



HAL
open science

L’empreinte eau - Mémento graphique

Camille Maesele, Charlotte Pradinaud, Sandra Payen, Philippe Roux

► **To cite this version:**

Camille Maesele, Charlotte Pradinaud, Sandra Payen, Philippe Roux. L’empreinte eau - Mémento graphique. , pp. 48, 2021, 10.15454/rx5e-q558 . hal-03207737

HAL Id: hal-03207737

<https://hal.inrae.fr/hal-03207737>

Submitted on 22 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

L'empreinte eau

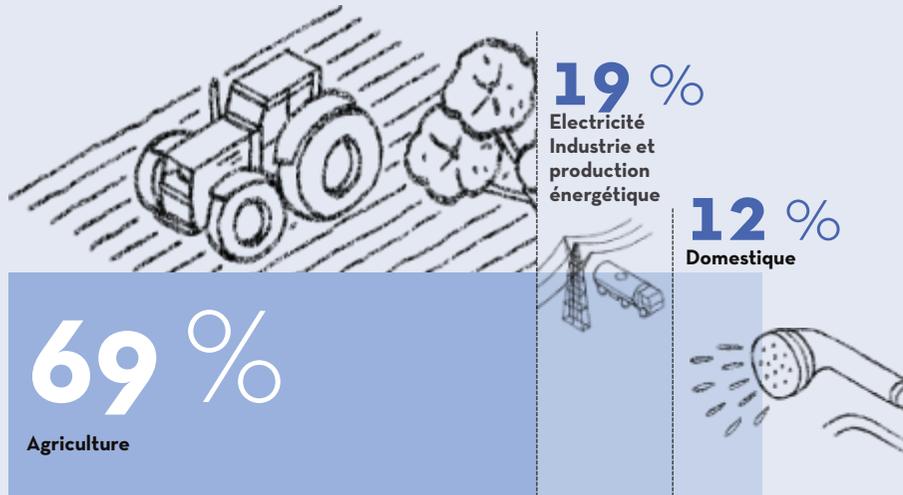
Mémento
graphique

ISO-14046 (ACV)

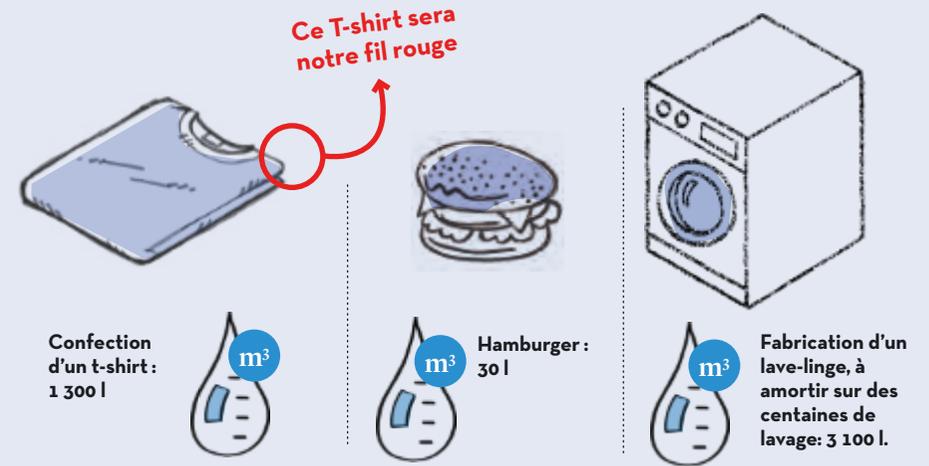


Pourquoi réaliser une empreinte eau ?

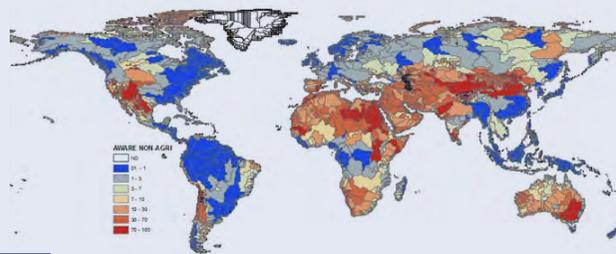
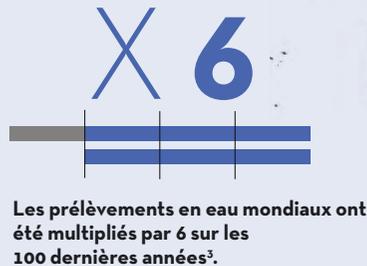
L'eau douce, **une ressource vitale**. Part des prélèvements (%) par type d'usage primaire de l'eau¹



Derrière chaque objet du quotidien se cache **une consommation d'eau²**

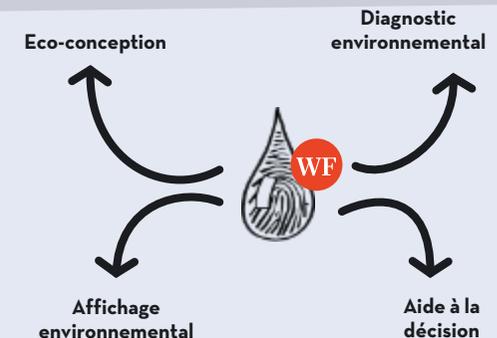


L'eau douce, **une ressource menacée**
et inégalement répartie



Plus de la moitié de la population mondiale
vit dans des conditions de grave pénurie d'eau
pendant au moins un mois par an⁴.

L'empreinte eau,
un outil opérationnel
pour de multiples usages



Pourquoi ce Mémento ?

La norme ISO 14046 donne une définition de l'empreinte eau au niveau international. Ce mémento vise à rendre accessible cette norme de manière pédagogique, pratique et synthétique. Il illustre les notions théoriques principales, les outils de mise en œuvre opérationnelle et des exemples

Pour citer ce document : Maesele C., Pradinaud C., Payen S., Roux P. (2021) *L'empreinte eau - Memento graphique*. <https://doi.org/10.15454/rx5e-q558>

A qui s'adresse ce guide ?

- Des fiches grand public pour comprendre les fondamentaux.
- Des fiches experts destinées aux pratiquants de l'ACV.

Toutes les notions abordées dans ce mémento seront présentées à travers l'exemple d'un T-shirt* qui servira de fil conducteur.



*A l'échelle planétaire, le coton utilisé pour fabriquer un T-shirt est majoritairement irrigué entraînant une forte consommation d'eau. Mais il est important de noter en préambule qu'il existe des régions produisant du coton non irrigué (coton dit pluvial) réduisant ainsi considérablement l'empreinte environnementale de cette production.

SOMMAIRE

- 6 *Lexique graphique 1/2*
- 7 *Lexique graphique 2/2*

Concepts et définitions de base

- 9 Qu'est-ce que l'empreinte eau ?
- 10 Qu'est-ce que l'empreinte eau ISO14046 ?
- 11 Qu'est-ce qu'un cycle de vie ? Exemple du T-shirt
- 12 En pratique, quelles sont les étapes de la réalisation d'une empreinte eau ISO14046 ?
- 13 Ne pas confondre eau prélevée et eau consommée
- 14 Évolution du concept d'empreinte eau
- 15 Aujourd'hui, deux pratiques pour réaliser une empreinte eau coexistent
- 16 Plusieurs approches disponibles pour couvrir les multiples impacts liés à l'eau **EXPERT**
- 17 Pourquoi les dimensions spatiales et temporelles sont-elles importantes ?
- 18 Deux niveaux d'indicateurs ACV pour l'empreinte eau

L'Empreinte eau monocritère

- 20 Inventaire des consommations d'eau : exemple du T-shirt
- 21 Résultat d'une empreinte eau monocritère, avec AWARE* : exemple du t-shirt
- 22 En pratique, comment sont renseignées les données de consommation d'eau ? 1/2 **EXPERT**
- 23 En pratique, comment sont renseignées les données de consommation d'eau ? 2/2 **EXPERT**
- 24 Focus agronomie : comment faire un inventaire d'eau consommée pour l'irrigation ?
- 25 Effets de la privation d'eau : principaux indicateurs *Midpoint* disponibles **EXPERT**
- 26 Effets de la privation d'eau : principaux indicateurs *Endpoint* disponibles **EXPERT**
- 27 Effets de la privation d'eau : principales méthodes globales disponibles (ACV) **EXPERT**
- 28 Résultat d'une empreinte eau monocritère : exemple de la REUT **EXPERT**

L'Empreinte eau multicritère

- 30 Qu'appelle-t-on une empreinte eau multicritère ?
- 31 Inventaire des pollutions de l'eau : exemple du T-shirt
- 32 En pratique, comment renseigner les données relatives à la pollution de l'eau ? **EXPERT**
- 33 Empreinte eau multicritère : quels sont les impacts à considérer ? 1/2 **EXPERT**
- 34 Empreinte eau multicritère : quels sont les impacts à considérer ? 2/2 **EXPERT**
- 35 Multicritère mais pas exhaustif : la question des impacts sur la santé humaine
- 36 Résultat d'une empreinte eau multicritère : exemple d'une exploitation bananière **EXPERT**

L'empreinte eau du T-shirt : des résultats différents selon les approches

- 38 Empreinte eau monocritère du T-shirt : évolution de 2005 à 2009
- 39 Empreinte eau monocritère du T-shirt : évolutions récentes
- 40 ACV complète du T-shirt
- 41 Empreinte eau multicritère du T-shirt

Empreinte eau : synthèse et références

- 43 Empreinte eau : ce qu'il faut retenir !
- 44 Pour en savoir plus sur l'empreinte eau
- 45 Hypothèses sous-jacentes et points de vigilance

- 46 Qui sommes-nous ?
- 47 Remerciements

Lexique graphique 1/2



ACV

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale multicritère de référence, reconnue à l'international par les normes ISO 14040-44.



Empreinte eau

L'empreinte eau est un ou plusieurs indicateurs quantifiant les impacts environnementaux potentiels relatifs à l'eau (norme ISO 14046). WF : Water Footprint.



Eau consommée

Quantité d'eau consommée à chaque étape du cycle de vie du produit (ou service) étudié. Une quantité d'eau consommée est une donnée d'inventaire.
Eau consommée =
Eau prélevée - Eau rejetée dans le milieu



Stress hydrique

Un indicateur de stress hydrique est un facteur de caractérisation qui permet de convertir une quantité d'eau consommée (donnée d'inventaire) en impact potentiel relatif à un problème de privation d'eau. (*midpoint* ou *endpoint*). Cet indicateur prend généralement en compte les variations spatio-temporelles de l'état des ressources en eau.



Emission de polluants

Quantité de polluants émis dans l'environnement à chaque étape du cycle de vie du produit (ou service) étudié. Une quantité de polluant émis dans l'environnement est une donnée d'inventaire (un flux). Ensuite, seuls les polluants se retrouvant in fine dans le compartiment eau sont retenus pour les calculs d'empreinte eau (voir p. 31 et 32).



Dégradation de la qualité de l'eau

La dégradation de la qualité de l'eau est due à une augmentation de la charge de polluants. A noter : les autres pollutions de l'eau (thermiques, sonore ou autres) sont moins courantes et ne sont généralement pas prises en compte actuellement en ACV.



Facteur de caractérisation

En ACV, un facteur de caractérisation (CF) permet de convertir une donnée d'inventaire en indicateurs d'impact potentiel. Ce symbole représente en particulier les facteurs de caractérisation permettant de convertir des quantités de polluants émis dans l'environnement en impacts (sur les écosystèmes par exemple).

Lexique graphique 2/2



Impacts sur les écosystèmes

Cet indicateur informe sur la gravité des effets d'un manque d'eau sur les écosystèmes (terrestres et aquatiques). Il quantifie la fraction des espèces d'un écosystème susceptible d'être affectée ou de disparaître. Cet impact potentiel résulte du croisement des données d'inventaires avec différents facteurs de caractérisation.



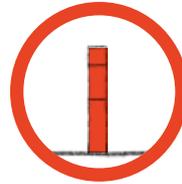
Impacts sur la santé humaine

Cet indicateur informe sur la gravité des effets d'une privation d'eau sur la santé humaine (via par exemple un accès limité en eau domestique induisant un manque d'hygiène). Il quantifie le nombre d'années de vie en bonne santé perdues. Cet impact potentiel résulte du croisement des données d'inventaires avec différents facteurs de caractérisation.



Impacts sur les ressources naturelles

Actuellement, un indicateur sur les ressources en eau ne s'applique qu'aux pertes de ressource en eau non-renouvelable (eau fossile ou eau souterraine exploitée de manière non-renouvelable i.e. prélèvements supérieurs au renouvellement annuel des nappes). Il informe sur la gravité des effets observés en quantifiant l'énergie (ou la valeur monétaire) nécessaire pour que des technologies de remplacement (ex : désalinisation) compensent ces pertes de ressources en eau non renouvelables. Cette définition n'est pas encore totalement consensuelle.



Empreinte eau monocritère

Une empreinte eau monocritère est une empreinte eau définie par un unique indicateur quantifiant, en général, un impact potentiel relatif à un problème de rareté de l'eau (aspect quantitatif).



Empreinte eau multicritère

Une empreinte eau multicritère est une empreinte eau définie par plusieurs indicateurs quantifiant, en général, des impacts potentiels relatifs à des problèmes de rareté de l'eau (aspect quantitatif) ET des impacts potentiels relatifs à des problèmes de pollutions de l'eau (aspect qualitatif).

MÉMENTO
GRAPHIQUE
DE L'EMPREINTE
EAU

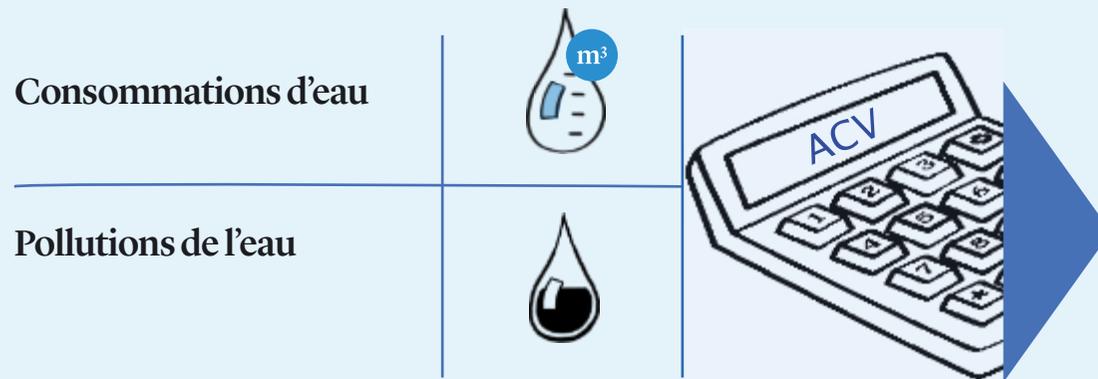
Concepts et définitions de base



Qu'est-ce que l'empreinte eau ?

Une méthode de calcul

Permettant : **1.** de compiler des consommations et pollutions d'eau d'un système étudié (produit, service, organisation) ; **2.** d'évaluer les impacts environnementaux potentiels associés.



Un résultat

Obtenu à l'aide d'indicateur(s) quantifiant les impacts environnementaux potentiels relatifs à l'usage de l'eau.



Depuis 2016, une norme internationale ISO cadre les principes et exigences relatifs à l'évaluation de l'empreinte eau des produits, des processus et des organisations basée sur l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Voir page suivante.

Qu'est-ce que l'empreinte eau ISO14046 ?



Pour être certifiée ISO 14 046, une empreinte eau doit :

Prendre en considération les impacts environnementaux potentiels, causés par le système étudié, dus aux changements dans :



→ **la quantité d'eau** : empreinte eau de la disponibilité en eau (en ne considérant bien que l'eau réellement consommée et non toute l'eau utilisée). Voir page 13.



→ **la qualité de l'eau** : empreinte eau de la dégradation de l'eau. Voir page 15.

Être issue d'une **approche cycle de vie** : considération de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, d'un processus ou d'une organisation, depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à l'élimination finale. Voir page 11.

Prendre en compte **les conditions locales et temporelles** (géographiques) (saisonnalité). Voir page 17.

Exhaustive ou non-exhaustive ?

Une empreinte eau exhaustive prend en compte l'ensemble des aspects relatifs à l'eau, environnementalement pertinents pour les écosystèmes, la santé humaine et les ressources (incluant disponibilité et dégradation de l'eau). Si l'un de ces aspects n'est pas évalué, l'empreinte eau est dite « non-exhaustive » et doit être caractérisée par un qualificatif, ex. « Empreinte de la rareté de l'eau » ou « empreinte de l'eutrophisation de l'eau ».

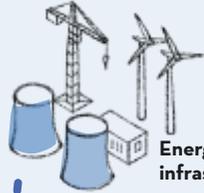
Qu'est-ce qu'un cycle de vie ? Exemple du T-shirt

Le cycle de vie du T-shirt se compose de l'ensemble des processus illustrés dans cette page.

Activités
d'arrière-plan



Extraction
des matières
premières
et production
des intrants



Energie et
infrastructures



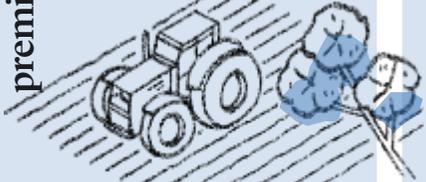
Energie et
infrastructures



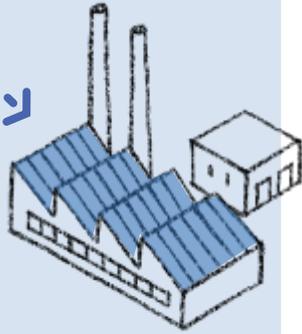
Electricité
et lessive



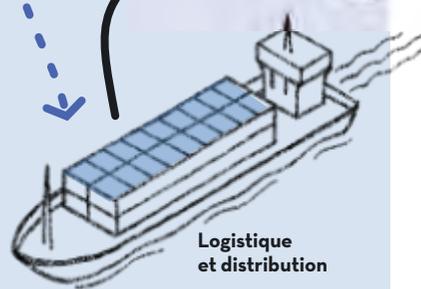
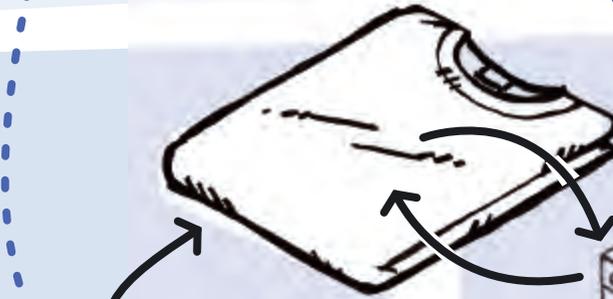
Activités de
premier plan



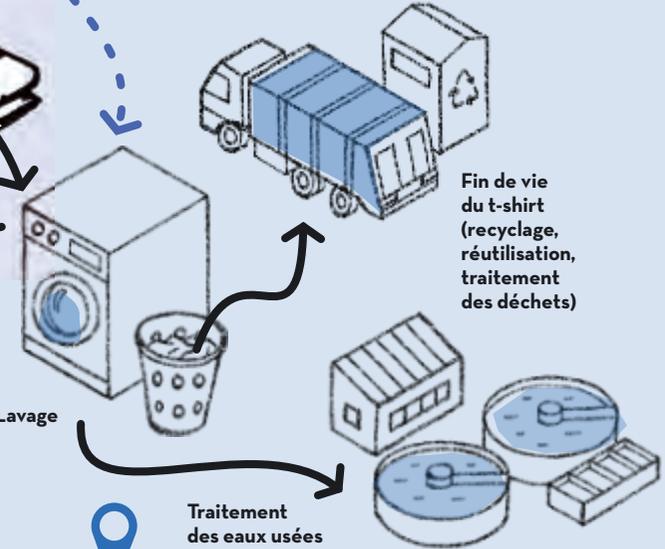
Production
du coton



Fabrication
textile coton
et confection
du T-shirt



Logistique
et distribution



Lavage

Traitement
des eaux usées

Fin de vie
du t-shirt
(recyclage,
réutilisation,
traitement
des déchets)

Champs



Usines



Transport



Utilisation



En pratique, quelles sont les étapes de la réalisation d'une empreinte eau ISO14046 ?

1.

Phase de définition des objectifs et du champ de l'étude



Identifier l'objectif de l'étude et l'unité fonctionnelle pour laquelle sera calculée l'empreinte eau (ex. empreinte d'1 T-shirt, d'1 kg de pain ou du mode de vie d'un européen moyen, ...).

2.

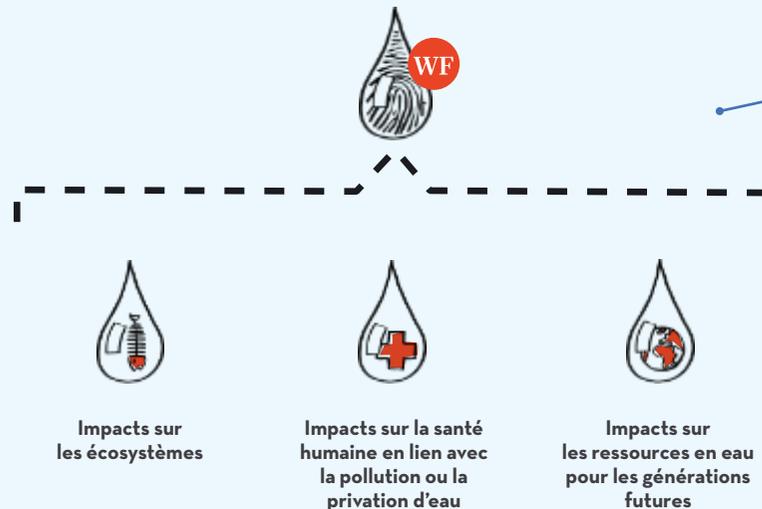
Phase d'inventaire du cycle de vie d'un produit, d'un service ou d'un mode de vie



Décrire et modéliser toutes les étapes du cycle de vie du système étudié pour réaliser l'inventaire de toute l'eau consommée à chaque étape ainsi que de tous les polluants émis (du berceau à la tombe).

3.

Phase d'évaluation des impacts



Les flux des polluants émis ou de ressource en eau consommée sont convertis en impacts environnementaux potentiels, voir page 15.

Afin de pouvoir s'adapter rapidement aux améliorations des indicateurs d'ACV et à la disponibilité des données, la norme ISO-14046 n'impose pas la nature des catégories d'impacts qui doivent être utilisés pour réaliser une empreinte eau. C'est donc au pratiquant de sélectionner et de justifier que les indicateurs retenus sont pertinents au moment où l'étude est réalisée.

Ne pas confondre eau prélevée et eau consommée

Pour estimer la privation d'eau (écosystèmes, santé humaine et ressources) c'est bien **l'eau consommée** qu'il faut considérer.

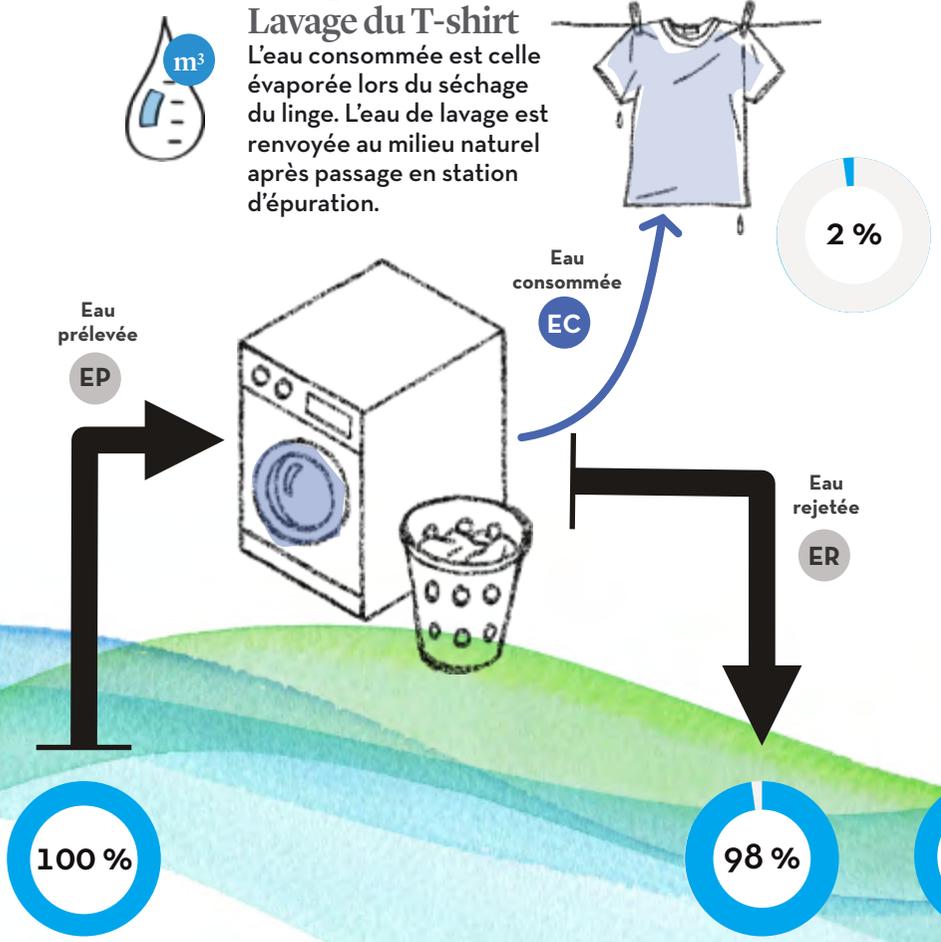
$$EC = EP - ER$$

eau consommée (EC) = eau prélevée (EP) - eau rejetée (ER)

Il n'y a donc que 3 manières de consommer de l'eau : 1. Evaporation/évapotranspiration. 2. Incorporation dans un produit (ex. eau minérale, pastèque : 50t/ha donc 92 % d'eau). 3. Transfert dans un autre bassin versant (ex. : canal, canalisation).

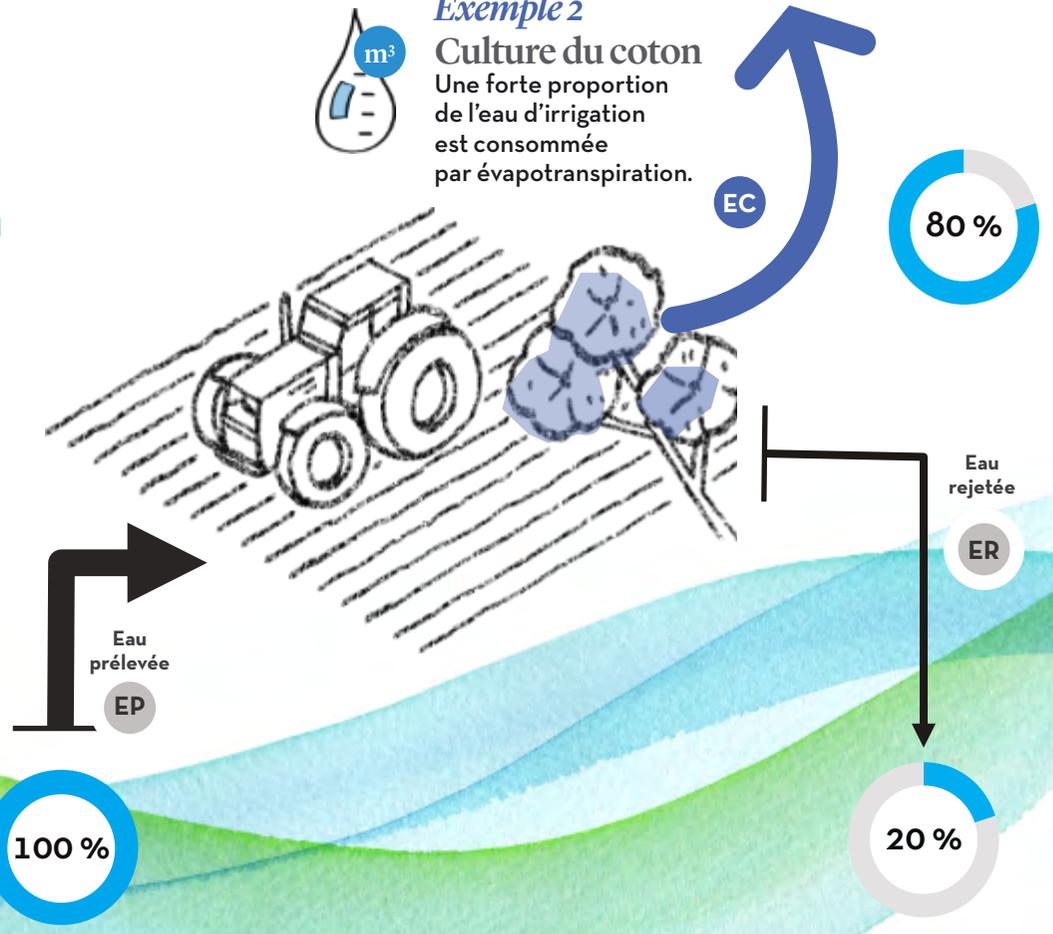
Exemple 1

Lavage du T-shirt
L'eau consommée est celle évaporée lors du séchage du linge. L'eau de lavage est renvoyée au milieu naturel après passage en station d'épuration.



Exemple 2

Culture du coton
Une forte proportion de l'eau d'irrigation est consommée par évapotranspiration.



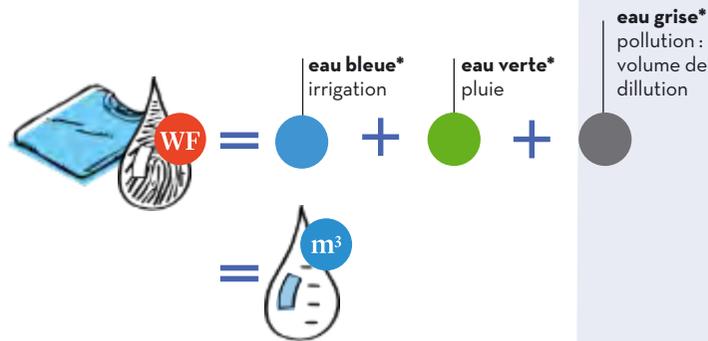
Évolution du concept d'empreinte eau

Approche volumétrique
largement utilisée jusqu'en 2006

Approche orientée impacts
déployée progressivement depuis 2006



Monocritère. Mesure de la quantité d'eau utilisée tout au long du cycle de vie d'un produit pouvant être composée de :



Ces trois concepts sont progressivement remplacés au profit d'approches orientées impacts développées dans l'ACV : « eau bleue » devient un indicateur de privation d'eau ; « eau verte » est abandonnée car non consensuelle ; « eau grise » est remplacée par les indicateurs de pollution d'ACV (écotoxicité, eutrophisation, etc.).

* Concepts facultatifs proposés par le Water Footprint Network.

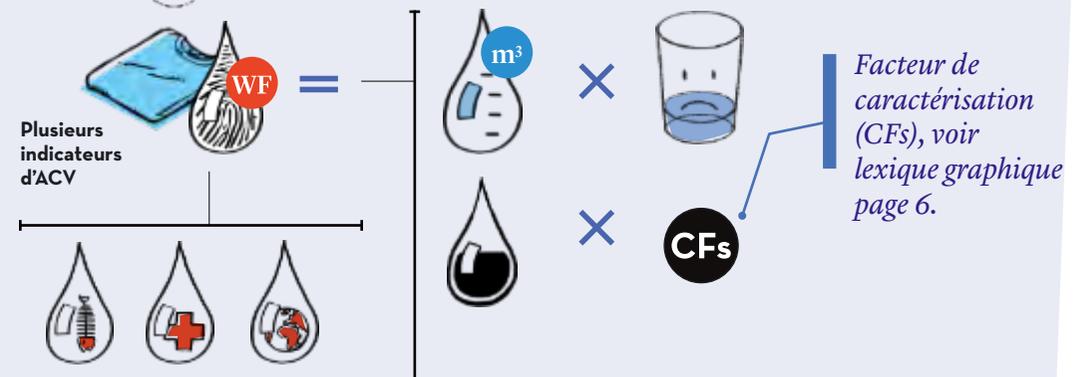


Monocritère. Évaluation des effets de la privation d'eau calculés sur les volumes consommés pondérés par les indicateurs locaux de stress hydrique.



Multicritère. En 2016, la norme ISO 14046 introduit la notion d'empreinte eau multicritère : évaluation des impacts potentiels résultant de la privation d'eau au niveau local et des pollutions de l'eau.

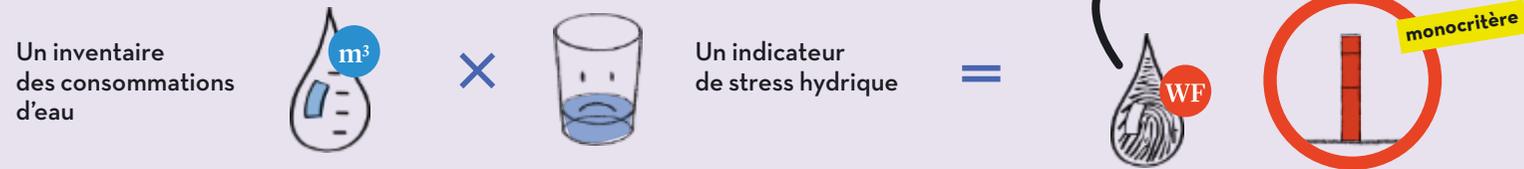
Standard ISO



Aujourd'hui, deux pratiques pour réaliser une empreinte eau coexistent

L'empreinte eau monocritère (dite « non exhaustive » dans la norme ISO)

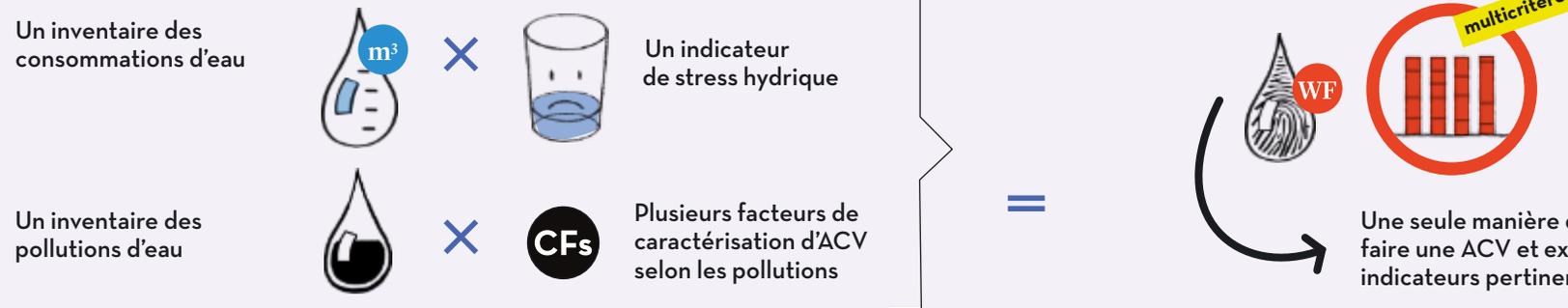
Classiquement, seul l'aspect quantitatif (privation) est considéré. Pour cela, il faut :



En théorie, empreinte eau monocritère et multicritère ne se définissent pas, respectivement, par aspect quantitatif, et aspect quantitatif et qualitatif. Cependant nous faisons le choix d'utiliser cette relation simplificatrice, qui est généralement la réalité en pratique.

L'empreinte eau multicritère

Les aspects quantitatif (privation) et qualitatif (pollution) sont considérés. Pour cela, il faut :

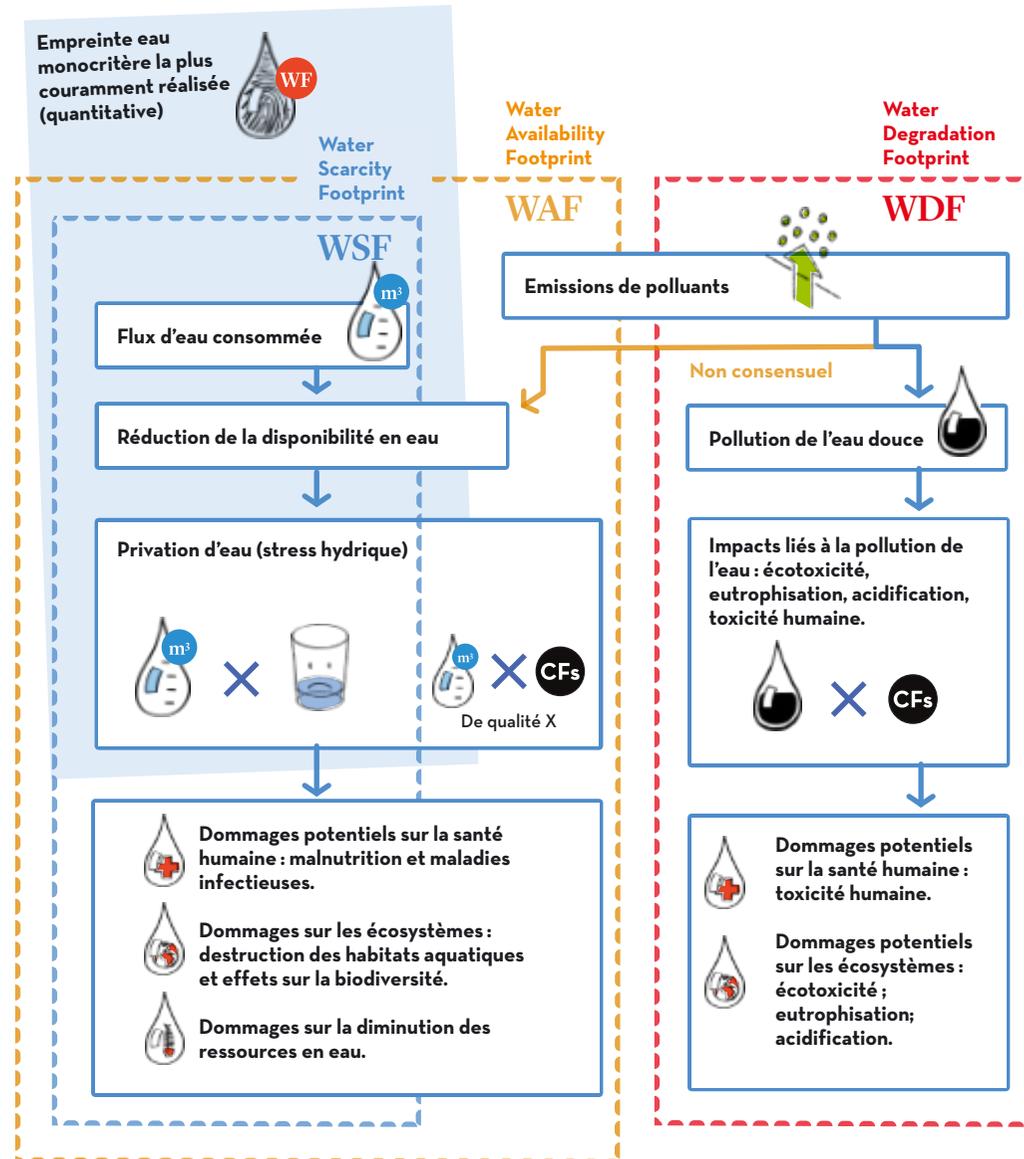


Plusieurs approches disponibles pour couvrir les multiples impacts liés à l'eau

Une autre manière de présenter les différentes options possibles pour conduire une empreinte eau a été proposée par Mikosch *et al.*, 2021. Celle-ci introduit les notions de WSF, WAF et WDF qui s'adressent plutôt aux experts ACV et le schéma ci contre en est inspiré, en y ajoutant les représentations graphiques de ce mémento.

A noter que la relation directe entre pollution de l'eau et privation d'eau pour les hommes ou les écosystèmes n'est pas consensuelle (Pradinaud *et al.*, 2019). Le WAF est donc très peu utilisé dans la littérature sur l'empreinte eau.

L'empreinte eau monocritère concerne généralement la privation d'eau (cf. zone bleutée) alors que l'empreinte eau multicritère combine des indicateurs WSF et WDF.



Adapté de Mikosch *et al.*, 2021.

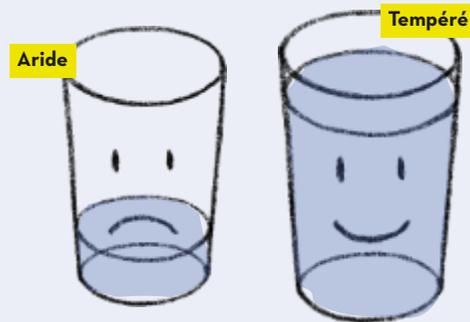
Pourquoi les dimensions spatiales et temporelles sont-elles importantes ?

Le problème. Les impacts de la consommation d'eau varient en fonction de :



1.

L'état du stress hydrique local

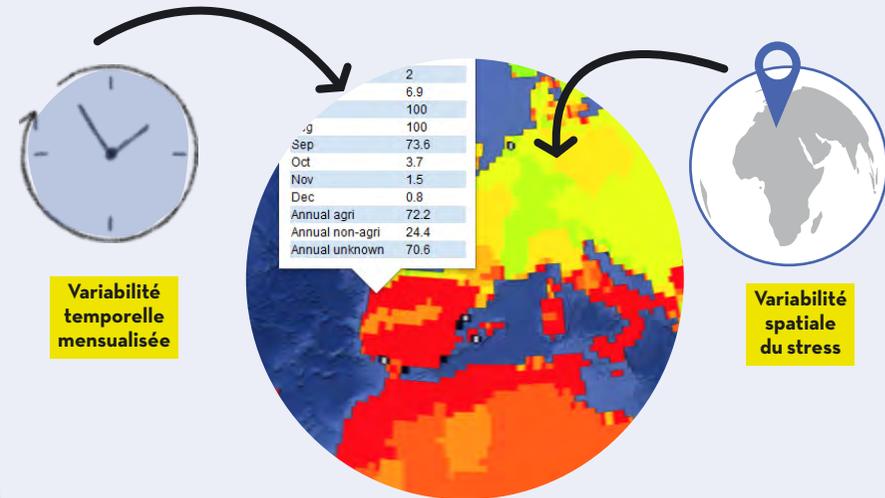


2.

La saisonnalité



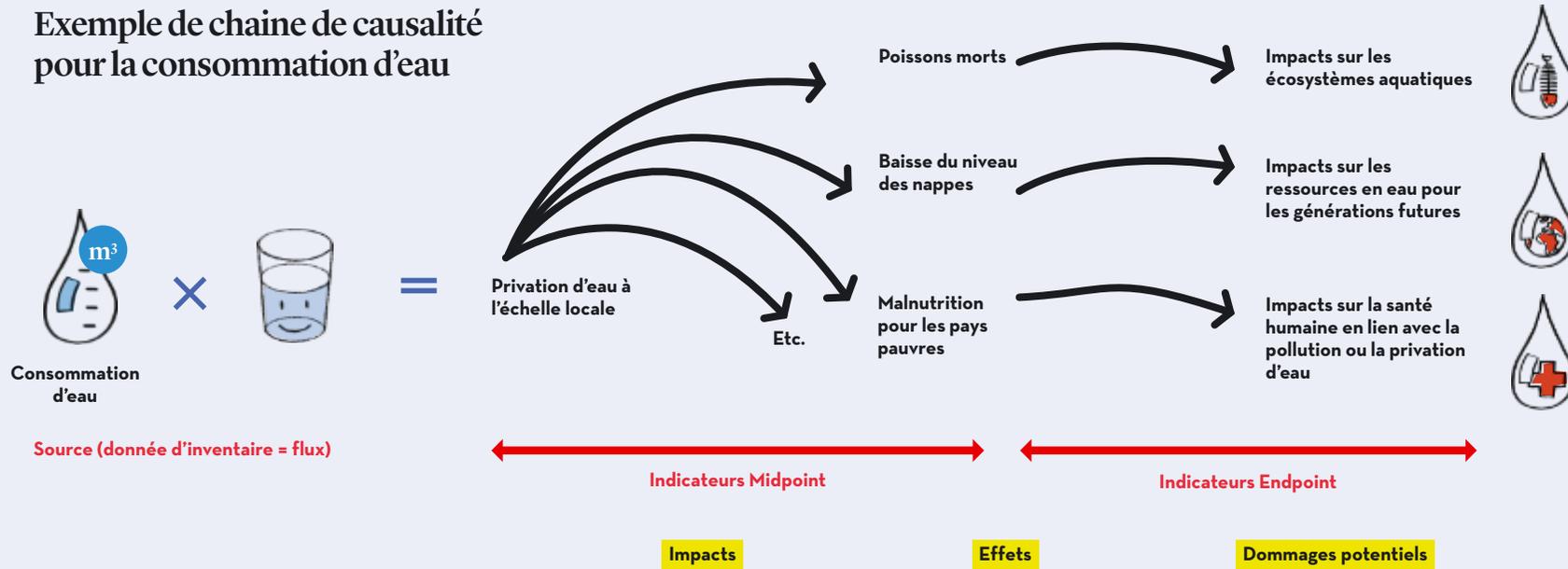
Les outils disponibles. Cartographie et temporalité des conditions hydriques



Des cartographies d'indicateurs de privation d'eau sont disponibles et permettent d'accéder à des facteurs de caractérisation spatialisés (échelle du bassin versant ou sous-bassin versant par exemple) et spécifiques à une temporalité (moyenne annuelle ou mensuelle). Ces cartes sont téléchargeables et peuvent être visualisées grâce à des logiciels de système d'information géographique (SIG).

Deux niveaux d'indicateurs ACV pour l'empreinte eau

L'empreinte eau fait de plus en plus appel à des indicateurs d'ACV qui peuvent se situer en début ou en fin de chaîne de causalité. **Midpoint**: indicateur d'impact quantifiant les effets d'une action humaine sans préjuger des dommages qui vont en résulter. **Endpoint**: indicateur de dommage sur les trois aires de protection de l'ACV.

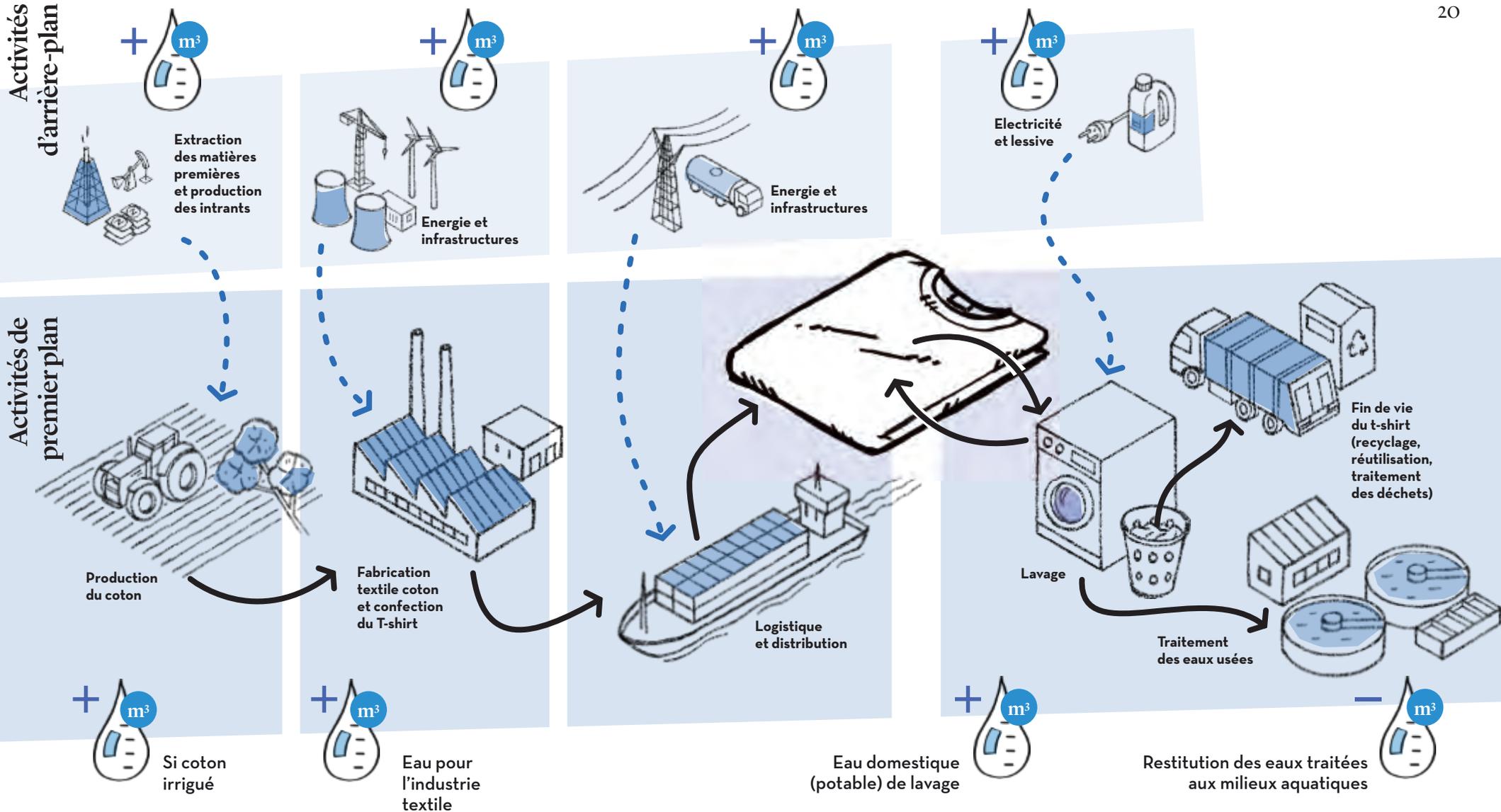


L'Empreinte eau monocritère

Classiquement empreinte eau quantitative (privation),
aussi dite « non-exhaustive » (norme ISO).

Inventaire des consommations d'eau : exemple du T-shirt

Eau consommée pour extraire les matières premières, produire l'énergie et les matériaux nécessaires aux infrastructures, etc.





Résultat d'une empreinte eau monocritère, avec AWARE* : exemple du t-shirt



Un T-shirt en coton, sur l'ensemble de son cycle de vie.

Production et fabrication de 0,25 kg de textile**, 3 ans d'utilisation = 400 lavages (en France).

1,34 m³



Inventaire des consommations d'eau de chaque étape du cycle de vie

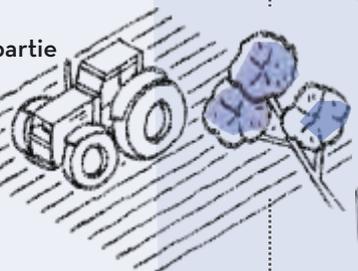


Facteurs de privation d'eau



Empreinte eau AWARE

Production du coton (en partie irrigué)
91 %
1,21 m³



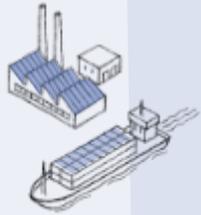
Production du coton = **31,5**
(moyenne marché mondial du coton, à 80 % en Inde)

Autres étapes du cycle de vie = pour chaque consommation d'eau d'arrière plan, un facteur de privation d'eau correspondant à la ressource dans la zone ou pays où elle est consommée.

Lavage **7 %**
Eau 0,05 m³
Énergie 0,03 m³



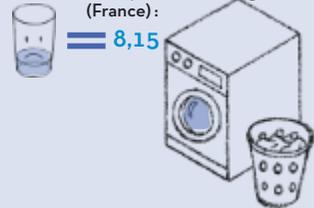
Fabrication textile, distribution **2 %**
0,04 m³



Fin de vie **0 %**
< 0,001 m³



Exemple, eau de lavage (France) = **8,15**

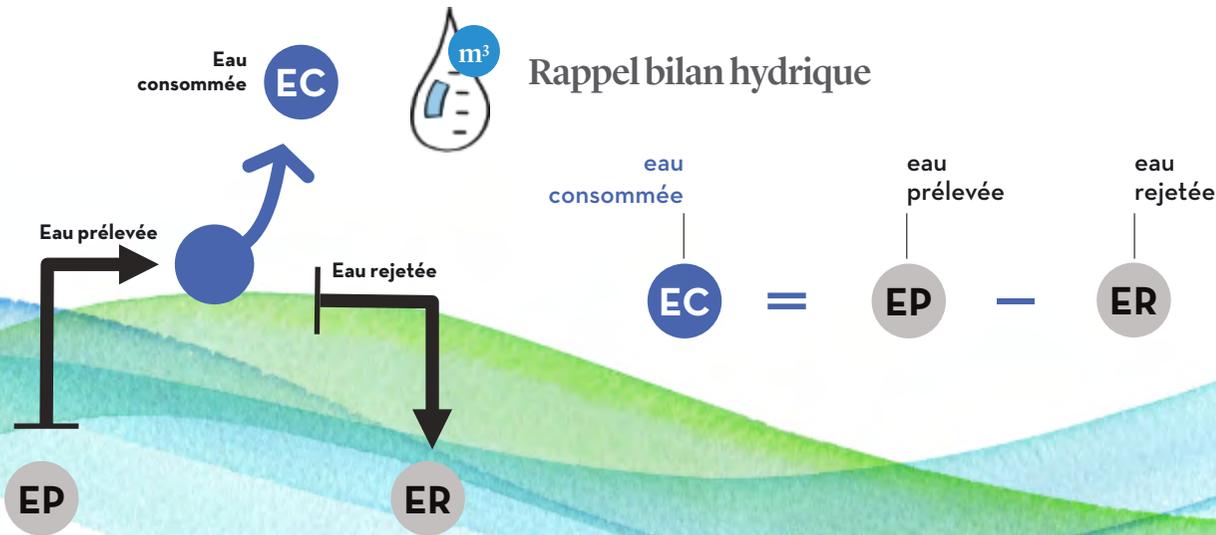


42 m³
AWARE

- Production du coton, 91 %
- Lavage (eau), 5 %
- Fabrication textile, distribution, 2 %
- Lavage (énergie), 2 %
- Fin de vie, 0 %

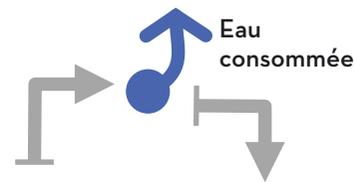
Source : Inventaire simplifié à partir de Yuan et al. 2016. 50 % d'humidité résiduelle en fin de cycle de lavage et durée de vie (3 ans) à dire d'expert. Textile coton issu d'Ecoinvent v3.6 : Textile, woven cotton (GLO) | market for | Cut-off, U. Méthode AWARE 1.03. *Méthode AWARE issue de Boulay et al. 2018. **Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale (source FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8).

En pratique, comment sont renseignées les données de consommation d'eau ? 1/2

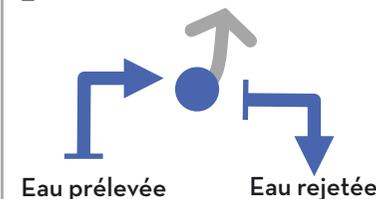


Attention, lors de la réalisation d'un inventaire, les données de consommation d'eau peuvent être renseignées sous différentes formes.

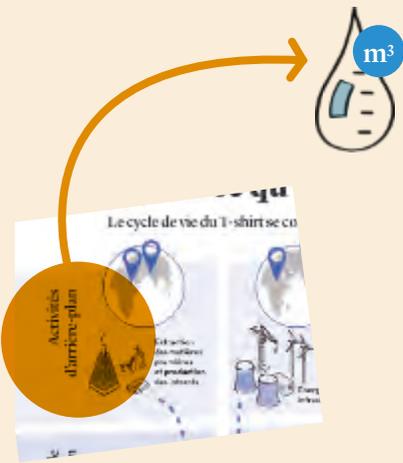
– directement (EC)



– indirectement (avec les prélèvements EP et rejets ER)



En pratique, comment sont renseignées les données de consommation d'eau ? 2/2



Consommation d'eau des activités d'arrière plan (procédés génériques)

Disponibles dans des bases de données (voir ci-contre). Attention, ces données peuvent être renseignées sous différentes formes (voir explications page 22).

Ecoinvent V.3

10 000 + datasets de produits et procédés de nombreux secteurs



Pfister et al. 2011, BDD 2014 pour les cultures.

Payant

Agribalyse

2 500 produits agricoles et alimentaires produits et/ou consommés en France



Ecoinvent (arrière plan),

Cropwat (premier plan).

Libre accès

World Food LCA Database

2 300+ datasets pour 120 produits dans 56 pays : produits et transformations alimentaires, transport...

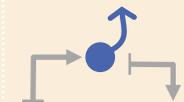


Pfister et al. 2011, BDD 2014 pour les cultures.

Bientôt en libre accès

Agri-footprint

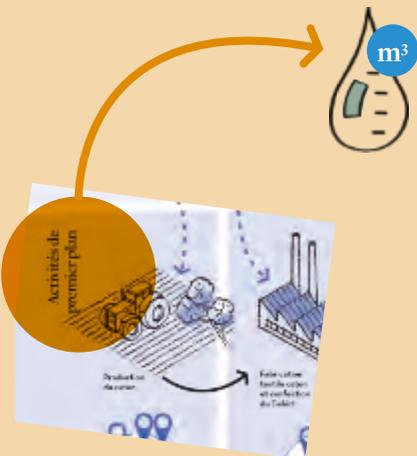
5 000 + produits et procédés : cultures, produits transformés, aliments...



WaterStat (Mekonnen et Hoekstra 2010)

Payant

Schémas expliqués page 22.



Consommation d'eau des activités de premier plan (procédés spécifiques étudiés)

Mesures et modèles. Données d'entrée requises.

Contrairement aux activités d'arrière plan dont la consommation en eau est généralement issue des bases de données d'ACV, la consommation d'eau des activités de premier plan doit être évaluée par celui qui réalise l'ACV. L'objectif est ici de représenter au mieux la réalité que l'on souhaite modéliser, à la fois (i) dans l'espace (consommation réelle en un lieu donné ou consommation moyenne sur une zone

géographique) et (ii) dans le temps (moyenne annuelle, interannuelle, mensuelle...). Pour ce faire, il faut choisir la meilleure approche pour chaque cas spécifique. Prenons par exemple une culture irriguée par un canal. L'évaluation de l'eau consommée à partir d'un bilan hydrique complet peut mobiliser plusieurs approches.



Efficacité de l'irrigation et évapotranspiration de la culture estimée par exemple avec le logiciel Optirrig (INRAE).



Fuites* dans le système de transport et de distribution de l'eau estimées à partir de résultats expérimentaux mesurés sur une installation équivalente. *Attention, les fuites qui retournent dans les milieux naturels ne sont en général pas des consommations d'eau au sens de l'empreinte eau (voir page 13) mais il est nécessaire de les calculer pour équilibrer le bilan hydrique.



Modèle ad hoc tel que par exemple un modèle d'évaporation utilisant des données climatiques locales pour quantifier l'eau consommée (évaporée) sur la surface libre du canal.

Focus agronomie : comment faire un inventaire d'eau consommée pour l'irrigation ?

Flux d'eau élémentaires d'entrée

Nécessaire pour calculer les besoins d'irrigation. Aussi appelée « eau verte » par le Water Footprint Network, mais pas dans la norme ISO14046



Données primaires basées sur des enquêtes agricoles. Données provenant :
- soit directement d'une enquête agricole ;
- soit d'une BDD (estimée à partir de l'eau consommée et du mode d'irrigation).

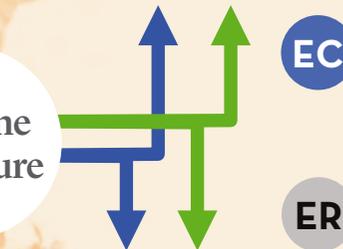


Dans les BDD : répartition eau de surface/souterraine basée sur les statistiques nationales

Flux d'eau élémentaires de sortie

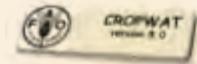


Données : résultat d'un modèle agricole



Dans les bases de données : l'eau consommée (évaporation, évapotranspiration, incorporation dans le produit) est estimée à partir de modèles agricoles (Cropwat ou Aquacrop par exemple) et l'eau rejetée résulte d'un bilan classique.

- Discrimination des principales caractéristiques du système (ex. : type de sol moyen)
- Utilisation avec des données d'entrée sur l'irrigation
- Discrimination fine des pratiques de gestion agricole (ex. : Mode d'irrigation)



Dans les BDD : résultat d'un bilan massique : $ER = EP - EC$

Dans les BDD : répartition eau de surface/souterraine estimée

Hypothèse par défaut : 80 % vers la surface 20 % vers les eaux souterraines (Lévová et Pfister, 2012), utilisée par la World Food Life Cycle Assessment Database (WFLBD)

Source : World Food LCA Database.
Illustration adaptée de Payen et al. 2018.
BDD : base de données.

* Exemple illustratif.

Effets de la privation d'eau : principaux indicateurs **Midpoint** disponibles

Pour réaliser une empreinte eau monocritère (ISO14046 non-exhaustive), il est nécessaire de choisir un indicateur de stress hydrique. Plusieurs indicateurs sont disponibles au niveau *Midpoint*.

Liste non-exhaustive de méthodes disponibles dans SimaPro et largement utilisées



Références	Commentaire	Méthode globale associée	Facteur de caractérisation	Intervalle de valeurs	Unité	Spatialité et temporalité
Boulay et al. 2018	Méthode la plus consensuelle recommandée par la commission européenne (PEF-EF) et l'UNEP-Setac. L'une des avancées importantes de cette méthode est la prise en compte régionalisée des besoins en eau minimum des écosystèmes (Pastor et al. 2013)	PEF	AWARE « Relative Available Water Remaining » = AMD mondiale / AMD régionale. AMD = « Availability Minus Demand » : (disponibilité moins demande) par unité de surface terrestre. Demande = besoins des écosystèmes aquatiques (Pastor et al. 2013) + besoins des humains.	0 - 100	m ³ AWARE	<input type="radio"/> Mensuel <input type="radio"/> Annuel <input type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous-bassins versants <input type="radio"/> Régions administratives. Autres distinctions : par type d'activité (agricole ou non), et type de culture. <input type="radio"/> Carte disponible (SIG)
Pfister et al. 2009	Méthode très largement utilisée ces dernières années et encore d'actualité. Elle a aussi l'avantage d'être utilisable en midpoint et endpoint.		WSI « Water Stress Index » = f(WTA) WTA = withdrawal to availability (prélèvement / disponibilité)	0 - 1	m ³	<input type="radio"/> Mensuel <input type="radio"/> Annuel <input type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous-bassins versants <input type="radio"/> Régions administratives. <input type="radio"/> Carte disponible (SIG)
Hoekstra et al. 2012	Dernière version issue du réseau Water Footprint Network (mise à jour de la méthode volumétrique la plus utilisée dans le monde jusque dans les années 2010).		WSI « Water Scarcity Indicator » = f(CTA) CTA = Consumption to Availability (consommation / disponibilité)	0 - ∞	m ³	<input type="radio"/> Mensuel <input type="radio"/> Annuel <input type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous bassins versants <input type="radio"/> Régions administratives. <input type="radio"/> Carte disponible (SIG)
Berger et al. 2014	Analyse la vulnérabilité des bassins à l'épuisement de l'eau douce (basée sur la rareté de l'eau bleue locale).		WDI « Water Depletion Index » = f(CTA) + prise en compte de la présence de lacs + rivières (et pas seulement le rejet d'eau dans le milieu)	0-1	m ³	<input type="radio"/> Mensuel <input type="radio"/> Annuel <input type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous bassins versants <input type="radio"/> Régions administratives. <input type="radio"/> Carte disponible SIG
Boulay et al. 2011a	Mise à jour du WSI avec une distinction entre eau souterraine et de surface.	IMPACT World +	WSI « Water Scarcity Indicator » = f(CTA) Indicateurs également disponibles pour les eaux de surface et les eaux souterraines.	0-1	m ³	<input type="radio"/> Mensuel <input type="radio"/> Annuel <input type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous bassin versant <input type="radio"/> Régions administratives. <input type="radio"/> Carte disponible SIG

Les méthodes ci-contre sont basées sur des indicateurs de stress hydrique. Une nouvelle approche basée sur un modèle mécaniste fondé sur les effets de privation d'eau sur les habitats des écosystèmes aquatiques émerge (Damiani et al. 2018).

Effets de la privation d'eau : principaux indicateurs *Endpoint* disponibles

Pour réaliser une empreinte eau monocritère (ISO14046 non-exhaustive), il est nécessaire de choisir un indicateur de stress hydrique. Plusieurs indicateurs sont disponibles au Endpoint et permettent d'évaluer les effets de la privation d'eau sur les 3 aires de protection (santé humaine, écosystèmes et ressources).

Liste non-exhaustive de principaux indicateurs Endpoint disponibles

Endpoint



Références	Principales méthodes globales associées	Facteur de caractérisation	Unité	Spatialité et temporalité
Pfister et al. 2009	Partiellement utilisée dans ReCiPe 2016 EndPoint pour la santé humaine et les écosystèmes terrestres et dans LC Impact pour la santé humaine.	 Santé humaine : indicateur basé sur les effets du manque d'eau douce pour l'hygiène et l'ingestion, entraînant la propagation de maladies transmissibles, et le manque d'eau pour l'irrigation, entraînant la malnutrition (applicable pour les pays pauvres ayant un indice de développement humain (HDI) inférieur à 0,30).  Ecosystèmes terrestres : dommages causés aux espèces de plantes vasculaires. La productivité primaire nette (PPN) est utilisée comme un indicateur de l'état de l'écosystème.  Ressources : Épuisement des réserves d'eau pour les générations futures (extraction d'eaux souterraines fossiles ou surexploitation des masses d'eau souterraines) exprimé à travers le coût virtuel d'une « technologie alternative » (concept utilisé pour évaluer l'épuisement des ressources abiotiques). Dans le cas de l'eau, cette technologie est la désalinisation.	DALY/m ³ , species.yr/m ³ , \$ surplus/m ³	<input type="radio"/> Annuel <input checked="" type="radio"/> National <input checked="" type="radio"/> Sous-bassins versants
Boulay et al. 2011b	IMPACT World+	 Santé humaine : modélisation de la perte de fonctionnalité de chaque utilisateur de l'eau. Trois voies d'impact sont prises en compte (données hydrologiques et socio-économiques) : - la malnutrition due à la privation d'eau pour les utilisateurs agricoles, - la malnutrition due à la privation d'eau pour la pêche, - les maladies liées à l'eau associées à un manque d'eau à usage domestique. Deux types d'indicateurs (distribution/marginale).	DALY/m ³	<input type="radio"/> Annuel <input checked="" type="radio"/> National <input checked="" type="radio"/> Sous-bassins versants
Motoshita et al. 2011		 Santé humaine : deux indicateurs en fonction de l'usage domestique/agricole - dommages causés par les maladies infectieuses en raison de la pénurie d'eau domestique. - dommages causés par la malnutrition en raison de la pénurie d'eau agricole.	DALY/m ³	<input type="radio"/> Annuel <input checked="" type="radio"/> National <input type="radio"/> Sous-bassins versants
Verones et al. 2017	LC Impact	 Ecosystèmes : perte potentielle de biodiversité (taxons animaux en zone humides et plantes vasculaires dans les écosystèmes terrestres), modélisée de manière spatialisée.	PDF · yr/m ³	<input type="radio"/> Annuel <input checked="" type="radio"/> National <input checked="" type="radio"/> Sous-bassins versants
Hanafiah et al. 2011	ReCiPe 2016 EndPoint	 Ecosystèmes aquatiques : pertes potentielles d'espèces de poissons d'eau douce par consommation d'eau des rivières.	PDF/(yr.m ³)	<input type="radio"/> Annuel <input checked="" type="radio"/> National <input checked="" type="radio"/> Sous-bassins versants

DALY, Disability Adjusted Life years : nombre d'années de vie perdues ou altérées par une maladie.

Species.yr : nombre d'espèces disparues pendant une année.

PDF, Potentially Disappeared Fraction of species : fraction de la diversité d'espèces qui peut être potentiellement perdue en raison d'un mécanisme environnemental.

Effets de la privation d'eau : principales méthodes globales disponibles (ACV)

Certaines méthodes d'ACV incluent des indicateurs d'impact liés aux effets de la privation d'eau, au niveau *Midpoint* et/ou *Endpoint*. Il est alors possible d'utiliser ces méthodes pour extraire un résultat d'empreinte eau monocritère quantitative.

Liste non-exhaustive des principales méthodes disponibles

Nom méthode	Commentaire	Indicateur Midpoint	Indicateurs <i>Endpoint</i> liés à la consommation d'eau (aspect quantitatif)		
			 Santé humaine	 Ecosystèmes	 Epuisement des ressources
ReCiPe 2016 (<i>Midpoint</i> et <i>Endpoint</i>)	ReCiPe 2016 est une version mise à jour et étendue de ReCiPe 2008 qui comprend des catégories d'impact Midpoint et Endpoint. C'est une méthode globale très largement utilisée, notamment dans les publications scientifiques.	Eau consommée (bilan hydrique)	Pfister <i>et al.</i> 2009	Terrestres : Pfister <i>et al.</i> 2009 Aquatiques : Hanafiah <i>et al.</i> 2011	L'épuisement des réserves d'eau pour les générations futures (extraction d'eaux souterraines fossiles ou surexploitation des masses d'eau souterraines) n'est actuellement pas intégré à la plupart des méthodes globales. Si nécessaire, on peut avantageusement utiliser l'indicateur de Pfister <i>et al.</i> 2009 présenté dans la fiche précédente pour évaluer cet aspect.
LC Impact (2020)	Méthode partiellement régionalisée, issue d'un projet de recherche européen.		Pfister <i>et al.</i> 2009	Verones <i>et al.</i> 2017	
IMPACT World + IW+ (2019) (<i>Midpoint</i> et <i>Endpoint</i>)	Méthode globale conçue pour être à terme 100 % régionalisée, issue d'une mise à jour des méthodes IMPACT 2002+, LUCAS et EDIP.	Boulay <i>et al.</i> 2016 (AWARE)	Boulay <i>et al.</i> 2011	Terrestres : van Zelm <i>et al.</i> 2011 Aquatiques : Hanafiah <i>et al.</i> 2011 Pollution thermique : Verones <i>et al.</i> 2010	
EF (2018)	La méthode EF est la méthode d'évaluation de l'empreinte environnementale des produits, services et organisations (Environmental Footprint - EF) introduite par la Commission européenne. (anciennement ILCD).	Boulay <i>et al.</i> 2016 (AWARE)			

Note pratique : les méthodes *Endpoint* qui permettent d'agréger les impacts sur les 3 aires de protections de l'ACV apportent des éléments d'aide à la décision très intéressants pour résoudre le nexus eau-énergie (ex. comparaison d'eau de désalinisation avec une ressource en eau de surface stressée).



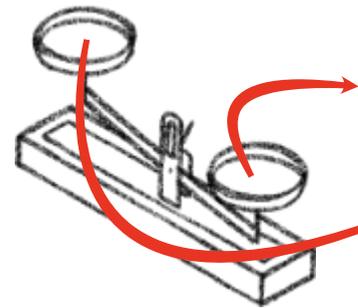
Résultat d'une empreinte eau monocritère : exemple de la REUT

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées

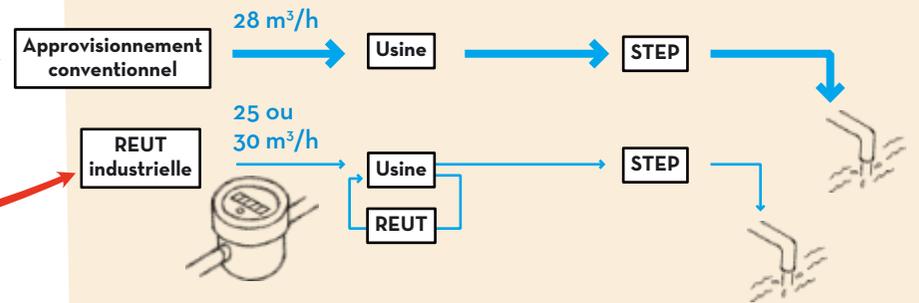
Cas d'étude : ligne de production en industrie agroalimentaire.

Empreinte eau monocritère comparative

L'empreinte eau permet de comparer l'éco-efficacité de plusieurs solutions d'approvisionnement en eau.



Systèmes étudiés



Trois scénarios théoriques étudiés dans deux zones géographiques

Zone continentale. L'hypothèse : les eaux usées sont rejetées dans le milieu local et le recharge. Pas d'économie d'eau directe avec la REUT.

Zone littorale. L'hypothèse : les eaux usées sont rejetées dans la mer, tous les prélèvements d'eau sont des consommations. La REUT permet d'économiser la ressource.

Approvisionnement conventionnel*

REUT 1
Optimisation par recyclage sans traitement.

REUT 2
Optimisation par recyclage avec traitement.

Besoins en eau **28** m³/h

Besoins en eau **25** m³/h

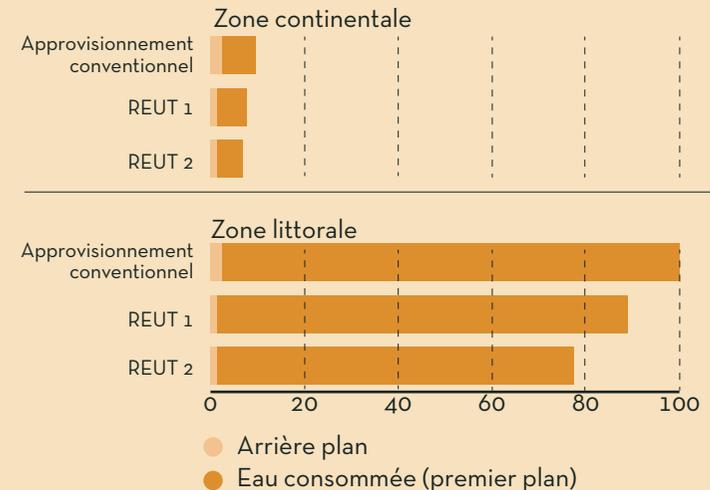
Besoins en eau **20** m³/h

* Eau du réseau public français.

Recyclage et régénération de 5,5 m³/h d'effluents (tamis rotatif, ultrafiltration, osmose inverse et désinfection UV).

Source : Minimeau

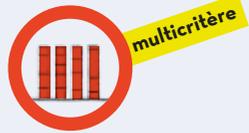
Résultats : empreinte eau quantitative



L'Empreinte eau multicritère

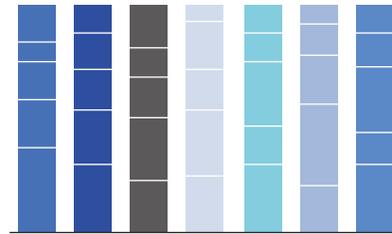
Dite exhaustive (norme ISO) si tous les aspects quantitatifs (privation) et qualitatifs (pollution) sont pris en compte.

Qu'appelle-t-on une empreinte eau multicritère ?

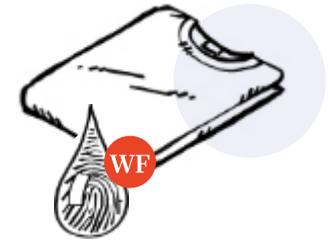
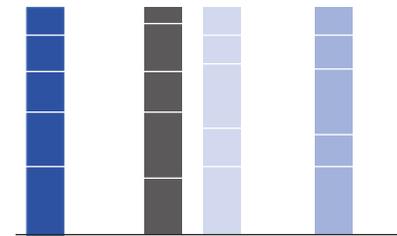


Une empreinte eau multicritère a pour objectif de couvrir la totalité des impacts environnementaux relatifs à l'eau : à l'aspect quantitatif (privation d'eau) présenté dans les fiches précédentes, on rajoute l'aspect qualitatif (pollution de l'eau). Si l'empreinte eau multicritère inclut des impacts sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources, elle est dite exhaustive (norme ISO 14046).

Pour ce faire, il est conseillé de passer d'abord par une **ACV multicritère...**

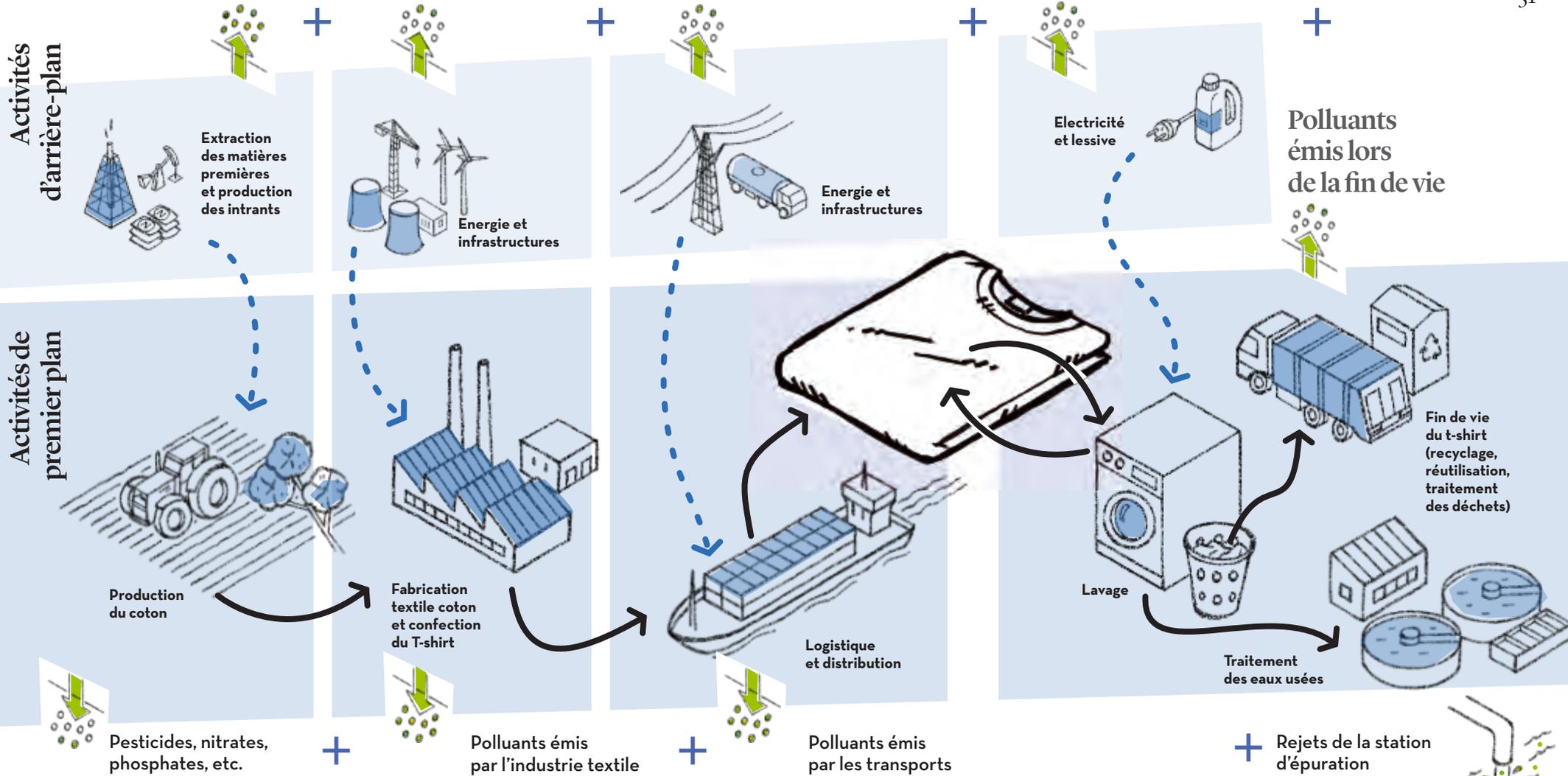


... puis d'extraire les résultats des catégories d'impacts relatives aux problèmes de quantité et de qualité de l'eau, permettant d'obtenir une **empreinte eau multicritère.**



Inventaire des pollutions de l'eau : exemple du T-shirt

Polluants émis lors de l'extraction des matières premières, de la production d'énergie et d'intrants ainsi que la fabrication des matériaux nécessaires aux infrastructures, etc.



L'inventaire doit inclure les polluants émis dans l'eau (pollutions aquatiques directes) et les polluants émis dans l'air et les sols car une fraction de ces émissions (calculée par les modèles d'impacts d'ACV) peut aussi atteindre indirectement les milieux aquatiques.

Contrairement à l'inventaire des consommations d'eau, qui peut éventuellement être réalisé avec des outils simples (tableur), l'inventaire de tous les polluants émis dans l'air, l'eau et les sols, tout au long de toutes les étapes du cycle de vie en incluant toutes les activités d'arrière plan nécessite la mise œuvre d'un logiciel et de bases de données d'ACV.

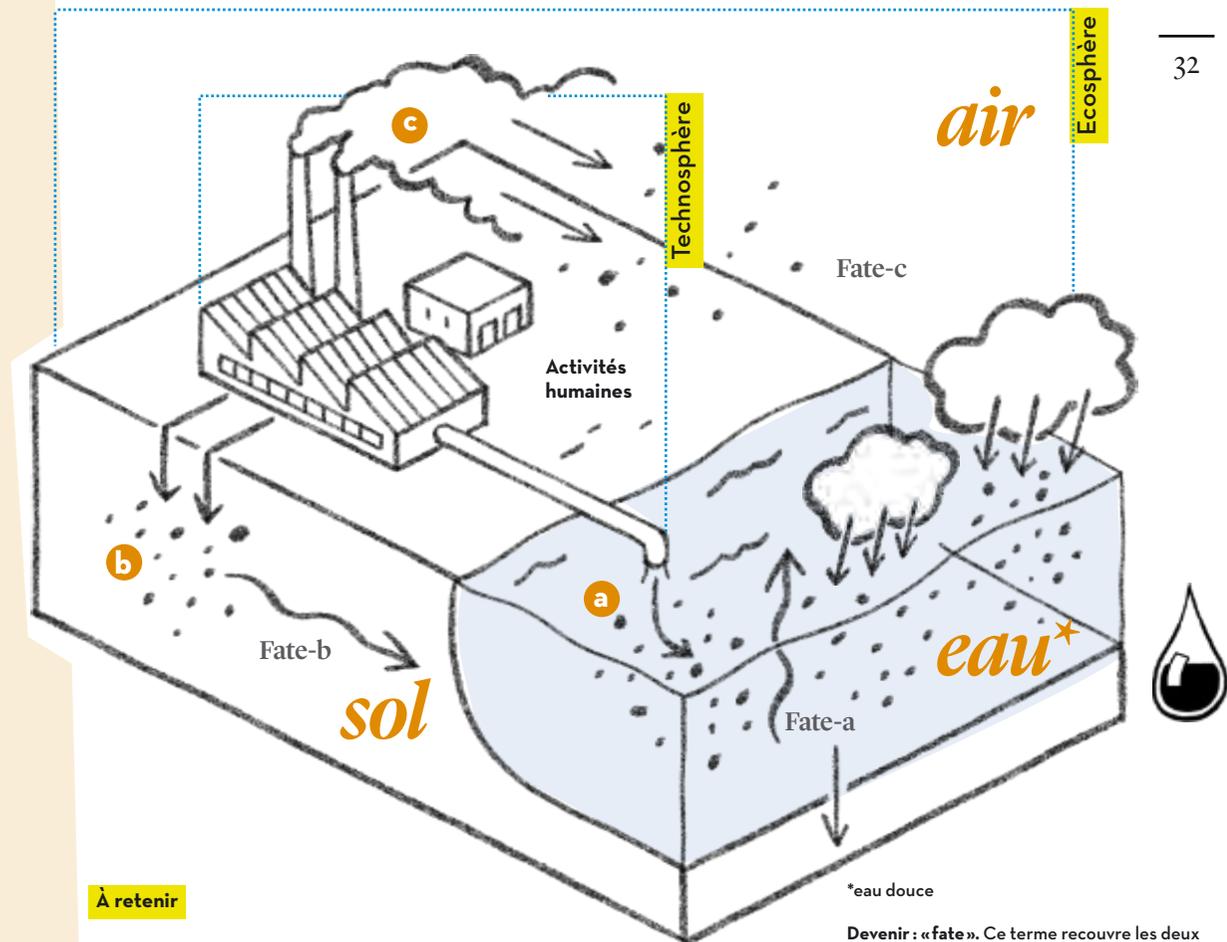
En pratique, comment renseigner les données relatives à la pollution de l'eau ?

L'objectif est de quantifier **TOUTES** les pollutions des milieux aquatiques en lien avec le système étudié dans une perspective cycle de vie (du berceau à la tombe).

L'erreur, à ne pas commettre, serait de se limiter à ne quantifier que les polluants émis directement dans l'eau.

En effet, de nombreux polluants émis dans l'air ou le sol peuvent rejoindre les milieux aquatiques via différents processus de transfert tels que les dépôts aériens, les précipitations, la lixiviation, le ruissellement sur les sols, etc. (processus notés *Fate* «devenir» dans le schéma ci-contre).

Les modèles d'impacts en ACV prennent en compte ces phénomènes de transfert vers l'eau pour l'utilisateur (i.e. une substance émise exclusivement dans l'air ou le sol peut générer en ACV des impacts sur les écosystèmes aquatiques, en particulier si elle est hydrophile).



À retenir

Inventaire

== tous les flux de polluants émis dans *eau* (a) + *sol* (b) + *air* (c).

Impact retenus pour l'empreinte eau

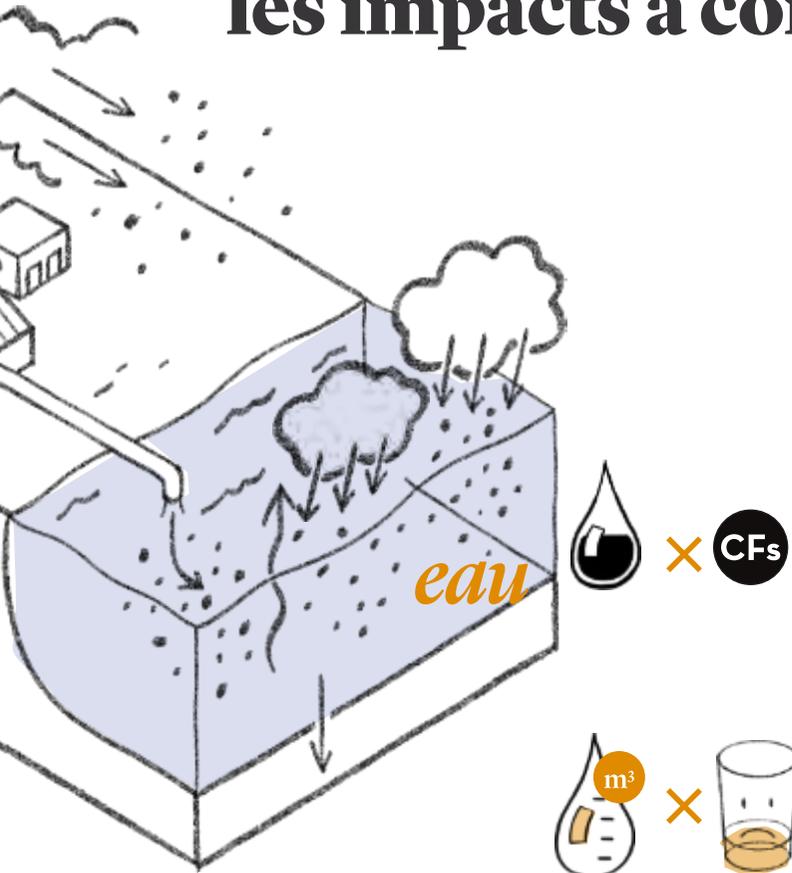
== impacts (fate-a) + impacts (Fate-b) + impacts (Fate-c)

*eau douce

Devenir : «fate». Ce terme recouvre les deux composantes du devenir d'une substance en écotoxicité :

- migration/transferts entre compartiments environnementaux (ainsi par exemple une substance volatile émise dans l'air finira dans l'eau et une substance hydrophile émise dans les sols ou dans l'air finira inévitablement dans l'eau)
- durée de demi-vie de la substance dans l'air, l'eau ou les sols qui caractérise sa dégradabilité et donc sa durée de vie dans l'environnement

Empreinte eau multicritère : quels sont les impacts à considérer ? 1/2



Les indicateurs pour les catégories d'impacts liées à la pollution d'eau sont disponibles dans les méthodes classiques d'ACV : ReCiPe, EF, Impact World +, ICL, etc.

Les indicateurs de stress hydrique sont déjà inclus dans les méthodes générales listées ci dessus (voir page 27).

Catégories d'impacts liées à la pollution de l'eau



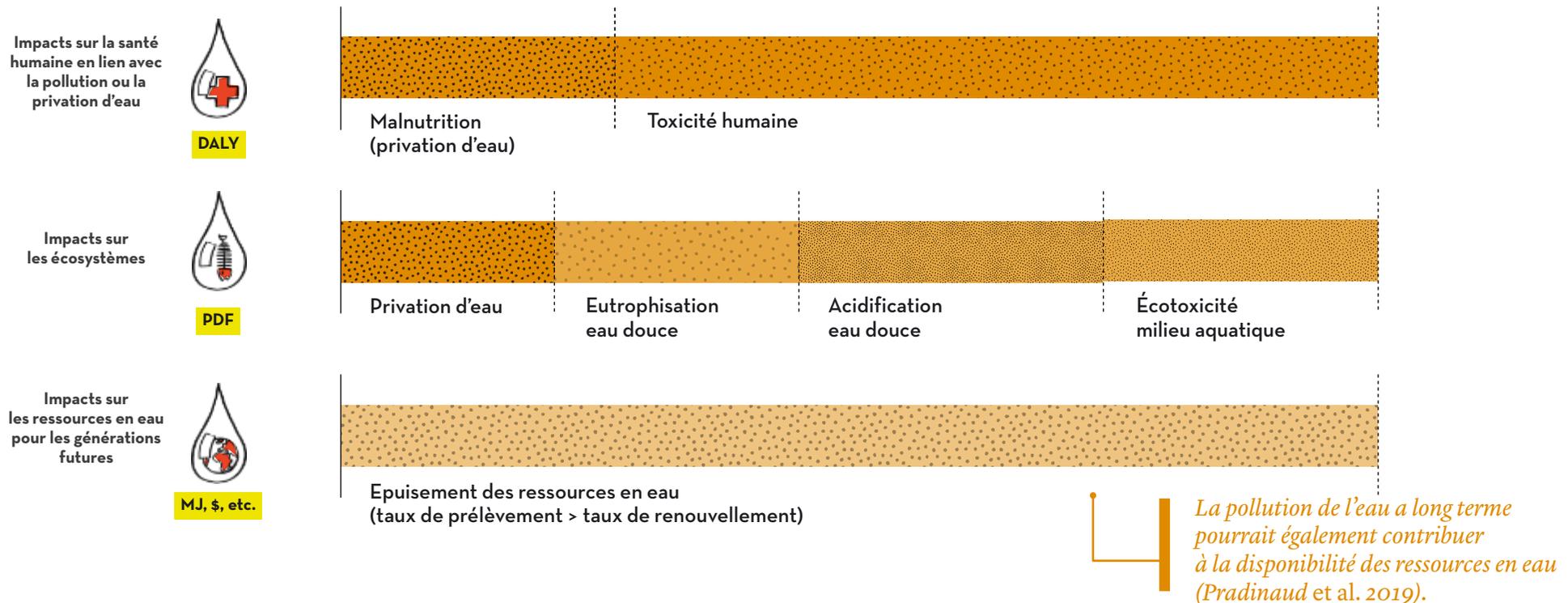
Catégories d'impacts liées à la consommation d'eau



Attention ! De nouvelles catégories d'impact relatives à l'eau (par exemple : effet des micro-plastiques dans l'eau) pourraient se rajouter à cette liste dans le futur.

Empreinte eau multicritère : quels sont les impacts à considérer ? 2/2

Il est aussi possible de présenter les résultats d'une empreinte eau multicritère au niveau *Endpoint*



DALY, *Disability Adjusted Life years* : nombre d'années de vie perdues ou altérées par une maladie.
PDF, *Potentially Disappeared Fraction of species* : fraction de la diversité d'espèces qui peut être potentiellement perdue en raison d'un mécanisme environnemental.

Multicritère mais pas exhaustif : la question des impacts sur la santé humaine

Problème de mise en œuvre pour la santé humaine :

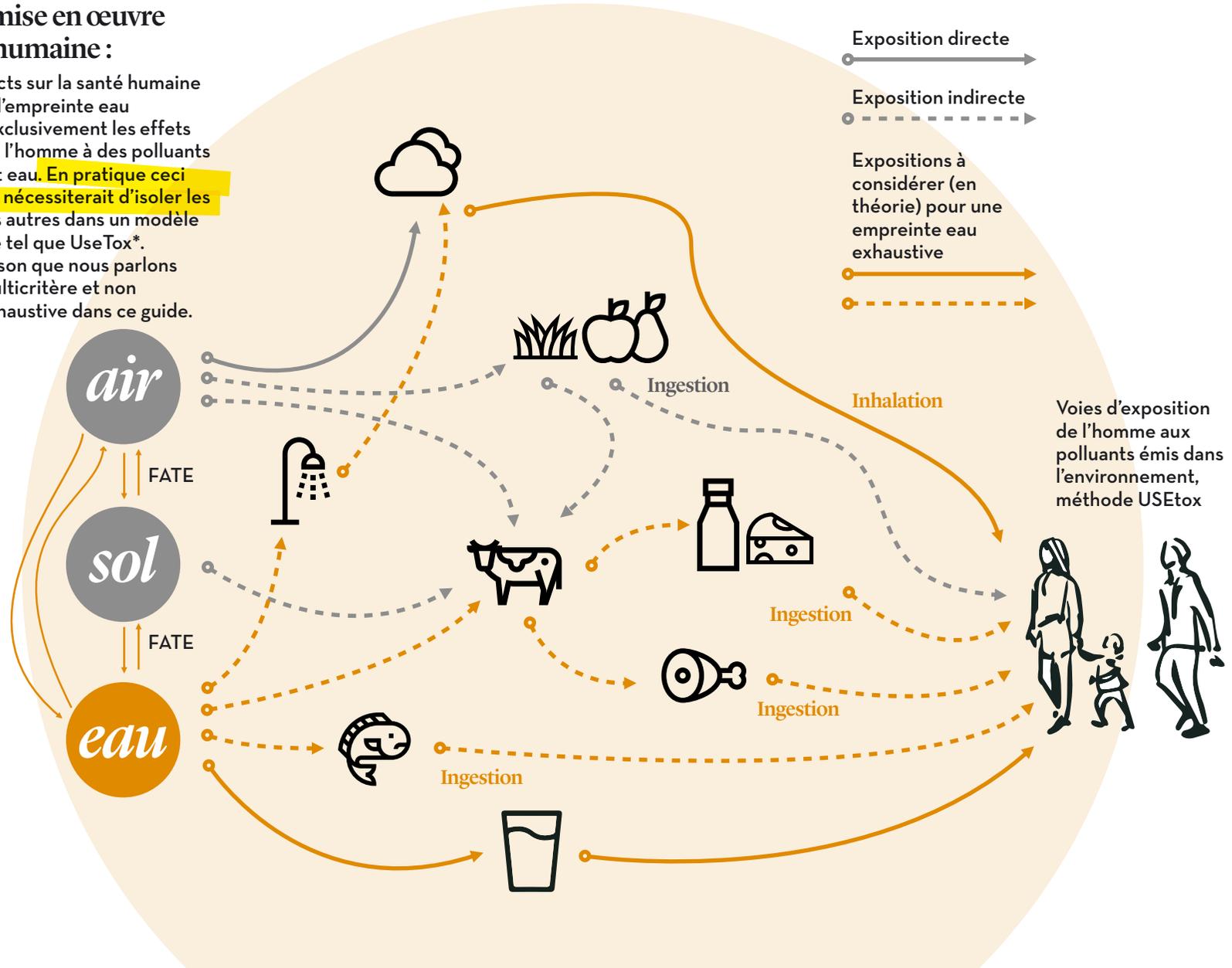
En théorie les impacts sur la santé humaine mis en œuvre dans l’empreinte eau devraient couvrir exclusivement les effets d’une exposition de l’homme à des polluants via le compartiment eau. **En pratique ceci est difficile car cela nécessiterait d’isoler les flèches oranges des autres dans un modèle de toxicité humaine tel que UseTox*.** C’est pour cette raison que nous parlons d’empreinte eau multicritère et non d’empreinte eau exhaustive dans ce guide.

*A ce jour aucune méthode implémentée dans les logiciels ne permet de faire cette distinction. A noter que la méthode Impact World + (Bulle et al. 2019) propose un cadre méthodologique pour le faire et ainsi obtenir une empreinte eau réellement exhaustive.

Rappel :

Multicritère = impacts liés à la consommation et dégradation de l’eau.

Exhaustif = tous les impacts liés à la consommation et dégradation de l’eau, y compris ceux dus à la pollution de l’eau sur la santé humaine.



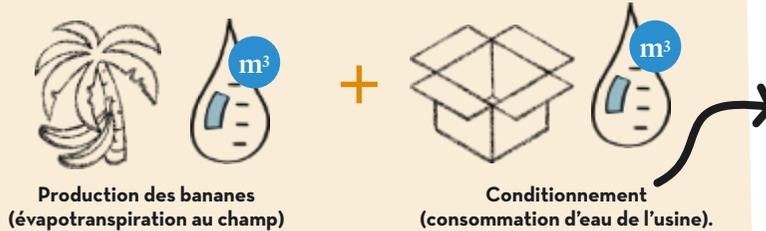
Résultat d'une empreinte eau multicritère : exemple d'une exploitation bananière



Unité fonctionnelle : produire une caisse de bananes pour l'exportation de 18,14 kg (culture + conditionnement).

En plus de l'indicateur sur l'épuisement de la ressource en eau, 3 indicateurs ont été sélectionnés pour représenter la part de l'empreinte eau liée à la pollution de l'eau. La norme ISO n'impose pas ces indicateurs en particulier.

Inventaire quantitatif (eau consommée)*



Inventaire qualitatif (dégradation de l'eau)*

*Hors-étude : consommation d'eau indirecte de l'arrière-plan (production des fertilisants, des caisses de transport, etc.).



Choix des indicateurs et résultats

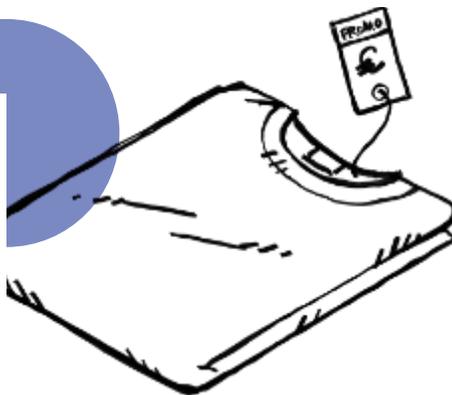
Catégorie d'impacts	Description	Méthode	Résultats	Unité
Épuisement de la ressource	Indicateur de pression sur la ressource en eau, en fonction de sa rareté. Indicateur entre 0,1 et 100.	AWARE	1,34	m ³ e
Toxicité humaine	Comparative Toxic Unit for Human Health (CTUh) exprime la perte en espérance de vie en fonction du temps et du volume par unité de masse de substances émises (DALY.m ³ .day/kg).	USEtox	6,5 E-8	CTUh
Écotoxicité eau douce	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe) : exprime la fraction d'espèce potentiellement affectée (PAF) en fonction du temps et du volume par unité de masse de substances émises (PAF.m ³ .day/kg).	USEtox	1,5 E3	CTUe
Eutrophisation eau douce	Décrit l'excès de nutriments qui contribue à l'eutrophisation avec comme conséquence le développement d'algues (le phosphore étant considéré comme l'élément limitant).	ReCiPe	3,47 E2	kg Pe



Source : Vallejo, A., Vallejo, M., Nájera, J., Garnier, L. (2017). *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome et San José.

L'empreinte eau du T-shirt : des résultats différents selon les approches

Fabrication d'un T-shirt
en coton*, 250g (hors
utilisation/lavage)



*Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale (source FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8).



Empreinte eau monocritère du T-shirt : évolution de 2005 à 2009



Fabrication d'un
T-shirt en coton*, 250 g
(hors utilisation/lavage)

Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale. Source : FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8

*Attention :
l'inventaire n'est
pas le même dans
les deux approches.*

1. Méthode : Hoekstra et al. 2012. Source des données : Chapagain et al. 2005.
2. Méthode : Pfister et al. 2009. Source des données : T-shirt (250g), issu de données écoinvent v3.6 (Textile, woven cotton {GLO} market for | Cut-off).

*DALY, Disability Adjusted Life years : nombre d'années de vie perdues ou altérées par une maladie.

2005

Empreinte eau
selon la méthode
« Waterfootprint
Network »¹

WF Totale = 2 720 litres incluant :

- Eau bleue : 1 230 litres
- Eau verte : 1 110 litres
- Eau grise (eau de dilution) : 380 litres



2,7 m³

*Les volumes d'eau prélevés
(et non consommés !) tout
au long du cycle de vie sont
additionnés sans tenir
compte du stress hydrique
local et de la saisonnalité.*

2009

Empreinte eau
selon la méthode
Pfister²



Eau consommée : 1 214 litres

Privation d'eau calculée : 1 167 litres

Mid-point (WSI)



1,2 m³

End-point



- Impacts écosystèmes 8,4 E-9 espèces x années.

- Santé humaine 2,5 E-6 DALY*.



- Ressources 0,3 \$ surplus.



Seule l'eau bleue est comptabilisée et la consommation d'eau est pondérée par un indicateur de stress hydrique (WSI) tenant compte de la saisonnalité et de la rareté locale. Ce facteur varie de 0 (aucun stress) à 1 (stress maximum).



Empreinte eau monocritère du T-shirt : évolutions récentes



Fabrication d'un T-shirt en coton*, 250 g (hors utilisation/lavage)

Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale. Source : FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8

1. Méthode : Boulay et al. 2018.

2. Source des données : T-shirt (250g), issu de données écoinvent v3.6 (Textile, woven cotton {GLO}) market for | Cut-off).

*WULCA : Water Use in Life Cycle Assessment.
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
SETAC : Société pour la Toxicologie et la Chimie Environnementale.

PEF - OEF



2017

Empreinte eau selon la méthode Aware^{1,2}



39,1

AWARE
(m³ Aware)

Notez qu'avec l'indicateur AWARE, l'indicateur d'empreinte en eau n'a plus de réelle signification physique puisque le volume d'eau réellement consommé peut être multiplié par un facteur supérieur à 1 (jusqu'à un seuil de 100).

Méthode consensuelle d'évaluation de l'utilisation de l'eau en ACV du groupe international WULCA fondé en août 2007 sous les auspices de l'initiative sur le cycle de vie du PNUE/SETAC*. <http://www.wulca-waterlca.org>

Autres exemples d'indicateurs WF disponibles dans les logiciels d'ACV²

Hoekstra et al. 2012 (Water Scarcity) V1.02
2,8 m³ WSI

Boulay et al. 2011 (Water Scarcity) V1.02
1,2 m³ WSI

Bien que les résultats d'empreinte eau d'un produit (ici le t-shirt) puissent varier fortement en fonction de la méthode choisie, c'est bien l'analyse des contributions (étapes du cycle de vie) qui permet d'identifier les pistes d'éco-conception (voir exemple page 21).

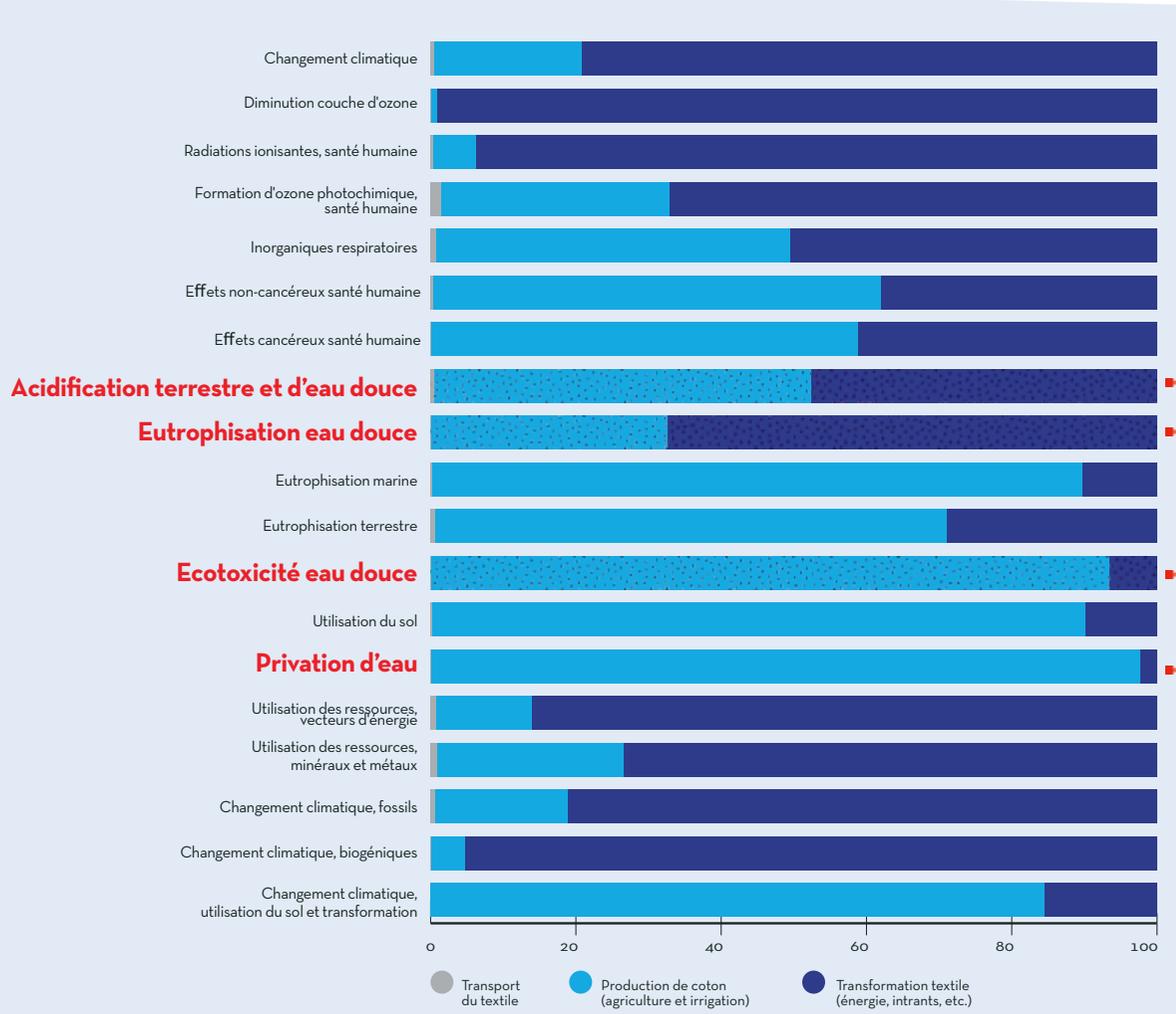


ACV complète du T-shirt



Fabrication d'un T-shirt en coton*, 250 g (hors utilisation/lavage)

Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale. Source : FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8



Catégories d'impacts utilisables pour une empreinte eau multicritère.

Source : à partir d'un set de données Ecoinvent v3.6 « Textile, woven cotton {GLO} market for | Cut-off ». Méthode d'impact (LCIA) : Environmental Footprint (EF) Method (adaptée) V1.00 dans Simapro.



Empreinte eau multicritère du T-shirt

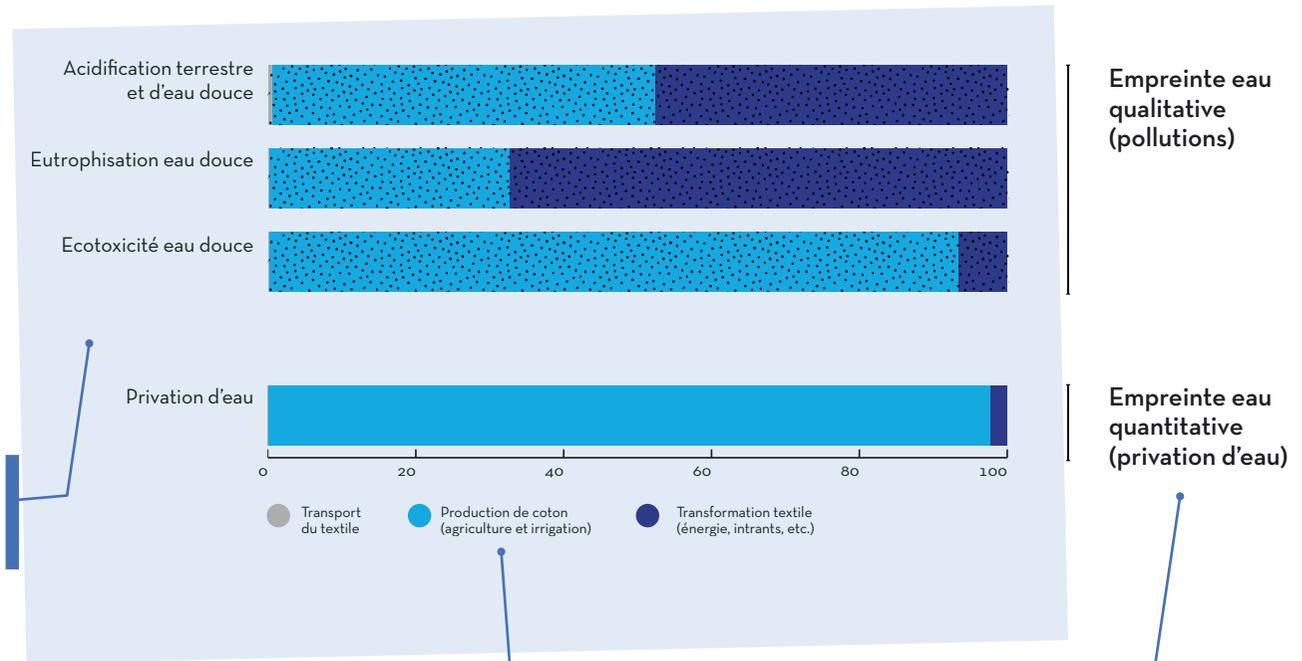


Fabrication d'un T-shirt en coton*, 250 g (hors utilisation/lavage)

Moyenne mondiale, sachant que le coton irrigué occupe environ la moitié de la surface totale de coton et est responsable de 73 % de la production mondiale. Source : FAO, Rome 2015, ISBN 978-92-5-108614-8

Ne pas sur-interpréter les résultats d'empreinte eau dans la mesure où ils ne couvrent pas toutes les catégories d'impact (ex. la meilleure option pour l'empreinte eau peut être la pire pour l'empreinte carbone). Préférer une ACV complète.

Source : à partir d'un set de données Ecoinvent v3 « Textile, woven cotton {GLO} | market for | Cut-off ». Méthode d'impact (LCIA) : Environmental Footprint (EF) Method (adaptée) V1.00 dans Simapro.



A noter que dans le cas d'un coton non-irrigué, la contribution de l'étape de production du coton à l'empreinte eau du t-shirt serait beaucoup moins importante.

La norme ISO 14046 ne précise pas la nature des indicateurs ni leur nombre. Dans cet exemple, 3 indicateurs qualitatifs et 1 indicateur quantitatif ont été retenus.

MÉMENTO
GRAPHIQUE
DE L'EMPREINTE
EAU

Empreinte eau : synthèse et références

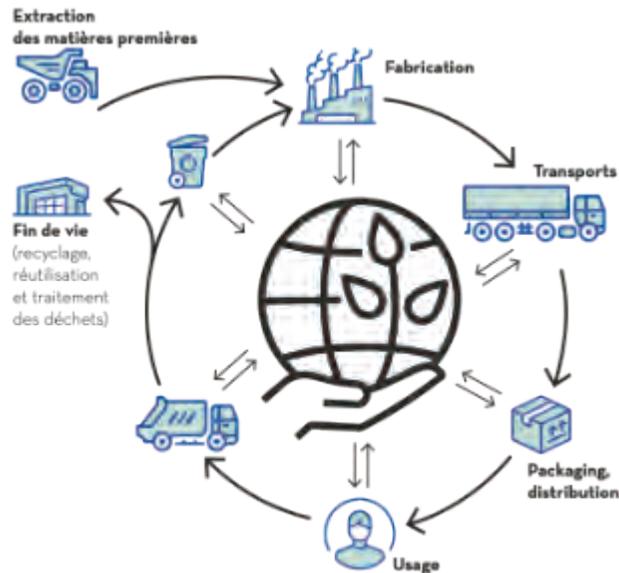


Empreinte eau : ce qu'il faut retenir !

1.

Perspective cycle de vie

Une empreinte eau comptabilise tous les impacts relatifs à la consommation et à la pollution de l'eau, dans une perspective cycle de vie (de l'extraction des matières premières, à leur transformation, transport et usage, jusqu'à la fin de vie du produit).



2.

Facile et utile

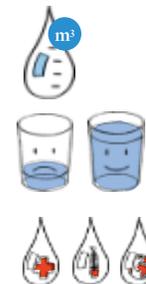
L'empreinte eau monocritère est, au même titre que le bilan carbone, un indicateur environnemental très efficace pour une communication simple. Elle dispose maintenant d'un indicateur consensuel, AWARE (recommandé par le PNUE, et l'Europe par le PEF) avec des données disponibles à différentes échelles géographiques et prenant en compte la saisonnalité. La mise en œuvre peut être réalisée avec un simple tableau (cf. Bilan Carbone) à condition d'être très vigilant pour réaliser l'inventaire des consommations d'eau (en particulier ne pas mélanger « eau prélevée » et « eau consommée » et bien équilibrer les bilans hydriques). Attention cependant aux dangers de transferts de pollutions liés aux méthodes monocritères (ex. : le meilleur pour préserver la ressource en eau pourrait être le pire en terme de pollutions).



3.

De plus en plus pertinent

Les approches purement volumétriques de l'empreinte eau se sont progressivement améliorées : prise en compte de l'eau consommée (différence entre eau prélevée et restituée) ; prise en compte du stress hydrique local (un m³ d'eau n'a pas la même importance dans une région aride ou tempérée !) ; évaluation des effets de privation d'eau sur les écosystèmes, la santé humaine ou les ressources pour les générations futures.



4.

Empreinte eau multicritère ou ACV ?

La norme ISO 14046 propose d'aller plus loin que l'empreinte eau quantitative (monocritère) en y associant des indicateurs de pollution de l'eau (écotoxicité, eutrophisation, toxicité humaine, etc.). Il s'agit alors d'une empreinte eau multicritère, (voire « exhaustive » si elle inclut aussi les impacts sur la santé humaine en lien avec les pollutions de l'eau). La réalisation de celle-ci ne peut plus se faire avec des outils simples du type tableau et nécessite des logiciels et bases de données d'ACV. Dans ce cas, sachant que la mise en œuvre de l'empreinte eau devient aussi lourde que celle de l'ACV, il est alors bien préférable de basculer vers une ACV multicritère complète afin d'être exhaustif et d'identifier tous les transferts de pollutions.



Pour en savoir plus sur l'empreinte eau

Publications scientifiques

BERGER M., VAN DER ENT R., EISNER S., et al. (2014) Water accounting and vulnerability evaluation (WAVE): Considering atmospheric evaporation recycling and the risk of freshwater depletion in water footprinting. *Environ Sci Technol* 48:4521-4528.

<https://doi.org/10.1021/es404994t>

BOULAY A.-M., BOUCHARD C., BULLE C., et al. (2011a) Categorizing water for LCA inventory. *Int J Life Cycle Assess* 16:639-651.

<https://doi.org/10.1007/s11367-011-0300-z>

BOULAY A.-M., BARE J., BENINI L., et al. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Int J Life Cycle Assess* 23:368-378.

<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>

BOULAY A.-M., BULLE C., BAYART J.-B., et al. (2011b) Regional characterization of freshwater use in LCA: Modeling direct impacts on human health. *Environ Sci Technol* 45:8948-8957.

<https://doi.org/10.1021/es1030883>

BULLE C., MARGNI M., PATOULLARD L., et al. (2019) IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *Int J Life Cycle Assess* 24:1653-1674.

<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

FAZIO S., BIGANZIOLI F., DE LAURENTIIS V., et al. (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0. EUR 29600 EN, European Commission, Ispra, 2018, ISBN 978-92-79-98584-3, doi:10.2760/002447, PUBSY No. JRC114822.

HANAFIAH M.-M., XENOPOULOS M.-A., PFISTER S., et al. (2011) Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction. *Environ Sci Technol* 45:5272-5278.

<https://doi.org/10.1021/es1039634>

HOEKSTRA A.Y., MEKONNEN M.M., CHAPAGAIN A.K., et al. (2012) Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. *PLoS One* 7.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>

HUIJBREGTS M., STEINMANN Z.J.N., ELSHOUT PMFM, et al. (2016) ReCiPe 2016. *Natl Inst Public Heal Environ* 194.

<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>

LOUBET P., ROUX P., NÚÑEZ M., BELLON-MAUREL V. (2013) Assessing water deprivation at the sub-watershed scale in LCA including downstream cascade effects. *Environ Sci Technol* 47:14242-14249.

<https://doi.org/10.1021/es403056x>

MEKONNEN M.M., HOEKSTRA A.Y. (2016) Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. *Sci Adv* 2:1-7.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>

MIKOSCH N., BERGER M., FINKBEINER M. (2021) Addressing water quality in water footprinting: current status, methods and limitations. *Int J Life Cycle Assess* 26:157-174.

<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01838-1>

MOTOSHITA M., ITSUBO N., INABA A. (2011) Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. *Int J Life Cycle Assess* 16:65-73.

<https://doi.org/10.1007/s11367-010-0236-8>

NÚÑEZ M., ROSENBAUM R.K., KARIMPOUR S., BOULAY A.-M.M., LATHUILLIÈRE M.J., MARGNI M., SCHERER L., VERONES F., PFISTER S., 2018. A Multimedia Hydrological Fate Modeling Framework to Assess Water Consumption Impacts in Life Cycle Assessment. *Environ. Sci. Technol.* 52, 4658-4667.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05207>

PAYEN S., BASSET-MENS C., COLIN F., ROIGNANT P. (2018) Inventory of field water flows for agri-food LCA: critical review and recommendations of modelling options. *Int J Life Cycle Assess* 23:1331-1350.

<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1353-4>

PASTOR A.-V., LUDWIG F., BIEMANS H., HO H. (2013) Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* 10:14987-15032.

<https://doi.org/10.5194/hessd-10-14987-2013>

PFISTER S., KOEHLER A., HELLWEG S. (2009) Assessing the Environmental Impact of Freshwater Consumption in Life Cycle Assessment. *Environ Sci Technol* 43:4098-4104

PRADINAUD C., NÚÑEZ M., ROUX P., et al. (2019) The issue of considering water quality in life cycle assessment of water use. *Int J Life Cycle Assess* 24.

<https://doi.org/10.1007/s11367-018-1473-5>

PFISTER S., BAYER P., KOEHLER A., HELLWEG S. (2011) Environmental impacts of water use in global crop production: Hotspots and trade-offs with land use. *Environ Sci Technol* 45:5761-5768.

<https://doi.org/10.1021/es1041755>

VAN ZELM R., SCHIPPER AM, ROMBOUTS M., et al. (2011) Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: Characterization factors based on plant species richness for the Netherlands. *Environ Sci Technol* 45:629-635.

<https://doi.org/10.1021/es102383v>

Ajouter après "Van Zelm": "Verones F, Hanafiah MM, Pfister S, et al (2010) Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments. *Environ Sci Technol* 44:9364-9369. <https://doi.org/10.1021/es102260c>"

VERONES F., PFISTER S., van ZELM R., HELLWEG S. (2017) Biodiversity impacts from water consumption on a global scale for use in life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 22:1247-1256.

<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1236-0>

VERONES F., HELLWEG S., ANTÓN A., et al. (2020) LC-IMPACT: A regionalized life cycle damage assessment method. *J Ind Ecol* 24:1201-1219.

<https://doi.org/10.1111/jiec.13018>

Sources utilisées pour l'exemple du T-shirt en coton

CHAPAGAIN, a. K., HOEKSTRA, a. Y., SAVENIJE H.H.G., GAUTAM, 2005, The water footprint of cotton consumption, Value of Water Research Report Series No. 18, UNESCO-IHE Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org

YUAN Z., ZHANG Y., LIU X. (2016) Life cycle assessment of horizontal-axis washing machines in China. *Int J Life Cycle Assess* 21:15-28.

<https://doi.org/10.1007/s11367-015-0993-5>

Sites internet

- WULCA : <http://www.wulca-waterlca.org/>
- Water footprint network : <https://waterfootprint.org/>

Normes

Guide de mise en œuvre détaillé de l'empreinte eau ISO 14046, à destination des experts et praticiens de l'ACV : ISO 14046 - Environmental management - WATER FOOTPRINT, A practical guide for SMEs, ISO Publications, © ISO 2017, Published in Switzerland, ISBN 978-92-67-10770-7

Hypothèses sous-jacentes et points de vigilance

1.

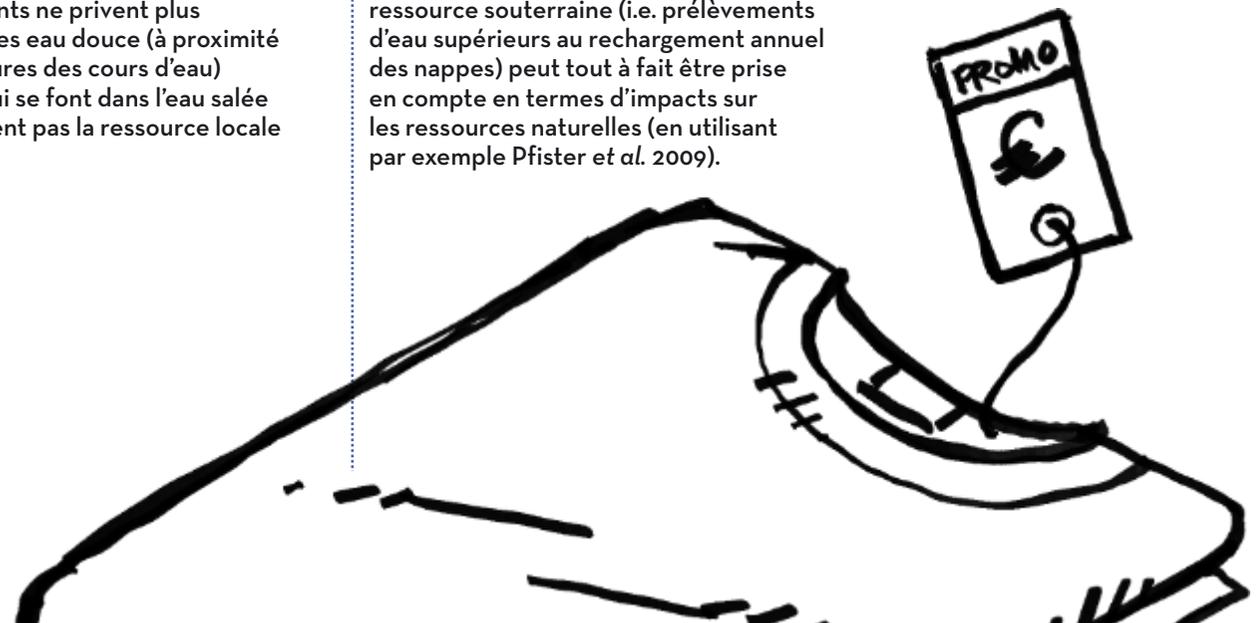
Les approches basées sur le stress hydrique reposent sur l'hypothèse que l'eau consommée au sein d'un sous bassin versant par évapotranspiration entraîne une privation d'eau locale pour l'année considérée. Pourtant, cette quantité d'eau va rejoindre le grand cycle de l'eau à l'échelle planétaire et va nécessairement retomber quelque part sous forme de précipitations (pluies). Il a cependant été démontré (Berger *et al.* 2014) que pour les zones arides et semi arides cette privation d'eau est effective puisque les quantités d'eau concernées ne précipitent pas sur place mais dans des zones tempérées ou sur les océans.

2.

Les approches fondées sur le stress hydrique ne font pas de différences directes entre une consommation d'eau très en amont d'un bassin versant ou très en aval, par exemple à proximité de l'embouchure. L'effet cascade de privation d'eau sur l'aval a fait l'objet de travaux (Loubet *et al.*, 2013) mais n'est pas pris en compte directement dans les méthodes classiques du type WSI ou AWARE. Néanmoins, contrairement aux zones continentales, les flux d'eau inventoriés (prélèvement ou rejet) pour les zones littorales (ex. : rejet d'une STEP via un émissaire en mer) sont généralement à considérer comme nuls puisque les prélèvements ne privent plus les écosystèmes eau douce (à proximité des embouchures des cours d'eau) et les rejets qui se font dans l'eau salée et ne régénèrent pas la ressource locale en eau douce.

3.

Avec les approches basées sur le stress hydrique, il n'est aujourd'hui pas possible de prendre en compte finement les interactions entre l'eau de surface et l'eau souterraine. L'hypothèse sous-jacente de ces approches est que ces compartiments sont en connexion à l'échelle locale ce qui ne correspond pas forcément à la réalité dans tous les hydro systèmes. Une réflexion a été amorcée (Núñez *et al.* 2018) sur un cadre conceptuel d'un modèle hydrologique multimedia qui permettrait à terme de mieux prendre en compte ces interactions. A noter cependant que l'utilisation non renouvelable d'une ressource souterraine (i.e. prélèvements d'eau supérieurs au rechargement annuel des nappes) peut tout à fait être prise en compte en termes d'impacts sur les ressources naturelles (en utilisant par exemple Pfister *et al.* 2009).



Qui sommes-nous ?



Camille Maesele, INRAE

Ingénieure de recherche. Suite à une formation en génie énergétique et environnement (INSA Lyon), j'ai travaillé dans le domaine de l'eau au Chili, puis auprès de collectivités territoriales dans le secteur de la maîtrise de l'énergie. En 2019, je rejoins l'équipe ELSA pour étudier l'impact environnemental de la réutilisation des eaux usées (REUT) au sein des industries agroalimentaires (projet ANR MINIMEAU).

camille.maesele@inrae.fr



Sandra Payen, CIRAD

Chercheuse en évaluation environnementale. Ingénieure agronome de Montpellier SupAgro, j'ai réalisé ma thèse de doctorat sur la thématique de l'eau dans les ACV de produit agricole. Après un détour en Nouvelle-Zélande pour trois ans de post-doc, j'ai rejoint le CIRAD pour poursuivre mes travaux centrés sur l'évaluation environnementale de filières agricoles par l'analyse du cycle de vie (ACV).

sandra.payen@cirad.fr



Charlotte Pradinaud, INRAE

Chargée de projets Chaire ELSA-PACT. Ingénieure agronome de Montpellier SupAgro (2013) spécialisée dans la gestion de l'eau et de l'environnement, j'ai réalisé ma thèse dans le cadre du 1^{er} cycle de la Chaire ELSA-PACT sur le thème des ressources en eau en ACV, et plus particulièrement sur la considération de la qualité de l'eau. A présent j'anime et je coordonne les divers projets de la chaire ELSA-PACT.

charlotte.pradinaud@inrae.fr



Philippe Roux, INRAE

Titulaire de la Chaire ELSA-PACT. Ingénieur de recherche INRAE dans le domaine de l'analyse du cycle de vie (ACV) et de l'évaluation environnementale, je suis co-fondateur du groupe de recherche ELSA fondé en 2008 (<http://www.elsa-lca.org>) et actuellement le titulaire de la Chaire ELSA-PACT (<http://www.elsa-pact.fr>).

philippe.roux@inrae.fr



Comité de suivi MINIMEAU

Yvan Deloche, CRITT PACA

Ingénieur environnement, j'accompagne les entreprises agroalimentaires sur les sujets eau, énergie, déchet et sur l'évaluation environnementale. J'anime également le RMT ACTIA ECOFLUIDES, réseau technique national sur l'efficacité et la flexibilité eau et énergie des entreprises agroalimentaires.

yvan.deloche@critt-iaa-paca.com



Laura Farrant, CTCPA

Ingénieure généraliste spécialisée dans le domaine de l'environnement et de l'ACV, j'accompagne les entreprises agroalimentaires pour l'évaluation environnementale de leurs produits et procédés. Je contribue aux travaux du RMT ECOVAL, réseau d'experts au service de l'amélioration de la performance environnementale des filières agro-industrielles.

lfarrant@ctcpa.org



Emilie Adoir, IFV

Ingénieure agronome d'AgroParisTech spécialisée en évaluation environnementale, j'ai rejoint l'IFV en 2017 pour conduire les différentes études appliquant la méthode d'ACV sur tout ou partie de la filière vigne & vin.

emilie.adoir@vignevin.com

Remerciements

Cette réalisation a eu lieu grâce au soutien du projet ANR MINIMEAU et de la Chaire ELSA-PACT



Le projet ANR MINIMEAU

Face à l'enjeu que représente l'eau pour les industries agroalimentaires, le projet ANR MINIMEAU a pour objectif d'élaborer un ensemble d'outils d'aide à la décision permettant de reconcevoir les réseaux d'eau dans les usines dans une perspective de minimisation de la consommation d'eau. Il intègre la méthode du pincement (Pinch), des procédés innovants de traitement étudiés et qualifiés sur des effluents réels, et une analyse environnementale des scénarios d'amélioration (Empreinte eau, ACV). Ce projet d'une durée de 4 ans (2018-2021) associe des partenaires académiques (AgroParisTech/UMR GENIAL, INRAE/UMR ITAP), industriel (ProSim), plusieurs centres techniques (CTCPA, ITERG, ACTALIA, IFV) et un centre de transfert (CRITT Paca).



La Chaire ELSA-PACT

La chaire ELSA-PACT est le fruit d'une collaboration entre chercheurs, enseignants et entreprises dans les domaines de l'eau, de l'agro-alimentaire, des produits résiduaux organiques et des énergies renouvelables. Elle a pour objectif d'améliorer la mise en œuvre et la pertinence de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) afin de mieux intégrer les composantes environnementales et sociales des produits et services. C'est dans ce contexte qu'elle participe à la rédaction d'ouvrages de vulgarisation et d'enseignement tel que ce mémento graphique.



L'empreinte eau

Mémento
graphique

