

Étude n° 2024-03

Empreinte eau et indicateur ACV AWARE : pratiques et recommandations

Synthèse (FR)

Juillet 2025

Version	10 juillet 2025	
Rédacteurs	Vérificateurs	Approbateurs
Georg SEITFUDEM Pablo TIRADO SECO	Laure Patouillard Anne-Marie BOULAY	xx

Centre international de référence pour l'analyse du
cycle de vie et la transition durable (CIRAIG)
www.ciraig.org



L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- En bibliographie, ce document sera cité sous la référence :
SCORE LCA, Empreinte eau et indicateur ACV AWARE : pratiques et recommandations, Synthèse, 2025, 16 pages, n°03-2024.
- Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) : www.ademe.fr
- Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

1. Contexte et objectif de l'étude

Cette étude examine comment les enjeux environnementaux liés à l'eau, en particulier la rareté de l'eau, peuvent être abordés à travers l'analyse du cycle de vie (ACV) et d'autres méthodes, évalue dans quelle mesure l'ACV rend compte de ces questions, et analyse les forces et les limites de la méthode AWARE en tant qu'indicateur de référence de la rareté de l'eau dans l'ACV. Elle comprend des études de cas visant à identifier les défis pratiques et formule des recommandations pour améliorer l'évaluation des impacts liés à l'eau conformément à la norme ISO 14046 et la méthode AWARE.

Les objectifs spécifiques du projet étaient les suivants :

- Identifier comment les entreprises prennent en compte et évaluent les enjeux environnementaux liés à l'eau sur la base de leurs pratiques (ACV et au-delà), en mettant particulièrement l'accent sur la rareté de l'eau,
- Identifier comment l'ACV traite les questions liées à l'eau, ainsi que les questions liées à l'eau qui ne sont pas couvertes par l'ACV,
- Résumer la manière dont les lignes directrices et les normes de l'ACV recommandent d'évaluer les questions liées à l'eau,
- Analyser AWARE, la méthode d'ACV la plus répandue en matière de rareté de l'eau, et la comparer à des mesures et méthodes alternatives à l'ACV,
- Réaliser des études de cas pour identifier les problèmes d'application et d'interprétation des méthodes WF, en particulier AWARE,
- Formuler des recommandations pratiques à la lumière de l'état de l'art et des résultats des études de cas.

Ce document est un résumé de l'étude complète disponible en ligne sur le site web de ScoreLCA : SCORE LCA, Empreinte eau et indicateur ACV AWARE : pratiques et recommandations, 2025, 154 pages, n°2024-03.

2. Cadres d'évaluation de l'impact des enjeux environnementaux liés à l'eau et élaboration de normes

2.1 Définition des questions environnementales liées à l'eau

Les questions environnementales liées à l'eau peuvent être classées en différentes catégories :

- Les questions liées à la **disponibilité de l'eau** comprennent les problèmes liés aux situations dans lesquelles la demande en eau d'une certaine qualité dépasse la disponibilité de cette eau dans une région donnée. La norme ISO 14046 « Évaluation de l'impact environnemental des produits » (ISO, 2017) distingue deux types de problèmes liés à la disponibilité de l'eau : la rareté, qui ne tient compte que de la consommation physique nette d'eau, et la disponibilité, qui inclut également d'autres éléments qui affectent la quantité d'eau disponible pour répondre aux besoins des êtres humains et des écosystèmes (perte de qualité, modifications des habitats).
- Les problèmes de **dégradation de l'eau** sont causés par l'émission de substances qui affectent « les caractéristiques physiques (par exemple thermiques), chimiques et biologiques de l'eau en ce qui concerne son aptitude à l'usage prévu par l'homme ou les écosystèmes » (ISO, 2017). La modification de ces caractéristiques peut avoir des impacts directs sur les êtres humains (toxicité pour l'homme, maladies microbiennes via l'eau potable...) et les écosystèmes (écotoxicité, pollution thermique, eutrophisation de l'eau...) ou des impacts indirects, à savoir la diminution de la disponibilité de l'eau mentionnée ci-dessus.
- Les problèmes causés par les **changements d'habitat** entraînent différents problèmes environnementaux liés à l'eau, tant directement qu'indirectement. L'inondation d'une zone due à la construction d'un barrage ou à la transformation de terres en champs agricoles affecte la disponibilité des ressources en eau tant directement (augmentation de l'évapotranspiration,

épuisement des ressources en eau souterraine) qu'indirectement (ruissellement des pesticides, sédimentation et modification des régimes naturels d'écoulement de l'eau, etc.).

Les problèmes environnementaux liés à l'eau sont causés par plusieurs facteurs : la consommation et la surexploitation de l'eau, le changement climatique, la modification des habitats et l'urbanisation, la pollution due aux activités humaines et le rejet de nouvelles substances.

La principale caractéristique des problèmes environnementaux liés à l'eau est la répartition inégale des ressources en eau sur le globe et dans le temps, qui, combinée aux différentes intensités de l'activité humaine (consommation d'eau et activités humaines entraînant une dégradation de l'eau), se traduit par des impacts plus ou moins importants selon les régions et les saisons.

2.2 Contexte historique de l'évaluation des problèmes environnementaux liés à l'eau

En 2002, Arjen Hoekstra a introduit pour la première fois le concept d'empreinte hydrique (Hoekstra & Hung, 2002) (bien que des concepts similaires tels que l'eau virtuelle aient déjà été développés dans les années 90), qui quantifie le volume total d'eau douce utilisé dans la chaîne d'approvisionnement pour produire des biens et des services et souligne la nécessité de prendre en compte la consommation directe et indirecte d'eau des produits et des entreprises.

Depuis cette première description, plusieurs initiatives et outils ont vu le jour, tels que le *Global Water Tool* (GWT), développé par le *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) ou l'*Aqueduct Water Risk Atlas* (2013), développé par le *World Resources Institute* (WRI).

Au sein de la communauté LCA, les premières initiatives structurées visant à prendre en compte les questions liées à l'eau sont apparues en 2007, lorsque la *Life Cycle Initiative* du PNUE/SETAC a lancé le groupe de travail *Water Use in LCA* (WULCA). Ses travaux se sont concentrés sur l'élaboration d'un cadre général d'évaluation de l'utilisation de l'eau, la mise en place de systèmes d'inventaire de l'eau adéquats et le développement de méthodes d'évaluation de l'impact afin de caractériser l'utilisation de l'eau. Des initiatives individuelles visant à développer des bases de données sur l'ICV (*Quantis Water Database Framework*) et des méthodes d'ICVA ont vu le jour au cours de ces années. Dans le cadre des activités du groupe de travail WULCA, la méthode AWARE a été développée en 2015 comme méthode consensuelle pour harmoniser les pratiques.

En 2009, l'ISO a lancé des travaux visant à élaborer une norme internationale pour le calcul de l'empreinte hydrique (ISO, 2014).

2.3 Empreinte hydrique ISO

L'empreinte hydrique (WF) permet de mieux comprendre les impacts environnementaux potentiels des activités humaines liées aux ressources en eau. Le cadre général de l'empreinte hydrique est défini dans la norme ISO 14046 (ISO, 2014). La norme ISO 14046 étant basée sur le cadre de l'ACV défini dans la norme ISO 14044, l'empreinte hydrique ressemble fortement à une ACV classique, mais se concentre sur les impacts environnementaux liés à l'eau. Elle comprend quatre phases: Objectif et champ d'application (G&S), inventaire du cycle de vie (ICV), évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV) et interprétation. Ses principales spécificités sont les suivantes :

- La nécessité de prendre en compte les dimensions spatiales et temporelles lors de l'évaluation des impacts de l'utilisation de l'eau ;
- La nécessité d'inclure les aspects liés à la qualité de l'eau et à la quantité d'eau ;
- La nécessité d'inclure toutes les catégories liées à l'eau pour calculer une empreinte hydrique complète. En ce sens, la norme stipule que « *Si les impacts environnementaux potentiels liés à l'eau n'ont pas été évalués de manière exhaustive, le terme « empreinte hydrique » ne doit être utilisé qu'avec un qualificatif* » qui « *décrit la ou les catégories d'impacts étudiées dans l'évaluation de l'empreinte hydrique, par exemple « empreinte de disponibilité en eau », « empreinte de rareté de l'eau », « empreinte d'eutrophisation de l'eau », « empreinte d'écotoxicité de l'eau », « empreinte d'acidification de l'eau »* » (ISO, 2014).

2.4 Quelles questions environnementales doivent être couvertes par une empreinte hydrique ?

Les méthodes d'EICV liées à l'eau sont des méthodes dans lesquelles l'eau intervient en tant que milieu d'exposition à des contaminants (c'est-à-dire toxicité pour l'homme, acidification, eutrophisation, pollution thermique) ou en tant que ressource utilisée et habitat (épuisement et rareté de l'eau, fragmentation des cours d'eau).

Il existe trois groupes de méthodes EICV liées à l'eau, définis en fonction de leur voie d'impact :

- **Changements «quantitatifs» du compartiment eau** : ces impacts concernent les caractéristiques hydrologiques d'une masse d'eau douce. Il s'agit par exemple de la consommation humaine d'eau douce et de la réduction consécutive de la disponibilité de l'eau, ou de la modification du régime d'écoulement d'un cours d'eau (et donc de la disponibilité de l'eau et de ses caractéristiques temporelles) due à l'exploitation de barrages hydroélectriques (Dorber et al., 2024) .
- **Changement « qualitatif » du compartiment hydrique** (appelé « dégradation de l'eau ») : la dégradation de l'eau résulte généralement d'activités polluantes, qui modifient les propriétés chimiques ou physiques de la masse d'eau. Un exemple est l'émission de métaux lourds dans les masses d'eau, qui modifie la composition chimique de l'eau et peut avoir des effets toxiques sur les espèces aquatiques (Douziech et al., 2024) .
- **Changements dans l'habitat aquatique (eau douce)** : Il n'existe actuellement qu'une poignée de méthodes LCIA traitant de cette voie d'impact. Un exemple est l'estimation des changements dans les zones humides dus à la consommation d'eau (Verones & Pfister, 2013) .

3. Méthode AWARE

3.1 Principes AWARE

La méthode AWARE est la seule méthode consensuelle existante dans le domaine de l'évaluation des impacts de la consommation d'eau sur la rareté de l'eau dans l'ACV. À ce titre, elle est largement utilisée par les praticiens ACV et de la WF.

La méthode AWARE vise à répondre à la question suivante : « **Quel est le potentiel de privation d'un autre utilisateur d'eau douce (humain ou écosystème) lié à la consommation d'eau douce dans une région donnée?** » (Boulay et al., 2018) . Pour ce faire, la méthode AWARE vise à quantifier l'impact potentiel, via la privation, de la consommation d'un mètre cube d'eau sur les autres utilisateurs d'eau douce, y compris les humains et les écosystèmes. Cet impact potentiel est supposé être 1) sensible à la période de l'année et au lieu où la consommation d'eau a lieu, et 2) limité au bassin versant local. Il est exprimé sous la forme du « potentiel de privation en eau » sur la base de l'hypothèse selon laquelle « *le potentiel de priver un autre utilisateur d'eau [...] est [...] inversement proportionnel à l'eau disponible restante* » après que les besoins des êtres humains et des écosystèmes ont déjà été satisfaits (Boulay et al., 2018) .

AWARE est conçu comme une méthode LCIA générique de type *midpoint*, ce qui signifie qu'il repose sur un ensemble limité de variables d'entrée et ne retrace pas les impacts de la consommation d'eau sur les organismes potentiellement affectés. Il vise plutôt à permettre une évaluation combinée des impacts potentiels sur les humains et les écosystèmes en même temps.

Le modèle AWARE repose sur une approche « disponibilité moins demande » (AMD) afin de pallier certains inconvénients des autres approches existantes liées à l'eau utilisées précédemment (prélèvement sur disponibilité-WTA, consommation sur disponibilité-CTA, demande sur disponibilité-DTA). Dans cette approche, la différence entre l'eau disponible et la demande en eau des êtres humains et des écosystèmes est calculée. Le résultat est divisé par la superficie du bassin versant. La division par la superficie du bassin versant permet de comparer la quantité d'eau restante après avoir satisfait la demande en eau des êtres humains et des écosystèmes entre des bassins versants de tailles différentes. Sinon, les bassins versants plus grands pourraient sembler avoir une disponibilité en eau

élevée simplement parce qu'ils sont grands et collectent donc plus d'eau qu'un petit bassin versant. L'utilisation de l'AMD à la place de l'indicateur DTA tient compte des besoins en eau des êtres humains et de l'environnement tout en reconnaissant la quantité d'eau disponible par unité de surface, ce qui donne un résultat plus intuitif : les régions où la demande en eau des êtres humains et de l'environnement est faible, mais où la disponibilité en eau est également faible, sont toujours considérées comme souffrant de pénurie d'eau. Le Facteur de Caractérisation (CF) AWARE final pour le bassin versant i et le mois j est obtenu en divisant l' AMD_{world_avg} par l' AMD_{ij} .

La Figure 1 présente une représentation du concept AMD dans AWARE et le calcul des CF.

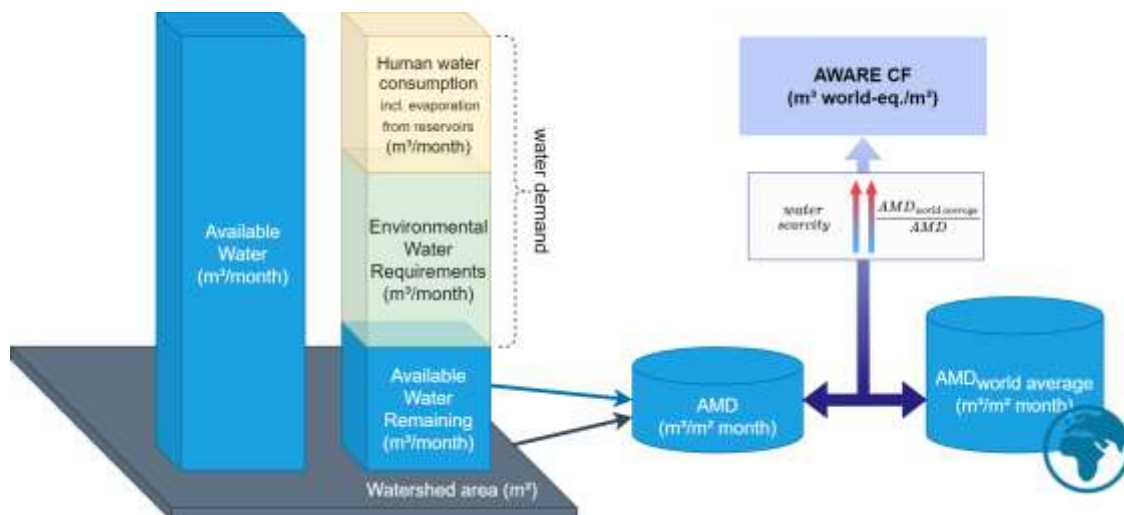


Figure 1 . Le concept AWARE : L'eau disponible restante par unité de surface d'un bassin versant après la consommation humaine et la satisfaction des besoins environnementaux en eau, l'AMD, est mise en relation avec l'AMD moyenne mondiale là où l'eau est consommée. Cette comparaison donne le CF AWARE.

Les CF AWARE sont exprimés en m^3 équivalent mondial par m^3 consommé (m^3 équivalent mondial/ m^3). Si le CF d'un bassin versant et d'un mois est supérieur à 1 m^3 équivalent mondial/ m^3 , cela signifie que le bassin versant dispose de moins d'eau disponible par unité de surface au cours de ce mois que la moyenne mondiale. Par exemple, un CF de 10 m^3 équivalent mondial/ m^3 indique que l'eau disponible restante dans le bassin versant et le mois analysé représente un dixième de l'eau disponible restante pour une consommation aléatoire dans le monde (en 2010).

Les CF AWARE sont soumis à des seuils : les valeurs inférieures à 0,1 m^3 équivalent mondial/ m^3 et les valeurs supérieures à 100 m^3 équivalent mondial/ m^3 sont fixées à ces limites. La fourchette de 0,1 à 100 a été jugée comme un compromis approprié entre la possibilité de différencier autant de bassins que possible et la nécessité de ne pas fausser les résultats en raison de quelques CF très élevés.

3.2 Différenciations spatiales et temporelles

Les CF AWARE sont calculés à l'échelle du bassin pour chaque mois de l'année, les grands bassins versants étant divisés en sous-bassins.

Dans l'ACV, cependant, les praticiens ne connaissent souvent pas le mois exact de la consommation d'eau et ont besoin de CF annuels, qui peuvent être utilisés avec leur inventaire annuel de consommation d'eau. Il n'est pas recommandé de calculer les CF annuels comme une moyenne arithmétique de tous les mois, car cela peut être trompeur pour l'utilisation saisonnière de l'eau, en particulier pour l'irrigation. Comme la plupart de l'irrigation a lieu pendant les mois chauds et secs avec des CF élevés, une moyenne arithmétique de tous les mois sous-estimerait l'impact potentiel de la consommation d'eau. Au lieu de cela, la moyenne annuelle doit refléter le profil saisonnier de la consommation d'eau de l'activité évaluée. Comme pour le calcul de AMD_{world_avg} , cela s'obtient en pondérant les mois en fonction de leur consommation d'eau. Afin de mieux représenter les profils saisonniers de la consommation d'eau pour des secteurs d'utilisation spécifiques, trois types de CF annuels différenciés par le type d'utilisation de l'eau sont fournis pour AWARE :

- **CF annuel moyen pour les utilisations inconnues de l'eau**, pondéré par la consommation mensuelle totale d'eau par l'homme, comprenant l'irrigation, les ménages, l'industrie, l'élevage et la production d'électricité.
- **CF annuel moyen pour l'utilisation agricole**, pondéré par l'inventaire mensuel de la consommation d'eau pour l'irrigation.
- **CF annuel moyen pour l'utilisation non agricole**, pondéré par la consommation d'eau non agricole. Comme la consommation d'eau non agricole est supposée constante tout au long de l'année, cela équivaut à une moyenne arithmétique des CF mensuels. Il convient de noter que c'est ainsi que la consommation d'eau est modélisée dans WaterGAP2 (Müller Schmied et al., 2014).

Deux niveaux d'agrégation spatiale différents, allant du bassin versant à des résolutions plus faibles, sont disponibles en ligne :

- **CF à l'échelle nationale**, fournis sous forme de fichiers Excel sur <https://wulca-waterlca.org/aware/download-aware-factors/> (dernier accès le 20/09/2024).
- **CF agrégés au niveau des régions administratives infranationales**, disponibles ici : <https://wulca-waterlca.org/aware/sub-national-aware/> (dernière consultation le 20 septembre 2024, documenté dans (Boulay & Lenoir, 2020).

3.3 Calcul et interprétation du score AWARE

Pour obtenir le potentiel de privation en eau (WDP_{ij}) de la consommation d'eau douce dans le bassin versant i et le mois j , le CF AWARE doit être multiplié par le volume net d'eau douce consommé en m^3 ($netC_{ij}$ in Équation 1). Cette multiplication donne le WDP_{ij} de la consommation d'eau évaluée dans le bassin versant et le mois concernés, exprimé en m^3 équivalents mondiaux.

Équation 1 : Calcul du score AWARE

$$Water\ Deprivation\ Potential\ (WDP)_{ij} = AWARE\ CF_{ij} \cdot netC_{ij} \quad [m^3 world - eq.]$$

La Figure 2 montre les flux d'eau entrant et sortant d'un processus unitaire qui permettent de calculer la consommation nette.

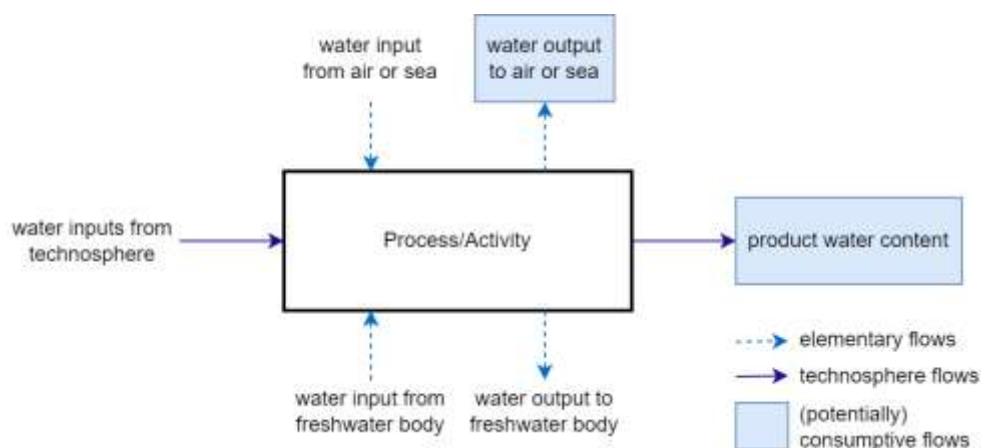


Figure 2 . Consommation d'eau dans un processus ACV simple.

Deux approches peuvent être adoptées pour calculer la consommation nette d'eau douce ($netC$) d'un processus :

- **L'approche « différentiel de bassin versant » : équilibrer les entrées ($IN_{freshwater\ bodies}$) et les sorties ($OUT_{freshwater\ bodies}$)**. Les corps d'eau douce désignent ici les eaux de surface (lacs, rivières, etc.) et les eaux souterraines. Le différentiel de bassin versant représente la différence

entre l'eau « prélevée » et « rejetée » dans les corps d'eau douce d'un bassin versant par le processus étudié. Cela ne signifie pas que pour calculer le *netC*, un modélisateur de l'empreinte de la rareté d'eau (WSF) doit connaître le bassin versant exact auquel le *netC* est lié. En supposant que le prélèvement et le rejet d'eau de la plupart des processus technologiques ont lieu dans la même région, la connaissance de la quantité d'eau prélevée ou rejetée pour un certain processus est dans la plupart des cas suffisante pour calculer le *netC* avec l'approche du différentiel de bassin versant.

- **L'approche des « flux de consommation » : équilibrer $IN_{technosphere}$, $OUT_{technosphere}$, $IN_{air, ocean}$, and $OUT_{air, ocean}$.** Cette approche ne tient compte que des flux d'eau qui ne sont pas directement liés aux masses d'eau douce du bassin versant. Ce sont les raisons pour lesquelles le processus consomme de l'eau ou rejette de l'eau dans le bassin versant : parce qu'elle est incorporée dans les flux de la technosphère que le processus utilise ou produit (par exemple, une boîte de soupe à la tomate), parce qu'elle est captée à partir de la pluie ou de l'humidité de l'air d' , évaporée, ou parce qu'elle est prélevée ou rejetée dans l'océan. Il convient de noter que les apports d'eau provenant des précipitations constituent un cas particulier qui doit être traité avec prudence.

3.4 Extensions et cas limites d'AWARE

Trois développements avancés d'AWARE permettent un calcul et une interprétation plus fiables des résultats :

- **Utilisation marginale vs non marginale** : les CF AWARE ne sont valables que pour la consommation d'eau à petite échelle (<5 % de la consommation humaine totale du bassin versant-HWC). Pour les inventaires plus importants, il convient d'utiliser des CF non marginaux (moyens). Ceux-ci sont disponibles et peuvent être appliqués manuellement, mais ils ne sont pas encore opérationnels dans les logiciels d'ACV.
- **Incertitude** : l'incertitude dans AWARE provient principalement de l'agrégation spatiale et temporelle plutôt que des données d'entrée. Pour la réduire, il faut affiner les détails géographiques et saisonniers. Des paramètres d'incertitude sont disponibles et peuvent être mis en œuvre dans certains logiciels (openLCA ou Brightway).
- **CF prospectifs** : Les CF AWARE futurs tiennent compte des changements climatiques et de l'évolution de la demande. Ils existent pour certains scénarios (par exemple, UE 2050), mais leur utilisation n'est pas encore intégrée dans les outils d'ACV et doivent être appliqués manuellement.

Il existe plusieurs cas limites dans lesquels l'application des CF AWARE peut être moins claire que dans les activités standard.

- **Barrages et réservoirs** : Les bilans mensuels des entrées/sorties doivent être utilisés pour calculer la consommation nette d'eau. Les effets positifs pendant les mois secs peuvent compenser l'augmentation de l'évaporation.
- **Eaux souterraines fossiles** : non couvertes par AWARE, car AWARE s'applique uniquement aux ressources renouvelables. Les eaux souterraines fossiles étant une ressource non renouvelable, elles devraient idéalement être évaluées dans l'aire protection des ressources, et non comme consommation d'eau douce.
- **Récupération des eaux de pluie** : seule la fraction des eaux de pluie qui contribuerait au ruissellement devrait être considérée dans le calcul de la consommation nette.
- **Saumure et eaux usées** : AWARE ne caractérise les ressources en eau que si la source d'origine était de l'eau douce et que le rejet s'effectue dans une masse d'eau douce.
- **Utilisation d'eau douce près de la mer** : le prélèvement d'eau douce à proximité de la mer pourrait affecter la ressource disponible via des phénomènes de salinisation.
- **Étangs agricoles remplis d'eau souterraine** : les prélèvements pendant les mois humides et les retours pendant les mois secs peuvent modifier considérablement le WSF ; le remplissage des étangs doit correspondre aux CF mensuels.

3.5 Analyse critique de la méthode AWARE

Les principaux points critiques d'AWARE sont les suivants

- **Limites des données d'entrée** : AWARE s'appuie sur des données hydrologiques incertaines et à faible résolution spatiale, notamment dans les régions sèches. Les données ne représentent pas des éléments clés tels que le dessalement, la fonte des glaciers ou les transferts d'eau entre les bassins versants.
- **Limites méthodologiques – Disponibilité et eau stockée** : la méthode ne tient pas explicitement compte du stockage de l'eau, des transferts entre bassins, ni de la distinction entre les eaux souterraines renouvelables et fossiles. Ces omissions peuvent fausser les évaluations de la disponibilité.
- **Limites méthodologiques – Besoins en eau pour l'écosystème (EWR)** : Les EWR sont modélisés de manière simpliste, sans tenir compte des différences entre les types d'écosystèmes et les opérations et infrastructures de régulations.
- **Limites méthodologiques générales** : AWARE reste une méthode de rareté, négligeant l'impact de la qualité sur la disponibilité finale.
- **Limites méthodologiques générales** : L'utilisation de la superficie dans le calcul des AMD rend dans certains cas les CF sensibles à la manière dont les limites du bassin hydrographique sont fixées. C'est le cas pour des fleuves tels que le Nil, dont le débit n'augmente pas proportionnellement à la superficie supplémentaire du bassin versant lorsqu'on se déplace vers l'aval.
- **Avantages** : AWARE est transparent, facile à interpréter, intègre la variabilité spatio-temporelle et a été développé par consensus, ce qui garantit une large acceptation. Sa simplicité permet également de recalculer les données locales, ce qui facilite les évaluations comparatives fiables.
- **Problèmes de mise en œuvre** : de nombreux outils d'ACV ne sont pas entièrement régionalisés et utilisent des CFs obsolètes ou incohérentes, ce qui entraîne des inexactitudes. Si certains problèmes peuvent être atténués (par exemple via Regioinvent), un alignement complet nécessite une personnalisation spécifique à chaque outil et reste un défi.

4. Méthodes d'évaluation non ACV liées à l'eau et comparaison avec les méthodes ACV

Plusieurs méthodes d'évaluation non ACV liées à l'eau sont comparées à la méthode ACV WSF à l'aide d'AWARE. Le choix des méthodes étudiées est basé sur les réponses à l'enquête et sur les méthodes les plus fréquemment mentionnées dans la littérature. Quatre méthodes sont présentées.

- *Aqueduct Water Risk Atlas (WRI)* : outil en ligne qui cartographie les risques liés à l'eau à l'échelle mondiale à l'aide de données haute résolution et d'une douzaine d'indicateurs. Il aide les entreprises et les décideurs politiques à prendre des décisions en évaluant les risques physiques, réglementaires et réputationnels, et inclut des projections dans différents scénarios de changement climatique.
- *Global Water Tool (WBCSD)* : outil Excel (abandonné en 2019) qui aidait les entreprises à cartographier leur consommation d'eau et à évaluer les risques à l'aide de données spécifiques à chaque site et de données externes. Il offrait une analyse de vulnérabilité de haut niveau pour l'ensemble des opérations et des chaînes d'approvisionnement.
- *Water Risk Filter (WWF)* : plateforme web utilisant plus de 100 indicateurs pour évaluer les risques physiques, réglementaires et réputationnels liés à l'eau. Elle permet des évaluations spécifiques à un site et basées sur des scénarios, et est intégrée à des cadres de *reporting* pour la gestion de l'eau par les entreprises.
- *Water Footprint Network (WFN)* : fournit une méthodologie pour quantifier la consommation et la pollution de l'eau douce à l'aide d'empreintes hydriques vertes, bleues et grises, aidant ainsi à évaluer l'impact environnemental des biens et services tout au long de leur cycle de vie. L'évaluation de la FNP utilise une approche similaire à celle de l'ACV, avec quatre phases

distinctes (objectif et portée, phase de comptabilité, phase d'évaluation de la durabilité, formulation de la réponse).

La comparaison a été basée sur trois catégories : l'approche générale, les caractéristiques techniques et les caractéristiques opérationnelles, en mettant particulièrement l'accent sur la manière dont ces outils traitent la pénurie d'eau et les questions connexes. Les principales conclusions sont les suivantes

- **Définition générale et approche** : AWARE est la seule méthode entièrement conforme à l'ACV qui se concentre spécifiquement sur la pénurie d'eau et adopte une perspective de cycle de vie. Elle est recommandée par des normes telles que PEF et GLAM. En revanche, des outils tels qu'Aqueduct et WWF donnent la priorité à une évaluation plus large des risques liés à l'eau (y compris les risques liés à la qualité et à la réputation), principalement pour des applications au niveau des entreprises. Seuls AWARE et WFN intègrent un cycle de vie complet.
- **Caractéristiques techniques** : les outils AWARE, Aqueduct et WWF fournissent des informations très détaillées sur le plan spatial (au niveau des bassins versants) et temporel (mensuel ou saisonnier). AWARE utilise l'approche AMD, tandis que les autres utilisent des mesures WTA, CTA ou basées sur des inventaires. Aqueduct et WWF proposent une modélisation de scénarios, qui tient partiellement compte de l'incertitude ; AWARE fournit des valeurs d'incertitude, mais n'est pas intégré à un logiciel d'ACV.
- **Caractéristiques opérationnelles** : AWARE est intégré à un logiciel d'ACV et dépend des données régionales sur la consommation d'eau. Les outils Aqueduct et WWF sont des plateformes web ; l'outil Global Water Tool était basé sur Excel, mais n'est plus disponible. WFN propose à la fois un outil en ligne et une intégration partielle à un logiciel d'ACV. Tous les outils nécessitent des données d'inventaire similaires (prélèvements, consommation, émissions), à l'exception de l'outil WBCSD.

5. Pratiques actuelles et limites

Cette section examine les pratiques actuelles de calcul de WSF dans l'analyse du cycle de vie, en se concentrant sur la manière dont les flux d'eau sont représentés dans les bases de données ICV, sur la manière dont les indicateurs de rareté de l'eau sont mis en œuvre dans les méthodes EICV et sur la manière dont les calculs sont opérationnalisés dans les logiciels ACV. Elle met également en évidence les difficultés d'interprétation liées à la différenciation spatiale et temporelle ou au traitement de l'incertitude.

- **Bases de données LCI** : Les principales bases de données telles que ecoinvent, Sphera et Agribalyse fournissent des données spatialement différenciées sur les entrées et sorties d'eau, essentielles pour le calcul de la WSF, mais les détails temporels font généralement défaut. Seules ecoinvent et Sphera équilibrent les flux d'eau conformément à la norme ISO 14046. Les eaux pluviales et les informations complémentaires (par exemple, la teneur en eau) ne sont généralement pas incluses. Des incohérences subsistent dans certaines bases de données (par exemple, absence de marqueurs temporels ou déséquilibre entre Agri-footprint et USLCI).
- **Méthodes EICV** : La plupart des méthodes EICV courantes (EF 3.1, GLAM, IMPACT World+) adoptent AWARE pour caractériser la rareté de l'eau au niveau national. LC-IMPACT fait exception, utilisant l'indice de stress hydrique (WSI) pour dériver des *endpoints* (DALY et species.yr). Ces méthodes couvrent également d'autres impacts environnementaux (par exemple, l'acidification, l'eutrophisation, l'écotoxicité), permettant une empreinte eau plus complète.
- **Opérationnalisation dans les logiciels d'ACV** : tous les outils (par exemple, openLCA, Brightway) mettent en œuvre le WSF à l'aide de la méthode du « différentiel des flux », qui soustrait les sorties d'eau des entrées pour estimer la consommation nette. La résolution temporelle est disponible (par exemple, les CFs agricoles/non agricoles), mais ne peut être exploitée en raison du manque de détail dans les bases de données ICV. Le raffinement spatial et la gestion des incertitudes sont possibles dans certains outils, mais ne sont pas systématiquement mis en œuvre. Seuls openLCA et Brightway permettent, en théorie, des analyses de Monte Carlo incluant l'incertitude des CF.

- **Difficultés d'interprétation** : L'approche différentielle par bassin versant peut conduire à des résultats trompeurs lorsque les flux d'entrée/sortie proviennent de différentes régions ou lorsque des flux de la technosphère sont impliqués (par exemple, eau du réseau, le traitement des eaux usées). Les simulations Monte Carlo peuvent donner des résultats invalides (par exemple, des bilans hydriques négatifs) en raison de l'indépendance des flux élémentaires d'entrée et de sortie.

6. Études de cas sur l'empreinte de la rareté de l'eau

Deux études de cas illustrent l'applicabilité et les défis liés à l'utilisation de la méthode AWARE pour calculer la WSF avec la méthode AWARE.

6.1 Étude de cas n° 1 : Application de l'empreinte de rareté de l'eau à l'exploitation des réservoirs pour la production d'hydroélectricité

Cette étude de cas explore le calcul de la WSF des réservoirs dans la production d'hydroélectricité, en utilisant la méthode AWARE. Elle évalue comment différents niveaux de détails spatio-temporels peuvent améliorer la précision des évaluations de la WSF pour les réservoirs. L'étude met également en évidence des défis tels que la multifonctionnalité, la représentativité des données d'entrée et la multifonctionnalité des réservoirs.

Les réservoirs représentent un cas complexe pour AWARE, car ils gèrent et consomment l'eau au sein d'un bassin versant. Leur exploitation réduit généralement le débit en aval et augmente l'évaporation en raison de l'augmentation de la surface, mais ils améliorent également la disponibilité de l'eau pendant les saisons sèches. Pour évaluer la WSF d'un réservoir, il est nécessaire de quantifier les flux pertinents, principalement les apports, les décharges, les précipitations et l'évaporation, tout en tenant compte du stockage des réservoirs. Compte tenu des limites des données, en particulier pour l'évaporation, l'étude de cas applique l'approche différentielle pour calculer la consommation nette d'eau douce.

Le score AWARE pour la production d'hydroélectricité est affiné en augmentant la résolution spatiale et temporelle de l'inventaire dans openLCA. Cette étude de cas évalue trois niveaux de spatialisation (GLO, par pays et par bassin versant) et montre qu'une plus grande précision spatiale diminue l'incertitude associée aux résultats. La temporalisation est ensuite explorée à l'aide de CF annuelles agrégées (non-agri) et mensuelles.

La Figure 3 présente les résultats de l'affinement du calcul en augmentant la résolution spatiale et temporelle des CF. La temporalisation modifie considérablement le score AWARE par rapport à l' de la régionalisation, car elle tient compte de l'approvisionnement supplémentaire en eau pendant la saison sèche. En effet, les WSF des réservoirs devraient donner la priorité à la temporalisation, en particulier si le bilan hydrique mensuel et les CF présentent une forte variabilité temporelle.

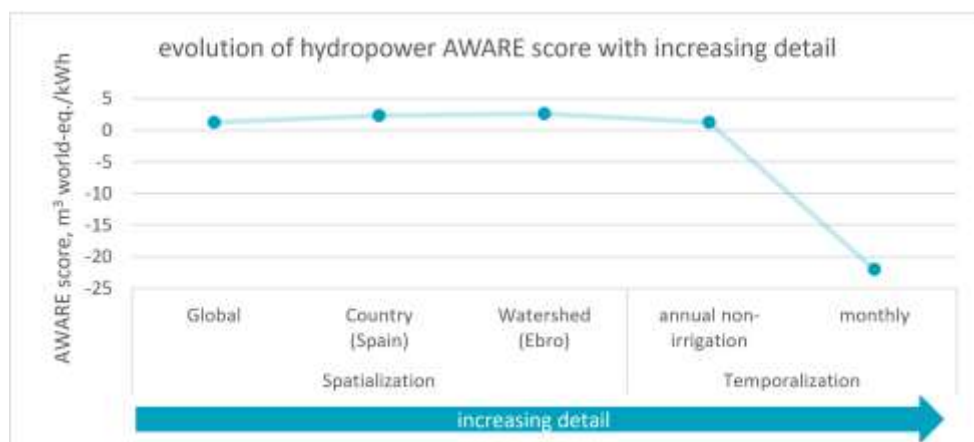


Figure 3 : Évolution du score AWARE pour l'hydroélectricité avec une précision croissante, comme le montre cette étude de cas. Veuillez noter que les étapes 5 et 6 ont été omises, car elles sont calculées pour une unité différente (et non par kWh).

L'utilisation d'AWARE pour des réservoirs réels pose de multiples défis. Ces défis clés sont :

- L'influence de la précision des données temporelles ;
- Multifonctionnalité des réservoirs : lorsque les réservoirs ont plusieurs fonctions (par exemple, énergie hydroélectrique et approvisionnement municipal), les impacts doivent être répartis en fonction du volume ou de la consommation d'énergie, conformément à la hiérarchie ISO 14044 section 4.3.4.2 étape 2 qui privilégie des critères physiques sous-jacents, et à son amendement 2 section D.3.1 puisque « les quantités de coproduits peuvent être ici modifiées de manière indépendante » ;
- Services écosystémiques supplémentaires : les réservoirs fournissent également des services de régulation, d'approvisionnement et culturels (par exemple, protection contre les inondations, pêche), ce qui résulte en un problème d'affectation; une affectation basée sur le volume est souvent préférée, mais pas applicable pour toutes ces fonctions supplémentaires ;
- Représentativité temporelle : la variabilité interannuelle des données sur les entrées et les sorties d'eau influe sur les scores WSF. Les données utilisées doivent être représentatives du régime hydrologique à long terme ;
- Modélisation de l'irrigation : l'eau utilisée pour l'irrigation à partir de réservoirs nécessite une modélisation nuancée afin d'éviter le double comptage ou la représentation erronée de la consommation ;
- Consommation non marginale : les réservoirs consomment souvent de l'eau à des échelles qui invalident les CF marginaux. Les CF non marginaux sont recommandés pour les évaluations à grande échelle.

6.2 Étude de cas n° 2 : application de l'empreinte de rareté de l'eau à un processus industriel utilisant des intrants d'origine biologique

Cette étude de cas se concentre sur le processus de production d'éthanol à partir de maïs dans l'Iowa (États-Unis), à l'aide d'un ensemble de données génériques ecoinvent. L'analyse se concentre sur plusieurs aspects clés : la collecte des données et la consommation nette d'eau, le calcul de l'empreinte hydrique et son affinement à l'aide de données spatiales et temporelles plus précises, l'exploration d'un cas limite décrit dans la section 3.4, et la mise en perspective de la contribution des catégories de rareté à une empreinte plus complète à l'aide de méthodes d'EICV complètes.

Pour calculer la consommation nette d'eau de l'ensemble de données sur la production d'éthanol, tous les flux d'eau sont pris en compte, tant ceux provenant de l'environnement (flux élémentaires tels que l'eau de refroidissement ou l'évaporation) que ceux provenant de la technosphère (eau du robinet, traitement des eaux usées et teneur en eau du maïs). Le bilan hydrique révèle un léger déséquilibre (les entrées dépassent les sorties de 5 %), qui peut provenir de lacunes dans les données ou des méthodes d'affectation. Ce déséquilibre conduit à une surestimation de la consommation nette lorsque

l'on utilise l'approche différentielle par bassin versant. Ce type de déséquilibre doit être corrigé, en particulier lorsque la différence par bassin versant donne une valeur négative.

La Figure 4 montre la comparaison des scénarios des étapes d'amélioration du modèle. La régionalisation de l'inventaire (c'est-à-dire l'utilisation des technologies les plus représentatives de la région étudiée) est l'étape la plus importante dans ce cas. En effet, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation apparaît comme le principal facteur contribuant au score final du scénario de référence, et l'étape de régionalisation de l'inventaire entraîne une réduction significative (la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation étant beaucoup plus faible dans l'état que dans la moyenne nationale). Le raffinage à l'aide de CFs spatiaux et temporels plus précis peut être basé sur l'écart type de l'agrégation spatiale et temporelle par pays¹ ; les valeurs les plus élevées doivent être privilégiées. La spatialisation (scénario 3) entraîne également une réduction, car le CF du bassin versant étudié a une valeur nettement inférieure à la moyenne nationale américaine. Le scénario 4, qui inclut la temporalisation, ne présente pas de différences par rapport au scénario 3, car le CF inconnu et le CF agricole présentent des valeurs proches dans le bassin versant étudié. Cette étape pourrait être réalisée avec plus de précision en collectant la consommation réelle d'eau par mois et en utilisant des CFs mensuels.

En raison des apports d'eau de mer non pris en compte dans le calcul, le cas limite (scénario 5) présente des valeurs négatives (c'est-à-dire une diminution de la rareté d'eau) pour l'eau du réseau et l'utilisation directe de l'eau. Il en résulte une valeur totale inférieure à celle des scénarios précédents.

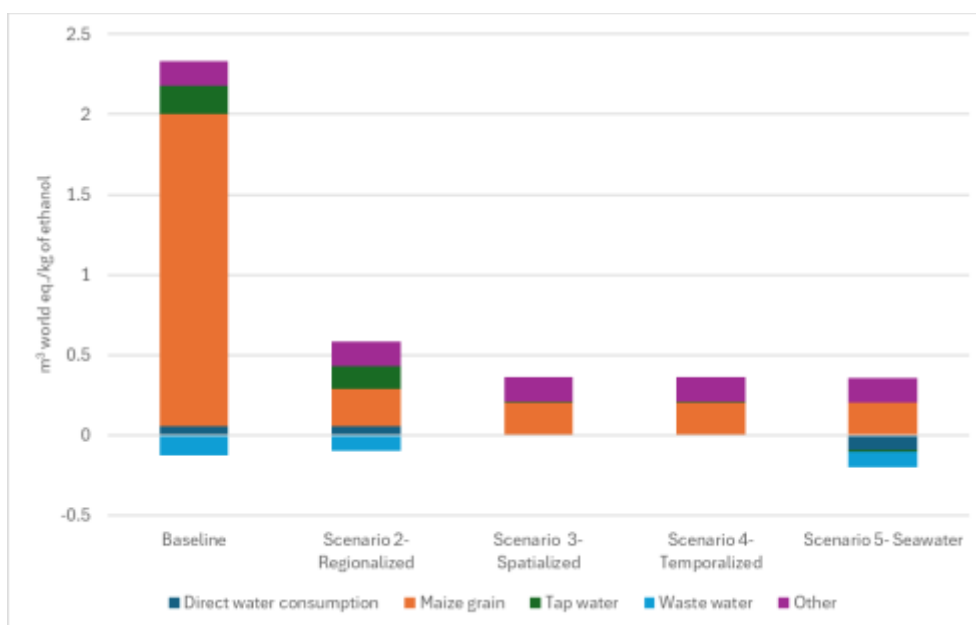


Figure 4 : Résultats pour 1 kg d'éthanol produit aux États-Unis à l'aide d'AWARE 1.2. Comparaison des scénarios.

Afin d'illustrer le transfert potentiel de la charge entre la pénurie et d'autres problèmes liés à l'eau, deux méthodologies EICV complètes ont été utilisées : la méthode EF de la Commission Européenne (calculée au score unique) et Impact World+ (*endpoint*). Seules les catégories liées à l'eau dans ces méthodes sont incluses dans la comparaison. Dans les deux cas, la contribution des catégories de consommation d'eau est faible (moins de 5 % du score total). Ce résultat n'est qu'un exemple de l'importance d'envisager une empreinte hydrique plus complète en incluant des catégories autres que la rareté de l'eau. Cette conclusion ne peut être extrapolée à toutes les situations et analyses, car dans d'autres études, la contribution de la rareté de l'eau pourrait être plus importante.

Principaux défis rencontrés lors de la réalisation de l'étude de cas 2 :

- Le bilan hydrique et l'interprétation et l'identification des principaux contributeurs à l'impact ;

¹ Informations disponibles à l'adresse <https://wulca-waterlca.org/aware/download-aware-factors/>

- L'amélioration du modèle et des résultats à l'aide de CFs plus précises, tant d'un point de vue géographique (spatialisation) que temporel (temporalisation). Cette étape peut s'avérer difficile et laborieuse en raison de la configuration de Simapro, mais l'augmentation de la représentativité et de la robustesse des résultats peut en valoir la peine. La priorité accordée à ces deux étapes d'affinement dépend fortement de la variabilité des CFs d'un point de vue géographique et temporel.
- Le transfert potentiel d'impact entre catégories en raison de l'utilisation d'une méthode à catégorie unique tel qu'AWARE.

7. Recommandations

Lors de la réalisation d'une WF, la norme ISO 14046 fournit un cadre général mais laisse place à l'interprétation méthodologique, ce qui crée des défis à chaque phase de l'évaluation. Plus de 50 défis et recommandations ont été formulés dans le rapport final, ciblant différentes parties prenantes de la communauté LCA : les praticiens (**P**), les développeurs de bases de données LCI (**DB**), les développeurs de méthodes LCIA (**MD**) et les développeurs de logiciels LCA (**SD**). Le Tableau 1 présente une sélection des défis identifiés avec les recommandations correspondantes.

Tableau 1 : Défis généraux et recommandations pour la réalisation d'une empreinte eau selon la norme ISO 14046²

Phase	Défis	Principales recommandations
<i>Objectif et portée</i>	Définition et respect des limites spatiales et temporelles du système	P : Définissez les limites de votre système en tenant compte des spécificités spatiales et temporelles
	Sélection des catégories d'impact et des méthodologies EICV	Général : parvenir à un consensus communautaire sur les méthodes d'impact à utiliser pour les catégories d'impact autres que la rareté de l'eau
<i>Inventaire du cycle de vie</i>	Collecte des attributs de données requis (temps, espace) pour les flux élémentaires afin d'attribuer correctement les CF régionalisés et temporisés	MD : Indiquez clairement les exigences en matière de données et créez éventuellement des méthodes EICV harmonisées pour les flux d'eau, en précisant les exigences en matière de données DB : améliorer l'alignement des bases de données avec les exigences largement utilisées en matière de données sur le cycle de vie
	Traitement des données de mauvaise qualité ou manquantes dans l'ICV	P : Indiquer clairement les données manquantes (transparence dans les rapports) ; utiliser les valeurs issues de la littérature ; effectuer une évaluation de la qualité des données ; P : Utiliser des paramètres pour les données relatives à l'eau afin de faciliter les analyses de sensibilité et l'affinement du modèle
	Sélection de la base de données d'ICV de référence :	P : Veiller à l'adéquation de la base de données ICV avec les méthodes d'EICV sélectionnées DB : Indiquer clairement la compatibilité de la base de données avec les méthodes d'EICV
	Sélection du logiciel d'ACV	P : Adapter le choix du logiciel au niveau de détail requis pour les objectifs SD : Développer un logiciel facilitant l'affinement des résultats (ex : inclusion d'une approche géospatiale pour l'affinement géographique)
<i>Évaluation et interprétation de l'e de l'impact du cycle de vie</i>	Interpréter les résultats des méthodes EICV liés à l'eau qui contiennent également des impacts non liés à l'eau	P : Éviter le double comptage des impacts MD : Fournir des versions spécifiques à la WF des méthodes d'EICV qui néglige les impacts non liés à l'eau
	Interpréter/affiner les impacts régionalisés	P : se concentrer sur les principaux contributeurs ou évaluer les points chauds régionaux ; utiliser des cartes ; éviter d'utiliser le reste du monde ou des processus non régionalisés

² Praticiens (**P**) ; développeurs de bases de données LCI (**DB**) ; développeurs de méthodes LCIA (**MD**) ; développeurs de logiciels LCA (**SD**)

L'utilisation d'AWARE pour calculer une WSF présente également des défis spécifiques. Le Tableau 2 présente une sélection des défis identifiés avec les recommandations correspondantes.

Tableau 2: Défis généraux et recommandations pour la réalisation d'une empreinte hydrique selon la norme ISO 14046

Phase	Défis	Principales recommandations
Objectif et portée	Identification de la version actuelle d'AWARE, mises à jour d'AWARE	P : Utiliser le site web WULCA comme principale source d'informations sur la version actuelle d'AWARE et ses mises à jour P : Vérifier si l'utilisation de la version récente d'AWARE modifierait les résultats MD : Développeurs AWARE : fournir des informations sur les changements potentiels dans les résultats dus aux mises à jour ;
	Identification des types de flux d'eau à collecter	P : Si possible, collecter tous les flux d'eau afin d'établir un bilan massique cohérent des processus P : Sinon, se concentrer sur les processus nécessaires à l'approche des flux différentiels ou consommés dans les bassins versants. Veiller à une interprétation correcte par le logiciel d'ACV
Inventaire du cycle de vie	Manque de données temporelles/spatiales sur l'utilisation de l'eau pour l'utilisation des CF AWARE natifs	P : Utiliser des agrégations spatio-temporelles spécifiques au secteur ou à la culture des CF AWARE lorsqu'elles sont disponibles P : Utiliser une approche itérative avec différents niveaux de temporalisation : DB : Fournir une résolution mensuelle des bases de données ICV ou au moins des archétypes pour des utilisations temporelles distinctes (agricole, non agricole). MD : Créer d'autres CF agrégés spécifiques à chaque secteur
	Hiérarchiser les efforts entre spatialisation et temporalisation	P : Utiliser les écarts types fournis pour identifier la dimension à privilégier
	Identification des flux les plus contributifs lors de l'utilisation du différentiel de bassin versant	SD : Fournir des fonctions pour évaluer le bilan net des flux élémentaires associés à un processus MD, DB & SD : modifier l'approche pour calculer la consommation d'eau
	Logiciel : manque de prise en charge des variations saisonnières des flux élémentaires et des CF à résolution mensuelle	P : Calcul de CF annuels pondérés personnalisés et insertion manuelle de ces CF dans le modèle ACV P : Utiliser une approche itérative pour affiner manuellement les principaux contributeurs SD : Prise en charge des CF mensuels et fonctions permettant de les attribuer à des flux élémentaires (variables selon les saisons)
Évaluation et interprétation de l'impact du cycle de vie	Manque de connaissances techniques pour l'utilisation des données spatiales et des cartes	MD : Fournir des cartes pouvant être intégrées dans le logiciel ACV SD : Autoriser et automatiser l'utilisation de la résolution spatiale native dans les calculs de l'EICV