ressources d'eau totales utilisées»⁴ et, par la suite, aussi le suivi des objectifs de développement durable (ODD), notamment l'ODD 6. Le système mondial d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture (AQUASTAT) joue un rôle important dans le suivi des cibles ODD afin d'assurer la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous et, en particulier, des indicateurs de la cible 6.4 relatifs au stress hydrique et à l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Ce système de collecte analyse et fournit un accès gratuit à plus de 180 variables et indicateurs par pays à partir de 1960. Son point faible est qu'il opère une forte agrégation des données, car il propose des indicateurs globaux par pays. Biancalani et Marinelli (2021) ont tenté d'évaluer l'indicateur 6.4.2 «Niveau de stress hydrique» de l'ODD 6 au niveau des bassins. La méthodologie a été relativement modifiée par rapport à l'indicateur 7.5 des OMD. De fait, pour mieux refléter la condition de durabilité, les besoins environnementaux en eau (*environmental flows*) sont intégrés au nouveau cadre de calcul du stress hydrique des ODD.

Les études évaluant le stress hydrique en Algérie sont rares. Le stress hydrique a été calculé par le Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique dans le cadre des travaux du comité sectoriel chargé du suivi des ODD avec l'appui de la FAO sur la base de la méthodologie fournie par les experts participant à l'Initiative de surveillance intégrée de l'ONU-Eau pour l'ODD 6.

³ Pour des ressources renouvelables à hauteur de 17 milliards de m³ (avec hypothèse faible sur l'exploitation des ressources souterraines des nappes du sud du pays [fossiles]) et 43 millions d'habitants en janvier 2019 selon l'Office national des statistiques.

⁴ L'indicateur OMD a été défini comme le volume total des eaux souterraines et de surface prélevées de leurs sources pour l'usage humain (dans les secteurs agricole, domestique/municipal et industriel), exprimé en pourcentage du total des ressources en eau renouvelables.

Toutefois, cette évaluation ayant été réalisée à l'échelle nationale, la pertinence du résultat est discutable quand on sait la diversité géographique et les contrastes du territoire. Ainsi, l'est du pays est relativement riche en ressources superficielles par rapport à la région de l'ouest et du centre (CNES, 2000). Le nord est mieux doté que le sud où les ressources en eau viennent principalement des nappes fossiles avec des précipitations ne dépassant pas 50 mm/an (PNE, 2010c, 2010d). Le calcul du stress hydrique dans le cadre des ODD 6.4.2 doit être plus détaillé et une approche de calcul par sous-bassin semble particulièrement appropriée. C'est pourquoi le Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique a demandé à la FAO de proposer une méthodologie pour le calcul de cet indicateur à l'échelle régionale.

Dans le cadre de l'Initiative de surveillance intégrée de l'ONU-Eau pour l'ODD 6 et en collaboration avec l'Institut de Stockholm pour l'environnement (SEI) – qui a développé un *plugin*⁵ de calcul du stress hydrique à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) – la FAO a engagé une formation en vue de développer un modèle sur deux sites pilotes, dont un en Algérie sur le sous-bassin du cap Matifou et l'autre en Tunisie sur une partie du bassin de la Medjerda. Des équipes ont été formées et coachées pour la construction du modèle entre le 29 novembre 2021 et le 30 juin 2022.

⁵ Dans le langage informatique, on parle d'«extension». Il est possible de télécharger le *plugin* à partir du lien suivant: <https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/SDG642/Stress%20Hydrique.WEAPPlugin>

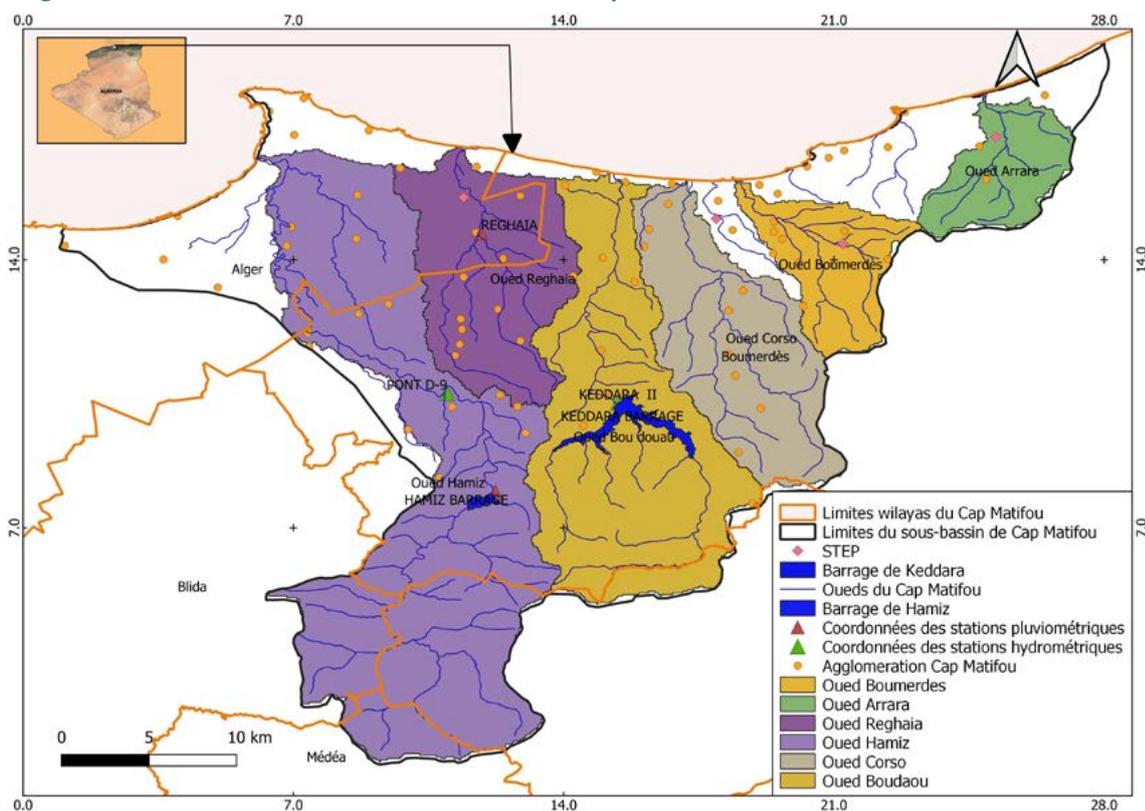


2. Présentation de la zone d'étude: informations géographiques

Le sous-bassin du cap Matifou, avec une superficie estimée à 795,7 km², se situe dans la région du grand bassin de l'Algérois. Il est l'un des 18 sous-bassins du côtier algérois (02) qui lui-même comprend deux parties distinctes, le côtier algérois à l'ouest (02a) et le côtier algérois à l'est (02b). Ces deux derniers s'étendent sur une superficie de 8 471 km² (Plan directeur d'aménagement des ressources en eau, 2014). Ainsi, le cap Matifou est compris dans le territoire de l'Agence du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam (47 588 km²). Plusieurs oueds traversent le sous-bassin qui fait l'objet de l'étude, entre autres les oueds Hamiz, Keddara, Réghaïa, Corso et Arara. Administrativement, les communes de plusieurs wilayas (Alger, Boumerdès, et une petite superficie de Bouira et Médéa) se chevauchent avec les limites hydrologiques et cela entraîne ipso facto un déficit d'informations du fait de la gouvernance pluri-niveaux (Akhmouch et Correia, 2016; Charbit, 2011; OCDE, 2012) et un problème de frontières (*boundary issue*) (Batchelor *et al.*, 2017).

En choisissant de délimiter les sous-bassins à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP), le modèle a été construit avec six sous-bassins du cap Matifou, pour une superficie totale d'environ 636,5 km². Ces six sous-bassins sont les oueds Arara, Boumerdès, Corso, Boudouaou, Réghaïa et Hamiz (Figure 1).

Figure 1: Les sous-bassins modélisés du cap Matifou



Source: Carte élaborée par l'auteur durant la période de formation et d'élaboration du rapport (juin 2022) sur la base des données (y compris les rivières) de l'Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau. Les sous-bassins ont été créés à l'aide de WEAP.

Ce sous-bassin ne diffère pas de l'ensemble de la région de l'Algérois mais il se caractérise par la présence d'une zone humide (le lac de Réghaïa) d'intérêt écologique classée par la Convention de Ramsar depuis 2003, d'où la nécessité de tenir compte du besoin environnemental. Le territoire du sous-bassin comprend aussi le grand périmètre irrigué de Hamiz. Ce périmètre a une superficie irrigable totale de 11 120 ha⁶ dont seulement 2 278 ha ont été irrigués en 2019 (20,5 pour cent) et à peine 1 013 ha en 2020 (9,2 pour cent), selon les données de l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID). Ceci est attribuable à plusieurs facteurs, principalement le manque d'eau et la sécheresse qui déterminent un faible remplissage des barrages. Plusieurs secteurs du grand périmètre irrigué se trouvent à l'extérieur de la zone modélisée du cap Matifou, notamment les secteurs d'irrigation 3 et 4, et en partie les secteurs 8 et 9. Une partie de la superficie irriguée de Hamiz, soit en moyenne 535 ha, a disparu entre 2010 et 2020.

Dans le sous-bassin, la diffusion de l'irrigation individuelle est effectuée à travers la petite et moyenne hydraulique (PMH), soutenue par l'État dans le cadre des programmes de développement de l'irrigation, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des grands périmètres irrigués. Ces superficies sont irriguées à partir des forages et des puits implantés sur la nappe de la Mitidja et autres petites nappes (dunes du Sahel⁷, oued Boudouaou, oued Corso et oued Arara). La superficie irriguée en PMH était d'environ 14 000 ha en 2018 et de 19 028 ha en 2020, selon l'inventaire de la PMH de l'Agence de bassin hydrographique basé sur les données de 2021 des Directions des ressources en eau et des Directions des services agricoles. La superficie irriguée concernée par le modèle est d'environ 15 167 ha.

Notons que la plaine alluviale de la Mitidja d'une superficie d'environ 1 492 km² représente l'une des plaines les plus importantes de l'Algérie dont une partie est intégrée dans la zone d'étude.

⁶ Toutefois, en raison de l'urbanisation, cette superficie irrigable est réellement inférieure.

⁷ Cette nappe se situe à l'extérieur de la zone modélisée par WEAP.

3. Approche méthodologique et sources des données

3.1 Méthodologie

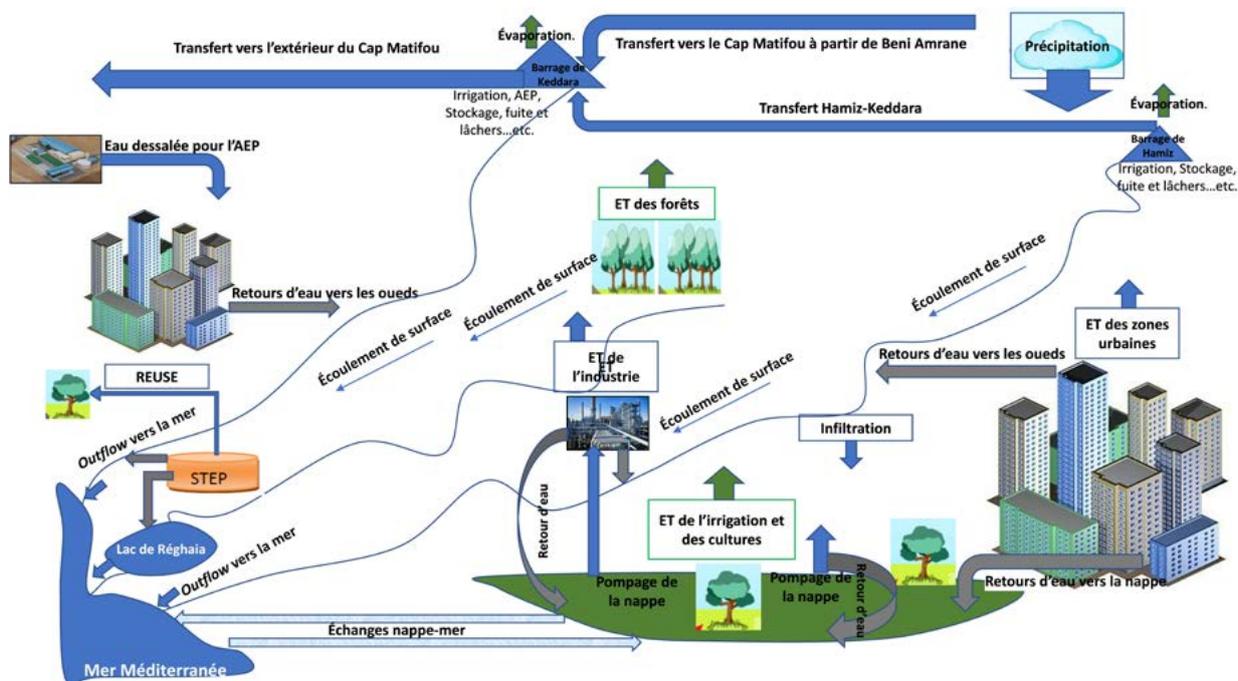
Le travail de désagrégation de l'ODD 6.4.2 complète l'exercice du calcul de l'eau dans le sous-bassin du cap Matifou. Pour effectuer ce travail, une approche méthodologique multidimensionnelle est proposée. Celle-ci mobilise plusieurs outils d'investigation pratique et technique.

La construction du modèle est basée sur des données collectées auprès de plusieurs institutions du secteur de l'eau en Algérie, comme par exemple les Directions centrales du Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique, l'Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau, l'Agence du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam, l'Agence nationale des barrages et des transferts, l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID), l'Algérienne des Eaux, la Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL). Ces données et documents de planification de l'eau dans l'Algérois (entre autres les différentes versions du Plan national de l'eau (PNE) de 2005, 2007, 2010 et 2018 et les divers plans directeurs d'aménagement des ressources en eau) sont venus s'ajouter à une base documentaire dont nous disposons déjà.

Un objectif a ensuite été fixé visant à réaliser un audit des données et des documents disponibles. Les étapes prévues à cet effet étant: (a) la sélection des informations les plus pertinentes en adoptant une approche de comparaison entre les différents producteurs des données; (b) la constitution d'une vision rétrospective de la disponibilité de l'eau et de son utilisation dans le sous-bassin; et (c) la réduction des incertitudes typiques dans ce genre d'études. Pour terminer, nous ferons la synthèse des données et des outils utilisés dans la construction du modèle conçu à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP).

L'analyse de l'approvisionnement en eau et de la demande en eau dans le sous-bassin du cap Matifou passe par une compréhension des flux d'eau dans le sous-bassin (figure 2).

Figure 2: Schéma perceptuel des flux d'eau dans le cap Matifou



Source: Figure élaborée conçue par l'auteur durant la période de mise en oeuvre de la comptabilisation des ressources en eau pour le projet de la FAO: Efficacité, productivité et durabilité de l'eau dans la région du Proche Orient et d'Afrique du Nord, en 2022.

3.2 Approvisionnement en eau

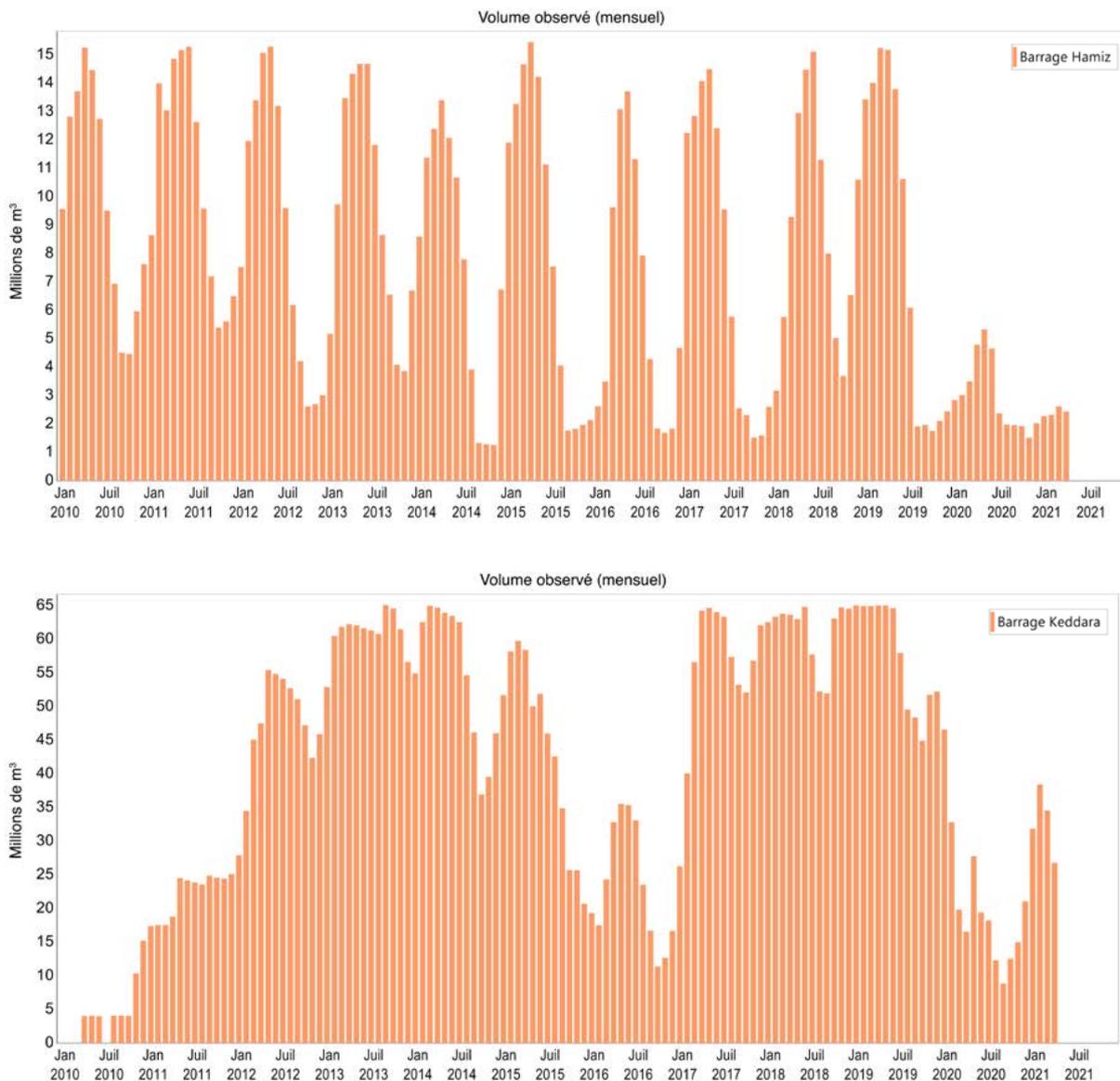
Le cap Matifou qui fait partie de l'Algérois se caractérise par l'importance de la demande en eau d'où la multiplication des systèmes d'approvisionnement en eau des différents usagers. Il s'agit d'un système complexe qui combine plusieurs types de ressources mobilisées en vue de satisfaire les différentes demandes en eau.

3.2.1 Les ressources superficielles

Les ressources superficielles proviennent de deux sources: (a) les apports mobilisés à l'intérieur du sous-bassin; et (b) les eaux transférées à partir de l'extérieur. Les ressources mobilisées directement à partir des eaux de surface sont faibles dans la mesure où les oueds sont éphémères et les flux y sont plus importants en général durant les mois d'hiver lorsque la demande en eau est faible.

L'outil WEAP traite les ressources de barrages à partir de plusieurs variables, à savoir la capacité de stockage, le débit hydraulique maximal et les pertes vers la nappe – qui sont nulles dans le cas de la zone d'étude, car les barrages sont loin des nappes et des volumes observés. À partir des données de l'Agence nationale des barrages et des transferts, les volumes observés dans les barrages de Hamiz et Keddara sont présentés dans la figure 3. Les paramètres de l'exploitation des barrages sont indiqués comme suit: sommet conservation, sommet tampon, sommet inactif et coefficient tampon.

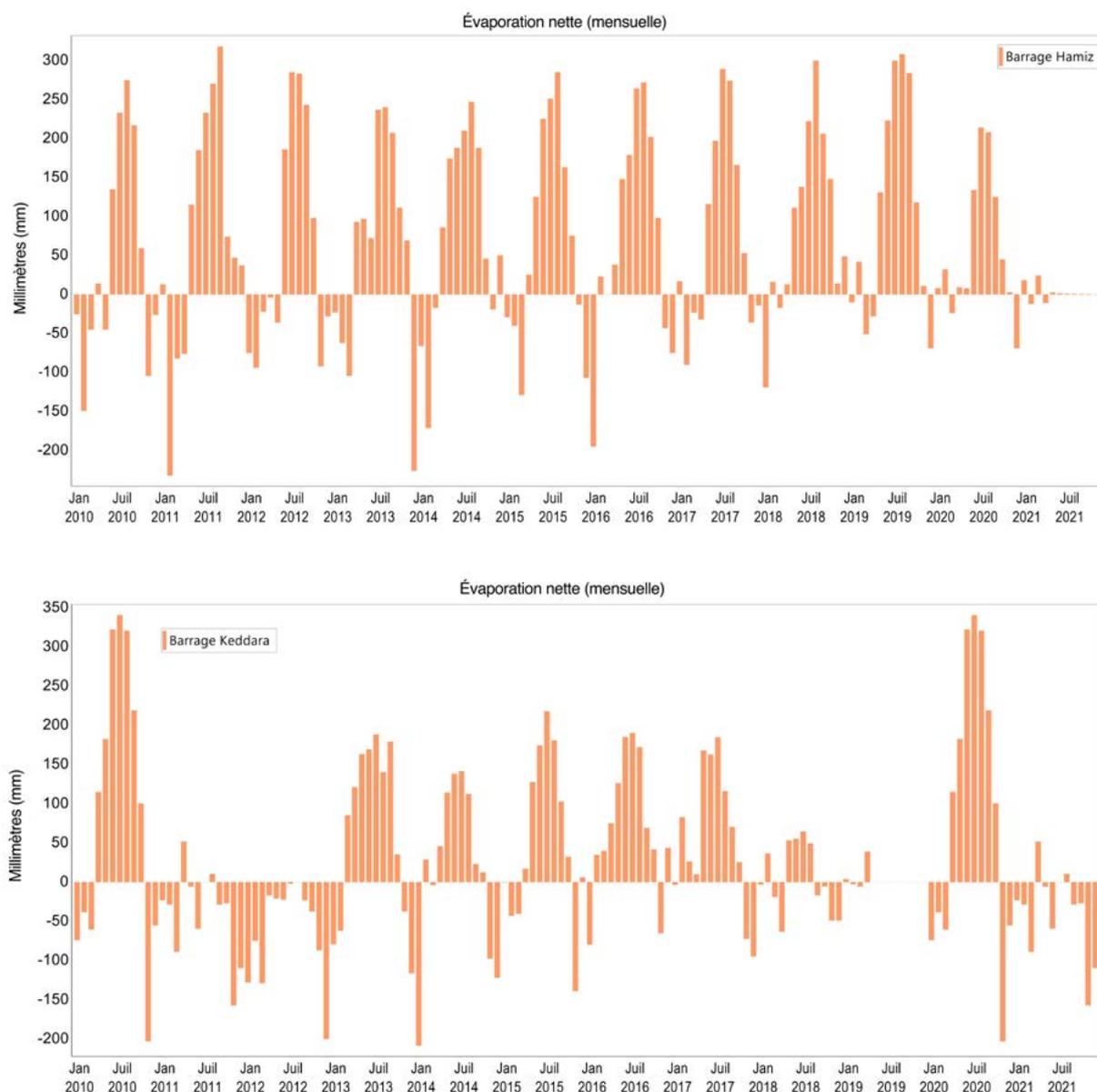
Figure 3: Volumes observés dans les barrages de Hamiz et Keddara



Source: Figures élaborées à l'aide de WEAP sur la base des données (disponibles en anglais uniquement) de l'Agence nationale des barrages et des transferts (2022).

Après le calcul de l'évaporation brute mensuelle en millimètres (mm) à partir des données de l'Agence nationale des barrages et des transferts, nous avons calculé l'évaporation nette qui représente les précipitations moins l'évaporation à la surface de la retenue (une évaporation négative indique un apport en eau). Les résultats sont illustrés dans la figure 4.

Figure 4: Évaporation nette dans les deux barrages du cap Matifou



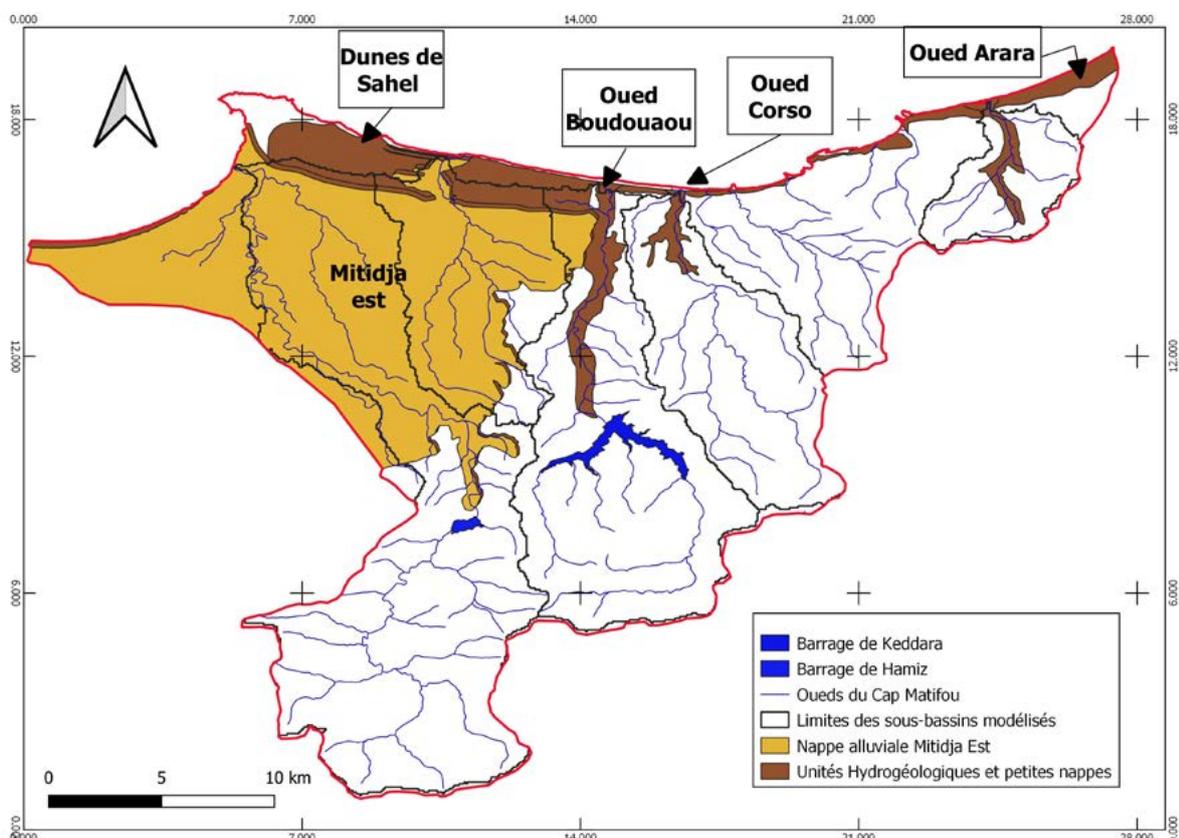
Source: Figures élaborées à l'aide de WEAP sur la base des données (disponibles en anglais uniquement) de l'Agence nationale des barrages et des transferts (2022).

Les eaux mobilisées dans ces deux barrages ont une utilisation mixte. Le barrage de Hamiz alimente le périmètre agricole de Hamiz et, en même temps, lors des années excédentaires, une partie de ces volumes sont transférés vers le barrage de Keddara qui lui-même reçoit des ressources venant de l'extérieur via le barrage de Beni Amrane. Ces volumes sont destinés à la satisfaction de la demande en eau potable et industrielle.

3.2.2 Les ressources souterraines

Les ressources souterraines du cap Matifou proviennent d'une partie de l'aquifère de Mitidja, et des petites nappes de l'oued Boudouaou, de l'oued Corso et de l'oued Arara (figure 5).

Figure 5: Les nappes du cap Matifou



Source: Figure élaborée par l'auteur durant la période de formation et d'élaboration du rapport (juin 2022). Les données hydrogéologiques et la couche de la nappe ont été fournies par le Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique. Les couches des rivières et des barrages ont été fournies par l'Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau. Les sous-bassins ont été modélisés à l'aide de WEAP.

Les caractéristiques de ces nappes sont présentées dans le tableau 1. La recharge a été calculée en combinant les mesures de terrain au niveau des trois stations pluviométriques du cap Matifou (Hamiz, Keddara et Réghaïa), les données du portail de données en libre accès sur la productivité de l'eau (WaPOR) ainsi que certaines données de comparaison (ANRH et ENERGOPROJEKT, 2009). Les résultats sont assez similaires pour l'ensemble des nappes, à l'exception de la nappe de l'oued Arara.

Tableau 1: Caractéristiques et recharge de nappes

	OUED ARARA (40,12 km ²) RECHARGE EN Mm ³	OUED CORSO (3,7 km ²) RECHARGE EN Mm ³	OUED BOUDOUAOU (11,2 km ²) RECHARGE EN Mm ³	PLAINE ALLUVIALE DE LA MITIDJA (214 km ²) RE- CHARGE EN Mm ³
Recharge annuelle moyenne (Mm ³) (ANRH et ENERGO- PROJEKT, 2009)	0,37	0,42	1,43	31,09
Moyenne annuelle (2009 à 2022) (selon nos calculs)	3,4	0,11	1,62	32,85

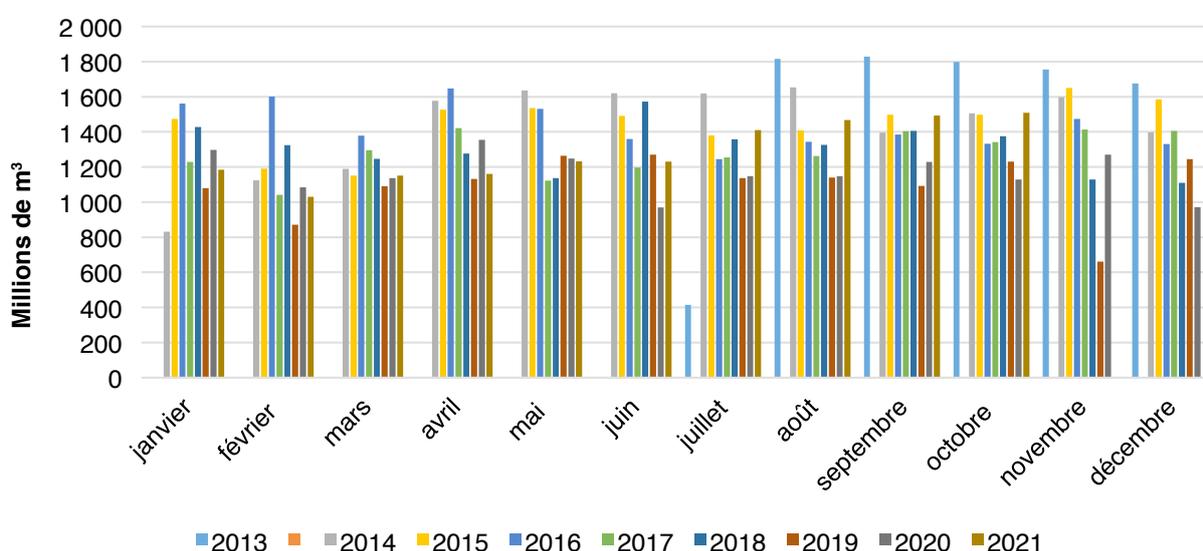
Source: ANRH et ENERGOPROJEKT (2009) et calcul de l'auteur.

Note: La recharge annuelle est indiquée en millions de mètres cubes (Mm³).

3.2.3 Le dessalement de l'eau de mer

L'eau dessalée du cap Matifou provient de la station de dessalement (en service depuis 2013) de cap Djanet, qui a une capacité nominale de 100 000 m³/j; en 2021, la production réelle y était de 96 433 m³/j soit une production totale de 35,2 Mm³. Ce volume rejoint le système de production d'eau de Taksebt (SPET) et une partie seulement est consommée à l'intérieur du cap Matifou, l'autre partie alimentant les communes d'Alger à l'extérieur de la zone d'étude. Ces eaux servent strictement à l'alimentation en eau potable. Ces volumes mensuels ont été convertis en m³/s à l'aide du WEAP.

Figure 6: Apport de la station de cap Djanet dans l'approvisionnement en eau potable de l'Algérois de 2013 à 2021



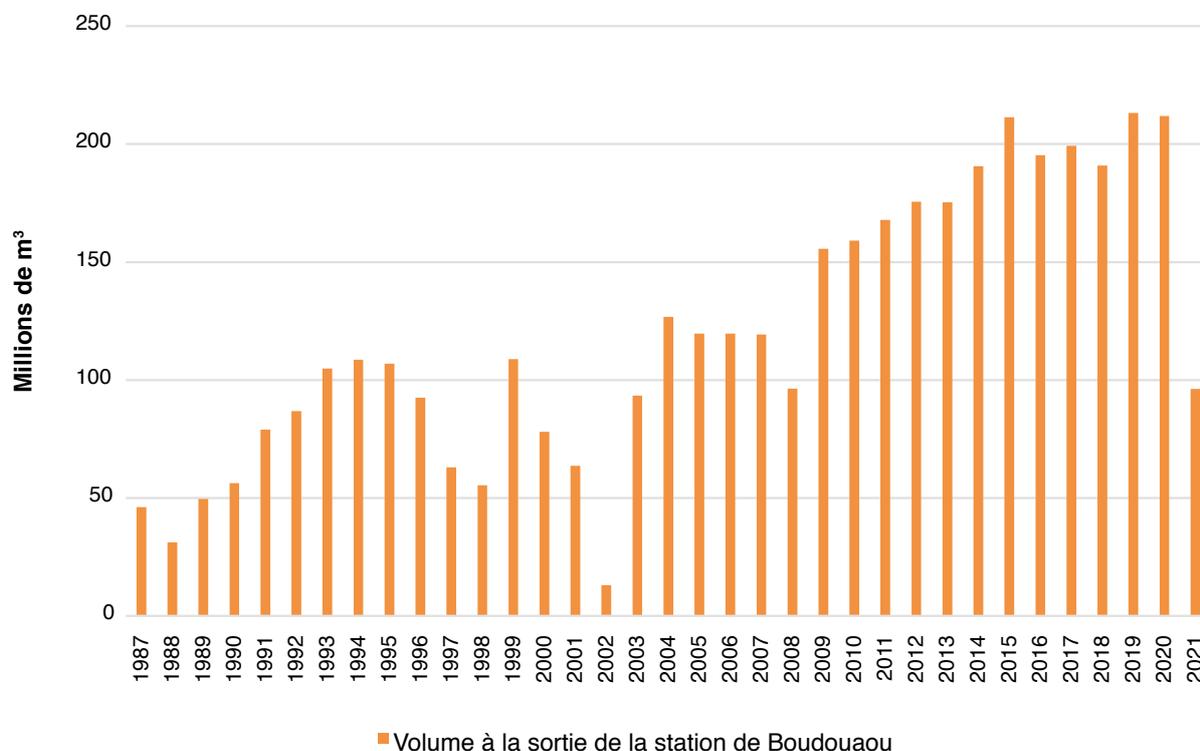
Source: Figure élaborée par l'auteur à partir des données et des bilans de la SEAAL et de l'Agence du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam (2021).

3.2.4 Les transferts d'eau vers le cap Matifou

Comme pour l'ensemble des bassins du pays, il y a une multiplication des transferts d'eau vers le cap Matifou. Ce dernier bénéficie de plusieurs transferts pour satisfaire les besoins d'alimentation en eau potable et industrielle. Le barrage de Taksebt à Tizi Ouzou constitue un pourvoyeur de l'eau à l'Algérois et à la zone d'étude. Les transferts se font via le système de production d'eau Isser-Keddera (SPIK) qui transfère des eaux du barrage de Beni Amrane vers Keddara et le système de production d'eau de Taksebt (SPET). Les eaux collectées sont transférées par une usine de traitement d'une capacité nominale de 540 000 m³/j (197,1 Mm³/an) à laquelle il faut rajouter le volume qui arrive du SPET. Une grande partie de l'eau produite pour la capitale transite dans cette station, y compris les eaux dessalées de la station de cap Djanet (figure 7). Le manque d'eau a fait que cette station ne fonctionne pas à sa capacité nominale et lors d'une visite de terrain⁸, il a été constaté que son fonctionnement réel ne dépasse pas 8 pour cent, soit 40 000 m³/j.

⁸ Mission de terrain avec l'équipe de la comptabilité de l'eau effectuée le 10 mars 2022.

Figure 7: Production d'eau à la station de Boudouaou entre 1987 et 2007. Volume d'eau produite, entre 2008 et 2021, à partir du SPIK et du SPET



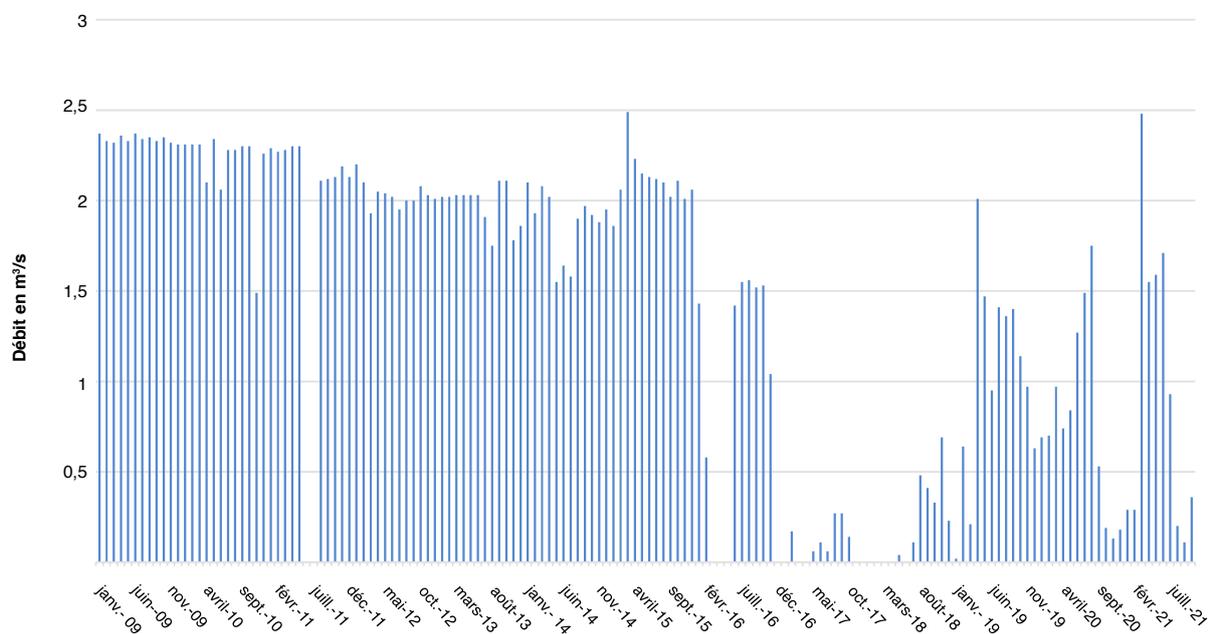
Source: Figure élaborée par l'auteur à partir des données et des bilans de la SEAAL (2022).

Les volumes transférés sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et industrielle. Ainsi, le volume entrant dans le sous-bassin en 2020 est d'environ 212 Mm³/an. Nous utilisons dans le bilan la moyenne interannuelle de 2009 à 2020 soit 187,2 Mm³/an dont un volume⁹ d'environ 136,2 Mm³ est utilisé pour satisfaire la demande en eau potable (figure 7) à l'intérieur du bassin, le reste alimentant les autres communes de la région. L'écart, soit 51 Mm³/an, sort du bassin pour alimenter les communes d'Alger qui se trouvent à l'extérieur de la zone d'étude.

Dans le modèle WEAP que nous avons construit, nous ne disposons pas des volumes traités par la station de Taksebt (figure 12), mais nous disposons des volumes qui arrivent à la station de Boudouaou et des volumes de la station de dessalement. Sur la base de ces deux données, nous avons calculé les débits au niveau de la station de Taksebt et nous les avons utilisés dans le modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2 (figure 8).

9 Ce volume moyen entre 2018 et 2020 est composé de 47,4 Mm³ et 6,6 Mm³ d'eau dessalée destinée aux communes de Boumerdès et 82,4 Mm³ (99 Mm³ de l'eau potable produite dans les communes d'Alger et l'on a soustrait 16,6 Mm³/an de la production moyenne entre 2018 et 2020 venant des champs captants) de l'eau affectée aux communes d'Alger comprises dans le cap Matifou (voir la section d'évaluation des prélèvements et de la consommation de l'eau potable).

Figure 8: Les débits de la station de Taksebt



Source: Figure élaborée par l'auteur à partir des données et des bilans de la SEAL (2022).

Notons que dans le contexte de la sécheresse actuelle qui frappe le pays, le programme d'urgence du MRESH vise à réduire à terme d'environ 50 pour cent la dépendance de la capitale par rapport aux ressources superficielles. Dans ce sens, on prévoit de construire plusieurs stations de dessalement de l'eau de mer, dont une à Corso avec une capacité nominale de 40 000 m³/j (14,6 Mm³/an)¹⁰ qui devrait tourner à plein régime dans 12 mois. Ceci constituera un apport supplémentaire au sous-bassin du cap Matifou.

3.3 La demande en eau

La demande en eau pour le cap Matifou a de multiples facettes. Le sous-bassin se trouve au carrefour de plusieurs wilayas et il recouvre notamment une partie de la capitale et une grande superficie de Boumerdès. Ceci explique le fait que la demande en eau soit élevée. Il convient de distinguer plusieurs types de demandes: (a) la demande en eau potable; (b) la demande agricole (celle du grand périmètre irrigué de Hamiz et de la petite et moyenne hydraulique [PMH]); et (c) la demande industrielle.

3.3.1 La demande du grand périmètre irrigué de Hamiz

Pour le grand périmètre irrigué de Hamiz, nous avons considéré les superficies irriguées réellement communiquées par l'ONID dans la modélisation à l'aide de WEAP (tableau 2). Nous avons affecté une dotation de 6 000 m³/ha/an en nous basant sur les données d'une étude (MRE-BRL Ingénierie, 2007) et nous avons considéré le volume consommé à 50 pour cent selon le modèle. Lors de l'insertion des données dans WEAP, nous avons supprimé les superficies qui ne font pas partie des sous-bassins modélisés.

¹⁰ Pour renforcer une station monobloc déjà installée de 5 000 m³/j (1,8 Mm³/an).

Tableau 2: Évolution de la superficie irriguée dans le périmètre de Hamiz entre 2008 et 2020

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Superficie (en ha)	1 162	1 610	1 837	1 900	2 001	2 006	2 343	2 254	2 205	2 296	1 035	2 278	1 013

Source: Tableau élaboré par l'auteur à partir des données de l'ONID.

3.3.2 La demande en eau agricole de la petite et moyenne hydraulique

La première étape pour arriver à une estimation de la demande du sous-secteur de l'irrigation de la petite et moyenne hydraulique (PMH)¹¹ consiste à mesurer la superficie irriguée par année. L'évaluation de la superficie irriguée est obtenue à partir d'un travail de recoupement et de croisement de toutes les données disponibles émanant des différents inventaires, à savoir l'inventaire des Directions de services agricoles qui concernent l'aspect agricole (superficie irriguée et type de cultures pratiquées) et l'inventaire des Directions des ressources en eau de wilaya qui concernent l'aspect hydraulique (origine de l'eau de surface utilisée comme les prélèvements des barrages, les retenues collinaires et le pompage de l'eau de surface; ou origine de l'eau souterraine comme les prélèvements effectués via les forages et les puits). L'Agence de bassin hydrographique avait élaboré elle aussi son propre inventaire selon le même canevas, avant que les inventaires ne soient consolidés au niveau du Ministère des ressources en eau par la Direction de l'hydraulique agricole, et plus précisément par la Sous-direction de la petite et moyenne hydraulique.

En superposant les limites géographiques du sous-bassin versant du cap Matifou et les limites administratives (wilayas et communes) à l'aide du logiciel QGIS, nous avons évalué la proportion des communes faisant partie du bassin. Une reconstitution de l'occupation du sol revêt un intérêt important dans l'élaboration du modèle. La superficie irriguée en 2020 est estimée à 15 167 ha et sa ventilation par sous-bassin modélisé est la suivante: 1 152,7 ha pour l'oued Arara, 210,5 ha pour l'oued Boumerdès, 900,8 ha pour l'oued Corso, 1 950 ha pour l'oued Boudouaou, 3 856 ha pour l'oued Réghaïa et 7 096 ha pour l'oued Hamiz. Malheureusement, il n'existe pas une grande quantité de superficies irriguées en PMH. Notons également que nous avons inséré dans le modèle les différents types de cultures irriguées.

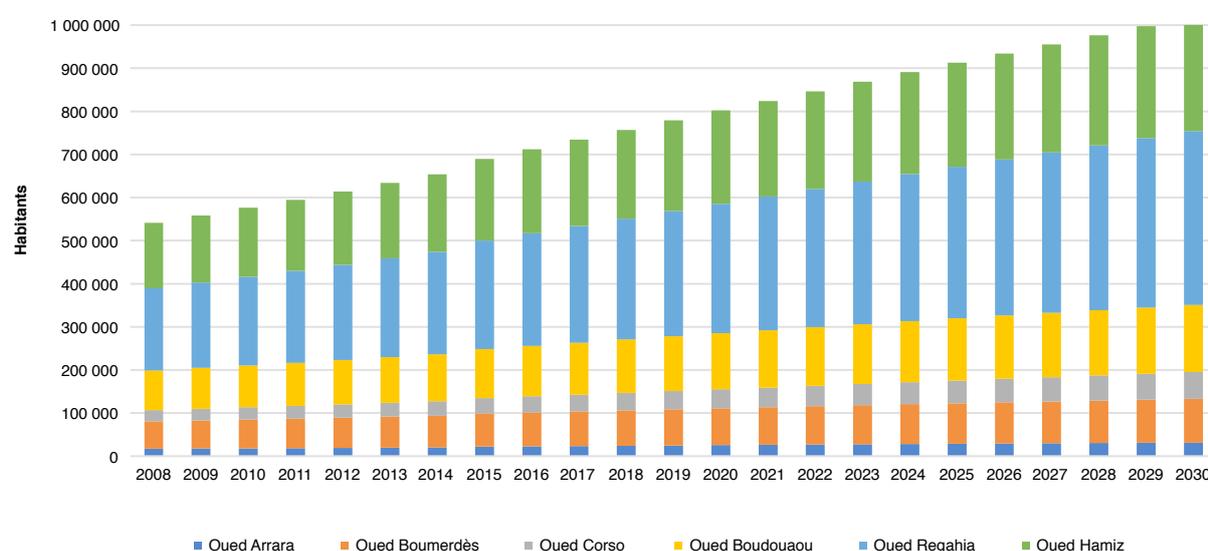
Ensuite nous avons intégré la superficie irriguée dans le système WEAP à l'intérieur de l'occupation du sol des sous-bassins, au lieu de créer des sites de demandes agricoles indépendants, en utilisant la méthode simplifiée (*Rainfall Runoff Method (Simplified Coefficient Method)*). L'utilisation de cette méthode au lieu de la méthode de l'humidité du sol ou d'autres méthodes (MABIA FAO 56, modèle de croissance des plantes, et autres) se justifie par l'absence des données détaillées pour la zone d'étude.

¹¹ Elle est considérée comme le plus grand consommateur des ressources en eau souterraine en Algérie (87 pour cent) (PNE, 2010a).

3.3.3 La demande en eau potable

La demande en eau potable est présentée dans WEAP par des points «rouges». Ainsi, nous avons créé un site de demande pour chaque sous-bassin modélisé. Pour évaluer la demande, nous avons utilisé la méthode de calcul de la demande annuelle par rapport à la population. L'estimation de la taille de la population par sous-bassin a été faite en localisant les différentes agglomérations et chefs-lieux à l'aide du logiciel QGIS. Les données utilisées sont extraites des calculs du Plan national de l'eau (PNE, 2018) (figure 9).

Figure 9: Croissance démographique entre 2008 et 2030



Source: Figure élaborée par l'auteur à partir des données du PNE (2018).

Ainsi, la dotation d'eau potable par habitant et par an, utilisée dans les documents de la planification, est de 170 l/hab/j, avec un total de 62,5 m³/hab/an pour les communes de Boumerdès. Quant aux communes de la wilaya d'Alger, gérées par la SEAAL, la dotation de 265 l/hab/j¹², soit 97,7 m³/hab/an. Une autre variable que nous avons prise en compte dans le modèle est le niveau de la consommation qui a été estimé à 20 pour cent, soit un taux de retour de 80 pour cent.

3.3.4 La demande en eau industrielle

Le cap Matifou concentre plusieurs pôles industriels parmi les plus importants d'Algérie, et notamment la zone industrielle de Rouiba-Réghaïa. Une partie de l'eau industrielle est considérée comme faisant partie de l'AEP, car les prestataires du service de l'eau, notamment la SEAAL, facturent l'eau à des unités industrielles et touristiques (catégorie 3) dans le cadre de la réglementation en vigueur (décret exécutif n° 05-13 du 9 janvier 2005).

Toutefois, par souci d'indépendance en ce qui concerne l'approvisionnement en eau, les unités cherchent leurs propres sources d'eau et réalisent des forages et des puits. Certaines sont facturées directement par les Agences de bassin hydrographique en tant qu'usagers redevables.

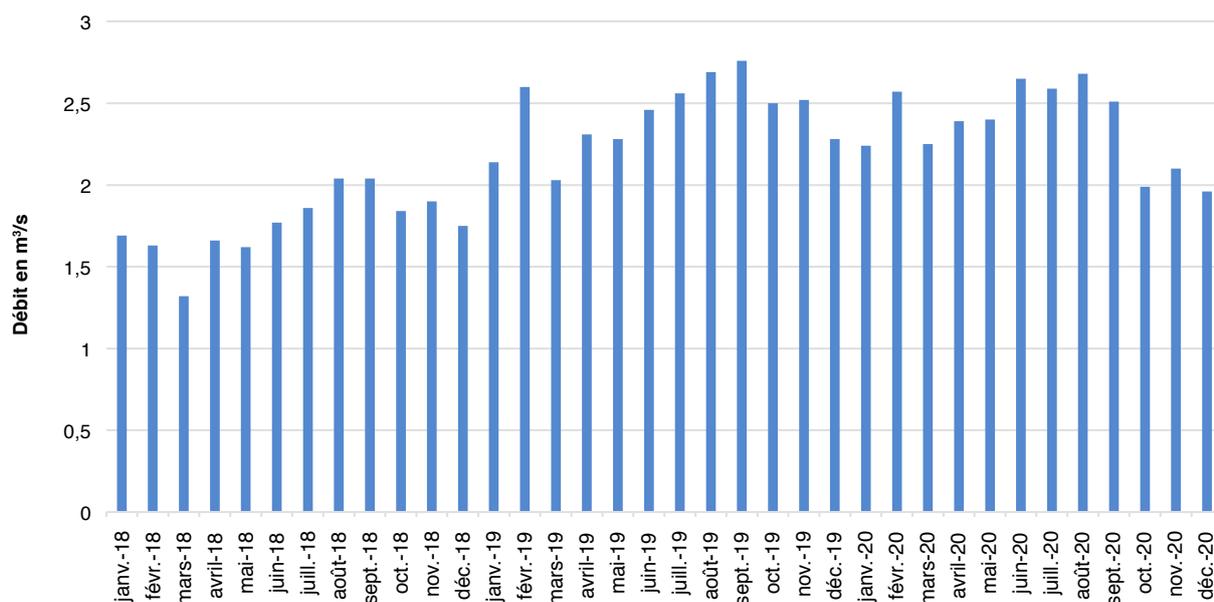
¹² Nous avons choisi cette dotation en raison de l'importance des eaux affectées vers Alger avec un système de distribution de 24h/24h en 2020, bien que la dotation officielle au niveau national soit de 170 l/hab/j. Le nombre de la population est estimé dans les rapports du PNE actualisés en 2018.

Pour estimer le volume utilisé par ces activités, le PNE (2010b) a engagé une enquête de la demande en eau de la grande industrie¹³ et un travail a aussi été fait dans le cadre du PNE (2005) pour estimer la demande en eau industrielle en incorporant les grands consommateurs et les «petits» consommateurs industriels disséminés dans le tissu urbain et en les rattachant globalement aux besoins commerciaux. En effectuant une analyse par commune, cette étude a fourni une évaluation de la demande en eau industrielle qui s'avère être la plus probable pour l'année 2003. Elle est estimée à hauteur de 61 630 m³/j soit environ 22,5 Mm³ pour les communes du cap Matifou, alors que le PNE (2010b) mentionne 4,12 Mm³ pour la grande industrie et que le contrat de nappe de la Mitidja indique presque le même volume prélevé, soit 4,66 Mm³, en 2020. La consommation nette et les retours d'eau dépendent de plusieurs facteurs, tels que le type de l'industrie ou le procédé de production. Il est possible de réaliser une estimation plus récente sur la base des données du PNE (2018) et des données récentes du tissu industriel du sous-bassin. Compte tenu du volume ainsi obtenu, on estime la consommation de l'eau industrielle à 1,16 Mm³, avec un taux de retour de 75 pour cent. Dans une évaluation récente de 2022, l'Agence de bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam estime que les prélèvements actuels s'élèvent à 11,9 Mm³ dont 9,5 Mm³ sont rejetés, soit une consommation nette de 2,4 Mm³. Le volume de 11,9 Mm³ est la valeur qui a été intégrée dans WEAP.

3.3.5 Les transferts vers l'extérieur du bassin

Comme nous l'avons déjà mentionné, le cap Matifou bénéficie de plusieurs transferts conséquents. Ces volumes sont en partie consommés à l'intérieur du sous-bassin, mais le reste alimente les autres communes du Grand Alger. Il est difficile d'estimer les volumes qui sortent du sous-bassin, car les données de l'AEP dont nous disposons ne portent que sur trois années (de 2018 à 2020). L'analyse concerne l'origine de l'eau utilisée par commune à la wilaya de Boumerdès.

Figure 10: Les débits de la demande non agricole vers le Grand Alger



Source: Figure élaborée par l'auteur à partir de plusieurs sources de données.

¹³ Au sens du PNE, la grande industrie concerne les unités industrielles dont la consommation dépasse 40 m³/j (14 600 m³/an). Les autres études parlent d'une consommation de 75 m³/j ou 1 500 employés, ou elle ne détermine pas le seuil.

3.4 Données climatiques

Les données climatiques utilisées concernent les précipitations. Nous avons utilisé les données de l'ANRH (tableau 3) et nous avons complété les lacunes par les données du portail WaPOR. Notons que l'outil WEAP utilise par défaut les données des précipitations de Princeton (1948-2010, journalières, 28 km).

Tableau 3: Données des précipitations utilisées dans le modèle

Stations pluviométriques	Code	Période d'observation
Hamiz	020602	1905/2020
Réghaïa	020632	1971/2020
Keddara	020646	2010/2020

Les données des mesures de débits proviennent de deux stations hydrométriques et sont résumées dans le tableau 4.

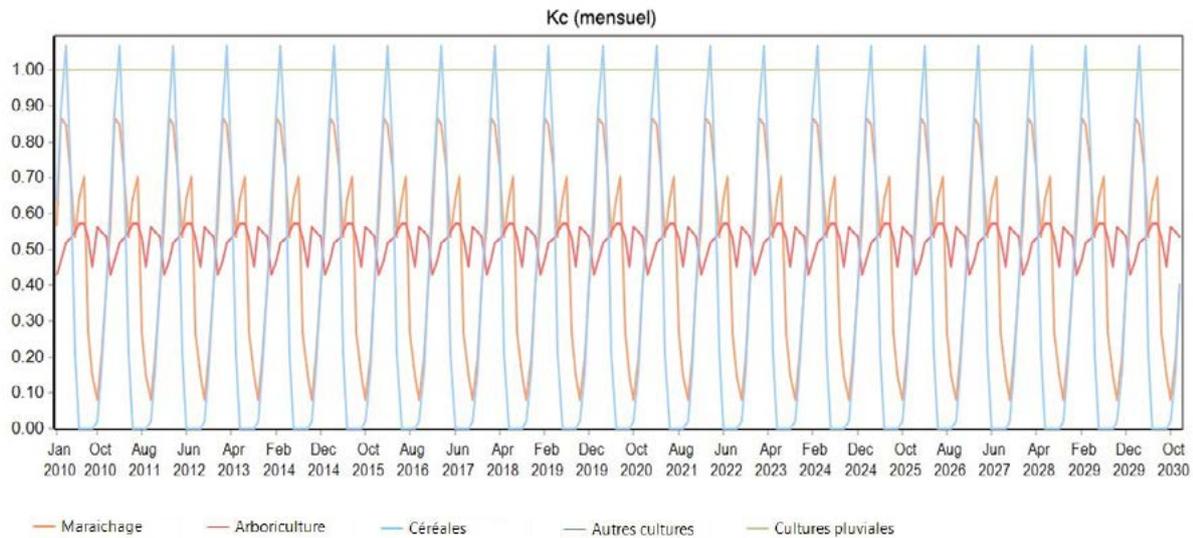
Tableau 4: Source des données hydrométriques (jaugeages)

Stations hydrométriques	Code	Période d'observation
Pont D9	020629	2010/2019
Keddara	020609	2010/2019

3.5 Données et variables supplémentaires

Les coefficients culturaux (K_c) sont extraits de l'étude de l'inventaire de la PMH en Algérie réalisée en 2009 (SOGREAH, 2009a, 2009b). La faiblesse de ces K_c est due au fait qu'ils n'ont pas été actualisés dans des études récentes.

Figure 11: Les coefficients culturaux du modèle



Source: Figure élaborée à l'aide de WEAP à partir des données de SOGREAH (2009a, 2009b). Graphique disponible en anglais uniquement.

3.6 Lacunes dans les données

La mise en place de la politique de l'eau à l'échelle de la zone d'étude fait intervenir une multitude de niveaux administratifs (communes, wilayas, établissements sous-tutelle, Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique, Ministère de l'agriculture et du développement rural, etc.). Gérer les interdépendances entre ces niveaux représente un véritable défi. Ce manque de concordance entre les découpages administratifs et les limites hydrologiques et hydrogéologiques est la cause d'un déficit de la gouvernance pluri-niveaux ou «déficit administratif» (*administrative gap*) (Akhmouch et Correia, 2016; Charbit, 2011; OCDE, 2012).

L'absence de données et leurs lacunes sont liées à ce déficit administratif ainsi qu'à une carence des réseaux de surveillance des ressources que sont les stations pluviométriques et les stations de jaugeage. En effet, la région du cap Matifou ne dispose que de deux stations hydrométriques (Pont D9 et Keddara) et elles se situent en aval des barrages et loin des exutoires. Les autres sous-bassins ne sont pas jaugés. D'autres lacunes concernent l'inventaire des superficies irriguées, où nous avons relevé que la superficie irriguée par mode d'irrigation est différente de la superficie irriguée par type de culture. Et comme de surcroît il n'existe aucune cartographie des cultures dans le sous-bassin, il nous a fallu recourir aux données de télédétection. Parmi les difficultés rencontrées, il y a la difficulté d'extraire la superficie irriguée du grand périmètre irrigué de Hamiz dans les sous-bassins modélisés, notamment ceux de Hamiz et Réghaïa. Il existe parfois aussi une double comptabilisation des superficies irriguées dans le grand périmètre irrigué de Hamiz et l'inventaire de la PMH.



4. Structure et schéma du modèle du cap Matifou

4.1 Représentation des composants du système dans le logiciel de la planification intégrée des ressources en eau

Le système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) est un logiciel qui permet de calculer l'eau distribuée sur un laps de temps défini, en utilisant des informations relatives à l'offre, la demande, les priorités et les préférences pour les sources. Les demandes sont utilisées comme base pour le fonctionnement de l'algorithme de programmation linéaire qui maximise la satisfaction de la demande dans la mesure du possible. Les éléments WEAP utilisés pour représenter l'offre, la demande et la transmission du système, ainsi que les données d'entrée requises pour ces éléments, sont résumés dans le tableau 5. De plus, WEAP peut intégrer d'autres aspects liés à la gestion de l'eau, comme la planification des ressources, en introduisant des scénarios de l'évolution des variables et des facteurs susceptibles d'affecter l'utilisation et la disponibilité de l'eau. Les questions relatives à la qualité de l'eau et aux aspects économiques des ressources en eau sont également traitées dans WEAP et, entre autres, les coûts variables du capital et d'exploitation, et les coûts fixes d'exploitation et d'entretien.

Tableau 5: Représentation des éléments du système dans WEAP

Composant du système	Élément WEAP	Données d'entrée
Stations de dessalement et sources d'eau extérieures à la zone pilote	◆ Autre approvisionnement	Capacité maximale
Aquifères souterrains	■ Eau souterraine	Capacité totale de stockage, stockage initial, rendement maximum
Demande en eau non agricole	● Site de demande	Nombre de comptes par type d'utilisateur, demande annuelle par utilisateur par an, variation mensuelle, % d'eau consommée (le reste étant des eaux usées)
Bassins versants et demande en eau agricole	● Bassin versant	Précipitations et autres données climatiques, utilisation des terres, zones irriguées, efficacité de l'irrigation, paramètres d'étalonnage (capacité en eau du sol, Kc, facteur de résistance au ruissellement, conductivité de la zone racinaire)
Réservoirs et retenues	▲ Réservoir	Géométrie du réservoir, évapotranspiration, volume total, volume mort, volume observé

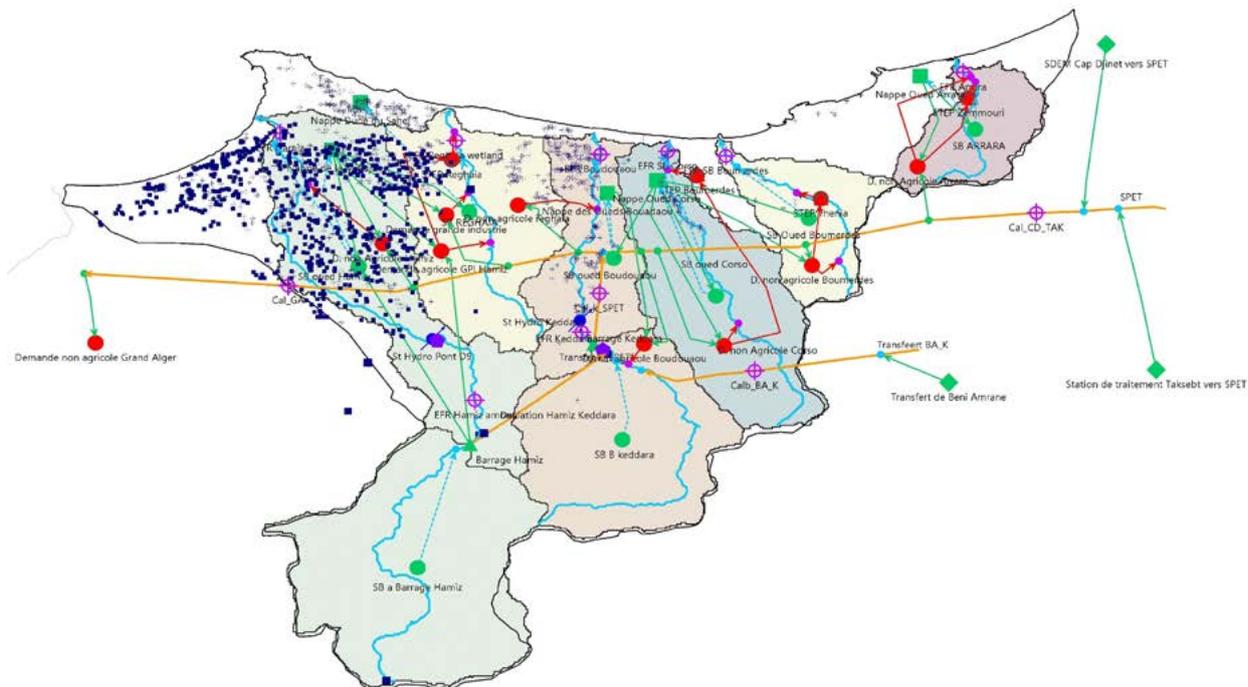
Composant du système	Élément WEAP	Données d'entrée
Les stations d'épuration des eaux usées	● Station d'épuration des eaux usées	Capacité maximale
Ouvrages de transport/ dérivation de l'eau	— Dérivation	Capacité maximale au début de chaque ligne
Ruissellement des eaux de surface et infiltration des eaux souterraines	-- Ruissellement/Infiltration	
Eaux usées générées	— Débit de retour	
Jauges de débit (rivière ou ouvrage de dérivation)	⚡ Jauge de mesure de débit	Flux observé
Liens entre l'eau souterraine, le réservoir ou la structure de transport de l'eau et la demande agricole ou non agricole	— Liaison de transmission	Débit maximum, pertes
Exigence de débit environnemental	⊕ Exigence de débit	Besoin de débit (par laps de temps)

4.2 Schéma du modèle du cap Matifou

Élaborer un schéma du modèle nous est apparu comme un véritable défi dès le début de la formation à cause de l'absence de certaines données et la complexité du système de cap Matifou. En effet, l'idée de départ était d'évaluer le stress hydrique total pour l'ensemble du sous-bassin du cap Matifou à partir d'un seul site de demande non agricole (demande en eau potable) et un seul site de demande agricole. Toutefois, la configuration hydrologique de la zone d'étude est telle que les résultats n'auraient pas été pertinents, car le cap Matifou est un sous-bassin côtier qui, de surcroît, regroupe plusieurs petits sous-bassins. Il nous a donc semblé plus intéressant de calculer le stress hydrique à l'échelle de ces petits sous-bassins. Or un tel choix augmentait la complexité et le besoin de disposer de données détaillées au niveau local, d'autant plus que des transferts d'eau ont lieu entre les différents sous-bassins délimités dans WEAP.

Au final, la délimitation a été faite sur la base de six sous-bassins, à savoir l'oued Arara, l'oued Boumerdès, l'oued Corso, l'oued Boudouaou, l'oued Réghaïa et l'oued Hamiz (figure 12). La période de référence et le laps de temps du modèle a été la décennie qui va de 2010 à 2020, avec des scénarios allant jusqu'à 2030.

Figure 12: Schéma conceptuel du sous-bassin du cap Matifou à l'aide de WEAP



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP sur la base des données (y compris les rivières) de l'Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau. Les sous-bassins ont été modélisés à l'aide de WEAP.



5. Approche pour le traitement et la modélisation des données

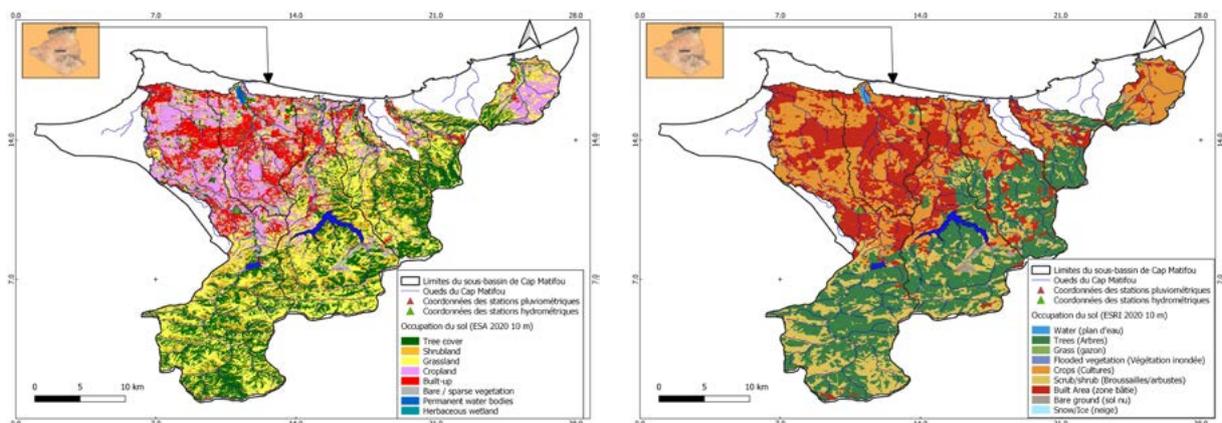
5.1 Bassins versants

Dans le modèle du cap Matifou, nous avons utilisé la méthode simplifiée (*Rainfall Runoff Method [Simplified Coefficient Method]*). Cette méthode de Pluie Ruissellement consiste à calculer le ruissellement qui est la différence entre la pluie et l'évapotranspiration. Elle permet d'estimer l'évapotranspiration des cultures irriguées et pluviales à l'aide des coefficients culturaux (Kc). La partie des précipitations qui ne passe pas dans l'évapotranspiration passe dans le ruissellement qui assure un débit de base dans les oueds à travers les paramètres des précipitations effectives.

De ce fait, l'occupation du sol joue un rôle prépondérant dans la modélisation des sous-bassins du cap Matifou et dans l'évaluation du bilan hydrique. Il n'existe pas de cartographie des cultures ni une occupation du sol actualisée pour la zone d'étude. Le système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) utilise par défaut l'occupation du sol décrite dans les études sur la couverture terrestre de l'Initiative sur le changement climatique de l'Agence spatiale européenne (ESA). Dans un premier temps, nous avons pensé utiliser dans notre modèle les cartes extraites de WaPOR. Or elles ne reflètent pas non plus l'occupation réelle surtout dans les zones irriguées. Ceci est dû à la résolution des images de 250 m qui convient moins pour ce travail. Ainsi, dans un premier temps, nous avons identifié deux cartes, comme suit (figure 13):

- la carte de l'ESA de 2020 à 10 m (11 classes), réalisée à l'aide de Sentinel-1 et 2 (*Worldcover*);
- la carte de l'Institut de recherche sur les systèmes environnementaux (ESRI) de 2020 à 10 m, réalisée à l'aide de Sentinel-2.

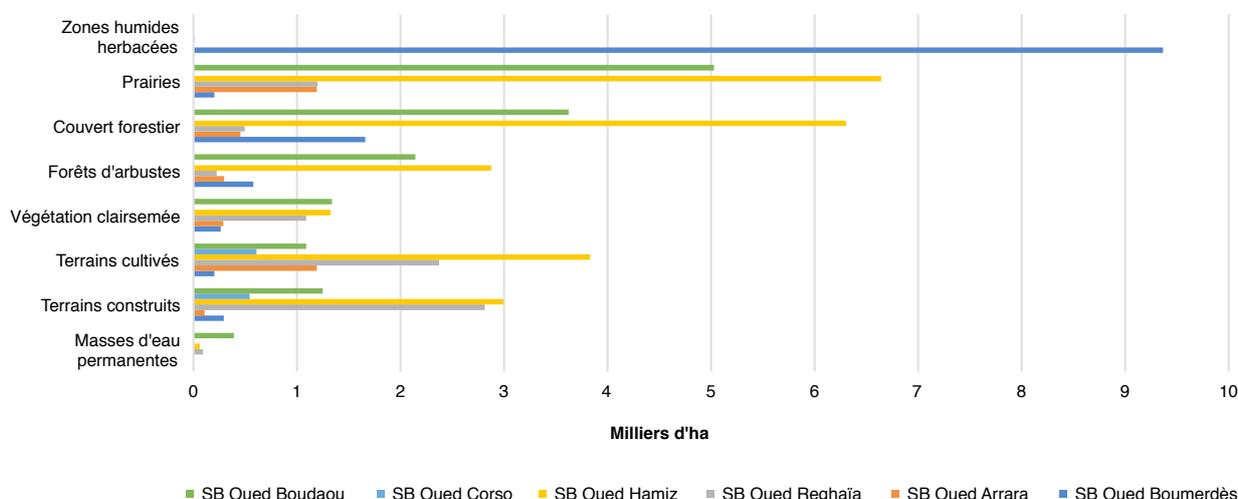
Figure 13: Occupation du sol des sous-bassins modélisés du cap Matifou – ESA 2020 à 10 m (à droite) et ESRI 2020 à 10 m (à gauche)



Source: Figure élaborée par l'auteur. Pour le découpage du sous-bassin, sur WEAP, et pour le reste, à partir des données de l'Agence spatiale européenne (ESA 2020 10 m: https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/?language=en&bbox=1.7118968466244049,35.30298642674974,6.987455921847002,37.31982834765344&overlay=false&bgLayer=OSM&date=2024-02-13&layer=WORLDCOVER_2020_MAP) et de l'Institut de recherche sur les systèmes environnementaux (ESRI 2020 10m: <https://www.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?layers=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>). Note: Les catégories de l'occupation des sols fournies par l'ESRI en anglais correspondent aux catégories suivantes en français: couvert forestier, forêts d'arbustes, prairies, terrains cultivés, terrains construits, végétation clairsemée, masses d'eau permanentes, zones humides herbacées

La carte de l'utilisation du sol élaborée à partir des données d'ESA (2020) nous communique quelques statistiques sur le cap Matifou principalement les classes qui enregistrent l'évapotranspiration la plus élevée et la plus faible, en l'occurrence les zones bâties, les différents types de cultures ainsi que les plans d'eau. Notons que les cartes représentent des écarts en termes de statistiques zonales. Ainsi, la classe des cultures représente environ 9 295 ha pour l'ESA (2020), les arbres 12 533 ha et les zones bâties environ 8 000 ha (figure 14).

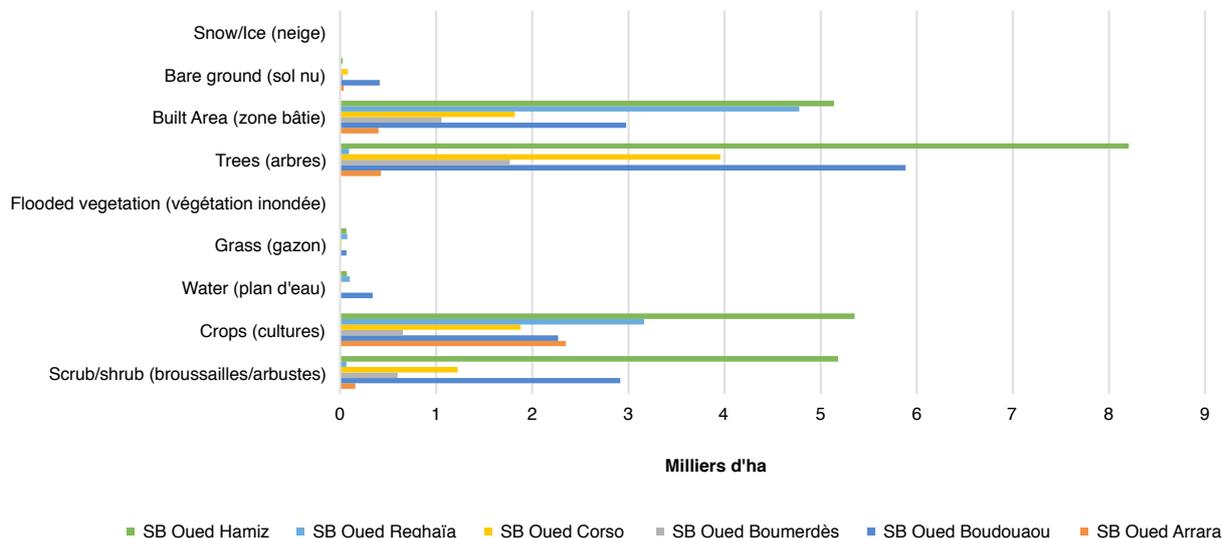
Figure 14: Statistiques d'occupation du sol 2020 par sous-bassin



Source: Statistiques extraites et traitées par l'auteur à partir des cartes d'occupation du sol ESRI (ESRI 2020 10m: <https://www.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?layers=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>) et ESA (ESA 2020 10 m: https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/?language=en&bbox=1.7118968466244049,35.30298642674974,6.987455921847002,37.31982834765344&overlay=false&bgLayer=OSM&date=2024-02-13&layer=WORLDCOVER_2020_MAP).

En revanche, les statistiques d'ESRI (2020) mentionnent une classe des cultures d'environ 15 670 ha, une superficie proche de celle indiquée dans l'inventaire de la petite et moyenne hydraulique (PMH) (Cf. *infra*). Ainsi les cultures représentent environ 25,6 pour cent de la superficie des sous-bassins modélisés, les arbres et forêts 32 pour cent et les zones bâties 25,4 pour cent (figure 15).

Figure 15: Statistiques d'occupation du sol (ESRI, 2020)



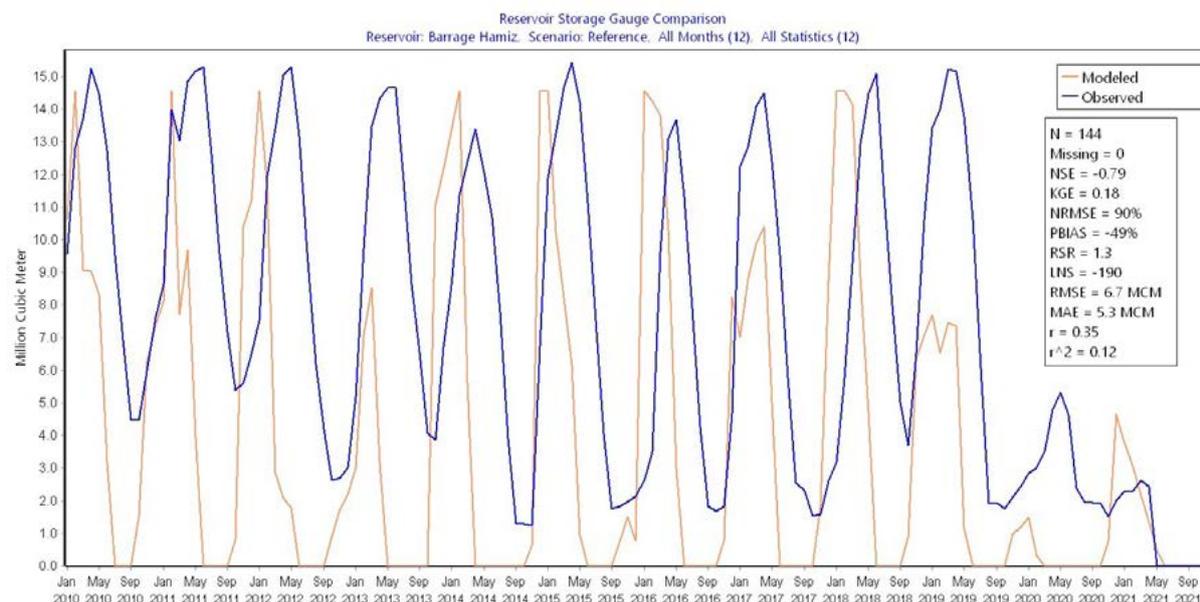
Source: Statistiques extraites et traitées par l'auteur à partir de la carte d'occupation du sol ESRI (ESRI 2020 10m: <https://www.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?layers=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>).

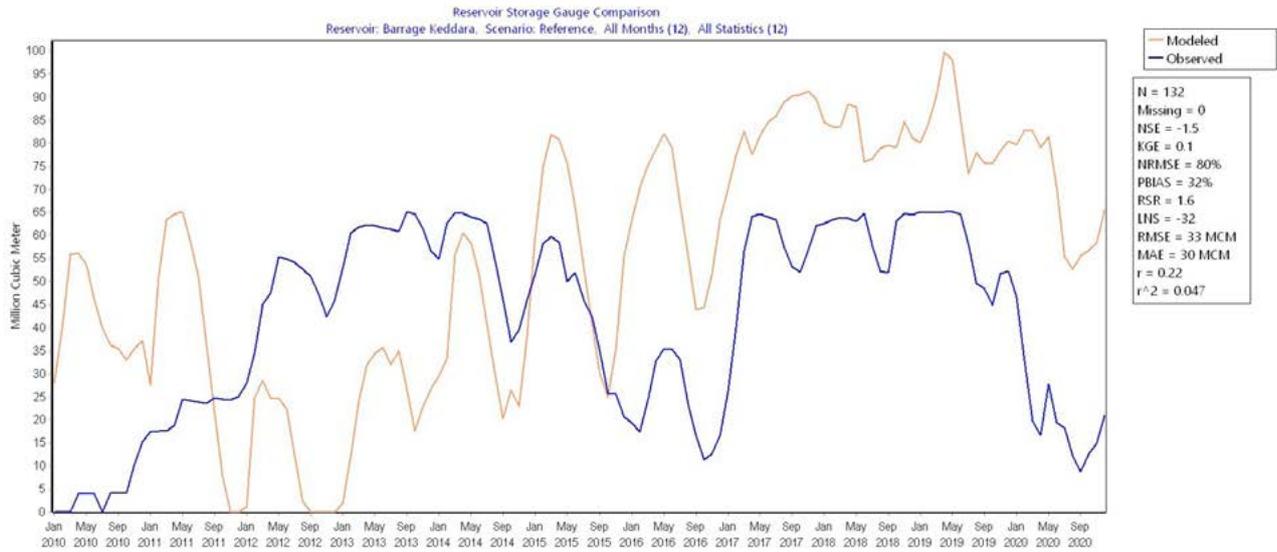
Après avoir effectué le traitement nécessaire des données, nous avons préféré utiliser la carte de l'ESRI (2020) à 10 m dans notre modèle WEAP.

5.2 La modélisation des barrages de Hamiz et Keddara

L'explication des différentes variables de la modélisation des réservoirs et des retenues ayant été fournie plus haut, nous présenterons ici les résultats de la modélisation des deux barrages Hamiz et Keddara pour la période de référence.

Figure 16: Résultat de calibrage des deux barrages du cap Matifou



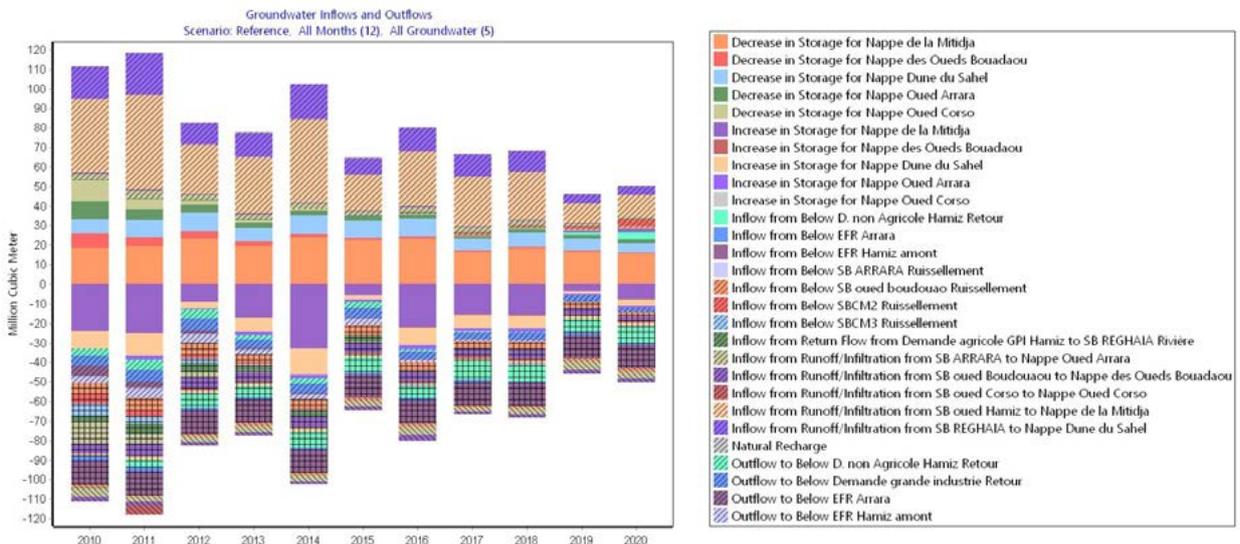


Source: Figure élaborée par l’auteur à l’aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

5.3 Les eaux souterraines

Après avoir défini les différentes variables de calibrage des ressources souterraines pour la période de référence et en utilisant d’autres variables pour le calage sur WEAP, nous illustrons à la figure 17 le bilan hydrologique (*inflows/outflows*) des nappes souterraines. L’intérêt de l’outil WEAP pour les ressources souterraines est double, car d’une part, il nous donne le débit entrant et le débit sortant des nappes et, de l’autre, il exprime la variation de stockage de l’eau entre l’augmentation du stockage et le déstockage des nappes. Il s’agit de ce fait d’un outil intéressant à combiner avec les méthodes et les approches de la comptabilité de l’eau.

Figure 17: Bilan des nappes souterraines de la zone modélisée



Source: Figure élaborée par l’auteur à l’aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

5.4 Les importations et les exportations d'eau et le dessalement

Ces trois éléments ont été décrits en détail dans les sections précédentes.

5.5 Les eaux usées

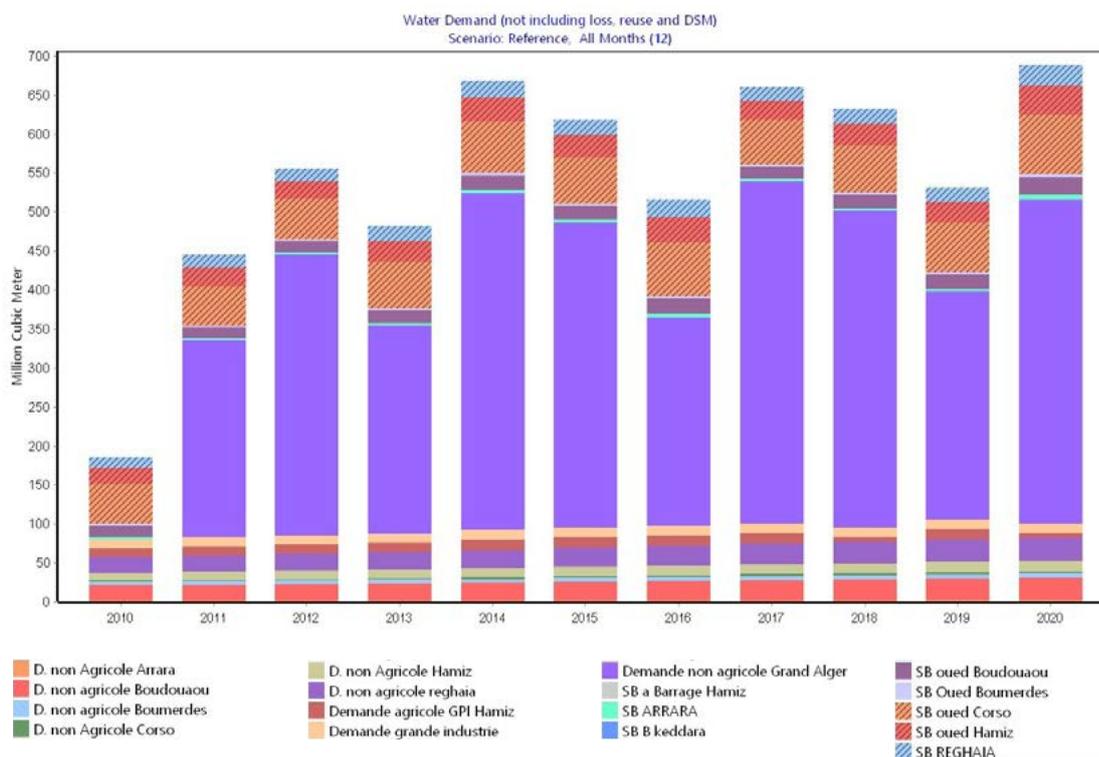
Les eaux usées sont constituées par 80 pour cent des retours d'eau, après l'utilisation dans l'alimentation en eau potable (AEP) et l'industrie. Dans l'outil WEAP, le volume de la consommation de process (perte des eaux dans la station d'épuration) est estimé à 5 pour cent et nous avons également tenu compte de la capacité nominale de chaque station d'épuration ou de traitement des eaux usées (STEP).

Selon les données de l'Office national de l'assainissement et de la Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL), les eaux usées traitées s'élèvent en moyenne à 26,5 Mm³ en 2020, réparties comme suit: 20 Mm³ à la STEP de Réghaïa, 4,1 Mm³ à la STEP de Boumerdès (dont 1,15 Mm³ est réellement et directement réutilisée dans l'irrigation), 0,91 Mm³ à la STEP de Thénia et 1,42 Mm³ à la STEP de Zemmouri. Il existe également un volume non-utilisable constitué des crues incontrôlables, des eaux qui s'infiltrent dans les nappes profondes ou de l'eau polluée qui est donc inutilisable.

5.6 Les demandes en eau modélisées à l'aide de WEAP

Les différents types de demandes sont illustrés dans la figure 18. Nous pouvons remarquer une augmentation de la demande en eau durant la période de référence.

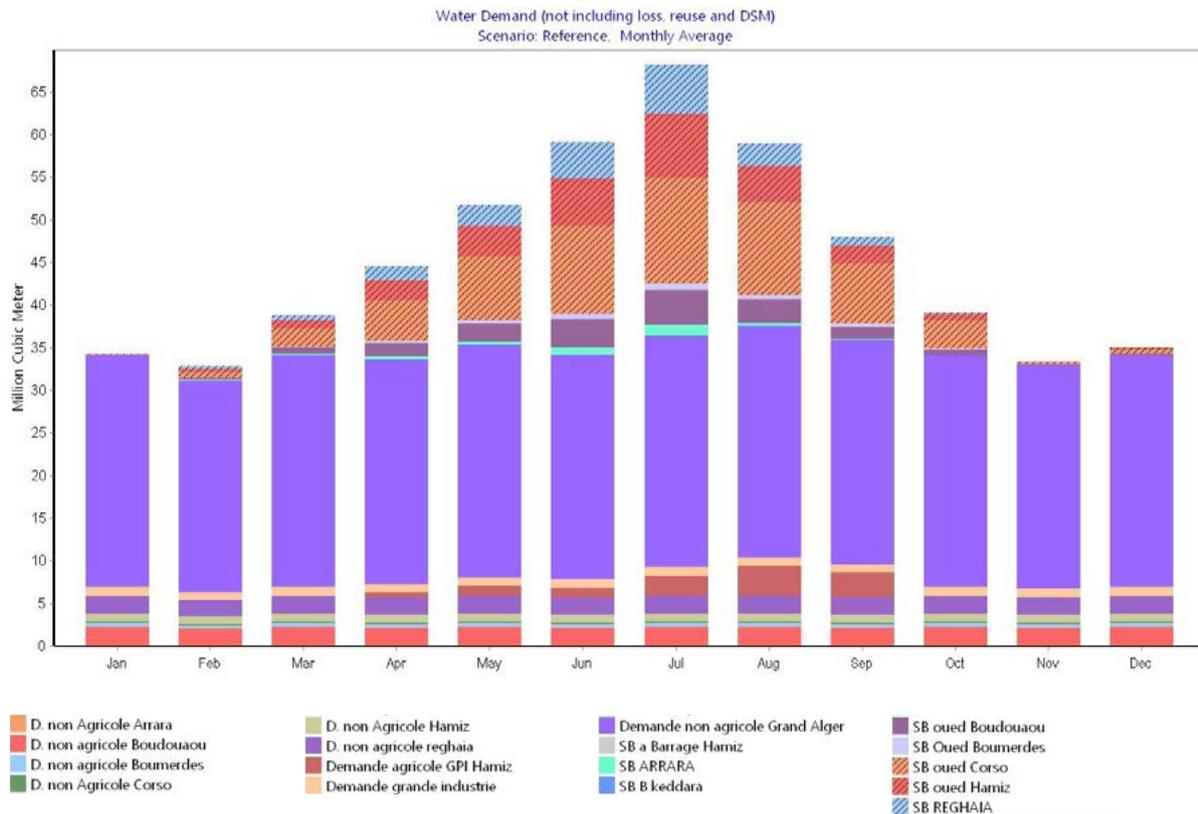
Figure 18: La demande en eau modélisée du cap Matifou



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

La figure 19 permet un autre constat: la demande en eau augmente durant les mois où la disponibilité de l'eau se trouve à son niveau le plus bas de l'année.

Figure 19: La demande en eau mensuelle du cap Matifou



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

6. Étalonnage du modèle et hypothèses

6.1 Étalonnage hydrologique

Les étapes décrites plus haut et les données de le modèle nécessitent un étalonnage hydrologique dans le système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP). De ce fait, suivant les mêmes étapes énoncées dans la lecture de calibrage hydrologique dans le modèle pour le cap Matifou, nous avons rencontré les contraintes suivantes:

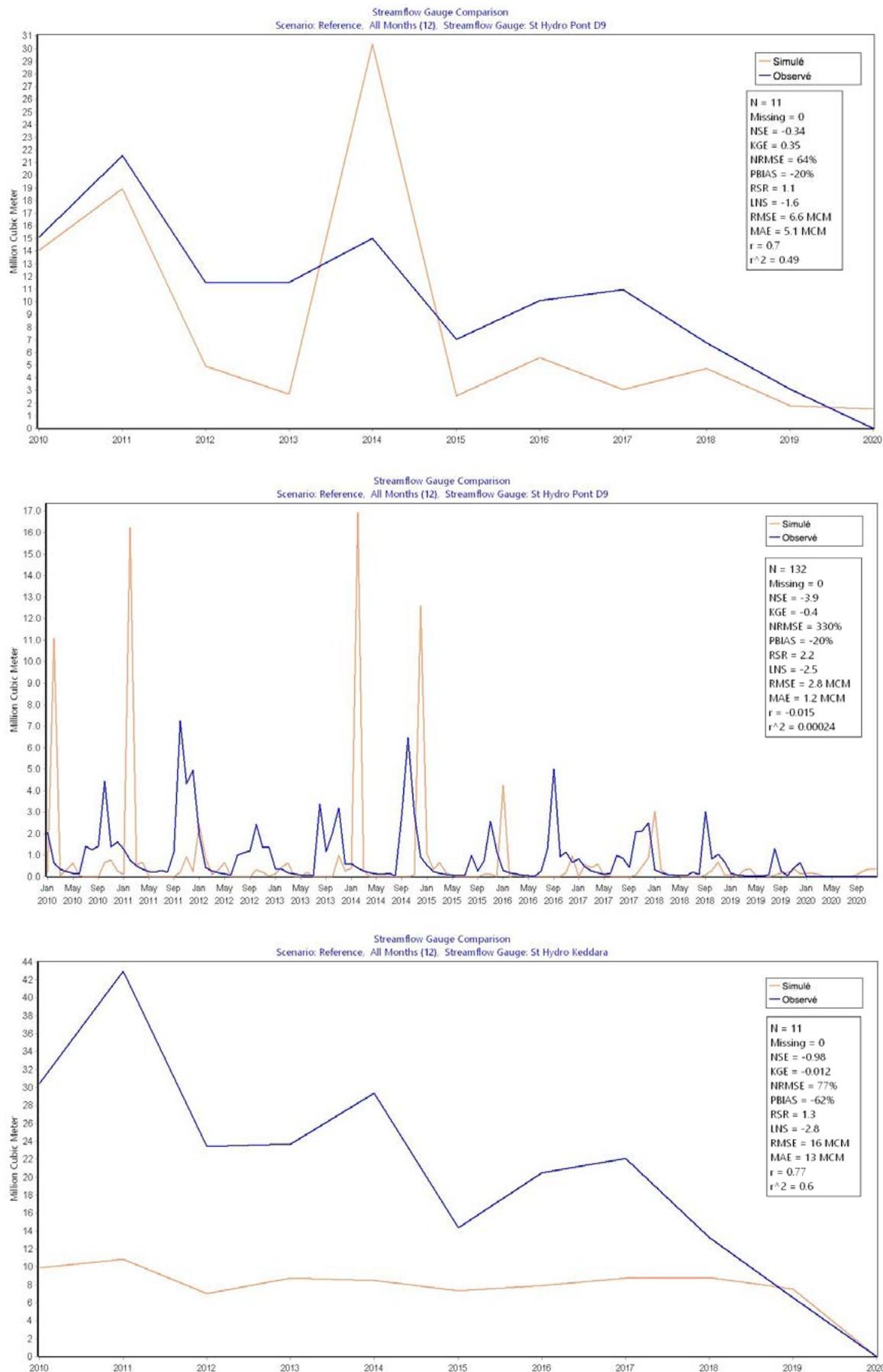
- la méthode choisie pour la simulation hydrologique, ladite méthode Pluie Ruissellement, ne permet pas de faire varier le coefficient cultural (K_c) pour calibrer hydrologiquement le modèle;
- les stations hydrométriques situées en aval des barrages Hamiz et Kaddara enregistrent les débits des cours d'eau sous l'effet du fonctionnement des barrages, donnant ainsi un calibrage un peu décalé et des écarts qui ont été constatés pour la période de référence (figure 20).

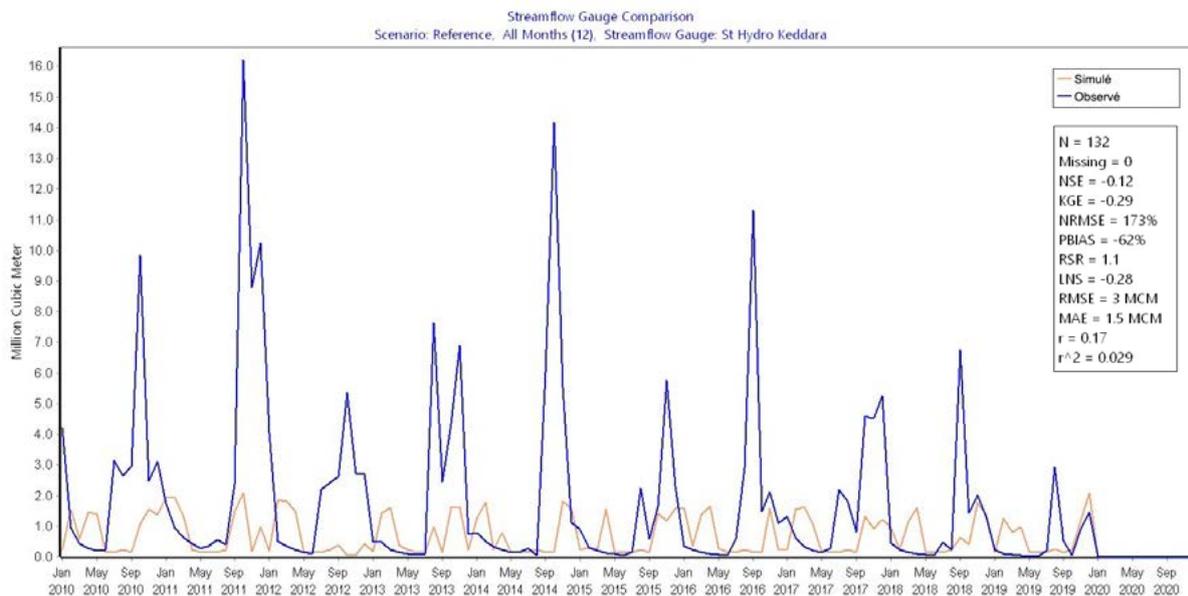
Pour dépasser ces contraintes, nous avons entamé le calibrage d'une période antérieure à la réalisation du barrage Kaddara, afin de calibrer le modèle en supposant que l'occupation des sols était identique¹⁴. Les résultats se sont avérés acceptables, avec une variation de K_c d'une valeur de 1 ou 0. Nous sommes donc allés de l'avant.

Dans une seconde étape, nous avons admis l'hypothèse que nous pouvions diminuer les valeurs des débits simulés en augmentant la valeur du K_c à 2 pour toutes les occupations de sol contenant une végétation; cela permettrait de diminuer l'écart entre les valeurs simulées et les valeurs observées et de considérer ces débits comme étant calibrés. Pour le reste des sous-bassins non jaugés, nous avons choisi des valeurs de K_c et considéré les débits simulés comme des débits calibrés. Les résultats du calibrage sont illustrés dans la figure 20.

¹⁴ Sachant que ceci n'est pas entièrement vrai.

Figure 20: Calibrage et comparaison entre les débits simulés et observés dans les deux stations de jaugeage





Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

6.2 Les besoins environnementaux en eau (*Environmental Flow Requirements*)

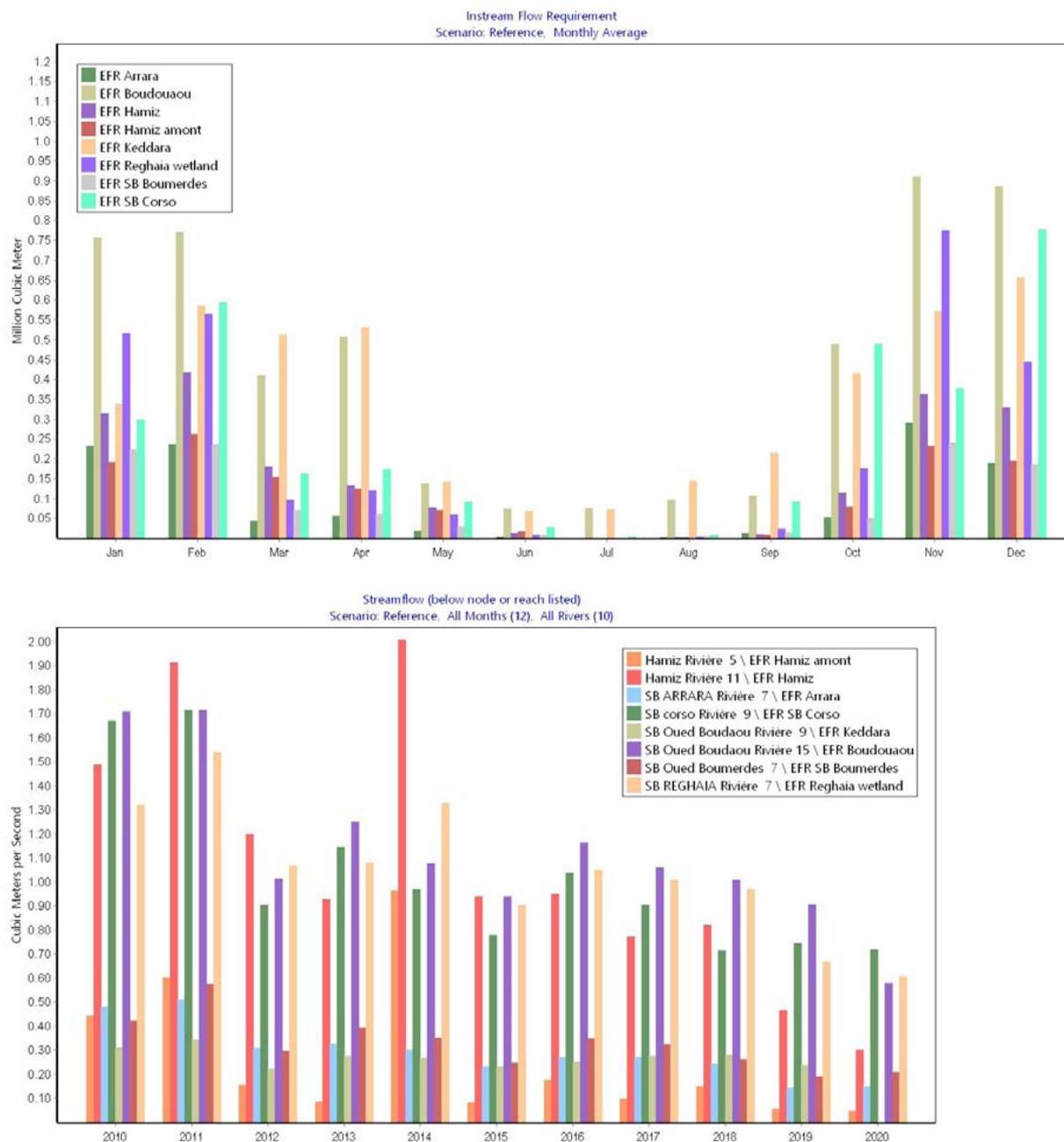
Les besoins environnementaux en eau (EFR) deviennent un sujet de plus en plus présent et revêtent une importance grandissante dans les politiques de l'eau. Smakhtin *et al.* (2004) se sont intéressés à cet aspect environnemental et ont calculé le besoin environnemental en eau des bassins et régions de drainage importants au niveau mondial. Ainsi, pour la côte d'Afrique du Nord (Algérie et Tunisie), les auteurs ont établi que 25 pour cent des ressources renouvelables correspondait au pourcentage du besoin environnemental de cette région. Il est aussi possible d'estimer les besoins environnementaux en eau à l'aide d'un autre outil, le système mondial d'information sur les besoins environnementaux en eau (GEFIS)¹⁵, qui a été mis au point par l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI) (Biancalani et Marinelli, 2021; FAO, 2020).

Sur WEAP, tous les débits simulés (calibrés) plus haut sont introduits dans l'outil FDC-Shift pour calculer les flux environnementaux, en utilisant la classe D des sous-bassins versants pour les bassins contenant un barrage et la classe B pour les sous-bassins sans réservoir¹⁶. Les étapes pour le calcul des flux environnementaux ont débouché sur les résultats qui sont illustrés dans la figure 21.

¹⁵ Le site web du GEFIS, en anglais Global Environmental Flows Information System, est le suivant: <http://eflows.iwmi.org/>

¹⁶ Les classes sont définies comme suit: «Les classes A et B représentent des conditions naturelles (non modifiées) ou largement naturelles, où aucune modification ou une modification limitée n'est survenue ou devrait être autorisée du point de vue de la gestion. La classe C est définie comme modérément modifiée, où les modifications sont telles qu'elles ont généralement un impact limité sur l'intégrité de l'écosystème, bien que les espèces sensibles soient touchées. Les écosystèmes largement modifiés (classe D) montrent une modification considérable par rapport à l'état naturel où le biote sensible en particulier est réduit en nombre et en étendue et où la structure de la communauté est substantiellement, mais acceptablement modifiée. Les écosystèmes considérablement modifiés (classe E) sont en mauvais état où la plupart des fonctions et des services de l'écosystème sont perdus. Cette classe est considérée comme inacceptable du point de vue de la gestion, car elle représente des écosystèmes qui sont utilisés de manière non durable.» (FAO, 2020, p. 10) pour lequel les pays sont tenus de soumettre des informations à la FAO qui est le responsable de cet indicateur. Cette directive fournit une méthode standard minimale, basée principalement sur le système mondial d'information sur les besoins environnementaux en eau (GEFIS)

Figure 21: Les besoins environnementaux en eau mensuels et annuels du cap Matifou



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

6.3 Étalonnage opérationnel

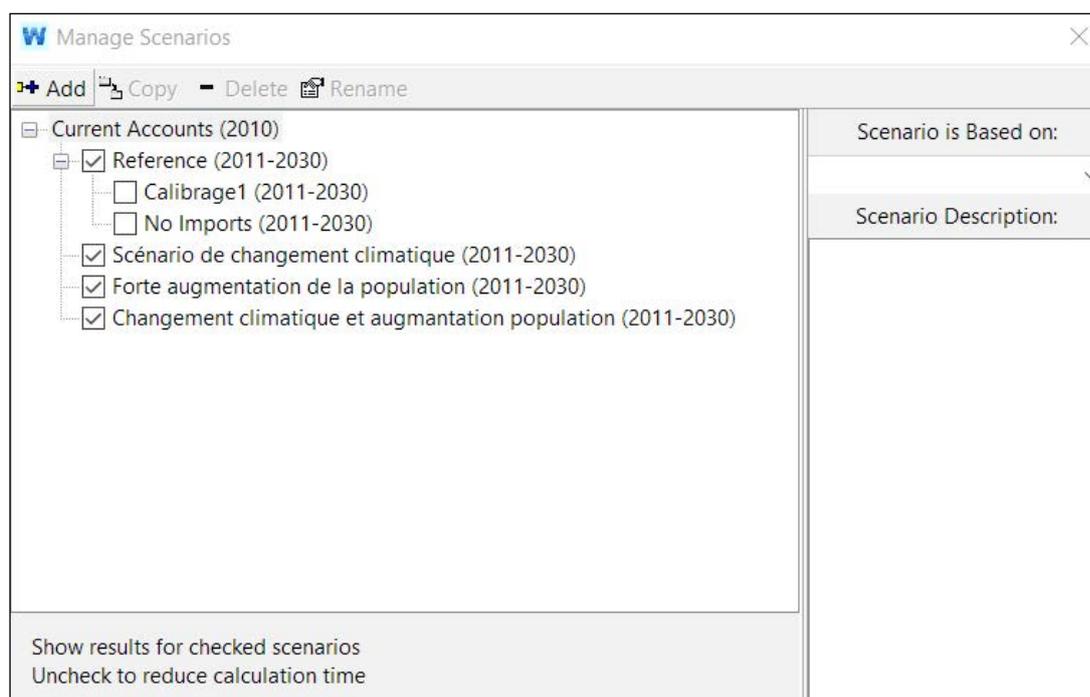
Pour cette étape, nous avons introduit des points de comptage des transferts afin de calibrer des débits simulés dans le modèle. Le calcul des précipitations a été affiné et complété. Il est à noter que d'autres ajustements ont été utilisés pour améliorer la qualité des résultats, étant donné le problème de déficit d'information que nous avons rencontré lors de la construction du modèle.

7. Scénarios et projections

Pour tracer une tendance dans l'évolution des prélèvements et la disponibilité de l'eau, plusieurs scénarios ont été envisagés dans le cadre du calcul du stress hydrique. Nous avons utilisé le modèle du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) calibré. Les demandes en eau prévues peuvent varier en fonction de la croissance démographique ou des changements dans les taux d'utilisation de l'eau (m^3 /personne ou m^3 /ha). Ainsi, nous avons défini les scénarios suivants (figure 22):

- Scénario du changement climatique: le changement climatique est une donnée à laquelle il faut se préparer. La façon exacte dont les modèles météorologiques et les saisons vont changer est largement inconnue, mais les modèles climatiques mondiaux peuvent fournir des informations pour aider à planifier une large gamme de résultats plausibles. L'intégration de l'hydrologie des bassins versants dans un modèle de planification des systèmes d'eau fait de WEAP un outil idéal pour étudier les impacts potentiels du changement climatique et d'autres incertitudes internes aux bassins versants.
- Scénario de forte augmentation de la population: à ce stade, les données utilisées sont les fichiers du Plan national de l'eau (PNE) de 2018 qui analyse l'évolution de la population par agglomération et ouvre à deux scénarios, l'un volontariste et l'autre tendanciel.
- Scénario combinant une forte augmentation de la population et un changement climatique.
- Scénario de tendanciel avec et sans transferts vers le cap Matifou.

Figure 22: Les scénarios du cap Matifou



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP.

En suivant un raisonnement proche du modèle, nous avons envisagé d'adopter les deux scénarios suivants:

Scénario d'économie d'eau: ce scénario prévoit l'expansion de l'irrigation et la reconversion de l'irrigation gravitaire vers celle au goutte à goutte, dans le cadre des programmes de développement agricole, ainsi que la résorption des fuites dans les réseaux de distribution de l'eau urbaine.

Scénario d'augmentation de l'offre: ce scénario prévoit le dessalement, les grands transferts et la réutilisation des eaux usées traitées. D'ailleurs, ceci constitue un axe stratégique de la politique nationale de l'eau et un potentiel très important en termes de réutilisation des eaux usées traitées existe dans le sous-bassin dont le niveau moyen des transferts est de 187 Mm³.

8. Résultats: évaluation du stress hydrique

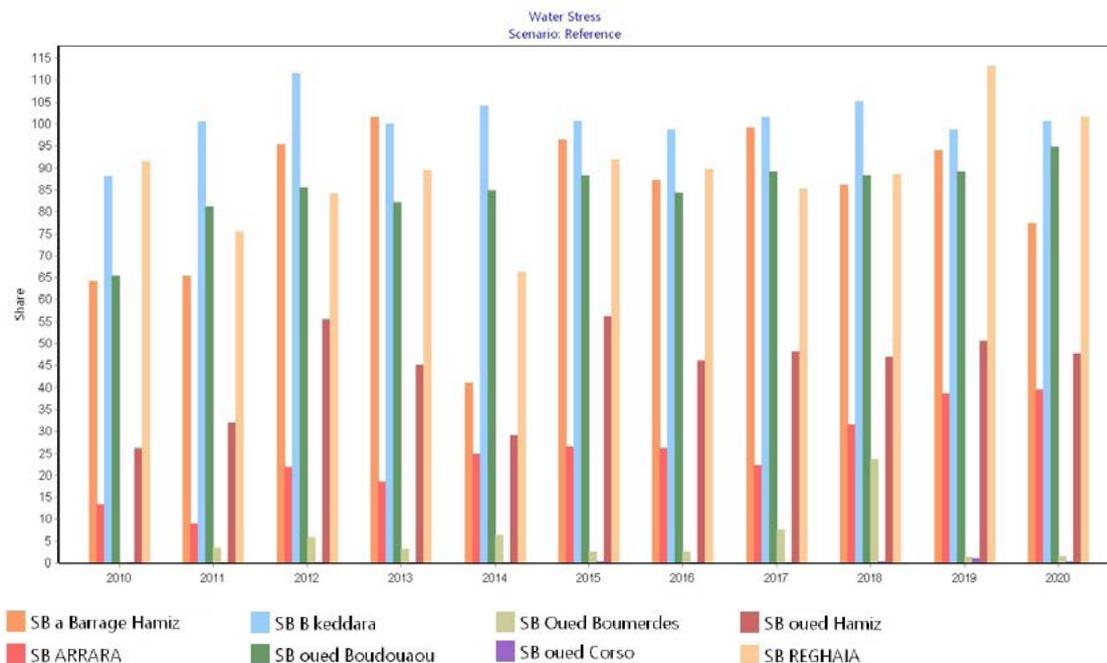
L'objectif ultime de toutes les étapes précédentes est le calcul du stress hydrique par sous-bassin modélisé. Avant de présenter et de discuter les résultats, il serait intéressant de faire un rapide rappel sur la formule du calcul utilisée par la FAO dans le cadre du suivi de l'état de réalisation de l'ODD 6.4.2. Le stress hydrique se calcule par le rapport entre (a) le volume des ressources totales en eau douce prélevées (brutes) dans l'ensemble des secteurs (agriculture, alimentation en eau potable, industrie, et autres) (*Total fresh water withdrawn*) et (b) les ressources totales renouvelables en eau douce (*Total renewable fresh water resources*) après avoir soustrait la quantité d'eau nécessaire pour soutenir les services environnementaux existants, aussi résumée dans l'appellation des besoins environnementaux en eau (*environmental flows requirement*). Signalons que, selon la méthodologie de la FAO et d'AQUASTAT, l'indicateur est calculé en considérant le prélèvement total d'eau et sans tenir compte du débit de retour, qui est calculé comme la différence entre l'eau brute prélevée et l'eau consommée brute (appelé également prélèvements nets) (Biancalani et Marinelli, 2021; Smakhtin *et al.*, 2004).

$$\text{stress hydrique (\%)} = \frac{\text{total des prélèvements d'eau douce}}{\text{total des ressources en eau douce renouvelables - les besoins environnementaux en eau}} * 100$$

Le *plugin* du calcul du stress hydrique développé par la FAO en collaboration avec l'Institut de Stockholm pour l'environnement (SEI) utilise cette définition. Il consiste à calculer le stress à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) pour chaque sous-bassin. L'application de cet outil au cap Matifou et les scénarios utilisés ont produit les résultats que nous décrivons ci-dessous.

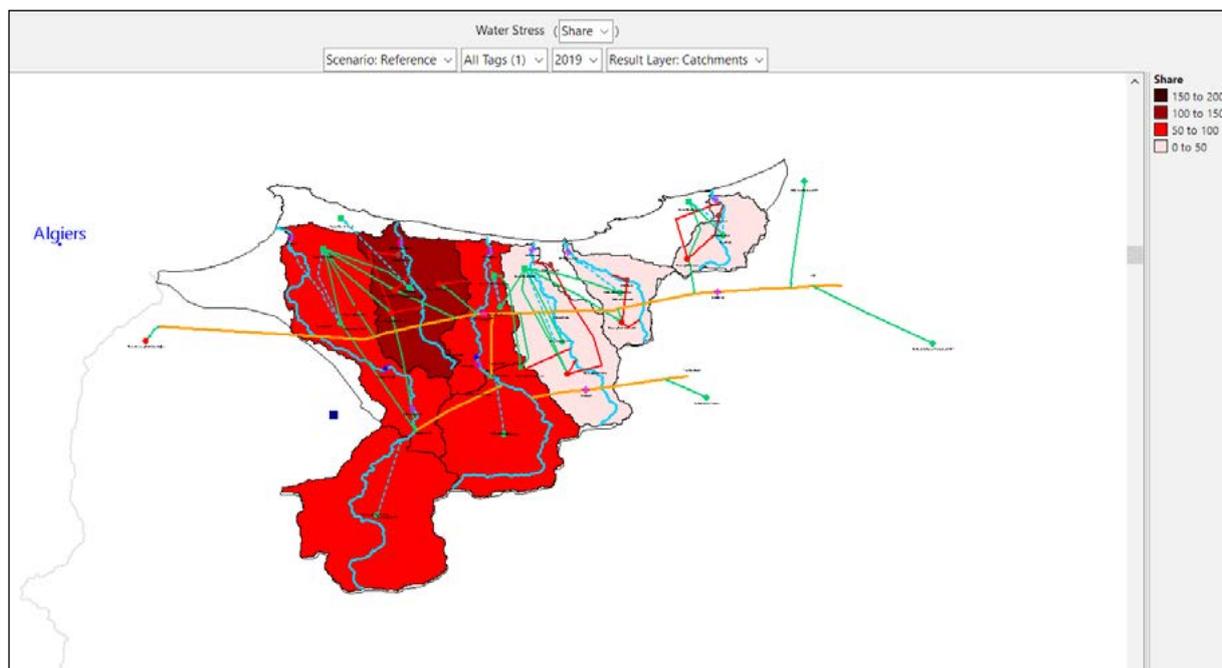
Pour la période de référence, le niveau de stress hydrique varie d'un sous-bassin à un autre. Dans le sous-bassin de l'oued Arara, il a augmenté en passant de 13 pour cent en 2010 à 39,5 pour cent en 2020. Dans le sous-bassin de l'oued Boudouaou, le stress est passé de 65,44 pour cent en 2010 à 97,8 pour cent en 2020. L'oued Hamiz a lui aussi enregistré une augmentation du stress hydrique qui, d'environ 26 pour cent en 2010, a atteint 47,6 pour cent en 2020. Le niveau le plus important de stress a touché le sous-bassin de l'oued Réghaïa qui enregistrait 91,5 pour cent en 2010 et 101,5 pour cent en 2020; ceci s'explique par la demande croissante en eau industrielle et la présence d'une zone humide, le lac de Réghaïa (annexe 1, figure 23 et figure 24).

Figure 23: Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) pour la période de référence entre 2010 et 2020



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

Figure 24: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) en 2019 (période de référence)

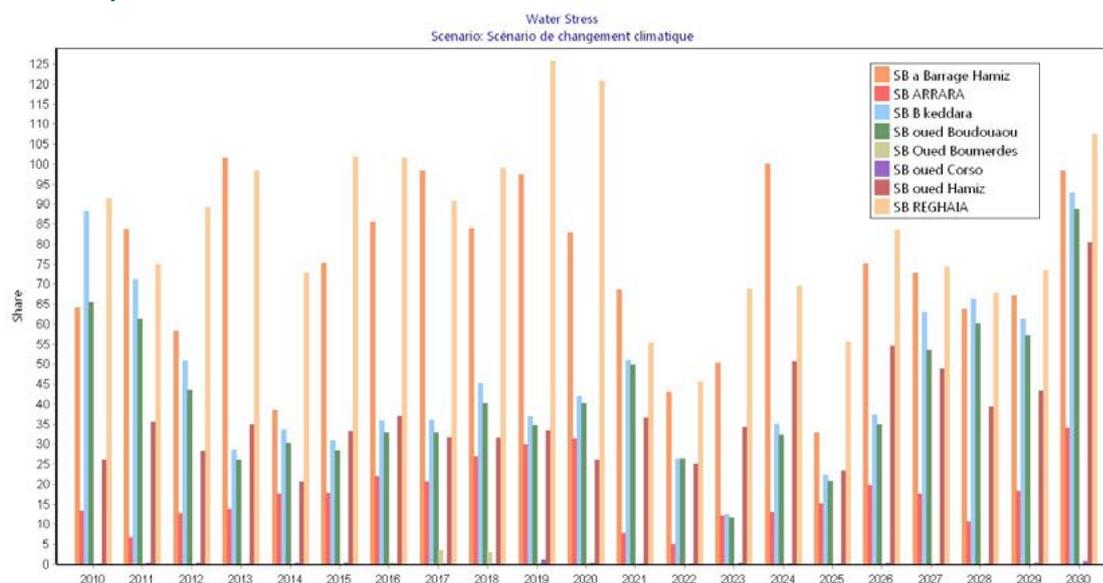


Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

Dans le scénario du changement climatique, le stress hydrique dans le sous-bassin d'oued Arrara est évalué à 31,35 pour cent en 2020 et le modèle indique une augmentation jusqu'à 34 pour cent en 2030, ce qui annonce une certaine stabilité du taux. Dans le sous-bassin de Boudouaou, il est prévu que

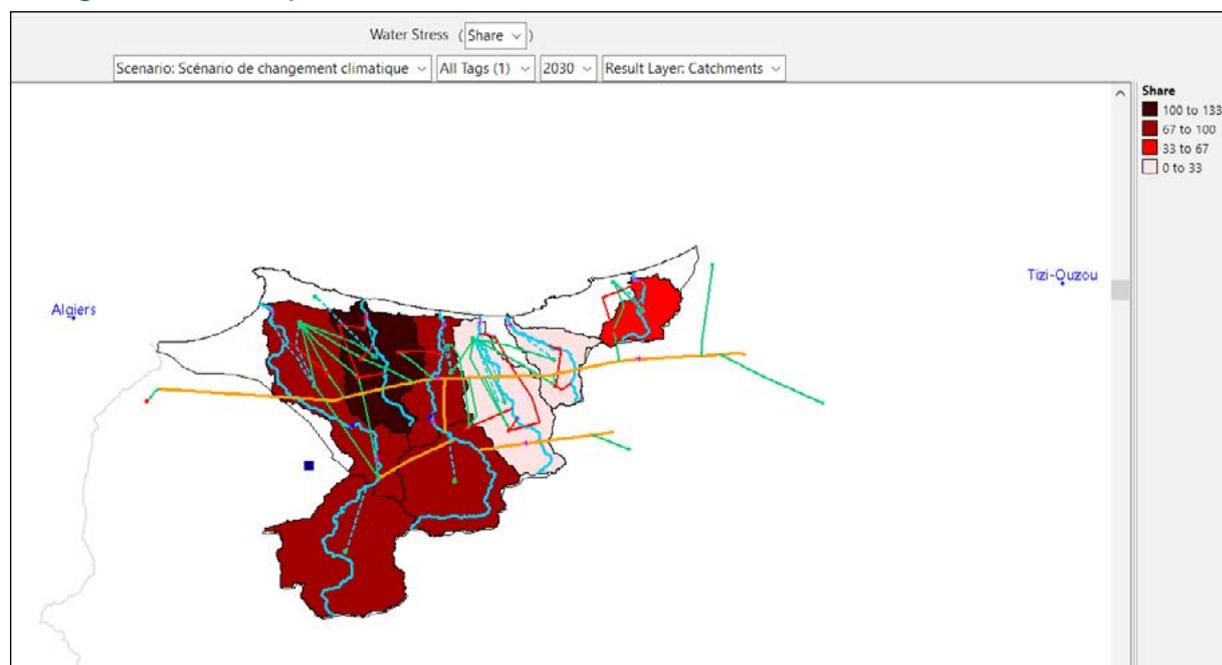
le stress passe de 40 pour cent en 2020 à 88,7 pour cent en 2030, soit une augmentation très importante. De même, l'augmentation prévue dans le sous-bassin de Hamiz fait passer le stress de 26,3 pour cent en 2020 et 80,4 pour cent en 2030. Quant au sous-bassin de Réghaïa, c'est lui qui enregistre le taux de stress le plus élevé, dépassant 107,5 pour cent en 2030 (figure 25, figure 26 et annexe 2).

Figure 25: Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique à l'horizon 2030



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

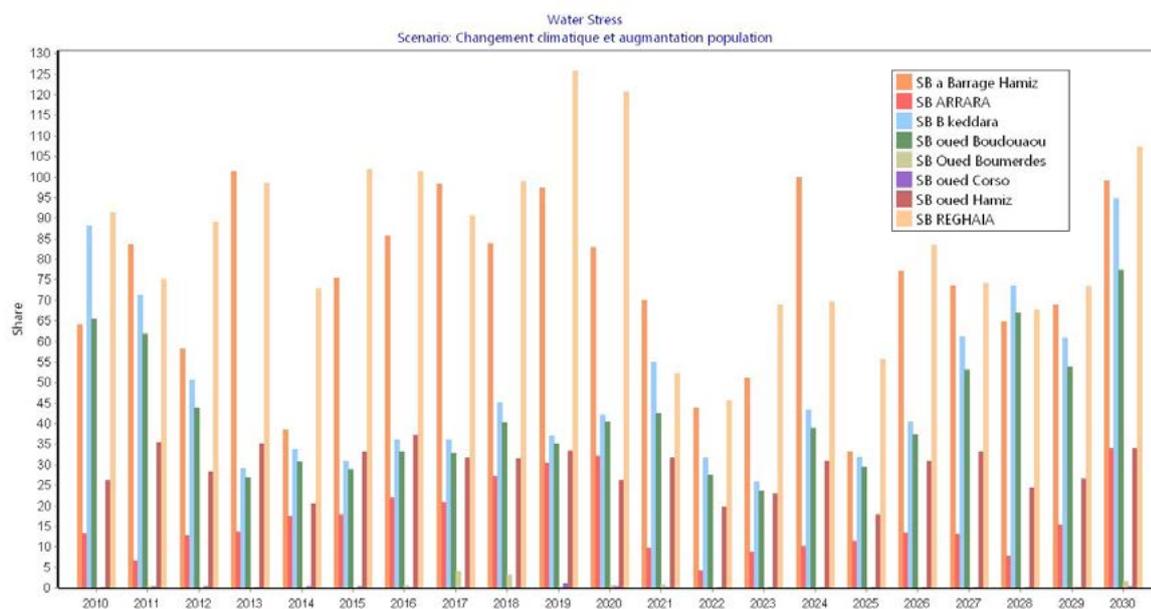
Figure 26: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique à l'horizon 2030



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

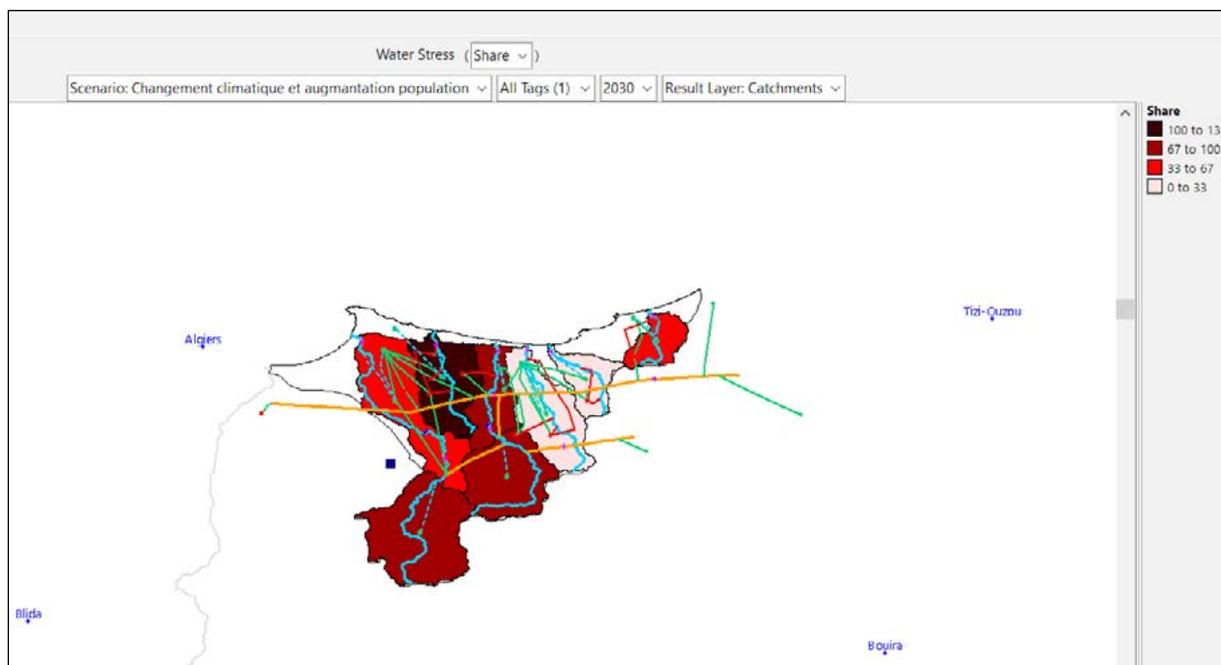
La combinaison des deux scénarios de la croissance démographique et du changement climatique produit d'autres résultats pour le stress hydrique mais celui-ci sera de nouveau plus marqué dans les sous-bassins de l'ouest du cap Matifou, notamment les sous-bassins de Hamiz et de Réghaïa (annexe 3, figure 27 et figure 28).

Figure 27: Le stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique et de la croissance démographique à l'horizon 2030



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

Figure 28: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique et de la croissance démographique à l'horizon 2030



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

9. Limites du modèle et développement futur

Le cap Matifou est un système complexe sur le plan hydrologique et sur le plan des interventions de la politique de l'eau. En fait, beaucoup de contraintes ont été rencontrées lors de la construction du modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2. Ces contraintes nous ont imposé des choix pour réaliser une évaluation du stress hydrique qui soit proche de la réalité, en réduisant au maximum les incertitudes. La première contrainte est celle causée par le déficit d'information tel que nous l'avons décrit plus haut. En effet, le chevauchement des limites hydrologiques, hydrogéologiques et administratives a rendu difficile l'évaluation de certains termes du modèle, à l'instar du nombre de la population et de la superficie irriguée par sous-bassin modélisé. La deuxième contrainte est liée au déficit administratif qu'elle aggrave. Car les données sont parfois indisponibles, parfois incertaines et parfois difficilement accessibles, notamment au niveau local, d'autant plus que le modèle construit à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP) est très gourmand en données. Ce manque d'informations est dû à l'insuffisance du réseau de mesure et d'observation, qui est constitué par les stations pluviométriques et les stations de jaugeage. Si les lacunes laissées par le manque de stations pluviométriques ont été comblées par les données du portail WaPOR, il n'en demeure pas moins que les mesures des débits ont représenté un véritable écueil dans la construction du modèle. Car le cap Matifou ne compte en effet que deux stations hydrométriques qui, de surcroît, sont situées loin de l'exutoire et en aval des barrages. Ceci a une influence sur la mesure des débits et explique les écarts dans le calage du modèle, comme nous l'avons expliqué plus haut. Pour contourner cette situation, nous avons utilisé l'historique d'une série de données hydrométriques relevées avant la réalisation du barrage de Keddara, en introduisant la même occupation de sol pour les deux périodes. Ainsi nous avons pu réaliser un bon calage¹⁷.

L'autre limite à laquelle nous nous sommes confrontés dans notre travail a concerné les transferts d'eau existants entre les six sous-bassins modélisés. Les transferts ont rendu la zone d'étude plus complexe et, de ce fait, augmenté la difficulté de la simulation (cas du barrage de Keddara). La détermination des volumes échangés a été difficile, car nous ne disposions pas de données sur les prélèvements historiques des volumes souterrains. Ajoutons à cela que la carte de l'occupation du sol ne concerne qu'une petite partie de la zone d'étude, à savoir la portion du grand périmètre irrigué de Hamiz faisant partie des sous-bassins modélisés. Il nous a donc fallu utiliser les statistiques des données raster sur l'occupation du sol de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'Institut de recherche sur les systèmes environnementaux (ESRI).

Le manque de données nous a fait opter pour la première méthode, la méthode simplifiée (*Rainfall Runoff [Simplified Coefficient Method]*) dans la mesure où elle ne demande pas beaucoup de données. En faisant ce choix, nous étions bien conscients que, pour plus de pertinence et dans l'idéal, il eût été recommandé d'utiliser les autres méthodes de l'outil WEAP.

¹⁷ Cette méthode a été abandonnée, car Kc variait entre 0 et 1.

De manière générale, nous pouvons résumer comme suit les lacunes dans les données:

- absence de données sur les débits (entrants et sortants) du lac de Réghaïa et absence de données sur les besoins environnementaux en eau;
- manque de données sur les eaux souterraines;
- lacunes dans les séries sur les eaux non conventionnelles;
- manque de détails concernant l'allocation des ressources en eau pour les demandes agricoles et non agricoles, les transferts et les eaux souterraines, rendant plus difficile notamment le calibrage opérationnel.

Au-delà des contraintes et des limites du modèle développé, le travail a été l'occasion de tester le *plugin* et d'inaugurer une nouvelle approche désagrégée pour aborder le stress hydrique. Cette «fenêtre d'opportunité» a permis d'améliorer le modèle du cap Matifou et d'enclencher le processus vers une évaluation du stress hydrique pour l'ensemble des bassins versants de l'Algérie. En ce qui concerne les nouvelles pistes qui s'annoncent, on retiendra les deux suivantes:

- Le WEAP est un outil intéressant qui peut s'associer à d'autres modèles de gestion des aquifères (par exemple le modèle Modflow). Dans le contexte algérien, il serait utile de l'utiliser dans les nappes sous pression.
- Le WEAP prend en compte les aspects économiques de l'eau. L'intégration du volet financier dans les modèles WEAP permettra d'évaluer à la fois la viabilité économique et la soutenabilité environnementale.

10. Conclusion générale

Dans le contexte de la croissance démographique, du changement climatique et des objectifs de développement socioéconomique, l'évaluation de la pression sur les ressources en eau est primordiale. Elle peut passer par une quantification du stress hydrique actuel et futur. L'outil de désagrégation de l'ODD 6.4.2. «Niveau de stress hydrique: prélèvements d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles» est intéressant et peut servir de repère dans le suivi des ressources superficielles et souterraines à l'échelle des sous-bassins, notamment dans la région de l'ouest et le centre de l'Algérie.

Au-delà des incertitudes dont nous pouvons accepter certaines proportions, le modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2 a confirmé plusieurs conclusions qui avaient été proposées dans des travaux sur la comptabilité de l'eau. En réalité, le cap Matifou est déficitaire et ce n'est que grâce aux transferts des autres régions que le sous-bassin a pu répondre jusqu'ici à la demande en eau. Nous pouvons conclure que ces transferts ont atténué le niveau de stress hydrique. Or l'ensemble des scénarios indiquent que les niveaux de stress hydrique seront alarmants à l'horizon 2030 et il convient donc de se préparer dès maintenant. La principale recommandation qui émerge de ce travail invite à accorder davantage d'importance aux mesures des ressources et à leur suivi en prévoyant notamment l'installation de nouvelles stations pluviométriques et hydrométriques. Le renforcement de la collecte ainsi que le suivi et l'amélioration de la qualité de données produites sont des conditions sine qua non vers la réalisation de l'ODD 6 et l'obtention d'un meilleur suivi de l'ODD 6.4.2.

Le présent travail ne représente qu'une modeste contribution au débat sur le calcul du stress hydrique. Il se considère parmi les premières tentatives d'évaluation du stress en Algérie. Il n'a, bien sûr, ni épuisé le sujet ni esquissé entièrement les volets touchant aux ressources en eau dans le sous-bassin du cap Matifou, mais il ouvre néanmoins des perspectives et des pistes de développement de l'approche qui permettront d'atteindre les cibles de l'ODD 6.

Références bibliographiques

- Aguilera-Klink, F., Pérez-Moriana, E. et Sánchez-García, J.** 2000. The social construction of scarcity. The case of water in Tenerife (Canary Islands). *Ecological Economics*, 34(2), 233-245. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00160-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00160-9)
- Akhmouch, A. et Correia, F. N.** 2016. The 12 OECD principles on water governance – When science meets policy. *Utilities Policy*, 43, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.06.004>
- ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques) et ENERGOPROJEKT.** 2009. *Réalisation de la carte des ressources en eau souterraines du nord de l'Algérie. Dossier C: Présentation des unités hydrogéologiques (Région Centre)*. Alger, p. 102.
- Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faurès, J.-M. et Peiser, L.** 2017. *Water accounting and auditing A sourcebook*. FAO Water Reports n. 43. FAO, Rome.
- Biancalani, R. et Marinelli, M.** 2021. Assessing SDG indicator 6.4.2 'level of water stress' at major basins level. *UCL Open Environment*, Vol. 3. <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000026>
- Brown, A. et Matlock, M. D.** 2011. *A review of water scarcity indices and methodologies. Food, beverage & agriculture*. White paper 106. The sustainability consortium. University of Arkansas, Fayetteville (AR), États-Unis d'Amérique. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/15557>
- Buchs, A.** 2012. *Observer, caractériser et comprendre la pénurie en eau. Une approche institutionnaliste de l'évolution du mode d'usage de l'eau en Espagne et au Maroc. Soutenue le 15 mai 2012*. Thèse de doctorat préparée au sein du laboratoire Économie du développement durable et de l'énergie (EDDEN-LEPII, FRE 3389 CNRS). École doctorale de Sciences économiques (ED n° 300), université de Grenoble, Grenoble, France.
- Charbit, C.** 2011. *Governance of Public Policies in Decentralised Contexts: The Multi-level Approach*. OECD Regional Development Working Papers no 2011/04, Paris. <https://doi.org/10.1787/5kg883pkxkhc-en>
- CNES (Centre national d'études spatiales).** 2000. *L'eau en Algérie: Le grand défi de demain*. Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du conseil national économique et social, Alger, p. 84.
- Damkjaer, S., et Taylor, R.** 2017. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513-531. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>

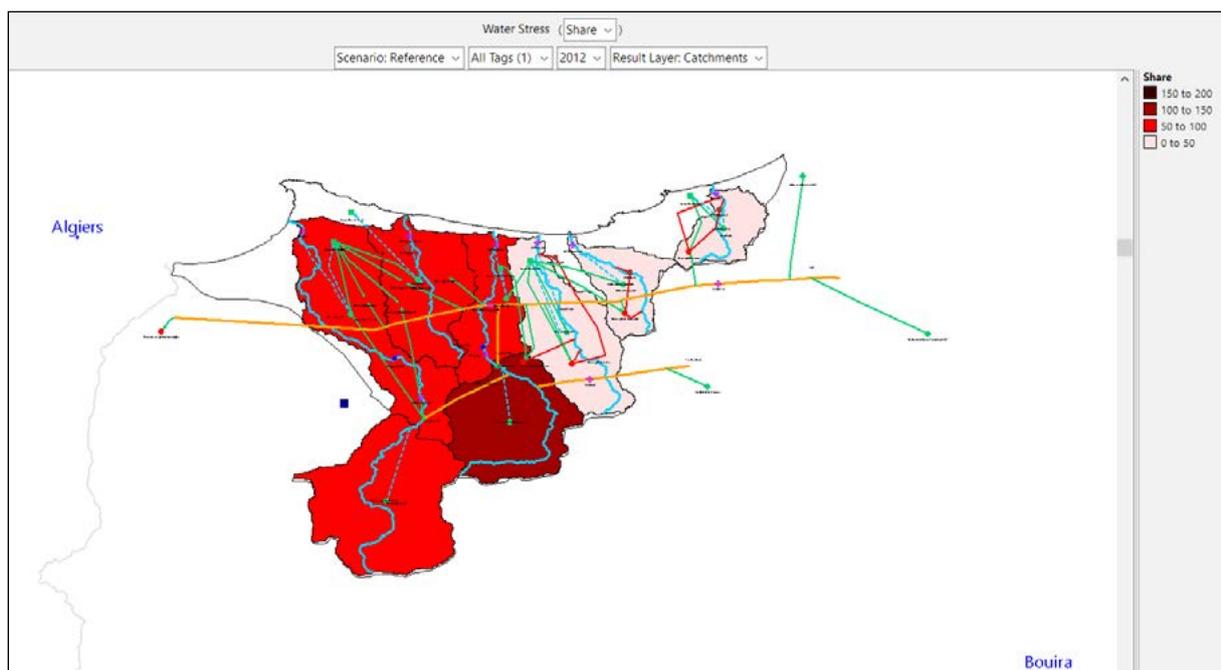
- EI-Gafy, I. K. E.-D.** 2018. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 173-186. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.09.008>
- Falkenmark, M.** 1997. Meeting water requirements of an expanding world population. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352(1356), 929-936. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0072>
- Falkenmark, M., Lundqvist, J. et Widstrand, C.** 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. *Natural Resources Forum*, 13(4), 258-267. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x>
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).** 2020. *Comment inclure les besoins environnementaux en eaux dans l'indicateur 6.4.2 du «stress hydrique»: Directives pour une méthode standard minimale pour le rapport mondial*. Rome.
- Feitelson, E. et Chenoweth, J.** 2002. Water poverty: Towards a meaningful indicator. *Water Policy*, 4(3), 263-281. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00029-6)
- Honegger, A. R. et Bravard, J.-P.** 2005. La pénurie d'eau, donnée naturelle ou question sociale? *Géocarrefour*, 80 (vol. 80/4), 257-260. <http://journals.openedition.org/geocarrefour/1234>
- Jemmali, H. et Matoussi, M. S.** 2013. A multidimensional analysis of water poverty at local scale: Application of improved water poverty index for Tunisia. *Water Policy*, 15(1), 98-115. <https://doi.org/10.2166/wp.2012.043>
- Kherbache, N. et Molle, F.** 2022. Causes and consequences of the Macta basin closure, Algeria. *International Journal of Water Resources Development*, 0(0), 1-22. <https://doi.org/10.1080/07900627.2022.2089100>
- Lawrence, P., Meigh, J. et Sullivan, C.** 2003. The Water Poverty Index: An International Comparison. In *Keele Economics Research Papers (KERP 2002/19; Keele Economics Research Papers)*. Centre for Economic Research, Keele University, Keele, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord. <https://ideas.repec.org/p/kee/kerpuk/2002-19.html>
- Margat, J.** 2005. Quels indicateurs pertinents de la pénurie d'eau? *Géocarrefour*, 80 (vol. 80/4), Article 4. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1235>
- Molle, F. et Mollinga, P.** 2003. Water poverty indicators: Conceptual problems and policy issues. *Water Policy*, 5(5-6), 529-544. <https://doi.org/10.2166/wp.2003.0034>
- Ministère des ressources en eau-BRL Ingénierie.** 2007. *Étude de la tarification de l'eau à usage agricole. Synthèse des apports de fin de la Mission II et fichiers de calcul*, Alger, p. 66 et annexes [Édition définitive].

- Nichane, M. et Khelil, MA.** 2015. Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. *LARHYSS Journal*, 12(1), 15-23. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/55229>
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques).** 2012. *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*. Paris, p. 236.
- Ohlsson, L.** 2000. Water conflicts and social resource scarcity. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(3), 213-220. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X)
- ONU (Organisation des Nations Unies).** 2000. *Déclaration du Millénaire*. Résolution adoptée par l'Assemblée générale de l'ONU. New York, États-Unis d'Amérique.
- Plan directeur d'aménagement des ressources en eau.** 2020. *Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau Région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam*. Département: Planification et gestion des données, p. 115 [Version finale].
- PNE (Plan national de l'eau).** 2005. *Plan national de l'eau de la région Est et Centre : Demande en eau industrielle. Mission 2: Volet 12. Groupement BCEOM-BG-SOGREAH*, p. 37.
- PNE.** 2010a. *Demande en eau agricole. Rapport de la mission 2-volet 6-tome 1. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau*, p. 105 [Rapport final].
- PNE.** 2010b. *Demande en eau industrielle. Rapport de la mission 2-volet 5-tome 1. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau*, p. 34.
- PNE.** 2010c. *Les ressources en eau souterraine. Rapport de la mission 2-volet 2-tome 1. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau*, p. 121.
- PNE.** 2010d. *Les ressources en eau superficielles: Étude des volumes régularisables». Rapport de la mission 2-volet 1-tome 2. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau*, p. 108.
- Raskin, P., Gleick, P., Kirshen, P., Pontius, G. et Strzepek, K.** 1997. *Water futures: Assessment of long-range patterns and problems. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. Institut de Stockholm pour l'environnement, Stockholm. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE1998011028>
- Rijsberman, F. R.** 2006. Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1), 5-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>

- Smakhtin, V., Revenga, C. et 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>
- SOGREAH.** 2009a. *Étude d'inventaire et de développement de la PMH. Partie 1: Rapport définitif RA3 Wilaya d'Alger.* Rapport final n° 2 34 0074, p. 310.
- SOGREAH.** 2009b. *Étude d'inventaire et de développement de la PMH. Partie 1: Rapport définitif RA3 Wilaya de Boumerdès.* Rapport final n° 2 34 0074, p. 254.
- Sullivan, C. A. et Jemmali, H.** 2014. Toward Understanding Water Conflicts in MENA Region: A Comparative Analysis Using Water Poverty Index. *Working Papers* n° 859. Economic Research Forum. <https://ideas.repec.org/p/erg/wpaper/859.html>
- Sullivan, C. A., Meigh, J. R. et Giacomello, A. M.** 2003. The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. *Natural Resources Forum*, 27(3), 189-199. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.00054>
- Sullivan, C., Meigh, J. et Lawrence, P.** 2006. Application of the Water Poverty Index at Different Scales: A Cautionary Tale. *Water International*, 31(3), 412-426. <https://doi.org/10.1080/02508060608691942>
- Turton, A. et Ohlsson, L.** 1999. *Water scarcity and social stability: Towards a deeper understanding of the key concepts needed to manage water Scarcity in developing countries.* SOAS Water Issues Study Group de l'université de Londres et African Water Issues Research Unit (AWIRU) du Département des sciences politiques de l'université de Prétoria.

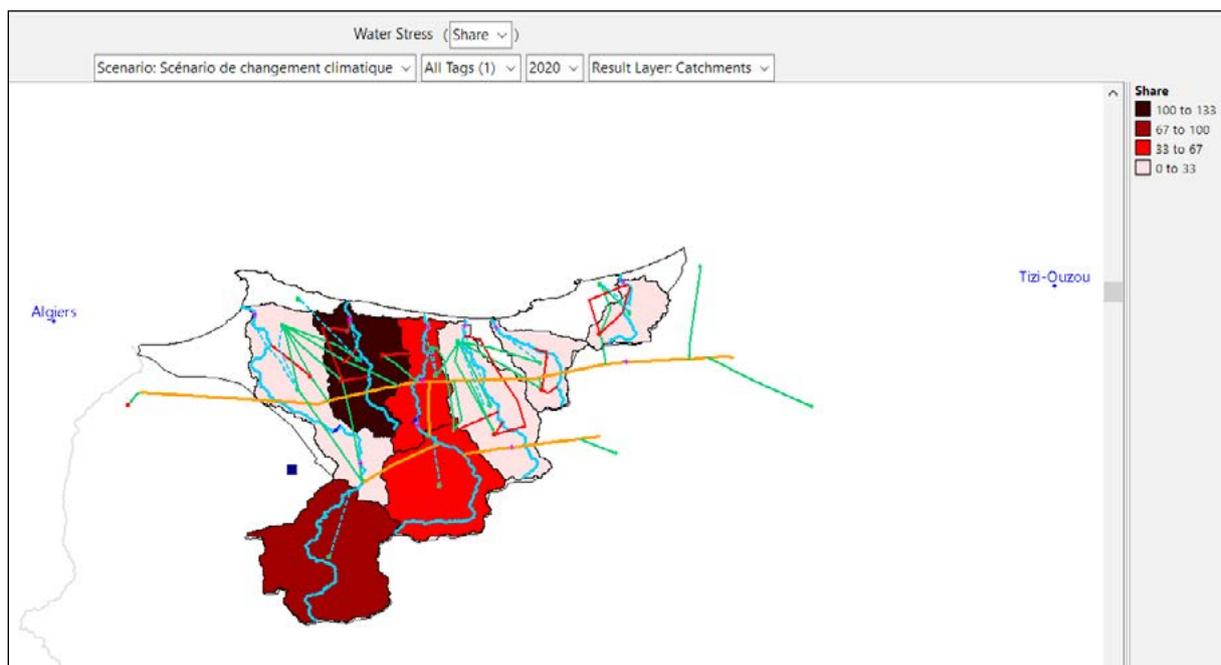
Annexes

Annexe 1: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) en 2012



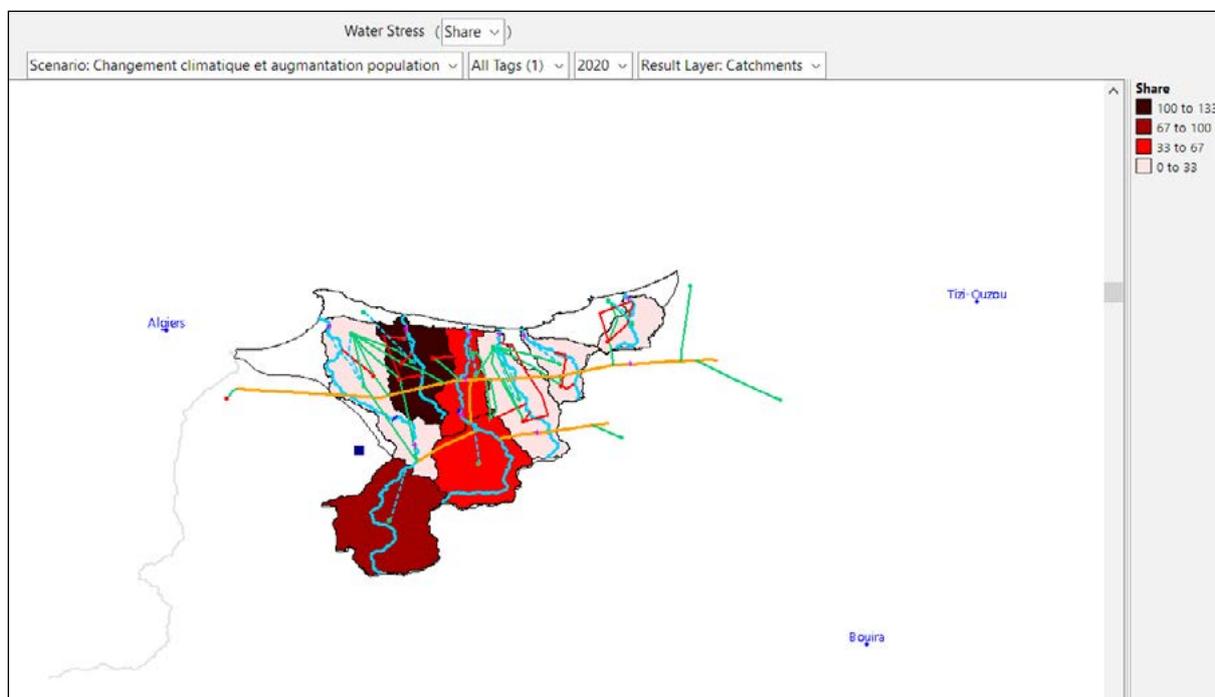
Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

Annexe 2: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario du changement climatique en 2020



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

Annexe 3: Carte du stress hydrique (exprimé en pourcentage) dans le scénario combiné du changement climatique et de la croissance démographique



Source: Figure élaborée par l'auteur à l'aide de WEAP (disponible en anglais uniquement).

L'évaluation de l'indicateur l'ODD 6.4.2. «Niveau de stress hydrique: prélèvements d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles» ne s'avère pas très représentative à l'échelle du pays. L'objectif de cette étude vise à définir une méthodologie de désagrégation de l'indicateur à l'échelle des bassins versants pour se rapprocher de la valeur réelle de l'indicateur. L'étude élabore un modèle de désagrégation de l'ODD 6.4.2 à l'aide du système d'évaluation et de planification des eaux (WEAP). Ce rapport résume la méthodologie utilisée, les sources des données et les modélisations mobilisées ainsi que les principaux résultats, et elle concerne le sous-bassin de cap Matifou (proche d'Alger) dont la superficie est de 795,7 km². Le modèle a été testé sur six petits sous-bassins du cap Matifou, pour une superficie totale d'environ 636,5 km², qui correspondent aux oueds Arara, Boumerdès, Corso, Boudouaou, Réghaïa et Hamiz. L'approche méthodologique utilisée est multidimensionnelle et mobilise des données sur les mesures qui émanent des différentes institutions impliquées dans la gestion de l'eau en Algérie.

ISBN 978-92-5-138558-6



9 789251 385586

CC9424FR/1/03.24