

**Interreg**



Cofinancé par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

**goccia  
a goccia**

**France – Italia ALCOTRA**

# ETUDE RÉTROSPECTIVE ET PROSPECTIVE DE L'EMPREINTE EAU

**Goutte à goutte**

**N°20112**

L 3.1.2 Etude rétrospective et prospective de l'empreinte eau

GAG – ID : 158153

Version du 09.09.2025



**Résumé :** L'objectif principal de ce WP est de quantifier l'empreinte eau dans la zone d'intérêt du projet et d'évaluer les effets du changement climatique sur la chaîne agroalimentaire. En général, l'objectif de l'évaluation de l'empreinte eau est d'analyser comment les activités humaines ou des produits spécifiques sont liés aux problèmes de pénurie d'eau et de voir comment ils peuvent devenir plus durables. L'aspect de l'évaluation de l'empreinte hydrique dépend dans une large mesure de l'objectif de l'étude. Vous pouvez vous intéresser à l'empreinte eau d'une étape spécifique d'un processus dans l'ensemble d'une chaîne de production, ou à l'empreinte eau d'un produit final ou d'une région. Dans ce travail, nous nous sommes concentrés sur la perspective géographique, en examinant l'empreinte hydrique totale dans une zone délimitée par les cinq provinces qui la composent. Pour rendre l'analyse plus efficace, nous avons divisé les activités agroalimentaires en cinq chaînes d'approvisionnement, Pain et pâtisserie, Transformation et conservation de la viande, Lait et dérivés, Vin et bière, Huile et fruits et légumes.

**Étude rétrospective :** L'étude rétrospective porte sur la comptabilisation de l'empreinte eau dans chaque chaîne d'approvisionnement à travers la collecte des données de production des années passées, des modèles de littérature et de l'utilisation des ressources en eau à l'échelle provinciale. Cette étude est menée pour chacune des cinq provinces qui composent la zone d'étude et les cinq chaînes d'approvisionnement considérées. Dans l'étude rétrospective, une analyse du scénario de sécheresse de la zone en question a été menée en se référant plus particulièrement à la sécheresse de 2021/2022. Nous avons tenté de comprendre comment la crise climatique a impacté la zone en question et quelles mesures ont été prises en Italie et en France pour s'adapter à ces scénarios.

**Étude prospective :** La sécheresse affecte de nombreux aspects de l'environnement et de la société, et toute augmentation future de la demande en eau sera plus critique en période de sécheresse sévère. Les changements dans l'ampleur et la fréquence des sécheresses auront des impacts considérables sur la gestion de l'eau, l'agriculture et les écosystèmes aquatiques. L'étude prospective présente les impacts possibles de certains scénarios futurs et tente de comprendre comment ces scénarios peuvent affecter l'empreinte hydrique des produits agroalimentaires dans la zone d'intérêt en raison de la hausse des températures, des changements dans la dynamique des précipitations et de la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes.

#### **Auteurs / contributeurs :**

Prof. Davide Poggi, Prof. ssa Stefania Tamea

#### **Version du document :** x

#### **Lot de travaux :** 3

**Site internet :** <https://www.interreg-alcotra.eu/it/goccia-goccia-gag>



Interreg



Cofinancié par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

goccia  
agoccia

France – Italia ALCOTRA



Politecnico  
di Torino

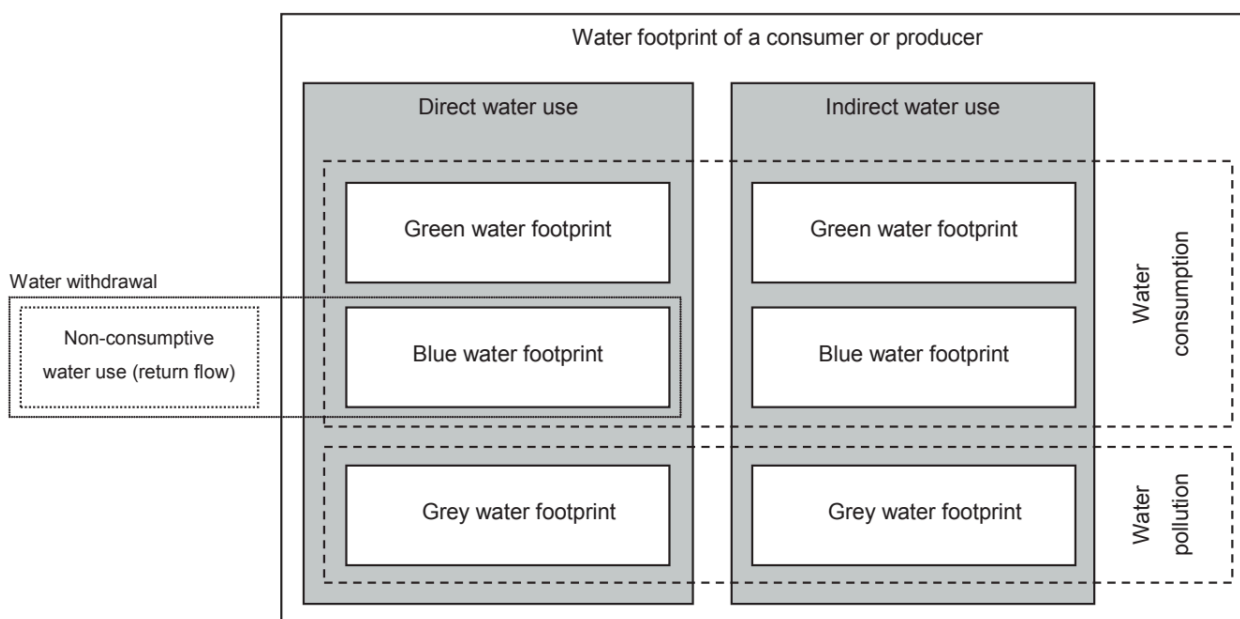
Agrion  
Agricoltura e ricerca innovazione

# Table des matières

<b>ETUDE RÉTROSPECTIVE ET PROSPECTIVE DE L'EMPREINTE EAU</b>	<b>1</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>4</b>
<b>PRÉMISSSE</b>	<b>5</b>
<b>ÉVALUATION DE L'EMPREINTE EAU</b>	<b>8</b>
<b>ÉTUDE RÉTROSPECTIVE</b>	<b>11</b>
Questions clés de l'étude rétrospective :	11
Portée de la comptabilisation de l'empreinte eau	12
<b>MÉTHODOLOGIES DE QUANTIFICATION DE L'EMPREINTE EAU</b>	<b>15</b>
<b>MODÈLES POUR LE CALCUL DE L'EMPREINTE EAU À L'ÉCHELLE RÉGIONALE</b>	<b>18</b>
Comment calculer l'empreinte eau à l'échelle provinciale	19
Collecter des données d'entreprise	31
Collecter des données sur les produits animaux (viande, lait, œufs)	41
Estimation de l'empreinte eau unitaire	47
Estimation de l'empreinte eau des Filières Agroalimentaires	48
<b>SÉCHERESSE ET EMPREINTE HYDRIQUE</b>	<b>49</b>
Quel a été l'impact de la crise climatique sur la zone en question ?	56
<b>ÉTUDE PROSPECTIVE</b>	<b>64</b>
<b>CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DISPONIBILITÉ DE L'EAU</b>	<b>64</b>
Et l'avenir ?	64
<b>CHANGEMENT CLIMATIQUE ET EMPREINTE EAU</b>	<b>68</b>
Augmentation de la rareté de l'eau et de la demande d'eau agricole	68
Changements dans l'utilisation de l'eau et les rendements des cultures	68
<b>Besoins en eau DANS LA CHAÎNE AGROALIMENTAIRE</b>	<b>71</b>
De l'eau verte et bleue pour la production de matières premières agroalimentaires	71
Données météorologiques et climatiques	78
Analyse des impacts induits par les scénarios climatiques futurs	83
Scénarios futurs des besoins en irrigation	84
Scénarios futurs : besoins en irrigation et ressources en eau disponibles	86
Scénarios futurs : l'eau des aquifères	88
Conclusions	88
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>91</b>

## PRÉMISSE

Les activités humaines consomment beaucoup d'eau. À l'échelle mondiale, la majeure partie de l'utilisation de l'eau est utilisée dans la production agricole, mais des volumes importants d'eau sont également consommés dans les secteurs industriel et domestique. La consommation totale d'eau est généralement calculée comme la somme d'une multitude d'activités indépendantes qui nécessitent de l'eau. La consommation d'eau peut être associée à des activités spécifiques, telles que l'irrigation, le bain, le lavage, le nettoyage, le refroidissement et le traitement. La consommation totale d'eau est liée à ce que les communautés consomment et à la quantité qu'elles consomment, ainsi qu'à la structure de l'économie mondiale qui fournit les divers biens et services de consommation. Jusqu'à il y a quelques années, on ne se préoccupait pas, tant dans le domaine de la recherche que dans les actions pratiques de gestion de l'eau, de la consommation d'eau tout au long des chaînes de production et d'approvisionnement des différents produits agricoles et non agricoles. De ce fait, on prend peu conscience que l'organisation et les caractéristiques d'une chaîne de production et d'approvisionnement influencent fortement les volumes (et la distribution temporelle et spatiale) de l'eau consommée associée à un produit final. Hoekstra et Chapagain ont montré que la visualisation de l'utilisation cachée de l'eau derrière les produits peut aider à comprendre le caractère mondial de l'eau douce et à quantifier les effets de la consommation et du commerce sur l'utilisation des ressources en eau. Une meilleure compréhension peut constituer la base d'une meilleure gestion des



ressources en eau de la planète. L'eau douce devient de plus en plus une ressource mondiale, sous l'effet du commerce international croissant de produits gourmands en eau.[1] [2]

Figure 1 Représentation schématique des composantes d'une empreinte eau. Contrairement à la mesure « prélèvement d'eau », l'« empreinte eau » comprend les eaux vertes et grises ainsi que la composante d'utilisation indirecte de l'eau.

Outre les marchés régionaux, il existe également des marchés mondiaux pour les produits gourmands en eau tels que les produits agricoles et d'élevage, les fibres naturelles et la bioénergie. En conséquence, l'utilisation de l'eau est devenue spatialement déconnectée de celle des consommateurs. La découverte du lien caché entre la consommation et l'utilisation de l'eau peut constituer la base de la formulation de nouvelles stratégies de gouvernance de l'eau, car de nouveaux facteurs de changement peuvent être identifiés. Alors que les consommateurs finaux, les détaillants, les industries alimentaires et les négociants de produits gourmands en eau ont traditionnellement été exclus du champ de ceux qui ont étudié ou étaient responsables de la bonne gouvernance de l'eau, ces acteurs entrent maintenant en jeu en tant qu'« agents de changement » potentiels. Ils peuvent désormais être abordés non seulement dans leur rôle d'utilisateurs directs de l'eau, mais aussi dans leur rôle d'utilisateurs indirects de l'eau. L'idée de prendre en compte l'utilisation de l'eau le long des chaînes d'approvisionnement a suscité de l'intérêt après l'introduction par Hoekstra du concept d'« empreinte eau » en 2002. L'empreinte eau est un indicateur de l'utilisation de l'eau douce qui tient compte non seulement de l'utilisation directe de l'eau par un consommateur ou un producteur, mais aussi de l'utilisation indirecte de l'eau. [3]

L'empreinte eau peut être considérée comme un indicateur complet de l'appropriation des ressources en eau douce, à côté de la mesure traditionnelle et limitée des prélèvements d'eau. L'empreinte eau d'un produit est le volume d'eau douce utilisé pour fabriquer le produit, mesuré sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. Il s'agit d'un indicateur multidimensionnel, montrant les volumes d'eau consommés par source et les volumes pollués par type de pollution ; Toutes les composantes d'une empreinte eau totale sont spécifiées géographiquement et temporellement.

L'empreinte eau bleue fait référence à la consommation des ressources en eau bleue (eaux de surface et eaux souterraines) tout au long de la chaîne d'approvisionnement d'un produit. La « consommation » fait référence à la perte d'eau de la masse d'eau de surface disponible dans un bassin versant. Les fuites se produisent lorsque l'eau s'évapore, retourne dans une autre zone de collecte ou dans la mer, ou est incorporée dans un produit. L'empreinte eau verte fait référence à la consommation de ressources en eau verte (eau de pluie dans la mesure où elle ne devient pas un ruissellement).

L'empreinte eaux grises fait référence à la pollution et est définie comme le volume d'eau douce nécessaire pour assimiler la charge polluante compte tenu des concentrations de fond naturelles et des normes de qualité de l'eau ambiante existantes

En tant qu'indicateur de l'utilisation de l'eau, l'empreinte eau diffère de la mesure classique du « prélèvement d'eau » à trois égards (**Erreur. La source de référence n'a pas été trouvée.**):

- ✓ Cela n'inclut pas l'utilisation de l'eau bleue dans la mesure où cette eau est renvoyée à l'endroit d'où elle provient.
- ✓ Il ne se limite pas à l'utilisation d'eau bleue, mais comprend également les eaux vertes et grises.
- ✓ Elle ne se limite pas à l'utilisation directe de l'eau, mais inclut également l'utilisation indirecte de l'eau.

L'empreinte hydrique offre donc une perspective meilleure et plus large sur la façon dont un consommateur ou un producteur se rapporte à l'utilisation des systèmes d'eau douce. Il s'agit d'une mesure volumétrique de la consommation d'eau. Il ne s'agit pas seulement d'une mesure de la gravité de l'impact environnemental local de la consommation d'eau, mais de l'impact environnemental local d'une certaine quantité de consommation d'eau et de pollution dépend de la vulnérabilité du système d'eau local et du nombre de consommateurs et de pollueurs d'eau utilisant le même système. Les comptes de l'empreinte eau fournissent des informations spatio-temporelles explicites sur la façon dont l'eau est appropriée à diverses fins humaines. Ils peuvent alimenter la discussion sur l'utilisation et l'allocation durables et équitables de l'eau, et fournir également une bonne base pour une évaluation locale des impacts environnementaux, sociaux et économiques.

## ÉVALUATION DE L'EMPREINTE EAU

L'évaluation de l'empreinte eau fait référence à l'ensemble des activités visant à :

1. quantifier et localiser l'empreinte eau d'un procédé, d'un produit, d'un producteur ou d'un consommateur ou quantifier dans l'espace et dans le temps l'empreinte eau dans une zone géographique déterminée ;
2. évaluer la durabilité environnementale, sociale et économique de cette empreinte eau ;
3. Formuler une stratégie d'intervention.

En général, l'objectif de l'évaluation de l'empreinte eau est d'analyser comment les activités humaines ou des produits spécifiques sont liés aux problèmes de rareté et de pollution de l'eau, et de voir comment les activités et les produits peuvent devenir plus durables du point de vue de l'eau. L'aspect de l'évaluation de l'empreinte hydrique dépend dans une large mesure de l'objectif de l'étude. Vous pouvez être intéressé par l'empreinte eau d'une étape spécifique d'un processus dans l'ensemble d'une chaîne de production ou par l'empreinte eau d'un produit final. Alternativement, vous pouvez vous intéresser à l'empreinte eau d'un consommateur ou d'un groupe de consommateurs ou à l'empreinte eau d'un producteur ou de tout un secteur économique. Enfin, une perspective géographique peut être adoptée, en examinant l'empreinte hydrique totale dans une zone délimitée telle qu'une municipalité, une province, une nation, un bassin versant ou un bassin fluvial. Cette empreinte hydrique totale est l'agrégation des empreintes hydriques de nombreux processus distincts qui se déroulent dans la région. L'évaluation de l'empreinte eau est un outil analytique, elle peut aider à comprendre comment les activités et les produits sont liés à la rareté et à la pollution de l'eau et aux impacts connexes et ce qui peut être fait pour s'assurer que les activités et les produits ne contribuent pas à une utilisation non durable de l'eau douce. En tant qu'outil, l'évaluation de l'empreinte eau fournit des informations, et non dit aux gens « quoi faire ». Au contraire, cela aide les gens à comprendre ce qui peut être fait. Pour être transparent sur les choix que vous faites lorsque vous entreprenez une étude d'évaluation de l'empreinte eau, vous devez commencer par définir clairement les objectifs et la portée de l'étude. Une étude de l'empreinte eau peut être entreprise pour de nombreuses raisons différentes. Par exemple, un gouvernement national peut être intéressé à en savoir plus sur sa dépendance à l'égard des ressources en eau étrangères, ou il peut être intéressé par la durabilité de l'utilisation de l'eau dans les zones d'où proviennent des produits importés à forte consommation d'eau. Une autorité de bassin fluvial peut vouloir savoir si l'empreinte hydrique globale des activités humaines dans le bassin enfreint les exigences environnementales en matière de débit ou les normes de qualité de l'eau à un moment donné. L'autorité du bassin fluvial peut également vouloir savoir dans quelle mesure les ressources en eau limitées du bassin sont allouées aux cultures d'exportation de faible valeur. Une entreprise peut souhaiter en savoir plus sur sa dépendance à l'égard des ressources en eau rares dans sa chaîne d'approvisionnement ou sur la façon dont elle peut aider à réduire les impacts sur les systèmes d'eau tout au long de sa chaîne d'approvisionnement et dans le cadre de ses propres opérations.

### Etude rétrospective

La première partie de l'étude rétrospective concerne la comptabilisation de l'empreinte. Dans cette partie, les données de production des années passées sont recueillies, on recherche des modèles de littérature qui peuvent nous permettre d'estimer la consommation d'eau et de quantifier l'utilisation

des ressources en eau à l'échelle provinciale. Cette étude est menée pour chacune des cinq provinces qui composent la zone d'étude en aval de la caractérisation de chaque province du point de vue des caractéristiques de l'industrie agroalimentaire. Après la phase de collecte de données et de modèles de littérature, nous sommes passés à une phase de comptabilité, dans laquelle l'empreinte eau est évaluée d'un point de vue quantitatif, ainsi que d'un point de vue social et économique. L'estimation de l'empreinte eau s'appuie sur des études de littérature et des modèles qui permettent de corréliser les productions régionales avec la consommation relative d'eau verte, bleue et grise. Ces phases constituent la première partie de l'« **Etude Rétrospective** ». La portée et le niveau de détail de la comptabilité dépendent des données disponibles dans les bases de données nationales et régionales et de l'objectif de l'étude. L'objectif ultime est de comprendre quelles chaînes d'approvisionnement agroalimentaires utilisent le plus de ressources dans la zone considérée. La deuxième partie de l'étude rétrospective concerne l'analyse du scénario de sécheresse de la zone en question, avec une référence particulière à la sécheresse de 2021/2022. Nous tenterons de comprendre comment la crise climatique a impacté la zone en question et quelles mesures ont été prises en Italie et en France pour s'adapter à ces scénarios.

### Etude prospective

La sécheresse affecte de nombreux aspects de l'environnement et de la société, et toute augmentation future de la demande en eau sera plus critique en période de sécheresse grave. Les changements dans l'ampleur et la fréquence des sécheresses auront des impacts considérables sur la gestion de l'eau, l'agriculture et les écosystèmes aquatiques. Avec l'augmentation prévue de la température mondiale, les scientifiques s'accordent généralement à dire que le cycle hydrologique mondial va s'intensifier et suggèrent que les sécheresses extrêmes deviendront plus fréquentes. En Europe, les principaux effets risquent de se faire sentir sous la forme de changements dans la fréquence des événements extrêmes et des précipitations, provoquant davantage de sécheresses dans certaines régions et plus d'inondations fluviales ailleurs.

L'étude prospective présente les impacts possibles de certains scénarios futurs et tente de comprendre comment ces scénarios peuvent affecter l'empreinte hydrique des produits agroalimentaires dans la zone d'intérêt en raison de la hausse des températures, des changements dans la dynamique des précipitations et de la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes. En particulier, le changement climatique augmentera l'empreinte hydrique des produits agroalimentaires, notamment en augmentant les besoins d'irrigation et en réduisant la fiabilité des précipitations. Les stratégies d'adaptation, telles qu'une irrigation efficace, des cultures résistantes à la sécheresse et une meilleure gestion de l'eau, seront essentielles pour maintenir la durabilité agricole face au changement climatique. Les principaux facteurs qui auront un impact sur l'empreinte hydrique sont liés à : 1) l'augmentation de la demande d'eau pour l'irrigation, 2) la diminution de la disponibilité de l'eau verte, 3) l'augmentation de la concurrence pour les ressources en eau, 4) les changements dans l'adéquation des cultures et les pratiques agricoles, 5) l'augmentation de l'empreinte des eaux grises due à la pollution, 6) l'augmentation de la dépendance aux aquifères. La raréfaction des ressources en eau entraînera : a) une augmentation des coûts de production due à la nécessité de capter l'eau de sources plus profondes ou de traiter les eaux usées, b) une réduction des rendements agricoles, avec un impact sur la quantité et la qualité des matières premières disponibles pour la transformation, c) des restrictions et limitations de l'utilisation de l'eau, imposées par les autorités locales en période de crise de l'eau, qui peuvent ralentir la production et compromettre la

chaîne agroalimentaire, d) les difficultés en matière de sécurité alimentaire, car le manque d'eau peut affecter la salubrité et la qualité des produits transformés.

## ÉTUDE RÉTROSPECTIVE

Les études d'empreinte eau peuvent servir à diverses fins et être appliquées dans différents contextes. Chaque finalité nécessite son propre champ d'analyse et permettra des choix différents lors de la formulation d'hypothèses. Vous pouvez évaluer l'empreinte eau de différentes entités, il est donc très important de commencer par spécifier l'empreinte eau qui vous intéresse. Vous pourriez être intéressé, par exemple, par :

- ✓ Empreinte eau d'une étape du processus
- ✓ Empreinte eau d'un produit
- ✓ Empreinte eau d'un consommateur
- ✓ l'empreinte hydrique d'un groupe de consommateurs
  - o empreinte hydrique des consommateurs dans un pays
  - o l'empreinte hydrique des consommateurs dans une municipalité, une province ou une autre unité administrative
  - o Empreinte hydrique des consommateurs dans un bassin hydrographique ou un bassin hydrographique
- ✓ empreinte hydrique dans une zone géographiquement délimitée
  - o Empreinte eau au sein d'un pays
  - o l'empreinte hydrique au sein d'une municipalité, d'une province ou d'une autre unité administrative
  - o Empreinte eau au sein d'un bassin hydrographique ou d'un bassin hydrographique
- ✓ Empreinte eau d'une entreprise
- ✓ Empreinte eau d'un secteur d'activité
- ✓ L'empreinte hydrique de l'humanité dans son ensemble

Une liste de contrôle pour définir l'objectif de l'évaluation de l'empreinte eau est fournie ci-dessous.

### Questions clés de l'étude rétrospective :

1. Quel est l'objectif ultime ? Sensibilisation, identification des points chauds, formulation de politiques ou ciblage quantitatif ?
2. Y a-t-il un focus sur une phase particulière ? Se concentrer sur la comptabilité, l'évaluation de la durabilité ou la formulation de réponses ?
3. Quelle est la zone d'intérêt ? Empreinte eau directe et/ou indirecte ? Empreinte eau verte, bleue et/ou grise ?

4. Quelle échelle ? Inclure des produits provenant d'un champ ou d'une usine, d'une ou plusieurs entreprises, ou d'une ou plusieurs régions de production ?
5. Quelles sont les limites de la zone ? Un bassin fluvial, un bassin fluvial, une municipalité, une province, un État ou une nation ?
6. Comment gérer le temps ? Visez-vous une évaluation pour une année spécifique ou la moyenne de quelques années ou une analyse des tendances ?
7. Quel produit considérer ? Une unité de stockage d'une marque particulière, d'un type de produit particulier ou d'une catégorie entière de produits ?

Cette liste de questions n'est pas exhaustive, mais présente plutôt une série de lignes directrices à suivre. La question la plus importante est probablement de savoir quel type de détail vous recherchez. Si l'objectif est la sensibilisation, des estimations moyennes nationales ou mondiales de l'empreinte eau des produits sont probablement suffisantes. Lorsque l'objectif est d'identifier les points chauds, il sera nécessaire d'inclure plus de détails dans le champ d'application et la comptabilité et l'évaluation ultérieures, afin qu'il soit possible d'identifier exactement où et quand l'empreinte eau a les plus grands impacts environnementaux, sociaux ou économiques locaux. Si l'objectif est de formuler une politique et de fixer des objectifs de réduction quantitative de l'empreinte eau, un degré encore plus élevé de détail spatial et temporel est nécessaire. De plus, l'évaluation de l'empreinte eau devra être intégrée dans une délibération plus large qui intègre des facteurs autres que l'eau seule

L'objectif principal de l'étude rétrospective est de sensibiliser la population et les entreprises à la problématique de la consommation d'eau, dans ses composantes Verte, Bleue et Grise, et donc de fournir des méthodologies adaptées pour l'évaluation et la comptabilisation de la consommation. La zone d'intérêt est la province des territoires impliqués dans le projet GAG. Les filières analysées sont celles caractérisées par une forte consommation d'eau et qui sont présentes dans l'ensemble des territoires couverts par l'étude. Dans l'étude rétrospective, nous nous concentrerons sur l'empreinte hydrique d'une zone géographiquement limitée : la zone du projet INTERREG, la province de Cuneo, la province d'Imperia et dans les départements français 04, 05 et 06.

### Portée de la comptabilisation de l'empreinte eau

Ici, vous devrez être clair et explicite sur les « limites d'inventaire » lors de la mise en place d'un compte d'empreinte eau. Les limites de stock font référence à « ce qu'il faut inclure » et « ce qu'il faut exclure » des comptes et doivent être choisies en fonction de l'objectif du compte. Vous pouvez utiliser au moins la liste de contrôle suivante lors de la création d'un compte d'empreinte eau :

1. Considérez l'empreinte eau bleue, verte et/ou grise ?
2. Où couper l'analyse lorsque vous redescendez dans la chaîne d'approvisionnement ?
3. Quel niveau d'explication spatio-temporelle ?
4. Quelle période de données ?
5. Pour les consommateurs et les entreprises : prendre en compte l'empreinte eau directe et/ou indirecte ?

### *Empreinte eau bleue, verte et/ou grise ?*

Les ressources en eau bleue sont généralement plus rares et ont des coûts d'opportunité plus élevés que l'eau verte ; Cela pourrait donc être une raison de se concentrer uniquement sur la comptabilisation de l'empreinte de l'eau bleue. Cependant, les ressources en eau verte sont également limitées et donc rares, ce qui plaide également en faveur de la prise en compte de l'empreinte eau verte. De plus, l'eau verte peut être remplacée par de l'eau bleue, et dans l'agriculture aussi l'inverse ; Par conséquent, une image complète ne peut être obtenue qu'en tenant compte des deux. L'argument en faveur de l'inclusion de l'utilisation de l'eau verte est que l'accent historique de l'ingénierie sur l'eau bleue a conduit à la sous-estimation de l'eau verte en tant que facteur de production important. L'idée de l'empreinte eaux grises a été introduite pour exprimer la pollution de l'eau en termes de volume pollué, afin de pouvoir la comparer à la consommation d'eau, qui est également exprimée en volume. Si vous vous intéressez à la pollution de l'eau et que vous comparez les conséquences de la pollution de l'eau et de la consommation d'eau sur les ressources en eau disponibles, il est important de prendre en compte l'empreinte eaux grises en plus de l'empreinte eau bleue. [4] [5][6] [7]

### *Où couper l'analyse lors de l'analyse de la chaîne d'approvisionnement ?*

Le problème de la troncature est un enjeu fondamental dans la comptabilisation de l'empreinte eau. Des problématiques similaires à celles de la comptabilité écologique et de l'empreinte carbone, de l'analyse énergétique et de l'analyse du cycle de vie sont abordées. Dans le domaine de la comptabilité de l'empreinte eau, il n'existe pas encore de directives générales, mais la règle générale est d'inclure l'empreinte eau de tous les processus d'un système de production (arbre de production) qui contribuent « de manière significative » à l'empreinte eau globale. La question demeure de savoir ce qui est « significatif » ; Par exemple, vous pouvez dire « plus de 1 % » (ou « plus de 10 % » si seuls les composants plus gros sont concernés). Si vous retracez les origines d'un produit particulier, vous verrez que les chaînes d'approvisionnement sont infinies et très divergentes en raison de la variété des intrants utilisés à chaque étape du processus. Dans la pratique, cependant, il n'y a que quelques étapes dans le processus qui contribuent de manière substantielle à l'empreinte hydrique totale du produit final. En règle générale, on peut s'attendre à ce que, lorsqu'un produit comprend des ingrédients issus de l'agriculture, ces ingrédients contribuent souvent de manière importante à l'empreinte hydrique globale du produit. C'est le cas car on estime que 86 % de l'empreinte eau de l'humanité provient du secteur agricole. La contribution de la transformation est susceptible d'y contribuer en particulier lorsqu'elles peuvent être associées à l'utilisation des eaux bleues et à la pollution de l'eau (contribuant ainsi à l'empreinte des eaux grises). Une question spécifique qui relève du problème de la séparation est de savoir si l'empreinte eau de l'œuvre, qui est un facteur d'entrée dans presque tous les processus, doit être prise en compte. On pourrait faire valoir que les employés sont un facteur d'intrant qui nécessite de la nourriture, des vêtements et de l'eau potable ; Par conséquent, tous les besoins directs et indirects en eau des employés doivent être inclus dans l'empreinte eau indirecte d'un produit. Cependant, cela crée un problème comptable très grave, bien connu dans le domaine de l'analyse du cycle de vie. Le problème, c'est qu'il y aurait double comptage. L'idée de base de la comptabilité des ressources naturelles des produits est d'attribuer toute l'utilisation des ressources naturelles aux produits de consommation finale et, sur la base des données de consommation, aux consommateurs. Toute l'utilisation des ressources naturelles est donc finalement attribuée aux consommateurs. Mais les consommateurs sont aussi des travailleurs. Un cycle infini de doubles, de triples et ainsi de suite serait créé, lorsque l'utilisation des ressources

naturelles attribuée à un consommateur serait comptée comme l'utilisation des ressources naturelles sous-jacentes au facteur d'entrée travail dans la production. En bref, il est courant d'exclure le travail en tant que facteur qui incarne l'utilisation indirecte des ressources.[2]

Dans l'évaluation de l'étendue de la chaîne d'approvisionnement, une autre question est de savoir si l'empreinte eau du transport doit être prise en compte. Le transport consomme beaucoup d'énergie, mais, dans de nombreux cas, le transport ne consomme pas une quantité importante d'eau douce par rapport à l'eau douce totale consommée pour produire et transporter un produit. Cela dépend bien sûr du type de produit et du type d'énergie appliqué. En général, la question de savoir si l'empreinte eau du transport doit être incluse dans l'analyse dépend de la règle que vous choisissez en ce qui concerne la façon de tronquer l'analyse. Lorsqu'il est prévu que le transport contribue moins à l'empreinte eau globale d'un produit, le composant peut être exclu de l'analyse. **Dans cette analyse, l'empreinte eau du transport n'est PAS prise en compte.**

### *Quelle période de données ?*

La disponibilité de l'eau fluctue au cours d'une année et même d'une année à l'autre. En raison de la disponibilité différente de l'eau, la demande en eau varie également au fil du temps. Il faut donc être extrêmement prudent lorsqu'il s'agit de faire des déclarations concernant une tendance de l'empreinte eau au fil du temps. Quelle que soit l'étude de l'empreinte eau entreprise, il faut être explicite sur la période de données utilisées, car la période choisie influencera le résultat. Les années sèches, l'empreinte eau bleue d'un produit agricole sera beaucoup plus élevée que les années humides, car il faudra plus d'eau pour l'irrigation. Vous pouvez choisir de calculer l'empreinte eau pour une année particulière ou pour un nombre d'années spécifique, mais vous pouvez également choisir de calculer l'empreinte eau d'une année moyenne compte tenu du climat existant (défini comme la moyenne sur une période consécutive de 30 ans). Dans ce dernier cas, différentes périodes seront combinées dans une analyse : prenons, par exemple, les données de production et de rendement pour une période récente de cinq ans mais les données climatiques (température et précipitations) en moyenne des 30 dernières années. **L'étude rétrospective utilise une série de données sur 10 ans.**

### *Quel niveau spatio-temporel ?*

L'empreinte hydrique peut être évaluée à différents niveaux de détail spatio-temporel. Au niveau de détail le plus bas, l'empreinte eau est évaluée sur la base des données mondiales moyennes sur l'empreinte hydrique provenant d'une base de données disponible. Les données se réfèrent à des moyennes pluriannuelles. Ce niveau de détail est suffisant et même le plus important pour sensibiliser le public. Ce niveau de détail peut également convenir lorsque l'objectif est d'identifier les produits et les ingrédients qui contribuent le plus à l'empreinte eau globale. Les données sur l'empreinte hydrique moyenne mondiale peuvent également être utiles pour élaborer des projections approximatives de la consommation mondiale future d'eau, compte tenu des changements majeurs dans les modes de consommation (tels que le passage à plus de viande ou de bioénergie). **C'est le niveau spatio-temporel qui est retenu dans la présente étude rétrospective et prospective.**

Au niveau moyen, l'empreinte eau est évaluée sur la base de l'empreinte eau moyenne nationale ou régionale ou de données spécifiques aux bassins fluviaux provenant d'une base de données géographiquement explicite disponible. Il est préférable que l'empreinte eau soit spécifiée par mois, mais qu'il s'agisse toujours de données mensuelles moyennes pluriannuelles. Ce niveau de

comptabilité est bien adapté pour fournir une base permettant de comprendre où l'on peut s'attendre à ce que les points chauds se trouvent dans les bassins versants locaux et de prendre des décisions en matière d'allocation de l'eau.

Au niveau le plus élevé de définition, les comptes de l'empreinte eau sont géographiquement et temporellement explicites, basés sur des données précises sur les intrants utilisés et les sources précises de ces intrants. La résolution spatiale minimale est le niveau des petits bassins versants (~100/1000 km<sup>2</sup>), mais si on le souhaite et lorsque les données le permettent, elle peut être prise en compte au niveau du terrain. Dans ce dernier cas, il s'agit de comptes qui cartographient l'empreinte hydrique par ferme, quartier résidentiel ou secteur. La résolution temporelle minimale est d'un mois et l'étude des variations interannuelles fera partie de l'analyse. La comptabilité est basée sur les meilleures estimations de la consommation et de la pollution locales réelles de l'eau, de préférence vérifiées sur le terrain. Ce niveau élevé de détail spatio-temporel convient à la formulation de stratégies de réduction de l'empreinte eau spécifiques au site. **Ce niveau est utilisé pour fournir une méthodologie d'analyse de l'empreinte eau à l'échelle de l'entreprise dans la présente étude.**

### *Empreinte eau directe et/ou indirecte ?*

La recommandation générale est d'inclure à la fois les empreintes hydriques directes et indirectes. Alors que l'empreinte hydrique directe est l'objectif traditionnel des consommateurs et des entreprises, l'empreinte hydrique indirecte est généralement beaucoup plus importante. En ne s'attaquant qu'à l'empreinte hydrique directe, les consommateurs négligeraient le fait que la majeure partie de leur empreinte hydrique est associée aux produits qu'ils achètent au supermarché ou ailleurs, et non à l'eau qu'ils consomment à la maison. Pour la plupart des entreprises, l'empreinte eau de leur chaîne d'approvisionnement est beaucoup plus importante que l'empreinte eau de leurs propres opérations. Le fait d'ignorer la composante de la chaîne d'approvisionnement peut conduire à des investissements visant à améliorer l'utilisation opérationnelle de l'eau, tandis que les investissements visant à améliorer la chaîne d'approvisionnement auraient pu être plus rentables. En fonction de l'objectif d'une étude particulière, vous pouvez bien sûr décider de n'inclure que l'empreinte hydrique directe ou indirecte dans l'analyse.

## MÉTHODOLOGIES DE QUANTIFICATION DE L'EMPREINTE EAU

L'objectif de cette section est de fournir des méthodologies pour estimer l'empreinte des eaux vertes, bleues et grises des produits agricoles d'une manière spatialement explicite. Nous quantifierons l'empreinte eau verte, bleue et grise de la chaîne d'approvisionnement agricole à l'aide d'un modèle classique de bilan hydrique dynamique basé sur une grille qui prend en compte les conditions climatiques et pédologiques locales et les taux d'application d'engrais azotés et qui calcule les besoins en eau des cultures, l'utilisation et les rendements en eau des cultures et enfin l'empreinte eau verte, bleue et gris au niveau de la grille. Le cadre conceptuel du modèle est basé sur l'approche CROPWAT. Le concept d'« empreinte eau » introduit par Hoekstra et développé par la suite par Hoekstra et Chapagain (2008) fournit un cadre pour analyser le lien entre la consommation humaine et l'utilisation de l'eau douce à toutes les échelles. Comme nous l'avons déjà défini ci-dessus, l'empreinte hydrique d'un produit, exprimée en volume d'eau par unité de produit, est la somme des empreintes hydrographiques des étapes du processus adoptées pour fabriquer le produit. L'empreinte hydrique au sein d'une zone géographique délimitée (par exemple, une province, un

pays, un bassin fluvial ou un bassin fluvial) est égale à la somme des empreintes hydriques de tous les processus qui se déroulent dans cette zone. L'empreinte eau bleue fait référence au volume d'eau de surface et souterraine consommé (évoqué) à la suite de la production d'un bien ; L'empreinte eau verte fait référence à l'eau de pluie consommée. L'empreinte eaux grises d'un produit fait référence au volume d'eau douce nécessaire pour assimiler la charge polluante selon les normes de qualité de l'eau ambiante en vigueur. L'empreinte eau est un indicateur de l'appropriation directe et indirecte des ressources en eau douce. Le terme « appropriation d'eau douce » regroupe à la fois l'utilisation de l'eau pour la consommation (empreinte eau verte et bleue) et l'eau nécessaire à l'assimilation de la pollution (empreinte eaux grises). L'inclusion de l'empreinte des eaux grises est relativement nouvelle dans les études sur l'utilisation de l'eau, mais justifiée si l'on considère la pertinence de la pollution en tant que facteur de pénurie d'eau. Comme le souligne le Rapport mondial sur le développement humain 2006 du PNUD, consacré à l'eau, la consommation d'eau n'est pas le seul facteur de pénurie d'eau ; la pollution joue également un rôle important (PNUD, 2006). La pollution des ressources en eau douce constitue non seulement une menace pour la durabilité de l'environnement et la santé publique, mais elle accroît également la concurrence pour l'eau douce. La pollution de l'eau, ainsi que d'autres facteurs, constituent une menace pour la sécurité mondiale de l'eau et la biodiversité des rivières. Il existe diverses études antérieures sur l'utilisation mondiale de l'eau pour différents secteurs de l'économie, dont la plupart se concentrent sur les prélèvements d'eau. Les études sur la consommation mondiale d'eau (utilisation de l'eau par évaporation) sont plus rares. Ces dernières années, plusieurs tentatives ont été faites pour évaluer la consommation mondiale d'eau dans la chaîne d'approvisionnement agricole à haute résolution spatiale. Les estimations précédentes se concentrent sur l'estimation des prélèvements d'eau bleue et des besoins en eau pour l'irrigation. Plus récemment, certaines études ont séparé la consommation mondiale d'eau pour la production de produits agricoles en eau verte et eau bleue. Rost et al. (2008) ont fait une estimation globale de la consommation d'eau agricole verte et bleue avec une résolution spatiale de 30 par 30 minutes d'arc sans montrer l'utilisation de l'eau par culture, mais en appliquant 11 catégories de cultures dans le modèle ci-dessous. La première étape consiste à utiliser des modèles spatiaux qui permettent d'estimer l'utilisation de l'eau dans les cultures agricoles, la deuxième étape sera la quantification du processus d'élevage des animaux et de transformation des produits agricoles.[8][9][10]

L'empreinte eau verte, bleue et grise de la production de produits agricoles a été estimée selon le cadre de calcul de Hoekstra et al. (2011). Les calculs de l'évapotranspiration et du rendement des cultures, qui sont nécessaires à l'estimation de l'empreinte eau verte et bleue dans la production agricole, ont été effectués selon la méthode et les hypothèses fournies par Allen et al. (1998) pour le cas d'une croissance des cultures dans des conditions sous-optimales. Le modèle de bilan hydrique dynamique basé sur une grille utilisé calcule un bilan hydrique quotidien du sol et calcule les besoins en eau des cultures, l'utilisation réelle d'eau des cultures (en vert et en bleu) et les rendements réels. L'empreinte hydrique de 146 cultures primaires et de plus de deux cents produits dérivés a été estimée. Le modèle de bilan hydrique basé sur une grille a été utilisé pour estimer l'utilisation de l'eau des cultures pour 126 cultures primaires ; Pour les 20 autres cultures, qui ne sont cultivées que dans quelques pays, le modèle CROPWAT8.0 a été utilisé. Le premier scénario de bilan hydrique du sol est réalisé en supposant que le sol ne reçoit pas d'irrigation, mais en utilisant les paramètres de culture des cultures irriguées (tels que la profondeur d'enracinement dans des conditions d'irrigation). Le deuxième scénario de bilan hydrique du sol est réalisé sur la base de l'hypothèse que la quantité réelle d'irrigation est suffisante pour répondre aux besoins d'irrigation, en appliquant les

mêmes paramètres de culture que dans le premier scénario. L'utilisation d'eau des cultures vertes des cultures irriguées est supposée être égale à l'évapotranspiration réelle des cultures calculée dans le premier scénario. L'utilisation en eau des cultures bleues est donc égale à l'utilisation en eau des cultures pendant la période de croissance, telle que simulée dans le deuxième scénario, moins l'utilisation en eau des cultures vertes telle qu'estimée dans le premier scénario. La croissance et le rendement des cultures sont affectés par le stress hydrique. Pour expliquer l'effet du stress hydrique, une relation linéaire entre le rendement des cultures et l'évapotranspiration a été proposée. Doorenbos et Kassam (1979). L'empreinte hydrique des cultures récoltées a servi de base au calcul de l'empreinte hydrique des produits dérivés des cultures sur la base des fractions de produit et de valeur et de l'empreinte hydrique des étapes de travail du sol selon la méthode de Hoekstra et al. (2011). Pour le calcul de l'empreinte hydrique des produits dérivés des cultures, on utilise la fraction produit-valeur. La plupart de ces fractions ont été tirées de FAO (2003) et de Chapagain et Hoekstra (2004). La fraction de produit d'un produit est définie comme la quantité de produit extrant obtenue par quantité du produit d'entrée primaire. La fraction de la valeur d'un produit est le rapport entre la valeur marchande du produit et la valeur marchande agrégée de tous les produits obtenus à partir du produit intrant (Hoekstra et coll., 2011). Les produits et sous-produits ont à la fois une fraction de produit et une fraction de valeur. D'autre part, les résidus (par exemple, le son de culture) n'ont qu'une fraction de produit et nous avons supposé que leur fraction de valeur était proche de zéro.[11][12][13]

## MODÈLES POUR LE CALCUL DE L'EMPREINTE EAU À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

La première partie de cette étude rétrospective concerne l'analyse de modèles pour l'étude de l'empreinte eau des chaînes d'approvisionnement agroalimentaires présentes dans la zone d'intérêt. Comme nous l'avons mentionné, l'analyse de l'empreinte eau peut se faire à différentes échelles, du global à celui de l'entreprise individuelle. L'objectif de cette étude est d'identifier les filières agroalimentaires les plus consommatrices d'eau, sous ses trois formes classiques, sur le territoire couvert par cette étude : Province de Cuneo, Province d'Imperia, et dans les départements des Alpes-de-Haute-Provence, des Haute-Alpes et des Alpes-Maritimes (04, 05 et 06).

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, l'empreinte eau peut être évaluée à différents niveaux de détail spatio-temporel. Au niveau de détail le plus bas, qui est celui qui nous intéresse dans ce WP, l'empreinte eau est évaluée sur la base des données d'empreinte eau moyenne mondiale provenant d'une base de données disponible. Les données se réfèrent à des moyennes pluriannuelles. Ce niveau de détail est suffisant et même le plus important pour sensibiliser le public. Ce niveau de détail peut également convenir lorsque l'objectif est d'identifier les produits et les ingrédients qui contribuent le plus à l'empreinte eau globale. Les données sur l'empreinte hydrique moyenne mondiale peuvent également être utiles pour élaborer des projections approximatives de la consommation mondiale future d'eau, compte tenu des changements majeurs dans les modes de consommation (tels que le passage à plus de viande ou de bioénergie).

Au niveau moyen, l'empreinte eau est évaluée sur la base de l'empreinte eau moyenne nationale ou régionale ou de données spécifiques aux bassins fluviaux provenant d'une base de données géographiquement explicite disponible. Ce niveau de comptabilité est bien adapté pour fournir une base permettant de comprendre où l'on peut s'attendre à ce que les points chauds se trouvent dans les bassins versants locaux et de prendre des décisions en matière d'allocation de l'eau.

## Comment calculer l'empreinte eau à l'échelle provinciale

Le calcul de l'empreinte eau à l'échelle régionale fournit des informations sur la consommation des ressources en eau dans une zone géographique. Cette analyse est essentielle pour la gestion durable de l'eau, l'élaboration de politiques et la résolution des problèmes de pénurie d'eau.

### Étapes de calcul de l'empreinte eau à l'échelle régionale

**Définir la zone et le périmètre de l'étude** : La zone d'intérêt est celle de la Province de Cuneo, de la Province d'Imperia, et dans les départements Alpes-de-Haute-Provence, Haute-Alpes et Alpes-Maritimes (04,05 et 06).

**Déterminer les secteurs à analyser** : Les secteurs analysés sont tous ceux liés aux chaînes d'approvisionnement agroalimentaires à l'exception des secteurs qui ont pour activité principale des activités agricoles. En particulier, les chaînes d'approvisionnement qui ont été étudiées sont énumérées ci-dessous ainsi que les codes Ateco associés qui constituent la chaîne d'approvisionnement elle-même.

#### a) CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DES CÉRÉALES ET DES PRODUITS DE BOULANGERIE

- a. 106 transformation des céréales, amidons et produits amylacés
- b. 1061 Transformation des grains
- c. 10611 Broyage du blé
- d. 10612 Broyage d'autres céréales
- e. 10614 Autres transformations de graines et de céréales
- f. 1062 production d'amidons et de produits amylacés
- g. 107 Production de produits de boulangerie
- h. 10711 Pain frais et viennoiseries
- i. 10712 viennoiseries fraîches
- j. 1072 Production de biscottes et de biscuits
- k. 1073 Production de pâtes, de couscous et de féculents similaires
- l. 108503 Production de plats cuisinés
- m. 108504 production de pizzas emballées
- n. 108505 Production de plats cuisinés à base de pâtes
- o. 108509 Pâtes et autres plats cuisinés

#### b) CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DE LA CULTURE DU RAISIN ET DU VIN

- a. 1101 Distillation, rectification et assemblage des eaux-de-vie
- b. 1102 production de vins à partir de raisins
- c. 11021 Production de vins de table
- d. 11022 production de vins mousseux

e. 1104 Production d'autres boissons fermentées non distillées

c) CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DE L'ÉLEVAGE ET DE LA TRANSFORMATION DE LA VIANDE

- a. 1199 Culture de plantes fourragères
- b. 14 Élevage d'animaux
- c. 141 L'élevage de bovins laitiers
- d. 142 Élevage de bovins laitiers et de buffles
- e. 143 Elevage de chevaux et autres équidés
- f. 145 Élevage ovin et caprin
- g. 146 Élevage porcin
- h. 147 Aviculture
- i. 1491 Elevage de lapins
- j. 1499 élevage d'autres animaux
- k. 101 Transformation et conservation de la viande et des produits à base de viande
- l. 109 production d'autres produits d'alimentation animale
- m. 1011 Transformation de la viande (sauf volaille)
- n. 1012 Services de transformation et de conservation de la viande de volaille
- o. 1013 Production de produits à base de viande

d) CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DU BÉTAIL ET INDUSTRIE LAITIÈRE

- a. 1091 Production d'aliments pour animaux
- b. 141 L'élevage de bovins laitiers
- c. 142 Élevage de bovins laitiers et de buffles
- d. 145 Élevage ovin et caprin
- e. 1051 Industrie laitière
- f. 10511 Traitement hygiénique du lait
- g. 10512 Production de dérivés du lait
- h. 1052 Production de glaces

e) CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DES FRUITS ET LÉGUMES

- a. 163 Activités post-récolte
- b. 1091 Production d'aliments pour animaux
- c. 113 Culture de légumes/melons, racines et tubercules

## France – Italia ALCOTRA

- d. 1131 Culture en plein air de légumes-feuilles, de légumes-tiges, de légumes-fruits, de légumes-racines, de légumes-bulbes et de légumes-tubercules (y compris les melons)
- e. 1132 Culture de légumes-feuilles, de légumes-tiges, de légumes-fruits, de légumes-racines, de légumes-bulbes et de légumes-tubercules (y compris les melons) dans des cultures protégées
- f. 124 Culture de fruits à pépins et de fruits à noyau
- g. 125 Culture d'autres arbres fruitiers, de baies et de coquillages
- h. 126 Culture des fruits oléagineux
- i. 103 Transformation et conservation des fruits
- j. Transformation et stockage des pommes de terre
- k. 1032 production de jus de fruits et de légumes
- l. 1039 Transformation et conservation des fruits et légumes

**Choisissez une période pour l'évaluation** : L'analyse a été menée sur une échelle annuelle prenant en compte les données disponibles des dix dernières années.

### *Collecter des données sur l'utilisation de l'eau*

## Modèles hydrologiques et données satellitaires pour l'estimation de la teneur en eau des produits agricoles

De nombreux produits contiennent des ingrédients issus de l'agriculture ou de la sylviculture. Les cultures sont utilisées pour l'alimentation, les aliments pour animaux, les fibres, le carburant, les huiles, les savons, les cosmétiques, etc. Le bois des arbres et des arbustes est utilisé pour le bois d'œuvre, le papier et le combustible. Parce que les secteurs agricole et forestier consomment beaucoup d'eau, les produits qui impliquent l'agriculture ou la foresterie dans leur système de production auront souvent une empreinte eau importante. Pour tous ces produits, il est pertinent d'examiner l'empreinte eau de la culture ou de la culture arboricole. Cette section traite des détails de l'évaluation de l'empreinte hydrique du processus de culture ou d'arboriculture. La méthode s'applique aux cultures annuelles et vivaces, où les arbres peuvent être considérés comme des vivaces. Ci-dessous, le terme « culture » est utilisé dans un sens large, incluant ainsi également les « arbres » cultivés pour le bois. Comme pour tous les autres produits, l'empreinte hydrique totale du processus de culture des cultures ou des arbres est la somme des composants verts, bleus et gris. Dans cette section, nous exprimerons toutes les empreintes sur l'eau de processus par unité de produit, c'est-à-dire en volume d'eau par masse. Nous exprimons généralement l'empreinte des eaux de process dans l'agriculture ou la sylviculture en m/tonne, ce qui équivaut à litre/kg.

La composante verte de l'empreinte hydrique du processus de culture d'une culture est calculée en divisant la composante verte utilisée de la culture par unité de surface par le rendement de la culture (Y, tonne/ha).

La composante bleue est calculée de la même manière : les rendements des cultures annuelles peuvent être considérés comme fournis dans les statistiques de rendement. Dans le cas des cultures pérennes, il faut tenir compte du rendement annuel moyen sur l'ensemble de la vie de la culture. De cette façon, il tient compte du fait que le rendement de la première année de plantation est faible ou nul, que les rendements sont plus élevés après quelques années et que les rendements diminuent souvent à la fin de la vie d'une culture pérenne. De plus, pour l'utilisation de l'eau de culture, il faut prendre l'utilisation annuelle moyenne de l'eau de culture sur toute la durée de vie de la culture.

La composante grise de l'empreinte hydrique d'une culture est calculée comme le taux d'application de produits chimiques au champ par hectare multiplié par la fraction de lessivage-ruissellement ( $\alpha$ ) divisée par la concentration maximale moins la concentration naturelle du polluant considéré, puis divisée par le rendement de la culture (Y, tonne/ha). Les polluants sont généralement constitués d'engrais (azote, phosphore, etc.), de pesticides et d'insecticides. Seul le « flux de déchets » vers les plans d'eau douce doit être pris en compte, ce qui représente généralement une fraction de l'application totale d'engrais ou de pesticides sur le terrain. Seul le polluant le plus critique doit être pris en compte, c'est-à-dire celui pour lequel le calcul ci-dessus produit le plus grand volume d'eau.

Les composantes verte et bleue de l'utilisation de l'eau par les cultures sont calculées à partir de l'accumulation de l'évapotranspiration quotidienne (ET, mm/jour) pendant toute la période de croissance : on pense que le facteur 10 convertit les profondeurs d'eau en millimètres en volumes

d'eau par surface terrestre en m/ha. La sommation est effectuée dans la période allant du jour du semis (jour 1) au jour de la récolte (Igp signifie durée de la période de croissance en jours). Étant donné que la durée de la période de croissance peut varier considérablement d'une manière à ce que la durée de la croissance varie considérablement entre les différentes variétés de cultures, ce facteur peut affecter considérablement l'utilisation calculée de l'eau pour la culture. Pour les cultures permanentes (pérennes) et les forêts de production, l'évapotranspiration tout au long de l'année doit être prise en compte. L'évapotranspiration d'un champ peut être mesurée ou estimée au moyen d'un modèle basé sur des formules empiriques. La mesure de l'évapotranspiration est coûteuse et inhabituelle. En général, on estime l'évapotranspiration indirectement au moyen d'un modèle qui utilise des données sur le climat, les propriétés du sol et les caractéristiques des cultures comme données d'entrée. Il existe de nombreuses autres façons de modéliser l'ET et la croissance des cultures. L'un des modèles fréquemment utilisés est le modèle EPIC [5], également disponible sous forme de grille [6]. Un autre modèle est le modèle CROPWAT développé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [7]. Le modèle CROPWAT offre deux options différentes pour calculer l'évapotranspiration : l'option « demande en eau des cultures » (en supposant des conditions optimales) et l'option « calendrier d'irrigation » (y compris la possibilité de spécifier l'approvisionnement réel en irrigation au fil du temps). Nous vous recommandons d'appliquer la deuxième option dans la mesure du possible, car elle s'applique à la fois aux conditions de croissance optimales et non optimales et parce qu'elle est plus précise (car le modèle sous-jacent inclut un bilan hydrique dynamique du sol). Un manuel complet pour l'utilisation pratique du programme CROPWAT est disponible en ligne.

L'estimation de l'empreinte eau, de l'eau verte, bleue et grise de la culture d'une culture nécessite un grand nombre de sources de données. En général, il est toujours préférable de trouver des données locales relatives à la localisation du champ de culture. Dans de nombreux cas, il est trop laborieux de collecter des données spécifiques à la localisation compte tenu de l'objectif de l'évaluation. Si l'objectif de l'évaluation permet une estimation approximative, vous pouvez décider de travailler avec des données provenant d'emplacements proches ou avec des moyennes régionales ou nationales qui peuvent être plus facilement disponibles.

**Données climatiques :** Le calcul doit être effectué à l'aide des données climatiques provenant des stations météorologiques les plus proches et les plus représentatives situées à proximité du champ cultivé concerné ou dans la région de production agricole concernée ou à proximité. Pour les régions comportant plus d'une station climatique, des calculs peuvent être effectués pour chaque station et les résultats peuvent être pondérés. La base de données climatiques CLIMWAT 2.0 fournit les données climatiques nécessaires dans le format approprié requis par le modèle CROPWAT 8.0. La base de données ne fournit pas de données pour des années spécifiques, mais des moyennes sur trente ans. Une autre source est LocClim 1, qui fournit des estimations des conditions climatiques moyennes dans des endroits pour lesquels aucune observation n'est disponible. Il est également possible d'utiliser des bases de données climatiques basées sur des grilles : des valeurs mensuelles des principaux paramètres climatiques avec une résolution spatiale de 30 minutes d'arc peuvent être obtenues à partir du CRU TS-2.1 via le GeoPortal CGIAR-CSI. Le National Climate Data Center des États-Unis fournit des données climatiques quotidiennes pour un grand nombre de stations dans le monde. En outre, la FAO fournit, par le biais de son site Web GeoNetwork, des précipitations moyennes à long terme et une évapotranspiration de référence avec une résolution spatiale de 10 minutes d'arc.

**Paramètres de la culture** : Les coefficients de culture et le modèle de culture (dates de plantation et de récolte) peuvent être mieux calculés à partir des données locales. La variété des cultures et la période de croissance appropriée pour un type particulier de culture dépendent dans une large mesure du climat et de nombreux autres facteurs tels que les coutumes locales, les traditions, la structure sociale, les normes et les politiques existantes. Par conséquent, les données sur les cultures les plus fiables sont celles obtenues auprès des stations de recherche agricole locales. Le Système mondial d'information et d'alerte rapide (SMIAR) en ligne de la FAO fournit des calendriers de culture pour les principales cultures dans les pays en développement. Vous pouvez accéder aux images compressées du calendrier des cultures pour chaque continent directement depuis le Web.

**Cartes des cultures** : Les superficies de récolte et les rendements de 175 cultures à une résolution de cellule de grille de 5 minutes d'arc sont disponibles sur le site Web du Groupe de recherche sur l'utilisation des terres et les changements environnementaux mondiaux, Département de géographie, Université McGill. Il est toujours conseillé de se référer aux bases de données locales (SIG) obtenues à partir de portails régionaux ou nationaux.

**Rendements des cultures** : les données de rendement peuvent être obtenues localement, au niveau de résolution spatiale requis. Assurez-vous que la façon dont les rendements sont mesurés est claire (p. ex., quelle partie de la culture est en poids sec ou humide). Une base de données mondiale est disponible auprès de la FAO [8].

**Cartes des sols** : ISRIC-WISE fournit un ensemble de données mondiales pour les propriétés du sol dérivées à une résolution de 5 minutes d'arc et de 30 minutes d'arc. En outre, le site Web FAO GeoNetwork fournit les données maximales disponibles sur l'humidité du sol à une résolution de 5 minutes d'arc. Lors de l'application de l'option « calendrier d'irrigation » dans le modèle CROPWAT, des données sur le sol sont requises ; Si aucune donnée sur le sol n'est disponible, nous vous recommandons de choisir « Sol moyen » par défaut.

**Cartes d'irrigation** : La version 4.0.1 de la carte mondiale des zones d'irrigation (GMIA) avec une résolution spatiale de 5 minutes d'arc définit les zones équipées pour l'irrigation. Des cartes d'irrigation pour 26 cultures principales, de 5 et 30 minutes d'arc, peuvent être obtenues sur le site Web de l'Université de Francfort [9]. Ces données fournissent également les superficies de cultures irriguées par la pluie pour les mêmes 26 cultures. Des données précises peuvent être estimées à partir des bases de données régionales relatives aux districts d'irrigation dans la zone du projet.

Dans les calculs ci-dessus, nous n'avons pas encore pris en compte l'eau verte et l'eau bleue incorporées dans la culture récoltée. Vous pouvez trouver cette composante de l'empreinte hydrique simplement en regardant la fraction de l'eau de culture récoltée. Pour les fruits, cela représente généralement entre 80 et 90 % de la masse humide, pour les légumes souvent entre 90 et 95 %. On peut supposer que le rapport vert-bleu dans l'eau qui est incorporée dans la culture est égal au rapport entre le vert et le bleu CWU. Cependant, l'ajout d'eau incorporée à l'eau évaporée ajoutera peu au chiffre final de l'empreinte eau, car l'eau incorporée est généralement de l'ordre de 0,1 % de l'eau évaporée, jusqu'à 1 % au maximum. Dans cette section, nous avons examiné le calcul de l'empreinte hydrique d'une culture sur le terrain. L'empreinte eau bleue calculée ici se réfère à l'évapotranspiration de l'eau d'irrigation du champ de culture uniquement. Il exclut l'évaporation de l'eau des réservoirs d'eau de surface construits pour stocker l'eau d'irrigation et l'évaporation de l'eau des canaux de transport qui transportent l'eau d'irrigation du site d'extraction au champ. Le stockage et le transport de l'eau sont deux processus qui précèdent le processus de culture de la culture dans

le champ et ont leur propre empreinte eau. Les pertes par évaporation au cours de ces deux étapes précédentes du processus peuvent être très importantes et devraient idéalement être prises en compte lorsqu'on s'intéresse à l'empreinte hydrique du produit cultivé récolté.

### Collecter des modèles d'estimation de l'empreinte eau des produits animaux (viande, lait, œufs)

L'augmentation de la consommation de produits d'origine animale est susceptible d'exercer une pression supplémentaire sur les ressources mondiales en eau douce. Cette section présente le modèle utilisé pour calculer l'empreinte hydrique des produits animaux, en tenant compte des différents systèmes de production et de la composition des aliments par type d'animal et par pays. Près d'un tiers de l'empreinte hydrique totale de l'agriculture dans le monde est lié à la production de produits animaux. L'empreinte eau de tout produit d'origine animale est supérieure à l'empreinte eau des produits agricoles à valeur nutritionnelle équivalente. L'empreinte eau moyenne par calorie du bœuf est 20 fois supérieure à celle des céréales et des racines féculentes. L'empreinte eau par gramme de protéines du lait, des œufs et de la viande de poulet est 1,5 fois supérieure à celle des légumineuses. L'efficacité défavorable de la conversion alimentaire des produits animaux est en grande partie responsable de l'empreinte hydrique relativement importante des produits animaux par rapport aux produits agricoles. Les produits animaux des systèmes industriels consomment et polluent généralement plus d'eaux souterraines et de surface que les produits animaux des pâturages ou des systèmes mixtes. L'augmentation de la consommation mondiale de viande et l'intensification des systèmes de production animale exerceront une pression supplémentaire sur les ressources mondiales en eau douce dans les décennies à venir. Du point de vue de l'eau douce, les produits animaux provenant des systèmes de pâturage ont une empreinte eau bleue et grise plus faible que les produits des systèmes industriels, et il est plus efficace d'obtenir des calories, des protéines et des graisses à partir des produits agricoles que des produits animaux.

Les modèles utilisés nécessitent la quantité d'aliments consommée par catégorie d'animaux, par système de production et par pays, sur la base d'estimations de l'efficacité de la conversion alimentaire et de statistiques sur la production annuelle de produits animaux. Les estimations sont différenciées par type de systèmes de production (pâturage, mixte et industriel) dans chaque pays et les empreintes hydriques vertes, bleues et grises des cultures fourragères sont estimées à l'aide d'un modèle de bilan hydrique dynamique basé sur une grille qui prend en compte le climat local, les conditions du sol et les données d'irrigation à haute résolution spatiale. [30]

L'empreinte eau d'un animal est estimée à partir des définitions et de la méthodologie de l'empreinte eau énoncées dans Hoekstra et al. L'empreinte eau bleue fait référence à la consommation des ressources en eau bleue (eaux de surface et eaux souterraines) tout au long de la chaîne d'approvisionnement d'un produit. La « consommation » fait référence à la perte d'eau de la masse d'eau de surface disponible dans un bassin versant. Les fuites se produisent lorsque l'eau s'évapore, retourne dans un autre bassin versant ou dans une autre mer, ou est incorporée dans un produit. L'empreinte eau verte fait référence à la consommation de ressources en eau verte (eau de pluie dans la mesure où elle ne devient pas un ruissellement). L'empreinte eaux grises fait référence à la pollution et est définie comme le volume d'eau douce nécessaire pour assimiler la charge polluante compte tenu des concentrations de fond naturelles et des normes de qualité de l'eau ambiante existantes. Considérons huit catégories d'animaux de ferme : les bovins de boucherie et laitiers, les porcs, les moutons, les chèvres, les poulets de chair et les poules pondeuses, et les chevaux. Lors de

l'estimation des quantités totales d'aliments et de l'empreinte hydrique totale par catégorie, nous incluons les « buffles » dans la catégorie des « bovins de boucherie » et les « ânes et mulets » dans la catégorie des « chevaux ». [31]

L'empreinte eau d'un animal vivant est composée de plusieurs composantes : l'empreinte eau indirecte de l'aliment et l'empreinte eau directe liée à l'eau de boisson et à l'eau de service consommée. L'empreinte eau d'un animal s'exprime comme suit :

$$WF[a, c, s] = WF_{\text{feed}}[a, c, s] + WF_{\text{drink}}[a, c, s]$$

où  $WF_{\text{feed}}[a,c,s]$  et  $WF_{\text{drink}}[a,c,s]$  représentent l'empreinte eau d'un animal pour la catégorie d'animaux  $a$ , dans le pays  $c$ , dans les systèmes de production  $s$  et liée à la consommation d'aliments, d'eau potable et d'eau de service respectivement. L'eau de service fait référence à l'eau utilisée pour nettoyer la cour de la ferme, laver l'animal et effectuer d'autres services nécessaires à la préservation de l'environnement. L'empreinte hydrique d'un animal et de ses trois composantes peut être exprimée en  $m^3/\text{an}/\text{animal}$  ou, lorsqu'elle est additionnée sur l'ensemble de la vie de l'animal, en termes de  $m^3/\text{animal}$ . Pour les bovins de boucherie, les porcs, les ovins, les caprins et les poulets de chair, animaux qui fournissent leurs produits après avoir été abattus, il est très utile d'examiner l'empreinte eau de l'animal en fin de vie, car c'est ce total qui sera attribué aux différents produits (ex. : viande, cuir). Pour les bovins laitiers et les poules pondeuses, il est plus facile de regarder l'empreinte eau de l'animal par an (moyenne sur sa vie), car on peut facilement relier l'empreinte eau annuelle de cet animal à sa production annuelle moyenne (lait, œufs). L'empreinte eau d'un animal liée à l'aliment consommé se compose de deux parties : l'empreinte eau des différents ingrédients de l'aliment et l'eau utilisée pour mélanger l'aliment :

$$\frac{\sum_{p=1}^n \left( \text{Feed}[a, c, s, p] \times WF_{\text{prod}}^*[p] \right) + WF_{\text{mixing}}[a, c, s]}{\text{Pop}^*[a, c, s]}$$

L'aliment $[a,c,s,p]$  représente la quantité annuelle d'ingrédient alimentaire  $p$  consommée par la catégorie d'animal  $a$ , dans le pays  $c$  et dans le système de production  $s$  (tonnes/an),  $WF_{\text{prod}}[p]$  l'empreinte eau de l'ingrédient alimentaire  $p$  ( $m^3/\text{tonne}$ ),  $WF_{\text{mixing}}[a,c,s]$  le volume d'eau consommé pour mélanger les aliments pour la catégorie d'animaux  $a$ , dans le pays  $C$ , et dans le système de production  $S$  ( $m^3/\text{an}/\text{animal}$ ) et  $\text{Pop}^*[a,c,s]$  le nombre d'animaux abattus par an ou le nombre d'animaux produisant du lait ou des œufs par an pour la catégorie d'animaux  $A$ , dans le pays  $C$  et dans le système de production  $S$ .

L'empreinte hydrique des différentes cultures, fourrages et sous-produits de cultures ( $WF_{\text{prod}}[p]$ ,  $m^3/\text{tonne}$ ) consommés par les différents animaux de la ferme a été calculée selon la méthodologie développée par Hoekstra et Chapagain. L'empreinte hydrique des cultures fourragères a été estimée à l'aide d'un modèle d'utilisation de l'eau des cultures qui estime l'empreinte hydrique des cultures à une résolution spatiale de 5 x 5 minutes d'arc à l'échelle mondiale. Étant donné que l'alimentation animale d'un pays provient de la production nationale et des produits importés, pour le calcul de l'empreinte hydrique de l'alimentation animale dans un pays, une empreinte eau moyenne pondérée est utilisée en fonction des volumes relatifs de production nationale et d'importation.[2][32]

Le volume et la composition des aliments consommés varient en fonction du type d'animal, du système de production et du pays. La quantité d'aliments consommée est estimée selon l'approche de Hendy et al., où la consommation annuelle totale d'aliments (y compris les concentrés et le fourrage grossier) est calculée en fonction de la production annuelle de produits animaux et de l'efficacité de la conversion alimentaire. L'alimentation totale par système de production pour les ruminants et les non-ruminants est calculée comme suit :[33]

$$\text{Feed}[a, c, s] = \text{FCE}[a, c, s] \times P[a, c, s]$$

où Aliment[a,c,s] est la quantité totale d'aliments consommée par catégorie d'animaux a (tonnes/an) dans le pays c, et dans le système de production s, FCE[a,c,s] l'efficacité de conversion alimentaire (kg de masse d'aliment sec/kg de produit) pour la catégorie d'animaux a dans le pays c et le système de production s, et P[a,c,s] la quantité totale de produit (viande, lait ou œufs) produite par catégorie d'animaux a (tonnes/an) dans le pays c et dans le système de production *Figure 2 Étapes du calcul de la quantité de nourriture par animal. Pour les ruminants (bovins de boucherie, bovins laitiers, ovins et caprins), l'efficacité de la conversion alimentaire est calculée comme indiqué en haut du diagramme. Pour les non-ruminants (porcs, poulets de chair et poules pondeuses), l'efficacité de la conversion alimentaire est directement tirée de la littérature..*

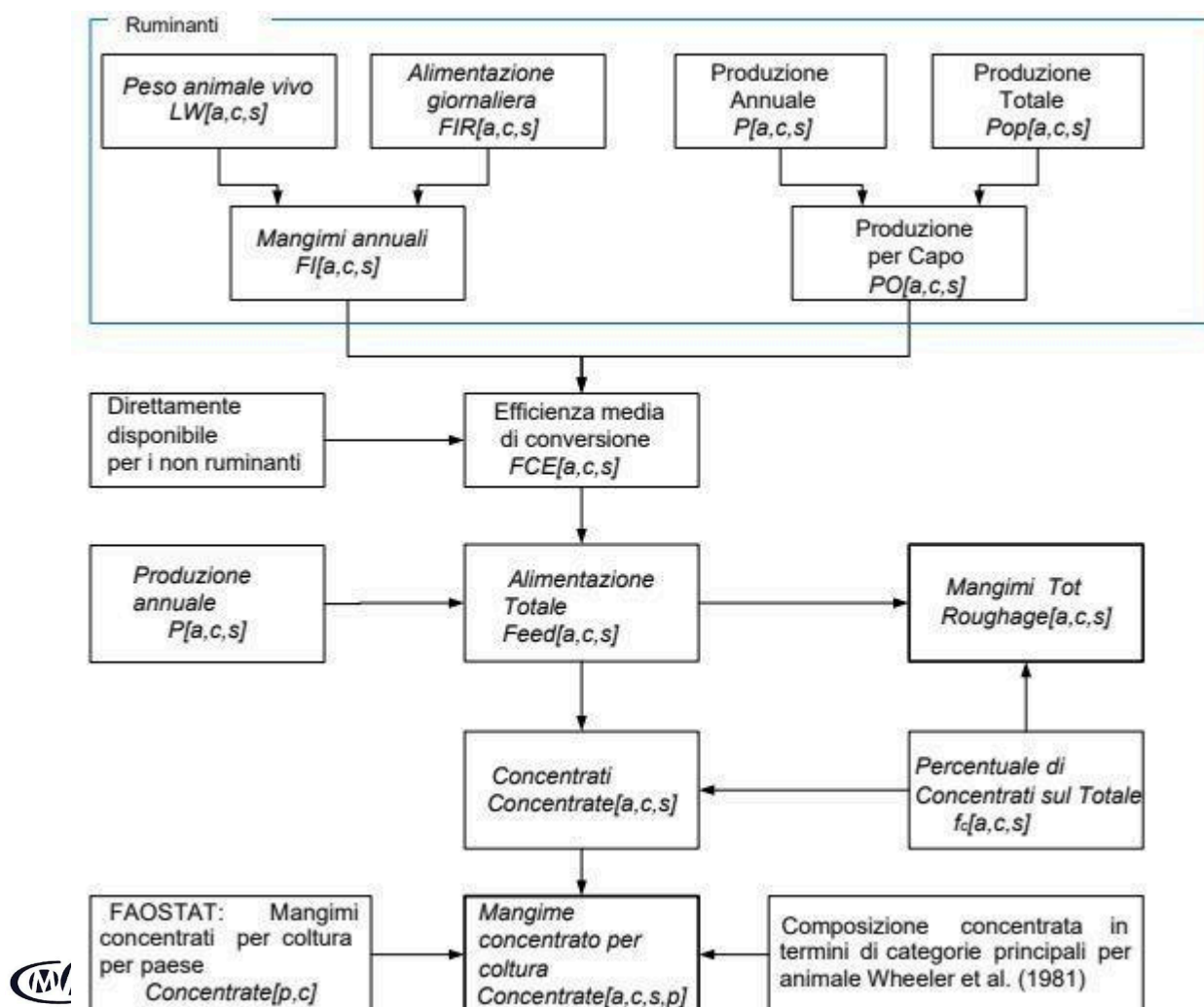


Figure 2 Étapes du calcul de la quantité de nourriture par animal. Pour les ruminants (bovins de boucherie, bovins laitiers, ovins et caprins), l'efficacité de la conversion alimentaire est calculée comme indiqué en haut du diagramme. Pour les non-ruminants (porcs, poulets de chair et poules pondeuses), l'efficacité de la conversion alimentaire est directement tirée de la littérature.

### Estimation de l'efficacité de conversion alimentaire

L'efficacité de conversion alimentaire est définie comme la quantité d'aliment consommée par unité de produit animal produite (par exemple, viande, lait, œufs). L'efficacité de la conversion alimentaire peut être estimée séparément pour chaque catégorie d'animaux (bovins de boucherie, bovins laitiers, ovins, caprins, porcins, poulets de chair et poules pondeuses), pour chaque système de production animale et par pays. Ici, nous utilisons le terme tel qu'il est généralement utilisé dans les études sur l'élevage. L'efficacité de la conversion alimentaire (FCE, kg de masse sèche/kg de produit) pour les non-ruminants (porcs et poulets) a été adoptée par Hendy et al. (1995). Pour les ruminants (bovins, chèvres, ovins), l'efficacité de la conversion alimentaire a été estimée en divisant la consommation alimentaire par habitant par la production annuelle (bœuf, lait, brebin et caprin) par habitant.

### Estimation de la production annuelle totale de produits animaux

La production annuelle de produits animaux a été estimée comme le montre la figure 2. La production de viande ( $P_{meat}$ , tonnes/an) par catégorie d'animaux (bovins de boucherie, porcins, ovins et caprins) est estimée en multipliant le rendement carcasse par animal abattu par le nombre annuel d'animaux abattus :

$$P_{meat}[a, c, s] = CY[a, c, s] \times SA[a, c, s]$$

Le rendement carcasse (CY, kg/animal) pour chaque catégorie d'animaux par système de production a été estimé en combinant les données de la FAO sur le rendement moyen en carcasses par pays (2009) avec les données sur le poids des animaux vivants par système de production et par région économique et les données sur le poids des carcasses en pourcentage du poids vif (FAO 2003). Les rendements en carcasses obtenus ont été mis à l'échelle de sorte que la production totale de viande par catégorie d'animaux soit égale à la valeur fournie par la FAO (2009). Le nombre d'animaux abattus par système de production (SH, nombre d'animaux/an) a été calculé en multipliant le nombre total d'animaux par le taux de prélèvement des animaux par système de production.

La production de lait et d'œufs par système de production et par pays a été calculée comme suit :

$$P_{milk}[a, c, s] = MY[a, c, s] \times DC[a, c, s]$$

$$P_{egg}[a, c, s] = f_{egg}[a, c, s] \times P_{egg}[a, c]$$

où  $P_{milk}[a, c, s]$  et  $P_{egg}[a, c, s]$  représentent respectivement la production de lait et d'œufs dans le pays  $c$  et dans le système de production  $s$  (tonnes/an),  $MY[a, c, s]$  la production de lait par vache laitière dans le pays  $c$  et dans le système de production  $s$  (tonnes/vache laitière),  $DC[a, c, s]$  le nombre de vaches laitières dans le pays  $c$  et dans le système de production  $s$ ,  $f_{egg}[a, c, s]$  la fraction d'œufs

produits dans le pays c et dans le système de production s et Pegg[a,c] la quantité totale d'œufs produits dans le pays c (tonnes/an).

Une grande quantité de données est disponible à partir de différentes sources. L'une des principales sources de données sur les stocks d'animaux, le nombre d'animaux abattus chaque année, la production annuelle de produits animaux et les aliments concentrés par pays est FAOSTAT (FAO, 2009).

**Systèmes de production animale** : Seré et Steinfeld (1996) ont élaboré une classification des systèmes de production animale basée sur l'agroécologie, la distinction entre les systèmes pastoraux, mixtes et sans terre, et la présence ou l'absence d'irrigation. Ils distinguent onze systèmes de production animale regroupés en trois catégories : le pâturage extensif, le pâturage mixte et le pâturage industriel (intensif). Dans cette étude, nous utilisons la schématisation dans ces trois systèmes de production.

**Efficacité de la conversion alimentaire** : Pour les non-ruminants (porcs, poulets à griller et poules aux œufs), l'efficacité de la conversion alimentaire par catégorie d'animaux, par système de production et par région économique peut être obtenue auprès de Hendy et al. (1995).

**Production annuelle de produits animaux** : Des données sur la production annuelle de produits animaux (viande bovine, porcine, ovine, caprine, poulet, lait et œufs) par système de production pour différentes régions économiques peuvent être obtenues auprès de Seré et Steinfeld (1996). Les données sur la production par produit et par pays pour la période 1996-2005 ont été obtenues par FAOSTAT (FAO, 2009). Les deux sources de données peuvent être combinées pour obtenir des données sur la production par catégorie d'animaux, système de production et pays pour la période 1996-2005.

**Poids vif des animaux** : Hendy et al. (1995) fournissent le poids vif des ruminants (bovins de boucherie, bovins laitiers, ovins et caprins) par système de production et par région économique. La FAO (2003) fournit du poids vif pour les bovins, les porcs, les ovins, les caprins et les poulets. Nous avons combiné ces deux sources, en profitant du fait que Hendy et al. (1995) spécifient les données par système de production (mais pas par pays) et que la FAO (2003) fournit des données par pays.

**Poids des carcasses en pourcentage du poids vif** : La FAO (2003) donne le poids des carcasses en pourcentage du poids vif pour différentes catégories d'animaux par pays.

**Taux d'ingestion alimentaire quotidienne pour les ruminants** : Le taux d'ingestion alimentaire quotidienne pour les ruminants (bovins de boucherie, bovins laitiers, ovins et caprins) a été obtenu d'après Hendy et al. (1995).

**Part des aliments concentrés dans l'alimentation animale totale** : La contribution des aliments concentrés tels que les céréales, les farines grasses, les racines et d'autres produits végétaux dans la composition totale des aliments a été obtenue par Hendy et al. (1995) et Bouwman et al. (2005).

**Composition des aliments crus** : Bouwman et al. (2005) peuvent être utilisés pour estimer la composition des aliments crus (herbe, cultures fourragères, résidus de culture).

Interreg



Cofinancié par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

goccia  
agoccia

France – Italia ALCOTRA



CAMERA DI COMMERCIO  
CUNEO



CAMERA DI COMMERCIO  
RIVIERE DI LIGURIA  
IMPERIA LA SPEZIA SAVONA



Politecnico  
di Torino



## Collecter des données d'entreprise

## Cadre des territoires analysés

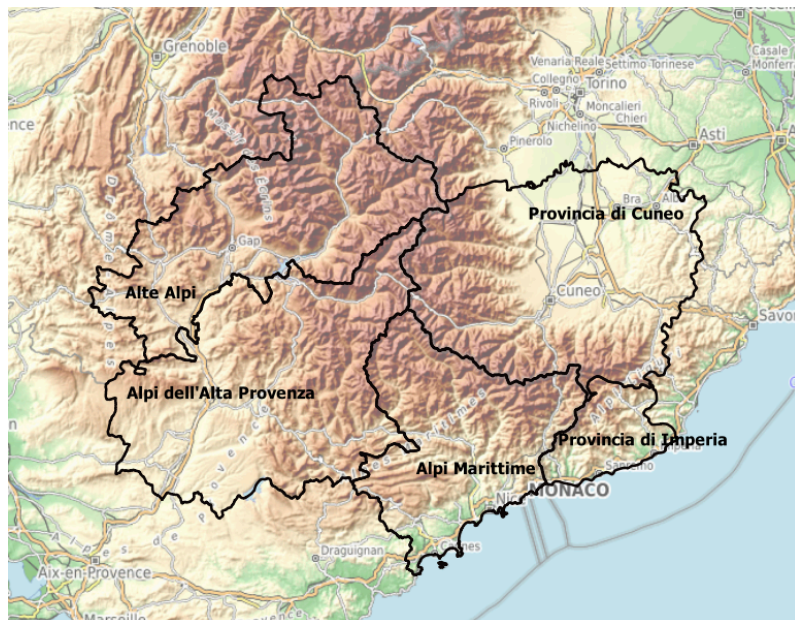


Figure 3 Les cinq territoires de ce projet

Avant de classer les entreprises par chaîne d'approvisionnement, il convient de cadrer les 5 provinces concernées d'un point de vue macroéconomique. Cela facilitera l'analyse des données relatives aux différentes chaînes d'approvisionnement. Comme on peut le voir à partir de *Figure 3 Les cinq territoires de ce projet* ils couvrent l'ensemble de la ceinture montagneuse des

Alpes-Maritimes, des Alpes Cottiennes et des Alpes et Préalpes de Provence. Néanmoins, la majeure partie de la province de Cuneo se distingue du reste du territoire car elle est caractérisée par une zone piémontaise sillonnée de rivières et de canaux.

### Population, superficie, territoire et principales activités économiques

**Province de Cuneo :** La province de Cuneo, située au sud-ouest de la région du Piémont, couvre une superficie de 6 898,19 km<sup>2</sup> et, au 1er janvier 2024, a une population résidente de 582 194 habitants, avec une densité de population d'environ 84,32 habitants par km<sup>2</sup>. La capitale, la ville de Cuneo, a une population de 55 987 habitants au 31 décembre 2022, répartis sur une superficie de 119,87 km<sup>2</sup>, avec une densité d'environ 467 habitants par km<sup>2</sup>. La province comprend 247 municipalités, ce qui en fait l'une des provinces italiennes comptant le plus grand nombre de municipalités. La province de Cuneo se caractérise par une grande variété de paysages et de types de territoires, qui influencent ses activités économiques, agricoles et touristiques : a) la zone montagneuse (Alpes maritimes, cottiennes et ligures) Elle comprend de nombreux parcs naturels (par exemple le parc des Alpes maritimes) et est importante pour les sports d'hiver, la randonnée et le tourisme de nature ; b) la région vallonnée (Langhe et Roero) est célèbre pour la viticulture et la production de vins fins (par exemple Barolo, Barbaresco, Dolcetto), pour les paysages vallonnés classés au patrimoine de l'UNESCO, avec des cultures de noisettes et de truffes et est un centre de production agroalimentaire avec des fromages typiques (par exemple Castelmagno), c) la Flat Area favorise l'agriculture intensive (maïs, blé, élevage de bovins) et est importante pour l'industrie alimentaire et laitière.

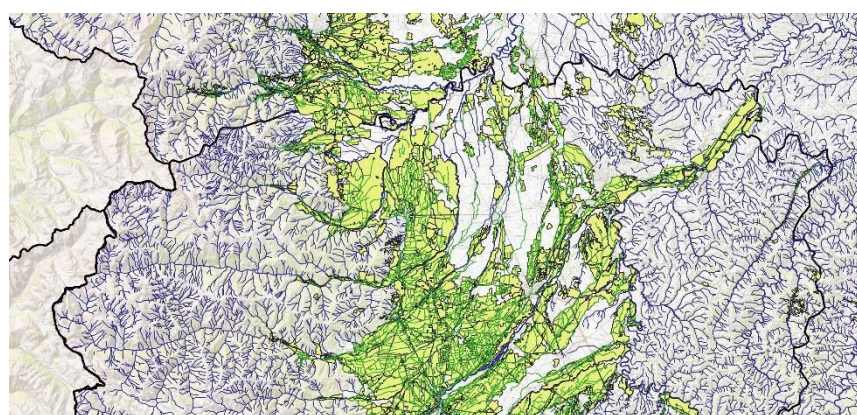


Figure 4 Le territoire de la province de Cuneo est caractérisé à la fois par la partie montagneuse et par un réseau dense de canaux

qui apportent de l'eau aux consortiums d'irrigation des basses terres.

**Province d'Imperia** : La province d'Imperia, située dans la région de la Ligurie, comprend 66 communes et a une superficie totale d'environ 1 155 km<sup>2</sup>. La population totale est d'environ 208 800 habitants (au 1er janvier 2024). La densité de population est d'environ 181 habitants par km<sup>2</sup>. La capitale, la ville d'Imperia, a une population de 42 490 habitants.

La province d'Imperia se caractérise par un territoire montagneux et vallonné : plus de 60 % de la surface est montagneuse, avec des reliefs tels que le Monte Saccarello (2 201 m), le plus haut de la Ligurie. Il se caractérise par un littoral et des plaines limités : la bande côtière est étroite, avec de petites plaines le long du cours des rivières (par exemple la vallée de l'Argentine, la vallée de l'Arroscia). Les paysages typiques sont caractérisés par des oliveraies, des vignobles, des bois et un maquis méditerranéen. Les principales activités économiques sont la culture de l'olivier (la province est célèbre pour l'huile d'olive extra vierge Riviera Ligure DOP, obtenue à partir de la variété Taggiasca) et la floriculture (Sanremo et l'arrière-pays d'Imperia sont des centres de production de fleurs coupées et de plantes ornementales, destinées à l'exportation). Viticulture : production de vins locaux tels que Rossese di Dolceacqua DOC.

**Département des Alpes-Maritimes** : Le département des Alpes-Maritimes est situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et a la ville de Nice comme capitale. Selon le recensement de 2018, la population du département était de 1 100 444 habitants sur une superficie de 4 299 km<sup>2</sup>, avec une densité de population d'environ 254,6 habitants par km<sup>2</sup>. La ville de Nice, avec 342 669 habitants en 2019, est la cinquième commune la plus peuplée de France, après Paris, Marseille, Lyon et Toulouse. Le Département des Alpes-Maritimes se distingue par sa diversité géographique et le contraste entre les Alpes, les collines préalpines et la Côte d'Azur. La partie nord du département est dominée par les Alpes-Maritimes, une chaîne de montagnes qui comprend des sommets qui dépassent les 3 000 mètres d'altitude, comme le Mont Marguareis et le Mont Pelat. La partie sud surplombe la mer Méditerranée, avec la célèbre Côte d'Azur. Des villes balnéaires renommées telles que Nice, Cannes et Antibes sont situées ici. Le département des Alpes-Maritimes se caractérise par une forte diversification économique, qui se développe dans différents secteurs clés tels que a) le tourisme sur la Côte d'Azur, qui représente l'un des aspects économiques les plus importants, b) l'agriculture, qui, malgré la forte urbanisation le long du littoral, a une tradition importante, notamment dans les zones intérieures et vallonnées, basée sur la culture des fleurs, oliviers, vignes, agrumes et légumes. L'élevage, principalement pour la production de viande et de produits laitiers, bien que dans une moindre mesure que dans d'autres zones agricoles de France.

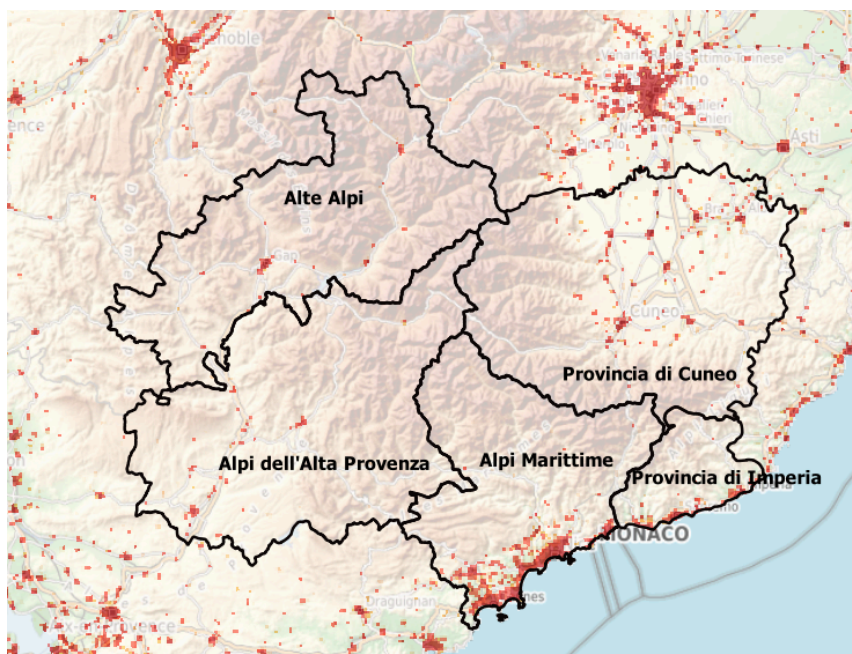


Figure 5 La répartition de la population dans la zone du projet

**Département des Hautes-Alpes** : Le département des Hautes-Alpes est situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et, selon les données de

2015, sa population est de 140 916 habitants, répartis sur une superficie de 5 549 km<sup>2</sup>. Le chef-lieu est la ville de Gap, qui comptait 40 631 habitants à la même époque. Le département des Hautes-Alpes se caractérise par un territoire montagneux et varié, qui comprend une partie des Alpes du Sud. Les activités économiques du département des Hautes-Alpes reposent principalement sur les ressources naturelles, la montagne et le tourisme. Les principales activités comprennent a) l'agriculture, la production de céréales, de fourrages pour le bétail, de fruits (pommes et poires) et de légumes, b) l'élevage de bovins, d'ovins et de caprins en particulier pour la production de fromages (comme le fromage de montagne).

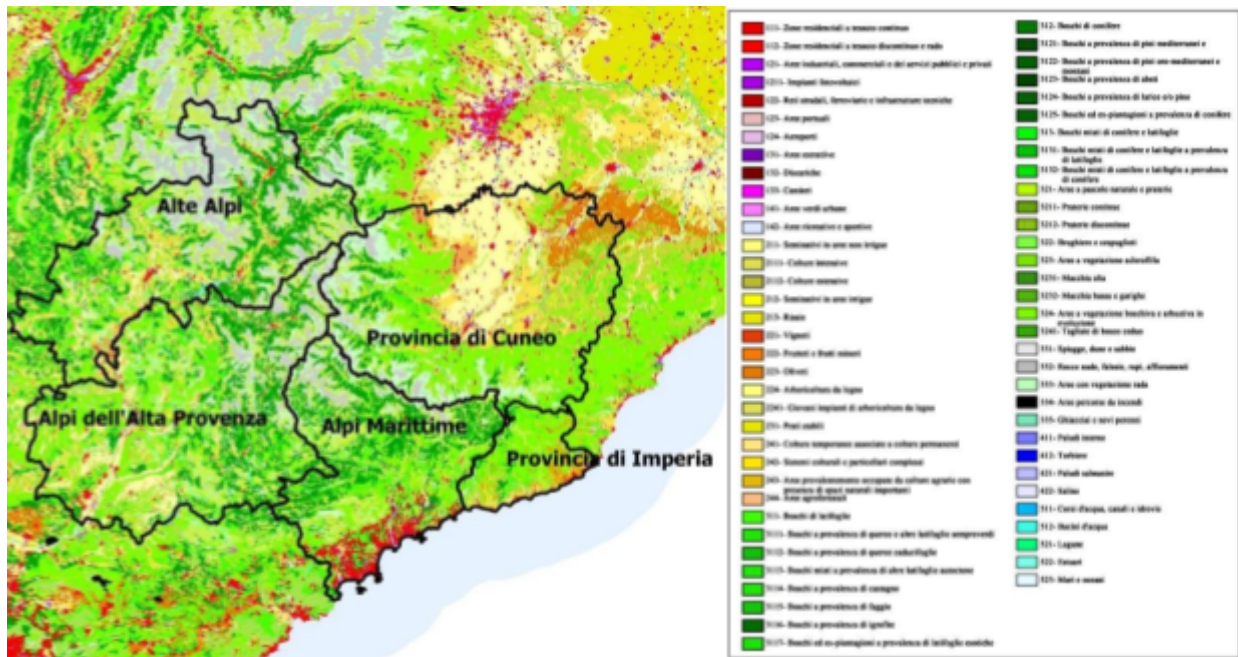


Figure 6 Utilisation des sols dans les cinq régions du projet selon le Corine Land Cover 2020

**Département des Alpes-de-Haute-Provence :** Le département des Alpes-de-Haute-Provence est situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. La population totale est d'environ 161 588 habitants sur une superficie totale de 6 925 km<sup>2</sup>. Ce département comprend environ 200 communes. La ville de Digne-les-Bains, chef-lieu du département, compte une population d'environ 18 000 habitants. Le département des Alpes-de-Haute-Provence se caractérise par une faible

la densité de population, avec une population répartie sur un vaste territoire montagneux.

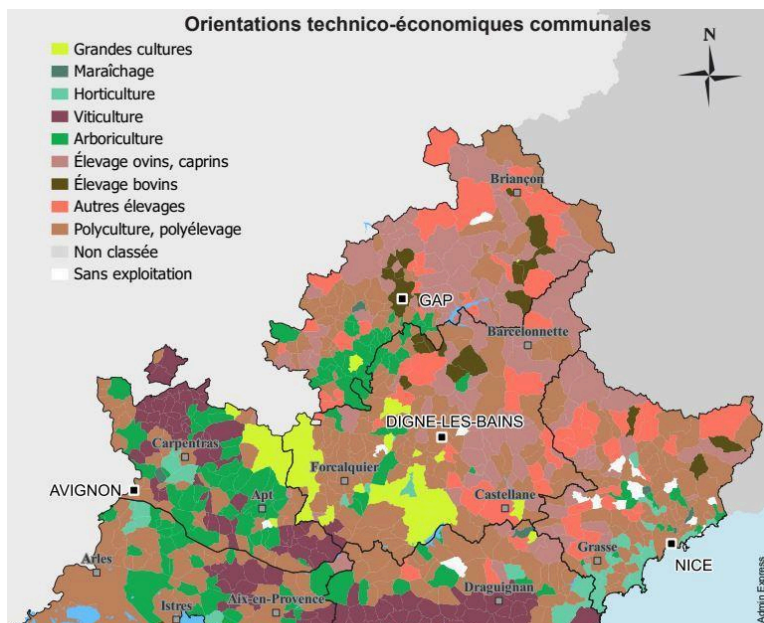


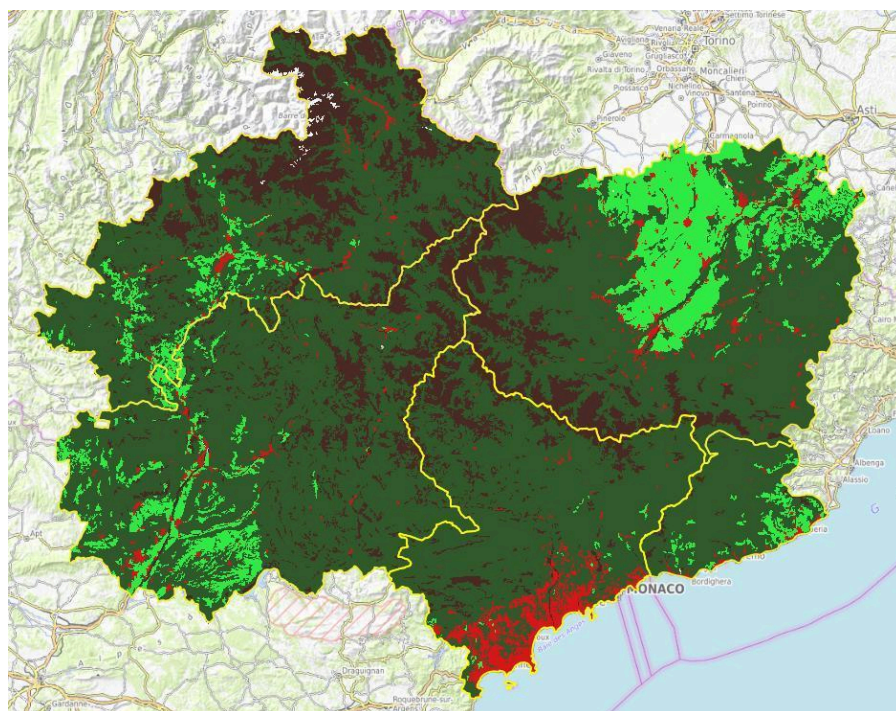
Figure 7 Orientations techniques et économiques communales pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur [18]

Le département des Alpes-de-Haute-Provence se caractérise par un territoire montagneux et vallonné et est connu pour sa grande variété de paysages, qui comprend des

montagnes telles que le massif des Trois-Évêchés et le parc naturel régional du Verdon au nord et les plaines de la partie centrale du département avec des vallées fertiles, telles que la vallée du Verdon, qui accueillent de multiples cultures et activités agricoles. Les activités économiques du département sont diversifiées, l'agriculture est un élément fondamental de l'économie, avec la culture de la lavande, symbole du territoire, et des fruits (pommes, poires et pêches). Les vignes pour la production de vin et les oliveraies sont également répandues, en particulier dans les zones les plus méridionales. L'élevage bovin et ovin est présent dans les zones de montagne. Bien que moins prédominante que l'agriculture, l'industrie du département se concentre sur les activités liées à la transformation des produits agricoles (par exemple, l'industrie de la lavande) et à la production de cosmétiques et de parfums.

### Analyse comparative des cinq régions

D'après ce qui a été présenté jusqu'à présent, on peut dire que, bien que tous caractérisés par la forte présence de zones de montagne, les cinq territoires présentent des différences en termes d'activités économiques et agricoles en particulier. Pour analyser quantitativement les similitudes et les différences, nous pouvons utiliser la Corine Land Cover (CLC) qui est basée sur un programme de surveillance spatiale à l'échelle européenne et classe l'utilisation des sols à travers l'Europe. La CLC a été créée par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) en 1990 afin de fournir des informations cohérentes, comparables et à jour sur les modes d'utilisation des terres. La CLC classe la couverture terrestre à l'aide d'un ensemble spécifique de catégories. Les principales catégories comprennent : a) les surfaces artificielles (p. ex., les zones urbaines, les routes, les aéroports), b) les zones agricoles (p. ex., terres arables, pâturages), c) les forêts (p. ex., forêts de feuillus, de conifères et mixtes), d) les zones humides (p. ex., marécages, tourbières), e) les plans d'eau (p. ex., lacs, rivières, réservoirs), f) la végétation naturelle (p. ex., landes, garrigues, toundra). La liste complète des classes est indiquée dans la légende de la *Figure 6*.



*Figure 8 Les cinq territoires et macro-zones issus de l'Occupation Terrestre Corine. On peut y voir des zones urbaines (rouge), des zones montagneuses (marron), des forêts (vert foncé) et des zones cultivées (vert clair).*

De *Figure 6* Quelques caractéristiques principales peuvent être notées. Il est évident que le cœur central de la macro-région GAG est la région montagneuse

recouverte de forêts et de sols nus. Néanmoins, chaque zone a des territoires très variables. À titre

d'exemple, la province de Cuneo est caractérisée par une large ceinture montagneuse mais aussi par de nombreux centres habités dispersés sur une vaste région de plaine. D'autre part, dans le département des Alpes-Maritimes, se distingue une zone côtière fortement urbanisée (zone rouge), surmontée au nord par les Alpes ligures et les Préalpes de Provence. Les trois autres zones montrent principalement des territoires montagneux et de petites zones agricoles dans les vallées.

Étant donné que la CLC est très irrégulière en termes de classes d'occupation du sol, afin de mettre en évidence les principales différences entre les cinq zones, les classes ont été regroupées en quatre macro-classes a) les zones urbaines, les zones de montagne nue, les forêts et les zones cultivées. Grâce à ce traitement, en *Figure 8* Il est possible d'avoir un aperçu rapide et représentatif. Dans la province de Cuneo, les zones urbaines couvrent 3 % de la surface, les zones cultivées 22 % et les forêts et les zones montagneuses 61 % et 14 % respectivement. Dans la province d'Imperia, les zones urbaines couvrent 3 % de la surface, les zones cultivées 10 % tandis que les forêts et les zones montagneuses 84 % et 3 % respectivement. Dans le département des Alpes-Maritimes, les zones urbaines couvrent jusqu'à 10 % de la surface, les zones cultivées seulement 1 % et les forêts et les zones de montagne 77 % et 12 % respectivement. Dans le département des Hautes-Alpes, les zones urbaines ne couvrent que 1,5 % de la surface, les surfaces cultivées 5 % tandis que les forêts et les zones montagneuses couvrent respectivement 65 % et 28,5 %. De même, dans le département des Alpes-de-Haute-Provence, les zones urbaines ne couvrent que 1,5 % de la surface, les surfaces cultivées 9 % et les forêts et zones de montagne respectivement 75,5 % et 14 %.

## Les chaînes de transformation agroalimentaire

La classification des entreprises par Chaînes de Transformation Agroalimentaire est la première étape de la caractérisation de l'empreinte eau à l'échelle provinciale. Grâce au soutien de la Chambre de Commerce de Cuneo, dans le cas de la province de Cuneo, toutes les activités dont les codes relèvent des secteurs A (Agriculture, sylviculture, pêche) et C (Activités manufacturières) ont été extraites de la base de données des entreprises.

Settore	Divisione	Classe	Sottoc.	Classe di Addetti												Tot		
				0	1	2-5	ad 6-9	ad 10-19	20-49	50-99	100-24	250-45	>400					
A	01	Agricultura, sylvicultura pesca	1	1	Coltivazioni di colture agricole non permanenti	4	13	10	0	1	0	0	0	0	0	28		
			11	11	Coltivazioni di colture agricole non permanenti	69	330	60	1	4	0	0	0	0	0	0	464	
			111	1111	Coltivazione cereali	307	477	212	13	6	1	0	0	0	0	0	1016	
						1112	Coltivazione semi oleosi	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	9
						1113	Coltivazione di legumi da granella	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	7
						1114	Coltivazione mista di cereali, legumi da granella e semi	359	935	324	11	2	0	0	0	0	0	1631
						112	112	Coltivazione di riso	3	2	1	0	0	0	0	0	0	6
						113	113	Coltivazione di ortaggi/meloni, radici e tuberi	26	64	19	2	1	1	0	0	0	113
						1131	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	123	345	76	10	3	2	0	0	0	0	559
						1132	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	12	16	7	3	1	0	0	0	0	0	39
						11321		0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4
						11329	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	8	29	17	3	3	2	0	0	0	0	62
						1134	Coltivazione di patate	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0	11
						115	115	Coltivazione di tabacco	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
						116	116	Coltivazione di piante tessili	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
						119	119	Floricoltura	1	3	2	1	0	0	0	0	0	7
						1191	Coltivazione di fiori in piena aria	12	20	13	1	4	0	0	0	0	0	50
						1192	Coltivazione di fiori in colture protette	5	3	3	1	1	1	0	0	0	0	14
						11921	Coltivazione di fiori in colture protette	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
						11929	Coltivazione di fiori in colture protette	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	6
						1199	Coltivazione di piante da foraggio	129	100	22	2	1	1	0	0	0	0	255
						12	12	Coltivazione di colture permanenti	263	1231	405	69	34	7	2	0	0	2011
						121	121	Coltivazione di uva	562	1316	850	95	56	28	1	2	0	2910
						123	123	Coltivazione di agrumi	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
						124	124	Coltivazione di pomacee e frutta a nocciolo	97	137	122	29	17	9	2	1	0	414
						125	125	Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio	685	889	279	27	20	4	0	0	0	1904
						126	126	Coltivazione di frutti oleosi	7	4	2	0	0	0	0	0	0	13
						127	127	Coltivazione di piante per la produzione di bevande	2	2	1	0	0	0	0	0	0	5
						128	128	Coltivazione di spezie, piante aromatiche e farmaceutiche	32	22	6	0	0	0	0	0	0	60
						129	129	Coltivazione di altre colture permanenti (inclusi alberi di Natale)	9	2	3	0	0	0	0	0	0	14
						13	13	Riproduzione delle piante	11	16	19	3	7	1	0	0	0	57
						14	14	Allevamento animali	11	21	15	0	1	0	0	0	0	48
			141	141	Allevamento di bovini da latte	127	954	633	36	7	1	0	0	0	1758			
			142	142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	70	152	121	9	2	3	0	0	0	357			
			143	143	Allevamento di cavalli e altri equini	10	28	6	1	0	0	0	0	0	45			
			145	145	Allevamento di ovini e caprini	30	107	38	0	0	0	0	0	0	175			
			146	146	Allevamento di suini	39	107	118	12	4	1	1	0	0	282			
			147	147	Allevamento di pollame	23	52	43	9	3	3	0	1	0	135			
			149	1491	Allevamento di conigli	6	45	17	1	0	0	0	0	0	69			
			1493	apicoltura	81	133	33	1	1	0	0	0	0	0	249			
			1499	allevamento di altri animali	23	26	3	0	0	0	0	0	0	0	52			
			15	15	Coltivazioni agricole associate all'allevamento di animali	354	1138	667	43	6	0	0	0	0	2208			
			16	16	Attività di supporto all'agricoltura	10	10	11	1	3	0	1	2	0	38			
			161	161	Attività di supporto alla produzione vegetale	38	91	109	25	27	13	0	4	0	307			
			162	162	Attività di supporto alla produzione animale	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3			
			16201	Attività dei maniscalchi	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	8			
			16209	Altre attività di supporto alla produzione animale	4	5	2	0	0	2	0	1	0	0	14			
			163	163	Attività successive alla raccolta	17	6	20	5	10	5	1	3	0	67			
			164	16401	Pulitura e cernita di semi e granaglie	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
			17	17	Caccia, cattura di animali e servizi connessi	2	3	1	0	0	0	0	0	0	6			
			312	312	Pesca in acque dolci	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2			
			321	321	Acquacoltura marina	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1			
			322	322	Acquacoltura in acqua dolce	2	4	3	2	0	0	0	0	0	11			

Figure 9 Exemple de certains des codes Ateco extraits pour la construction de chaînes d'approvisionnement.

En particulier, pour le secteur A, les activités A01 (Cultures agricoles et production de produits animaux, etc.) et A03 (Pêche et aquaculture) ont été recherchées, pour le secteur C 10 (Industries alimentaires) et C 11 (Industrie des boissons). Pour chaque catégorie et sous-classe, des renseignements relatifs au nombre d'entreprises et à la catégorie d'employés ont été extraits. Cette information a été utile pour normaliser une série de données sur la chaîne d'approvisionnement qui

ne peuvent pas être obtenues à l'échelle provinciale, mais qui ne sont présentes qu'à l'échelle régionale ou nationale (p. ex. quantité de viande commercialisée).

Afin de regrouper les entreprises dans les cinq chaînes d'approvisionnement décrites ci-dessus (Chaîne d'approvisionnement des céréales et des produits de boulangerie, Chaîne d'approvisionnement de la culture du raisin et du vin, Chaîne d'approvisionnement de l'élevage et de la transformation de la viande, Chaîne d'approvisionnement de l'industrie laitière, Chaîne d'approvisionnement des fruits et légumes), les codes Ateco qui caractérisent la chaîne d'approvisionnement associée ont été choisis. La répartition des codes Ateco et les cohérences

Codice ATECO	FILIERA CEREALI E PRODOTTI DA FORNO	N. Imprese	N. Addetti
1111	Coltivazione cereali	1016	2461
1112	Coltivazione semi oleosi	9	17
1113	Coltivazione di legumi da granella	7	14
1114	Coltivazione mista di cereali, legumi da granella e semi	1631	3814
112	Coltivazione di riso	6	12
106	lavorazione delle granaglie, amidi e prodotti amidacei	1	17
1061	lavorazione delle granaglie	10	67
10611	molitura del frumento	11	127
10612	molitura di altri cereali	5	44
10614	altre lavorazioni di semi e granaglie	7	81
1062	produzione di amidi e prodotti amidacei	4	196
107	produzione di prodotti da forno	2	13
10711	pane e pasticceria fresca	371	2156
10712	pasticceria fresca	50	344
1072	produzione di fette biscottate e biscotti	36	857
1073	produzione di paste alimentari, couscous e farinacei simili	68	514
108503	produzioni di piatti pronti	1	5
108504	produzione di pizze confezionate	1	5
108505	produzione di piatti pronti a base di pasta	2	21
108509	produzioni di paste e altri piatti pronti	14	63
Codice ATECO	Totale Filiera	3252	10823

relatives en termes de nombre d'entreprises et d'employés sont rapportées dans le

*Figure 10 La chaîne d'approvisionnement des céréales et des produits de boulangerie. À titre d'exemple, le nombre d'entreprises et le nombre de salariés totalement employés pour la province de Cuneo sont indiqués.*

Comme décrit dans les paragraphes précédents, il est d'une importance fondamentale d'identifier clairement la chaîne de production des différentes chaînes d'approvisionnement afin d'identifier les contributions, en termes d'empreinte eau, du produit final et des produits intermédiaires utilisés.

Codice ATECO	FILIERA ALLEVAMENTO E TRASFORMAZIONE CARNE	N. Imprese	N. Addetti
1199	Coltivazione di piante da foraggio	255	498
14	Allevamento animali	48	137
141	Allevamento di bovini da latte	1758	5341
142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	357	1136
143	Allevamento di cavalli e altri equini	45	102
145	Allevamento di ovini e caprini	175	415
146	Allevamento di suini	282	1064
147	Allevamento di pollame	135	731
1491	Allevamento di conigli	69	181
1499	allevamento di altri animali	52	89
15	Coltivazioni agricole associate all'allevamento di animali	2208	6096
101	Lavorazione e conservazione di carne e prodotti a base di carne	11	64
109	produzione di altri prodotti per l'alimentazione degli animali	3	6
1011	Lavorazione e conservazione di carne (escluso i volatili)	63	795
1012	Lavorazione e conservazione di carne di volatili	7	47
1013	Produzione di prodotti a base di carne	38	412
	<b>Totale Filiera</b>	<b>5506</b>	<b>16614</b>

Figure 11 La chaîne d'approvisionnement de la viande. À titre d'exemple, le nombre d'entreprises et le nombre de salariés totalement employés pour la province de Cuneo sont indiqués.

Codice ATECO	FILIERA ALLEVAMENTO E INDUSTRIA LATTE	N. Imprese	N. Addetti
1091	produzione di mangimi	26	585
1199	Coltivazione di piante da foraggio	255	498
141	Allevamento di bovini da latte	1758	5341
142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	357	1136
145	Allevamento di ovini e caprini	175	415
1051	Industria lattiero-casearia	2	13
10511	trattamento igienico del latte	2	21
10512	Produzione dei derivati del latte	45	1202
1052	produzione di gelati	3	30
	<b>Totale Filiera</b>	<b>2623</b>	<b>8655</b>

Figure 12 La chaîne d'approvisionnement en lait avec le nombre d'entreprises et le nombre de salariés totalement employés. Province de Cuneo.

Codice ATECO	FILIERA COLTIVAZIONE UVA E VINO	N. Imprese	N. Addetti
121	Coltivazione di uva	2910	10187
1101	Distillazione, rettifica e miscelatura degli alcolici	19	473
1102	produzione di vini da uve	14	309
11021	produzione di vini da tavola	66	978
11022	produzione di vini da spumante	1	76
1104	produzione di altre bevande fermentate non distillate	1	2
	<b>Totale Filiera</b>	<b>3011</b>	<b>12023</b>

Figure 13 La Chaîne d'Approvisionnement du Vin avec le nombre d'entreprises et le nombre de salariés totalement employés. Province de Cuneo.

Codice ATECO	FILIERA ORTOFRUTTA	N. Imprese	N. Addetti
163	Attività successive alla raccolta	67	1111
1091	produzione di mangimi	26	585
113	Coltivazione di ortaggi/meloni, radici e tuberi	113	309
1131	ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi	559	1362
1132	ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi	39	118
124	Coltivazione di pomacee e frutta a nocciolo	414	2099
125	Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio	1904	4422
126	Coltivazione di frutti oleosi	13	24
103	Lavorazione e conservazione della frutta	6	222
	Lavorazione e conservazione delle patate		
1032	produzione di succhi di frutta e ortaggi	0	0
1039	lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi	43	932
	<b>Totale Filiera</b>	<b>3184</b>	<b>11182</b>

Figure 14 La chaîne d'approvisionnement des fruits et légumes. À titre d'exemple, le nombre d'entreprises et le nombre de salariés totalement employés pour la province de Cuneo sont indiqués

## Collecter des données sur les produits animaux (viande, lait, œufs)

Les données nécessaires à l'application du modèle ont été recueillies auprès de diverses sources nationales et régionales. Les principales sources utilisées sont :

- a) **ISTAT** : L'Institut national italien de la statistique (ISTAT) fournit des données complètes sur la production agricole en Italie, couvrant divers aspects du secteur. Les données clés sont les suivantes : a) Tendances de la production agricole : l'ISTAT publie des rapports annuels détaillant l'évolution des volumes de production agricole et de la valeur ajoutée. Par exemple, en 2020, la production agricole a baissé de 3,3 % en volume, avec une baisse de 6,1 % de la valeur ajoutée brute aux prix de base.

TITOLO	2022					2023					2024				
	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)
<b>Totale bovini</b>	2 686 279	12 596 043	468,9	7 282 541	57,82	2 426 859	10 704 992	441,1	6 029 770	56,33	2 291 097	10 127 880	442,1	5 838 440	57,65
<b>vitelli</b>	592 190	1 287 966	217,5	761 825	60,71	613 544	1 280 523	208,7	789 076	61,62	530 562	1 093 349	206,1	673 867	61,63
<b>vitelli minori di 8 mesi</b>	544 557	1 167 013	214,3	708 740	60,73	539 556	1 100 273	203,9	677 867	61,61	530 562	1 093 349	206,1	673 867	61,63
<b>vitelli da 8 mesi e più</b>	47 623	120 953	253,8	73 085	60,47	73 988	180 250	243,6	111 209	61,7	67 849	195 396	243,8	103 218	62,41
<b>vitelloni e manci</b>	1 513 193	8 119 443	536,5	4 824 840	59,42	1 334 311	8 833 731	662,6	3 960 737	57,96	3 230 972	10 127 880	442,1	5 838 440	57,65
<b>buoi e tori</b>	18 388	102 789	5598,0	56 994	0,55	13 782	84 297	6123,0	47 806	56,71	16 285	3 856 036	564,4	2 340 724	60,7
<b>vitelloni maschi e manci</b>	845 507	4 835 771	571,9	2 918 691	60,36	730 132	4 115 432	563,7	2 424 379	58,91	683 185	3 856 036	564,4	2 340 724	60,7
<b>vitelloni femmine</b>	667 686	3 283 672	491,8	1 906 149	58,05	604 179	2 719 299	449,9	1 536 358	56,52	544 061	2 485 942	456,2	1 421 995	57,2
<b>buoi</b>	4 264	20 654	484,4	11 566	96	2 823	14 572	516,2	8 072	55,39	3 169	16 445	518,9	9 255	56,28
<b>tori</b>	14 124	82 135	581,5	45 428	55,31	10 959	89 725	636,2	39 734	56,99	10 202	67 827	659,7	40 093	59,11
<b>vacche</b>	562 518	3 085 945	548,8	1 618 882	52,46	465 022	2 506 441	539	1 232 151	49,16	451 189	2 442 985	541,5	1 249 288	51,14
<b>totale bufalini</b>	111 709	361 073	323,3	189 600	52,51	102 909	317 663	308,4	168 733	53,12	83 345	284 484	304,8	156 058	54,86
<b>annuoli (vitelli bufalini)</b>	64 292	142 775	222,1	79 295	55,54	62 111	134 162	216	76 428	56,97	58 328	126 768	217,3	73 646	58,1
<b>bufale</b>	40 277	194 808	483,8	93 054	50,35	35 258	159 220	451,6	79 775	50,1	30 550	138 413	453,1	72 434	52,33
<b>totale equini</b>	20 983	93 554	445,9	50 107	53,56	20 177	88 943	440,8	47 831	53,78	21 983	89 189	407,6	47 108	52,82
<b>cavalli</b>	19 731	91 024	461,3	48 778	53,59	18 984	86 570	456	46 585	53,81	20 452	85 922	420,1	45 388	52,84

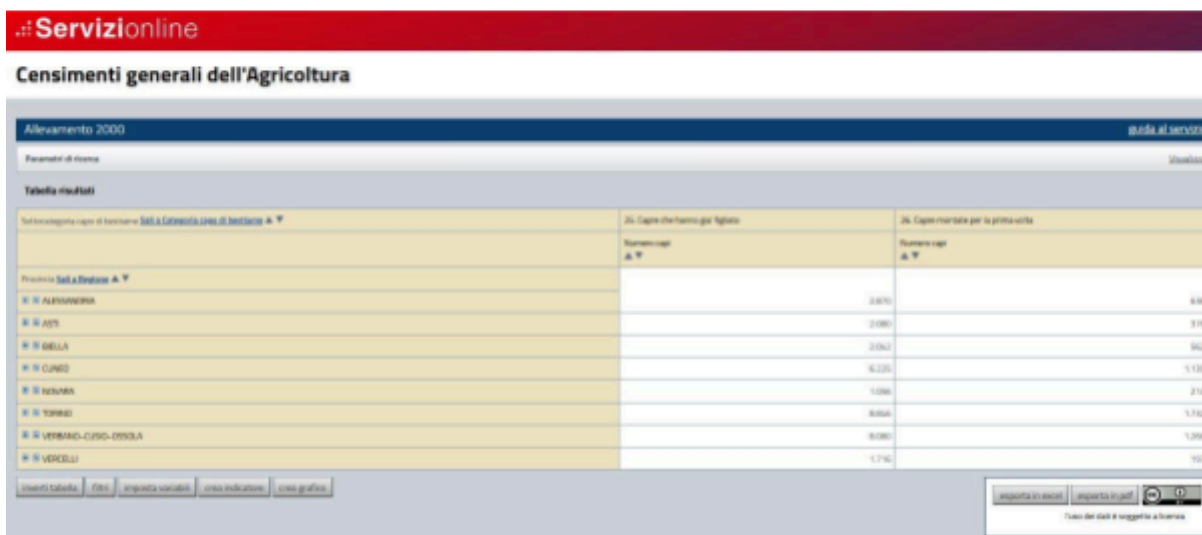
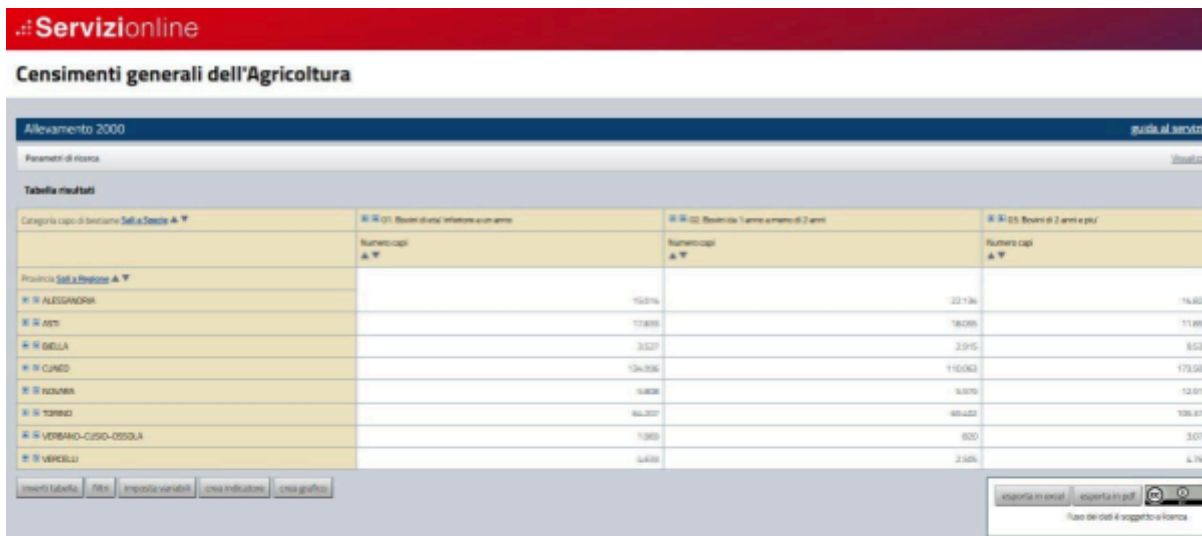
Figure 15 Exemple de données sur la production de viande pouvant être extraites du site de l'ISTAT

B) Surfaces cultivées et production : Des statistiques détaillées sur la superficie cultivée et les volumes de production pour différentes cultures sont disponibles. Ces données sont classées par province et comprennent des renseignements sur la superficie totale (hectares), la superficie de production, la production totale (quintaux) et la production récoltée. C) Plantations fruitières : les informations sur les plantations fruitières, y compris les données sur la superficie et la production de différents types de fruits, sont accessibles dans les bases de données de l'ISTAT. D) Comptes économiques agricoles : L'ISTAT fournit des estimations préliminaires et des rapports détaillés sur les performances économiques du secteur agricole, y compris les volumes de production, la valeur ajoutée et les tendances de l'emploi. Toutes les données sont disponibles sur le site officiel de l'ISTAT et sur les portails de données,

France – Italia ALCOTRA

offrant des informations précieuses aux chercheurs, aux décideurs politiques et aux parties prenantes intéressées par le secteur agricole italien.

- b) **Tableau de bord du recensement agricole 2020 de la région du Piémont** : Le service Tableau de bord du recensement agricole 2020 affiche sous forme graphique des informations récapitulatives dérivées des données collectées lors du 7e recensement agricole effectué par l'Istat au cours de la période janvier-juillet 2021 et se rapportant à l'année agricole 2019-2020. Les informations recueillies dans le cadre de l'enquête de recensement et présentées dans le rapport se rapportent à la municipalité du centre d'entreprise. Le tableau



de bord des connaissances est organisé en domaines thématiques suivants : a) exploitations agricoles, b) utilisation des terres, c) agriculture biologique, d) exploitations agricoles, e) main-d'œuvre agricole, f) Les données sous-jacentes à chaque objet visuel du tableau de bord (graphique, cartogramme, tableau) peuvent être téléchargées localement.

Figure 16 Exemple de données pouvant être extraites de l'entrepôt de données de la région du Piémont.

- c) **Data WareHouse** : L'Istat effectue des recensements généraux tous les dix ans dans le but de définir un cadre d'information statistique actualisé et détaillé de la structure du système

agricole et d'élevage aux niveaux national, régional et local. Le service d'entrepôt de données du recensement général de l'agriculture vous permet de consulter, d'analyser avec les outils d'analyse multidimensionnelle typiques des services de prise de décision, de télécharger localement des informations récapitulatives sur les exploitations agricoles avec centre d'activités et/ou terres et/ou exploitations agricoles sur le territoire de la région du Piémont.

Les statistiques proviennent des données finales des recensements généraux de l'agriculture effectués dans les années 2010, 2000, 1990 et 1982. Les informations statistiques peuvent être consultées sous forme de rapports ou de graphiques et de cartogrammes ; Il existe des fonctions de personnalisation du résultat et des fonctions spécialisées pour l'analyse multidimensionnelle et la navigation selon les méthodes typiques des systèmes de prise de décision. Des fonctions sont disponibles pour télécharger des ensembles substantiels d'informations au niveau territorial de la municipalité, avec des métadonnées descriptives et une licence d'utilisation. La mise en œuvre du système a tenu compte des principes, pratiques et méthodes statistiques nationaux et internationaux afin de promouvoir et d'améliorer la qualité de l'information statistique produite et présentée, en particulier en ce qui concerne la reconstitution de séries chronologiques comparables du point de vue des univers de référence et harmonisées du point de vue des nomenclatures et des classifications.

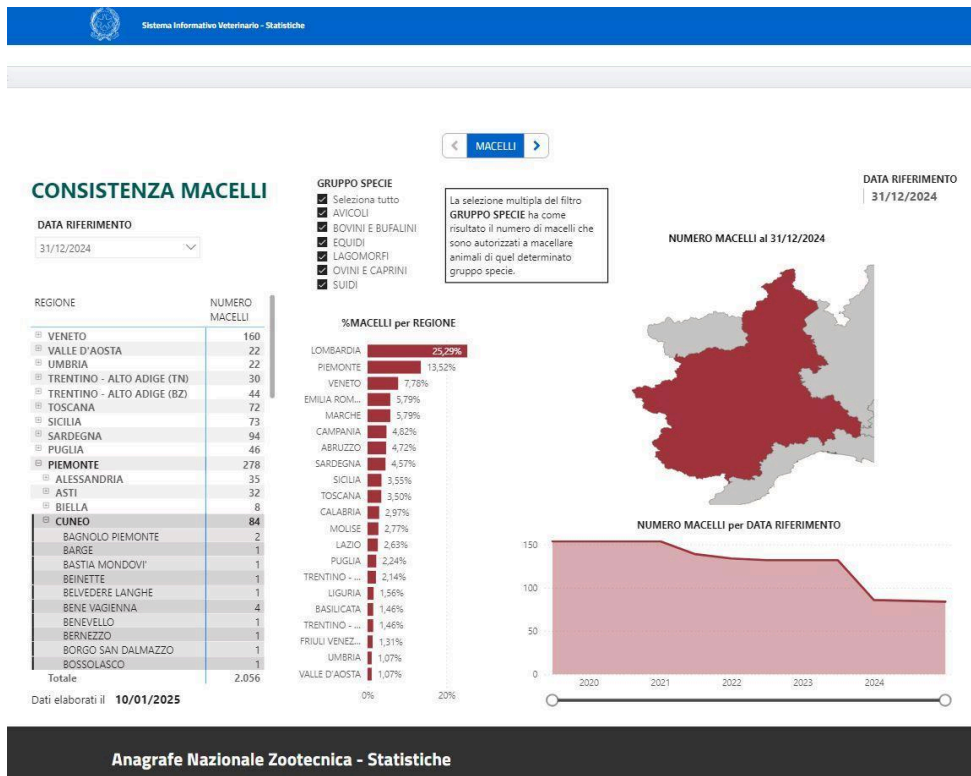


Figure 17  
Exemple de données pouvant être extraites du Base de données nationale du registre du bétail (BDN).  
Elevage - Usines et abattoirs

d) **Base de données nationale du registre du bétail (BDN) : L'Istat effectue des recensements généraux tous les dix ans dans le but de dresser un tableau Le traitement statistique relatif au cheptel concerne les données enregistrées dans la Base de données nationale du registre du bétail (BDN) en référence aux différentes espèces animales. L'utilisation à des fins**

scientifiques, d'étude et de recherche des données de la section STATISTIQUES de la base de données nationale est autorisée à condition que la source des données soit citée comme suit : « Données fournies par le BDN du Registre du bétail établi par le Ministère de la Santé au CSN de l'Institut « G. Caporale » de Teramo.

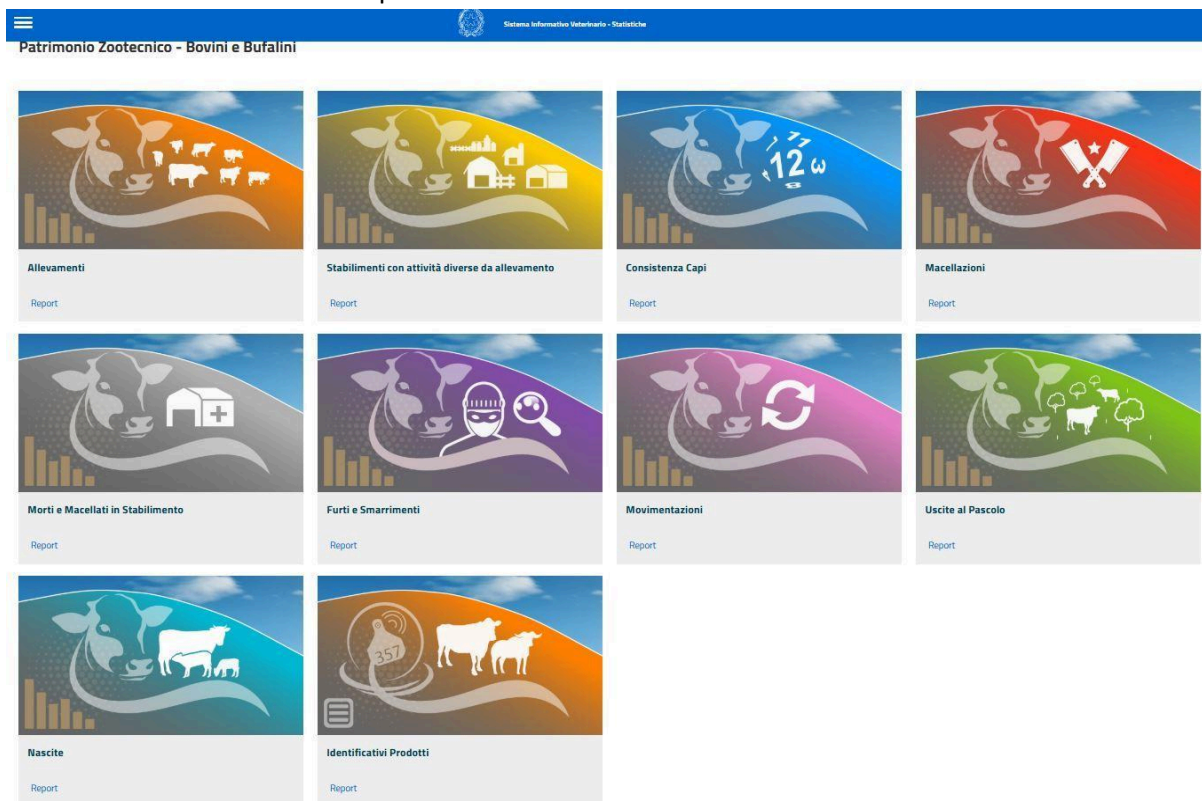


Figure 18 Exemple de données pouvant être extraites du Base de données nationale du registre du bétail (BDN). Bétail - Bovins et buffles

Depuis le 1er janvier 2000, le ministère de la Santé dispose de la base de données nationale du registre du bétail (BDN), qui garantit : la traçabilité et la traçabilité des animaux et de leurs produits, la protection de la santé publique et du cheptel, la planification des contrôles sur l'identification des animaux, la mise à disposition et le contrôle des régimes d'aides de l'UE, l'information des consommateurs. Par conséquent, grâce à ce système, les citoyens peuvent prendre connaissance du bétail existant dans la région et connaître non seulement le registre, mais aussi le mouvement de la population animale. La base de données comprend 7 registres différents : a) registre des bovins, b) registre des ovins et des caprins, c) registre des porcs, d) registre des volailles, e) registre des équidés, f) registre de l'apiculture, g) enregistrement des cirques.

- e) **Le portail des systèmes d'information vétérinaire** : <https://www.vetinfo.sanita.it>. Le portail a été créé dans le but de collecter et de présenter des données, sanitaires et non sanitaires, utiles à la gouvernance du système national de santé animale et de sécurité alimentaire, avec une attention particulière à la définition des risques sanitaires tout au long de la chaîne de production, de la production d'aliments pour animaux à la commercialisation des aliments destinés à la consommation humaine. Il fournit une série de services publics tels que des actualités, des références à la législation en vigueur, des informations d'intérêt, des données

statistiques et des liens vers d'autres sites nationaux et internationaux cohérents avec le domaine.

- f) **ClassyFarm** : Les défis auxquels sont confrontés les secteurs de la santé et de l'agroalimentaire sont de plus en plus complexes. Les carences en matière de bien-être animal, de biosécurité de l'élevage et de consommation excessive d'antibiotiques engendrent des risques sanitaires de plus en plus interconnectés, rendant nécessaire d'avoir une approche intégrée qui inclut également l'abattoir, dans le rôle clé d'observatoire épidémiologique. ClassyFarm est une plateforme informatique incluse dans le Portail National Vétérinaire ([www.vetinfo.it](http://www.vetinfo.it)), qui traite une quantité considérable de données provenant de différentes sources (collectées sur le terrain ou à partir d'autres systèmes d'information) grâce à des processus spéciaux de Business Intelligence. Tels que : Évaluations sur le terrain du bien-être animal et de la biosécurité à la ferme, Paramètres principaux de l'exploitation (état de santé, données de production et alimentation)
- g) **Agreste** : Agreste est le service statistique du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, chargé de la collecte, du traitement et de la diffusion des données statistiques relatives à l'agriculture, à la pêche, aux industries agroalimentaires, à la sylviculture et aux zones rurales en France. Par le biais de ses publications et de son portail en ligne, Agreste propose un large éventail d'informations, notamment :
- Données du recensement agricole : Fournit des renseignements détaillés sur les exploitations agricoles, y compris le nombre, la taille et les types de cultures.
  - Statistiques économiques agricoles : analyse les comptes économiques de l'agriculture, en suivant l'évolution des revenus agricoles et de leurs composantes.
  - Information sur la production agricole : offre des données sur les superficies cultivées, les rendements et les productions pour différentes cultures, tant au niveau national que départemental.

Cette information est accessible au public et est utilisée pour l'analyse économique, la planification des politiques et la recherche dans le secteur agricole.

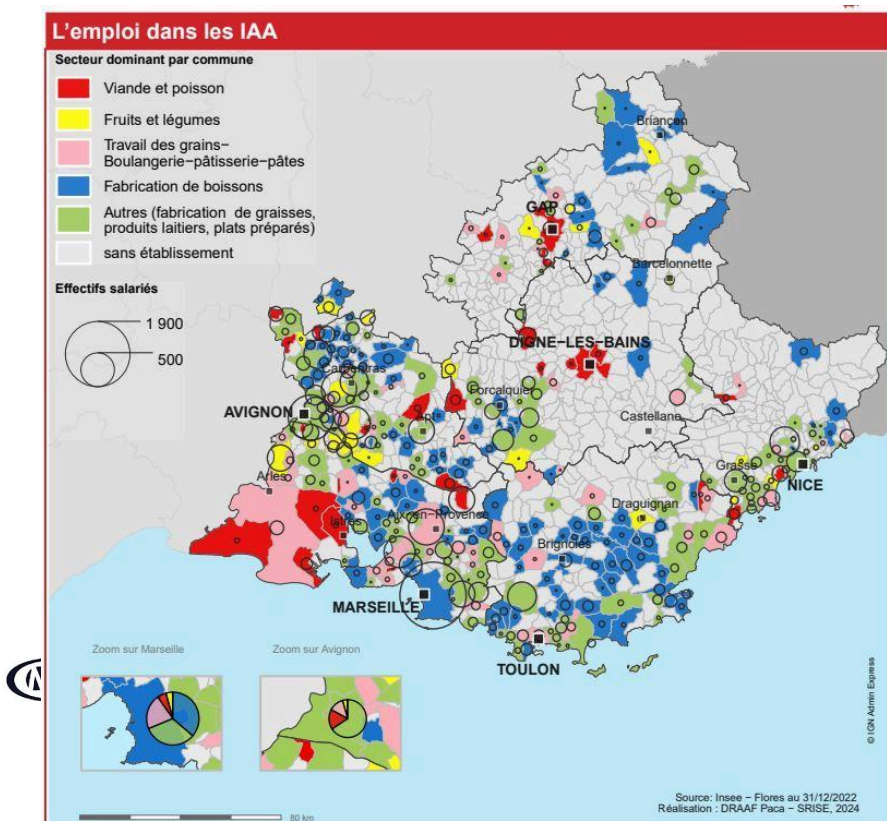


Figure 19 Exemple des données qui peuvent être obtenues auprès d'Agreste. Les 5 grandes catégories du secteur alimentaire présentes dans la région par nombre de salariés[19]

Interreg



Cofinancié par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

goccia  
agoccia

France – Italia ALCOTRA



### Estimation de l'empreinte eau unitaire

L'estimation de l'empreinte eau par unité de produit est cruciale pour comprendre et calculer l'empreinte eau totale. Il permet également d'identifier les phases les plus gourmandes en eau du cycle de production et d'adopter des stratégies de réduction de la consommation d'eau, d'amélioration de l'efficacité de l'eau et de contribution à la durabilité environnementale. En outre, cette estimation fournit des informations utiles pour comparer l'impact de l'eau entre des produits similaires ou entre différentes technologies de production, soutenant ainsi les décisions politiques et commerciales axées sur la durabilité.

L'estimation par unité de produit a été réalisée, à l'aide des modèles décrits ci-dessus et sur la base de variables climatiques, pour les deux macro-régions d'intérêt : le Piémont et la Ligurie et la Provence-Alpes-Côte d'Azur. Des échelles spatiales plus détaillées seraient possibles, mais ne fourniraient pas d'informations supplémentaires compte tenu de l'analyse couverte par le présent rapport. Il ne s'agit pas ici de savoir combien les différentes entreprises consomment sur les différents territoires, mais de comprendre ce qu'est la consommation mondiale et quelles chaînes d'approvisionnement sont les plus gourmandes en eau.

La table des *Figure 20* Ils rendent compte de l'estimation des modèles au regard des quantités, par unité de volume, des différentes composantes des cinq chaînes d'approvisionnement analysées. Il est possible de souligner comment, par unité de poids, la transformation la plus énergivore est celle de la transformation et de la conservation de la viande dans le Piémont et de la production d'huile en Ligurie.

Filière	Territorio	Quantità (m³/Ton.)					
		Piemonte/Liguria			Provenza-Alpi-Costa Azzurra		
		Green	Blue	Grey	Green	Blue	Grey
1	Pane e Pasticceria	850	3	128	683	4	6
2	Lavorazione e conservazione di carne	7102	419	641	5149	221	341
	Lavorazione e conservazione di volatili	2163	196	285	2183	117	139
	Produzione di prodotti a base di carne	5197	627	745	4375	417	561
3	Latte Bovino	626	77	102	486	38	45
	Latte Ovini/Caprini	1252	154	204	972	76	90
	Formaggi	2997	383	487	2325	199	217
4	Vino da tavola	411	13	84	503	6	16
	Vino frizzante	505	17	104	741	7	19
5	Ortofrutta	171	39	35	203	126	64
	Olio ed Olive	7396	858	13	22909	1144	2444

Figure 20 Les quantités d'eau nécessaires, réparties en Vert, Bleu et Gris par tonne et pour les produits finaux des différentes chaînes d'approvisionnement et pour les deux macro-Régions d'intérêt

## Estimation de l'empreinte eau des Filières Agroalimentaires

*Estimation de l'empreinte eau totale des chaînes d'approvisionnement agroalimentaires*

Après avoir collecté des données sur la production et la transformation agricoles, le nombre d'entreprises et de salariés et la consommation unitaire dans les différentes zones d'étude, il est maintenant possible d'estimer la consommation totale des cinq secteurs analysés. Comme il a été possible de le prévoir à partir des analyses menées précédemment, la consommation la plus importante est attribuable à la chaîne d'approvisionnement de la viande et en particulier à la transformation et à la conservation. C'est clairement un résultat qu'il faut attribuer à la vocation agricole, et en particulier à l'élevage d'animaux à viande, dans les plaines de Cuneo. Bien que, comme souligné dans le paragraphe précédent, la production d'huile ait une empreinte hydrique spécifique élevée, les quantités totales sont très faibles car la production n'est pas comparable, en termes quantitatifs, à celle de la viande. À l'échelle mondiale, les deuxièmes et troisièmes postes de consommation de ressources en eau sont imputables à la production de lait et de vin de table dans la province de Cuneo. La plus grande empreinte eau des provinces françaises est plutôt attribuable à la chaîne d'approvisionnement du pain et de la pâtisserie, qui est nettement la chaîne d'approvisionnement qui consomme le plus d'eau sur le territoire français.

Filière	Territorio	Quantità (Mm <sup>3</sup> )					
		Piemonte/Liguria			Provenza-Alpi-Costa Azzurra		
		Green	Blue	Grey	Green	Blue	Grey
1	Pane e Pasticceria	60	0	9	150	1	1
2	Lavorazione e conservazione di carne	1070	63	97	45	4	1
	Lavorazione e conservazione di volatili	26	2	3	0	0	0
	Produzione di prodotti a base di carne	104	13	15	10	1	1
3	Latte Bovino	413	51	67	9	1	1
	Latte Ovini/Caprini	5	1	1	5	0	0
	Formaggi	180	23	29	3	0	0
4	Vino da tavola	370	12	76	2	0	0
	Vino frizzante	1	0	0	0	0	0
5	Ortofrutta	18.29	4.17	3.74	6.96	4.32	2.19
	Olio ed Olive	9.80	1.14	0.02	13.09	0.65	1.40

Figura 21 Les quantités d'eau nécessaires, réparties en Vert, Bleu et Gris pour les produits finaux des différentes chaînes d'approvisionnement et pour les deux macro-Régions d'intérêt

## SÉCHERESSE ET EMPREINTE HYDRIQUE

À l'heure actuelle, la sécheresse est l'un des risques socioculturels extrêmes qui constituent la plus grande gravité ou menace pour la stabilité sociale et la résilience biophysique de l'environnement, en raison de ses répercussions sur la production agricole et la croissance économique d'une région. De plus, les processus de sécheresse se développent progressivement sur un territoire donné en raison d'une période continue et cyclique de stress hydrique, résultant de la diminution anormale des précipitations, ainsi que des fluctuations des températures et des changements éco-hydrologiques. Dans le contexte du changement climatique et de l'augmentation de l'occurrence des épisodes de sécheresse, il est crucial de surveiller les déclencheurs et la progression de la sécheresse afin de planifier les efforts ultérieurs de prévention de la sécheresse, d'adaptation et de migration.[8]

Il est essentiel de considérer que le cycle de l'eau dans les environnements touchés par la sécheresse est caractérisé par des taux élevés d'évapotranspiration et de faibles précipitations, ce qui entraîne un faible ruissellement de surface et une faible recharge des nappes phréatiques. Cette dernière entraîne une réduction de l'accumulation d'humidité dans le sol, une augmentation de l'érosion, une détérioration du couvert végétal et la raréfaction de l'eau bleue nécessaire aux processus de transformation.

Les sécheresses peuvent être classées en types météorologiques, agricoles, hydrologiques et socio-économiques en fonction de leur périodicité. Elles entraînent souvent des pénuries ou des déficits hydriques, particulièrement sévères dans les régions arides ou semi-arides, mais qui sont aujourd'hui également récurrents dans la zone d'étude, comme en témoignent les deux sécheresses de ces dix dernières années. Ces régions représentent 41 % de la superficie mondiale et connaissent des tendances en matière de disponibilité de l'eau inférieures aux moyennes historiques. L'étendue des terres arides devrait passer de 4 % à 10 % d'ici 2100 par rapport à la période 1961-1990 dans le cadre des RCP 4.5 et RCP8.5 sur le changement climatique. En outre, le changement climatique, la variabilité du climat et l'utilisation inefficace de l'eau, ainsi que des habitudes de consommation irrationnelles, une agriculture intensive et des changements dans l'utilisation des terres, ont eu un impact significatif sur la capacité de charge des ressources en eau et leur sécurité. [9]

Cependant, ce n'est pas seulement la quantité d'eau limitée par les variables climatiques ou la surexploitation des sources d'eau, mais aussi les répercussions dans les dimensions géographiques et temporelles qui influencent le cycle hydro-social. L'agriculture étant l'une des principales activités productives au monde, les sécheresses extrêmes ont eu un impact sur la perte de terres agricoles jusqu'à 16 fois supérieur au processus d'érosion rocheuse.

Comprendre la consommation d'eau douce dans le processus de production et de transformation des produits agroalimentaires est crucial pour établir des stratégies de résilience et de sécurité alimentaire. Par conséquent, il devient nécessaire d'élargir le concept vers une approche environnementale de l'écoulement de l'eau. Cette approche permettra d'identifier des voies d'économie d'eau dans la production agroalimentaire dans les régions impliquées dans le projet. L'évaluation de l'appropriation des ressources en eau doit élargir les critères de la gestion intégrée des ressources. L'accent devrait être mis sur la détermination des différentes sources ou flux d'eau dans l'environnement pour une gestion efficace et durable des ressources en eau.

Il est essentiel de prendre en compte non seulement l'utilisation des eaux bleues (ressources en eau extraite du ruissellement de surface et de l'infiltration des eaux souterraines), mais aussi l'utilisation

des eaux vertes (précipitations temporairement stockées dans le sol ou interceptées par la végétation et exportées dans l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration), ainsi que leurs interactions et la production d'eaux grises. La répartition des précipitations saisonnières, combinée à l'évapotranspiration, influence directement les modèles de disponibilité de l'eau, affectant l'hydrologie régionale et les rendements des cultures. En conséquence, les principales fonctions de l'eau verte sont productives (par exemple, le maintien de jusqu'à ~65 % de la production agricole globale) et régulatrices (par exemple, le bilan énergétique et les conditions convectives), où le flux d'eau verte est composé d'environ 59 % de transpiration, 21 % d'interception de plantes, 10 % d'interception de sol et 6 % d'évaporation de l'humidité du sol. De même, l'eau bleue remplit une multitude de fonctions, y compris, mais sans s'y limiter, l'approvisionnement, le transport/le chargement de produits chimiques (nutriments et polluants), la régulation/contrôle et la production ; En outre, l'irrigation représente environ 70 % de la consommation mondiale d'eau bleue. L'interaction complexe de ces variables (climat et production) a conduit les régions pauvres en eau à produire des cultures plus gourmandes en eau mais à plus forte valeur ajoutée. Dans les régions où les ressources en eau à des fins agricoles sont rares, une réduction potentielle de 56 % de la consommation d'eau peut être obtenue en cultivant des cultures mieux adaptées à la disponibilité de l'eau verte et bleue de la région. [10][21] [12]

Compte tenu de ce qui a été dit ci-dessus, privilégier l'évaluation de l'empreinte eau est essentiel pour comprendre la relation entre les activités de production, le cycle de l'eau et la pression sur les ressources en eau pour assurer un développement durable des activités de production et de transformation des produits agricoles. Des indicateurs complets tels que l'estimation de l'empreinte eau peuvent y parvenir. De plus, l'empreinte eau agricole est une mesure qui permet d'évaluer indirectement l'impact de la sécheresse en tenant compte de la demande et de l'approvisionnement en eau locaux. Cependant, lors d'épisodes de sécheresse, la pénurie affecte également les débits d'eau, devenant cruciale pour augmenter l'irrigation afin de compenser les déficits de cultures ou les besoins en eau verte. Cependant, les besoins en eau bleue sont supérieurs aux besoins en eau verte, constituant une irrigation déficiente au détriment des débits environnementaux et/ou des réserves d'eau souterraine. Ces utilisations entrent souvent en conflit avec l'utilisation de l'eau bleue par l'industrie de transformation des produits. Par conséquent, pour contribuer aux programmes de gestion des ressources en eau dans les bassins soumis à un stress hydrique, il est crucial de disposer d'informations précises sur l'évolution de l'empreinte hydrique des chaînes d'approvisionnement agroalimentaires au fil du temps. Cela nécessite des estimations affinées sur de longues périodes, qui peuvent être utilisées dans la prise de décision pour réduire la latence des données d'entrée et améliorer les projections futures. En intégrant l'influence de la variabilité climatique intra et interannuelle dans les plans d'atténuation ou d'action de la sécheresse, nous pouvons prendre des décisions plus éclairées en fonction des résultats de l'empreinte eau.[13][14]

Notre recherche est basée sur la compréhension de l'utilisation de l'eau dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaires dans la région du Piémont, dans la province d'Imperia et dans les départements français 04, 05 et 06.

## La sécheresse de 2021/22

Au cours des 7 premiers mois de 2022, une grave sécheresse météorologique s'est produite sur une grande partie du continent européen, associée à une circulation anticyclonique anormale persistante sur sa partie nord-ouest. En particulier, le nord de l'Italie et le sud-est de la France ont été touchés par un manque extraordinaire de précipitations ([15]

Figure 22 et Figure 23), contribuant à une sécheresse hydrologique prolongée qui a menacé la sécurité de l'eau et les écosystèmes fluviaux.

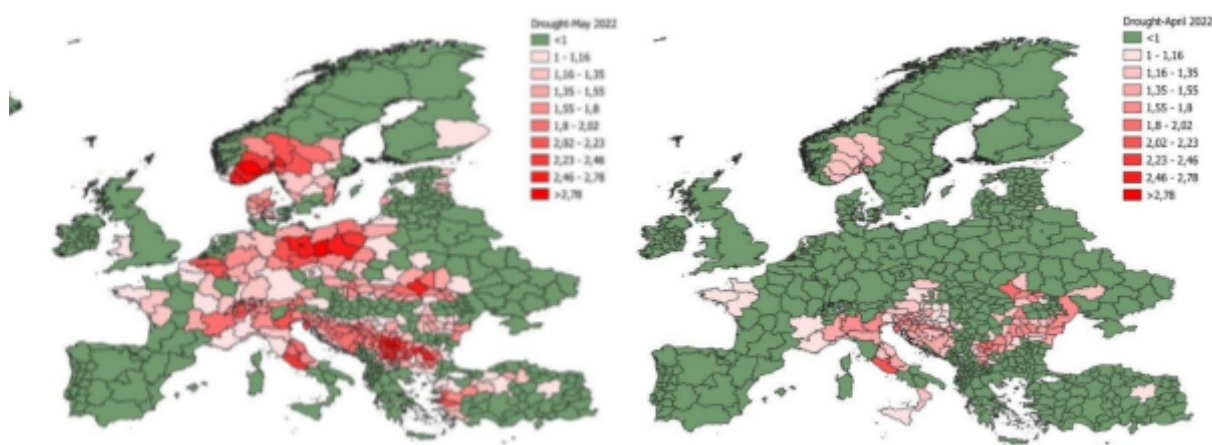


Figure 22 Distribution spatiale de la sécheresse basée sur E3CI pour janvier-mars 2022

La plupart de l'Europe, plus précisément les Alpes, le nord de l'Italie (en particulier dans la vallée du Pô), le sud/est de la France, le sud de la Suède, la Grèce et certaines parties des Balkans. Dans d'autres régions, telles que le nord de la Scandinavie, la Turquie, les régions du nord-ouest de la mer Caspienne et la péninsule ibérique, les précipitations mensuelles ont été nettement inférieures à la moyenne, ce qui contraste fortement avec des conditions durables, causant plusieurs dommages économiques à la chaîne d'approvisionnement des produits agricoles. L'un des indicateurs qui composent l'E3CI est spécifiquement conçu pour détecter les conditions de sécheresse. Les cartes se réfèrent aux premiers mois de 2022 et montrent les zones les plus touchées par le déficit pluviométrique, avec des couleurs rouge foncé pour les régions les plus touchées et des couleurs rouge clair pour celles encore touchées. De plus, les conditions les plus sévères ne sont pas concomitantes : la péninsule ibérique connaît les conditions les plus importantes et les plus sévères en février, par exemple, tandis qu'en Europe, mars semble être le mois où les valeurs les plus élevées sont atteintes sur de grandes surfaces. Dans l'ensemble, les zones les plus touchées ne sont pas concentrées dans un ou plusieurs pays, mais sont diversifiées sur le plan spatial dans l'ensemble de la zone de l'UE.

Au cours du siècle dernier, il y a eu 45 épisodes de sécheresse majeurs en Europe qui ont touché des millions de personnes et causé des pertes économiques de plus de 27,8 milliards de dollars.

Actuellement, la sécheresse touche en moyenne 15 % du territoire de l'UE et 17 % de la population chaque année. Le bulletin MARS du CCR du mois de mars a révélé que les conditions de sécheresse avaient un impact négatif sur la croissance végétative, en particulier dans les régions méridionales. Les céréales ont été affectées dans le sud de la France et le nord-ouest de l'Italie. [26][27]

### AREAS OF CONCERN - EXTREME WEATHER EVENTS

Based on weather data from 1 February 2022 until 18 March 2022

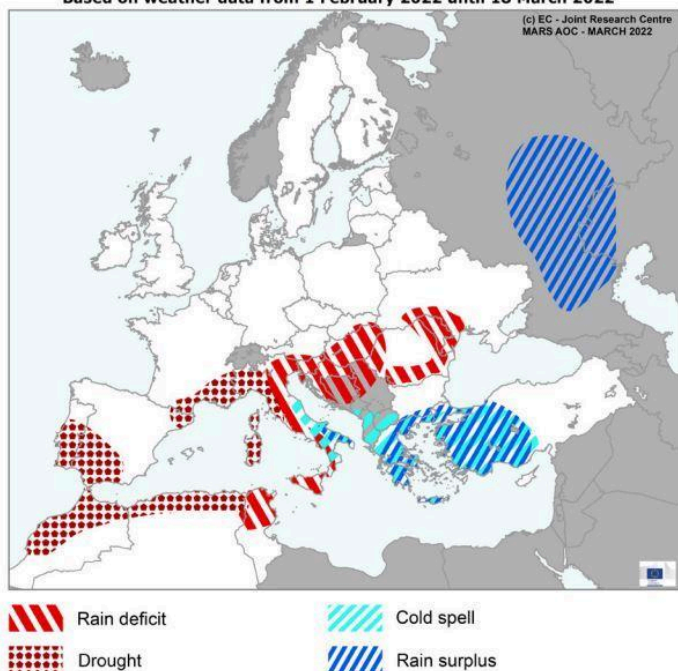


Figure 23 Indicateur combiné de sécheresse (IDC) – début mars 2022.

Dans son rapport mensuel, l'Observatoire mondial de la sécheresse (ODG) du CCR a souligné que cette grave sécheresse a particulièrement touché le nord de l'Italie et le bassin du Pô. En parallèle, le rapport de la Commission européenne intitulé « Sécheresse dans le nord de l'Italie - mars 2022 » propose une évaluation de l'évolution et de l'impact de la sécheresse de quatre mois dans la région. En plus des dommages attendus pour la saison agricole, la concurrence pour d'autres

utilisations de l'eau, telles que l'irrigation agricole, devrait commencer plus tôt que d'habitude. À la mi-mars, la valeur de l'énergie stockée dans les bassins italiens n'était que de 28,2 % de la capacité totale de stockage, contre un creux historique observé (1970-2019) de 30,4 % pour la même période. Par conséquent, le faible niveau d'eau actuel dans les réservoirs italiens pourrait aggraver la situation déjà difficile du marché italien de l'électricité, qui connaît déjà des prix de gros records en raison de facteurs géopolitiques.

Le fleuve Pô, la plus longue voie navigable d'Italie, a atteint des niveaux extrêmement bas, réduisant la disponibilité de l'eau pour l'irrigation et entraînant une intrusion d'eau de mer sans précédent. La gravité de la sécheresse du Pô en 2022 et ses impacts durables potentiels ont été largement couverts par les médias du monde entier, alors que le gouvernement italien a déclaré l'état d'urgence dans les cinq régions administratives de la vallée du Pô. Plusieurs villes ont dû rationner l'eau pendant la sécheresse et des mesures extraordinaires ont été prises pour soutenir les agriculteurs, car la vallée du Pô fournit environ 40 % de la demande alimentaire du pays. La gravité de cet événement concerne la fréquence croissante des sécheresses hydrologiques, leur impact socio-économique et l'état futur des ressources en eau. [16] [17] [18][19]

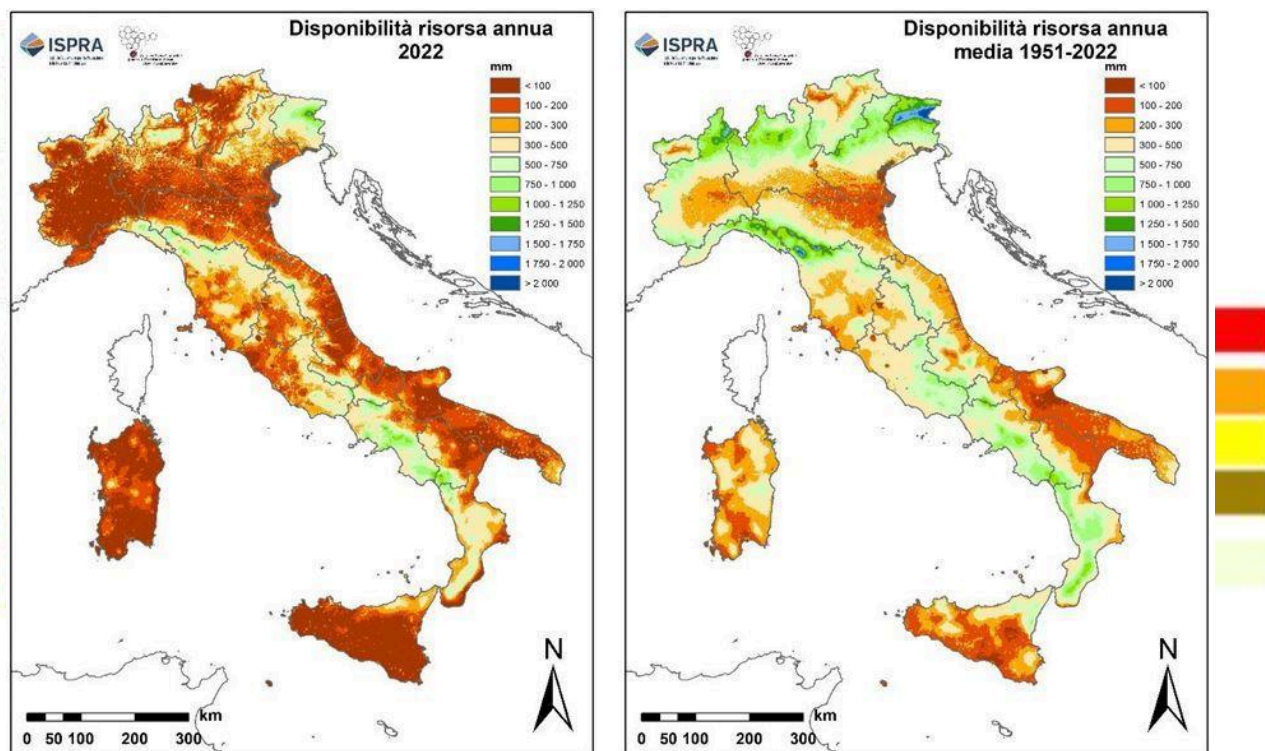


Figure 24 Carte de la disponibilité naturelle des ressources en eau au cours de l'année 2022 et de la moyenne au cours de la période 1951-2021

Le nord de l'Italie est l'une des régions agricoles les plus importantes d'Europe et est également un point chaud touché par des événements météorologiques extrêmes dans le monde. À l'été 2022, une sécheresse extrême a de nouveau frappé l'Europe, causant d'importants dégâts dans les régions agricoles du nord de l'Italie. Cependant, aucune étude à ce jour n'a révélé les impacts potentiels et l'ampleur d'une sécheresse extrême sur cette zone agricole cruciale à l'échelle régionale. Par conséquent, une compréhension complète de la sécheresse agricole nécessite encore des éclaircissements supplémentaires et une analyse différenciée des facteurs.

La saison hivernale 2021/22 dans le bassin du Pô a été anormale, compte tenu des conditions plus chaudes que d'habitude et de la rareté des précipitations. Une analyse récente de Météo Suisse, de l'ARPA Piémont et de l'ARPA Lombardia a estimé une anomalie de température de +2,1 °C et un déficit pluviométrique moyen de 65 % par rapport à la moyenne 1991-2020. Le grave déficit pluviométrique a affecté les ressources en eau de l'ensemble de la zone concernée. La concurrence de l'eau en provenance de différents secteurs a commencé plus tôt que d'habitude, en particulier au début de la période d'irrigation, généralement prévue pour avril. La sécheresse a fortement influencé le volume d'eau utilisable dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaires.

L'indicateur combiné de sécheresse (CDI) de l'Observatoire européen de la sécheresse (EDO) est utilisé pour identifier les zones qui pourraient être touchées par la sécheresse agricole dans un avenir

France – Italia ALCOTRA

proche. L'ICD est dérivé de la combinaison de l'indice de précipitation normalisé (IPS), de l'anomalie de l'indice d'humidité du sol (SMA) et de l'anomalie

Les zones sont classées selon trois classes primaires de sécheresse : (1) « Veille », qui indique que les précipitations sont inférieures à la normale ; (2) « Avertissement », qui indique que l'humidité du sol est également déficitaire ; et (3) « Alerte », qui indique que la végétation montre également des signes de stress. Deux autres classes, « Récupération partielle » et « Récupération », identifient les phases du processus de récupération de la végétation. Au début du mois de mars 2022, le CDI affiche des niveaux « Veille » ou « Avertissement » dans le nord-ouest de l'Italie. La zone concernée couvre la partie ouest et nord du bassin du Pô, soulignant l'importance de l'événement en termes d'extension et de gravité (Figure 23). Comme nous l'avons déjà mentionné, la quantité de précipitations dans les mois à venir (avril-juin) sera cruciale en termes d'impacts.

FAPAR.

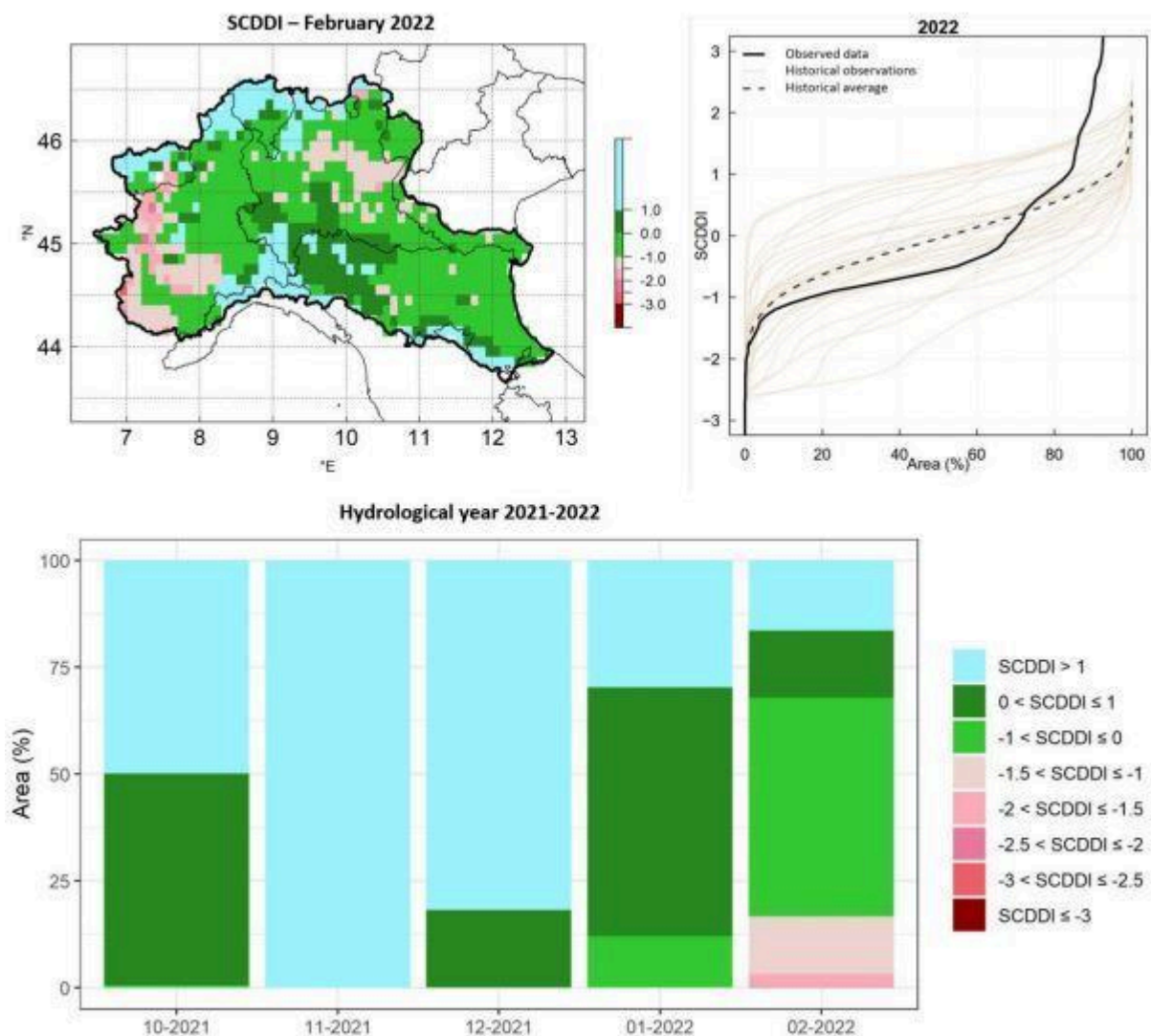


Figure 25 Indice normalisé des jours secs continus (SCDDI) d'octobre 2021 à février 2022. Les zones rouge clair à foncé sont celles où la durée des journées sèches a été critique. Source : Observatoire permanent de l'utilisation de l'eau - Autorité de bassin du Pô.

L'indicateur d'équivalent en eau de la neige (40 % des conditions médianes de 2009-2021) a montré une faible accumulation de neige, avec des valeurs extrêmement basses dans les Alpes du Sud pendant l'hiver. Les températures hivernales plus chaudes ont également contribué à la réduction de l'accumulation de neige. En raison d'une saison hivernale légèrement plus chaude que d'habitude, un début plus précoce de la saison de croissance correspond à des conditions meilleures que la normale pour la croissance de la végétation dans la région. Cependant, le manque de précipitations a eu de graves répercussions sur le secteur agroalimentaire. Compte tenu des anomalies par rapport aux conditions de 1991 à 2020 (Figure 23), un classement qualitatif et quantitatif de l'hiver 2021-2022 par rapport aux années récentes peut être fourni. L'hiver 2021-2022 a été le plus sec et le plus doux en Lombardie, dans le Piémont, dans le sud de la Suisse et dans le sud-est de la France au cours des 30 dernières années au moins, selon les données disponibles pour ce rapport. L'hiver 2018/19 a été similaire, mais avec des anomalies un peu moins marquées. L'hiver 2019/20 a connu des températures plus élevées, mais les précipitations ont été proches de la moyenne saisonnière.

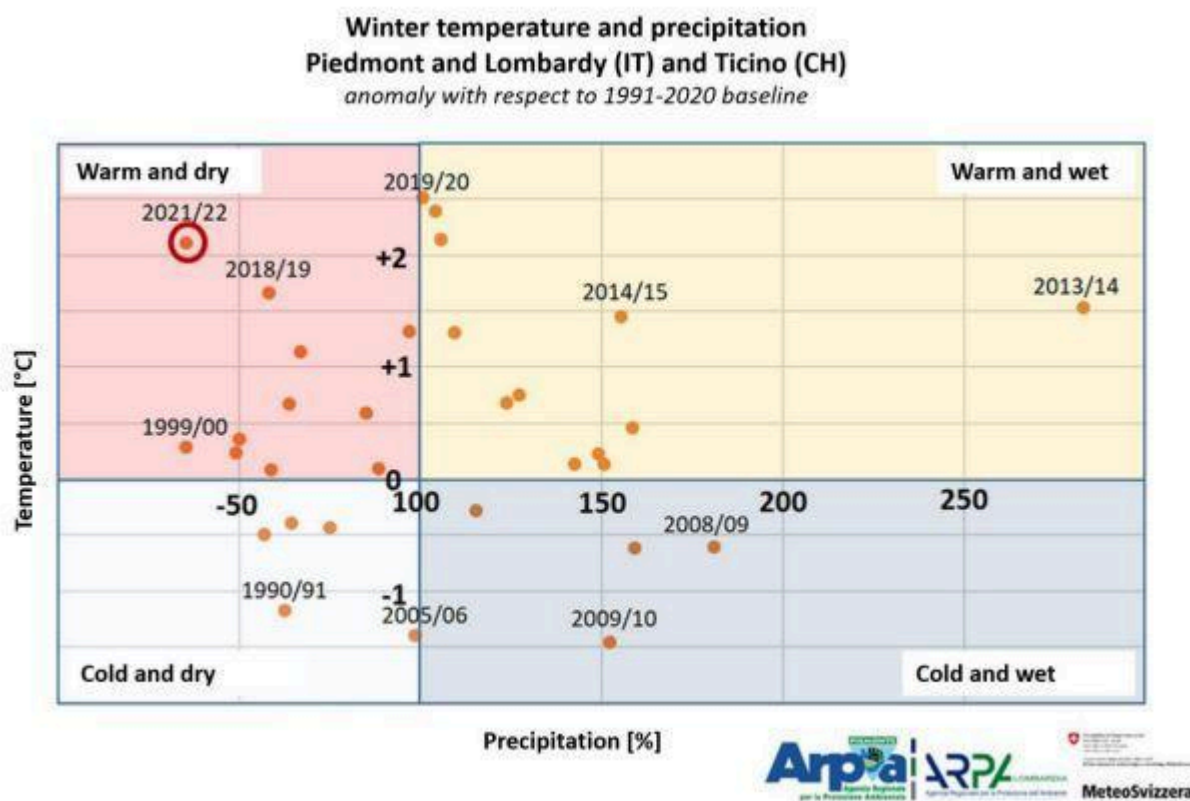


Figure 26 Anomalies par rapport à la moyenne 1991-2020 de la température hivernale moyenne (axe vertical) et des précipitations hivernales totales (axe horizontal) de 1990/91, calculées sur 31 stations de surveillance. Source : MétéoSuisse, ARPA Piémont et ARPA Lombardie.

Dans le Piémont, la rareté de l'eau d'un point de vue météorologique est bien représentée par le SPI (Standard Precipitation Index) qui, pour 2021/2022, affiche des valeurs négatives sur toutes les échelles de temps (à court et à long terme). En particulier, cette combinaison hiver-printemps (et début de l'été) est la plus sèche des 65 dernières années après celle de 2002-2003. La sécheresse de

6 mois est extrême dans presque toute la région, avec des valeurs d'indice que l'on ne trouve qu'une fois tous les 70 ans environ et la sécheresse de 12 mois est extrême dans les plaines, sur les bassins de Cuneo, dans les vallées de Lanzo et sur Sesia et Cervo, et sévère ailleurs.

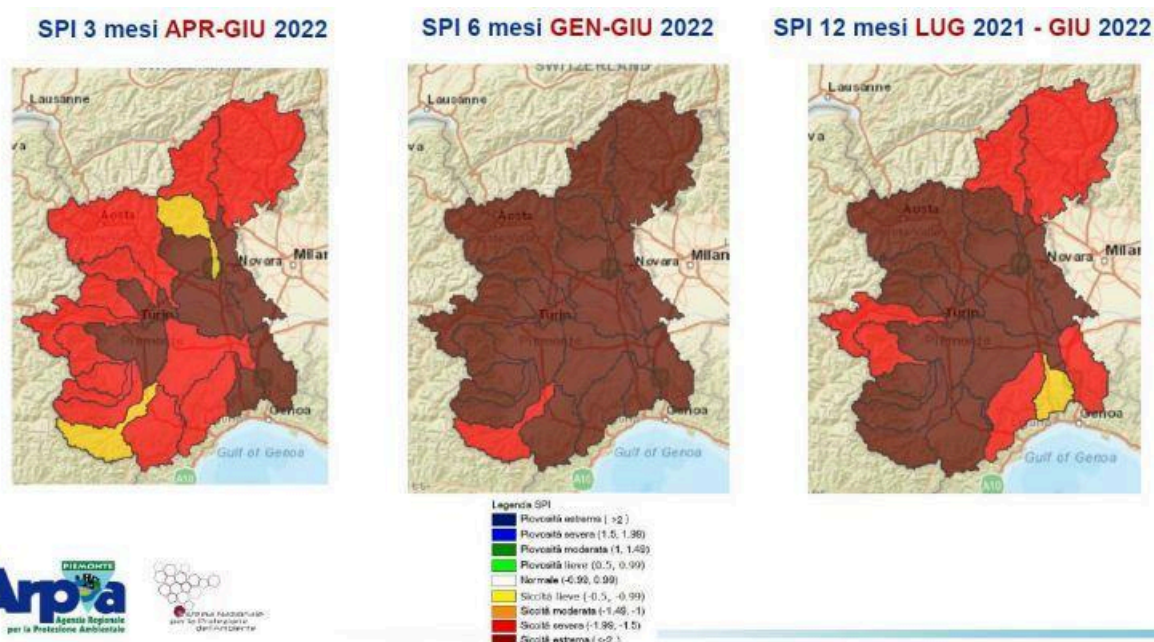


Figure 27 Anomalie de précipitations SPI en 2021-2022. Source Arpa Piemonte

Le tableau extrêmement critique présentait des caractéristiques encore plus extrêmes en 2022 en termes de débits des cours d'eau qui, déjà réduits à des valeurs très proches des creux historiques des premiers mois de l'année en raison de l'absence de précipitations, n'ont pas trouvé de soulagement dans les écoulements doux habituels alimentés par la fonte des neiges ou dans les apports qui caractérisent habituellement la saison printanière. Au cours d'un mois notoirement très pluvieux comme le mois de mai, il n'y a eu que quelques précipitations dans les premiers jours, avec une récupération conséquente des débits des rivières, mais la phase ultérieure plus sèche et plus chaude a conduit à une baisse progressive à des valeurs très proches, voire inférieures aux minimums historiques. En moyenne, les débits ont été inférieurs de 80 % à ceux de référence historique. Toujours le long du Pô, les débits sont observés en moyenne 80 % inférieurs aux références historiques et, en correspondance avec les aréomètres, les valeurs mensuelles calculées sont les plus basses jamais enregistrées depuis que les stations sont en service.

### Quel a été l'impact de la crise climatique sur la zone en question ?

Il est maintenant évident que la crise climatique intensifie les événements météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les sécheresses, les inondations et les tempêtes dans le monde entier. Ces événements endommagent des biens, perturbent des vies et des moyens de subsistance, et peuvent même être mortels. L'Italie et la France sont des pays à l'avant-garde des phénomènes météorologiques extrêmes et d'autres impacts dus à la crise climatique, qui ont un impact en cascade sur la nation européenne, affectant tout, de la santé publique à l'agriculture et à l'industrie. Les projections des modèles climatiques pour l'Europe indiquent que les sécheresses météorologiques, dues au manque de précipitations, deviendront de plus en plus fréquentes et graves, en particulier dans la seconde moitié du XXIe siècle (9). En ce qui concerne la vallée du Pô et, plus généralement, la

zone méditerranéenne, les projections à l'horizon 2100 issues des modèles climatiques développés dans le cadre de la sixième phase du projet d'intercomparaison de modèles couplés suggèrent que la fréquence et l'intensité des sécheresses augmenteront avec un degré de confiance élevé. Cependant, il n'est pas encore clair si les observations hydrométéorologiques montrent une tendance à la gravité de la sécheresse ; L'identification d'un signal de changement climatique est encore limitée à des événements météorologiques individuels ou à des comportements météorologiques sous-régionaux. Si l'on examine les données historiques, divers indicateurs de l'occurrence des précipitations en Europe pour la période 1850-2018 indiquent une absence générale de tendances à long terme. Le problème de l'identification et de l'explication des tendances à long terme est encore plus difficile lorsque l'on examine le débit des rivières et donc les sécheresses hydrologiques, en raison de la présence d'influences humaines locales telles que le changement d'affectation des terres et les prélèvements d'eau. De plus, la durée des séries chronologiques d'écoulement fluvial est souvent limitée à environ 100 ans au maximum. Cependant, les décisions de gestion de l'eau et les mesures d'adaptation aux changements climatiques seraient mieux éclairées par une compréhension globale des tendances du débit des rivières sur de longues périodes. La sécheresse de 2022 résume tous ces aspects : les précipitations cumulées de novembre 2021 à juillet 2022 n'ont pas été exceptionnellement basses, soulignant ainsi que des facteurs supplémentaires autres que la faible pluviométrie ont exacerbé la sécheresse hydrologique de 2022. Les questions d'intérêt sont donc les suivantes : la sécheresse de 2022 s'inscrit-elle dans une tendance à long terme où les sécheresses dans la région en question augmentent en fréquence et en gravité ? Et, si oui, quelles sont les causes de ces tendances ? [20] [21]

### *Pertes d'activités de production*

La situation climatologique sèche des mois d'hiver de 2021 et le faible niveau d'eau des canaux d'irrigation ont conduit les agriculteurs piémontais des plaines à pencher vers le semis de blé, d'orge, d'avoine au lieu de maïs et pour le semis sec de riz au lieu de la technique traditionnelle dans l'eau. Le semis à sec nécessite environ 1/5 de l'eau pour la culture par rapport à la technique traditionnelle. Bien que le choix de la culture ait été judicieux, le manque de précipitations dans les mois suivants a affecté la réduction de la production attendue. Les données thermopluviométriques collectées par le réseau agrométéorologique régional sur le territoire agricole piémontais démontrent la situation extrêmement critique qui s'est produite en 2022. La faible pluviométrie de mai et début juin a garanti une certaine reprise des processus végétatifs et de production. Cependant, le déficit qui s'est créé au cours des mois précédents est loin d'être comblé, notamment dans les champs cultivés avec du riz et du maïs. À la fin du mois de mai, les précipitations cumulées depuis le début de l'année fluctuent approximativement, en fonction des zones agricoles du Piémont, entre 20 % et 50 % par rapport aux valeurs moyennes de la période. À tout cela s'ajoutent des anomalies thermiques mensuelles avec des valeurs supérieures à la moyenne qui contribuent à l'augmentation de la consommation d'eau par les cultures. Au cours de la dernière période, l'importance de la persistance de valeurs thermiques journalières très élevées (appelées vagues de chaleur) a également été soulignée. Ce fait détermine au niveau physiologique de la culture une baisse potentielle de la productivité due à une réduction des processus photosynthétiques (voire un arrêt en cas de dépassement des températures cardinales maximales des différentes cultures) et de la consommation de substances énergétiques précédemment accumulées.

### *Hausse des températures*

Selon l'Agence internationale de l'énergie, les températures annuelles moyennes dans la zone du projet ont augmenté de 1 degré Celsius au cours des 100 dernières années, avec une augmentation encore plus rapide au cours des dernières décennies. Ce réchauffement a été particulièrement répandu au printemps et en été, en haute altitude, et a entraîné de plus en plus de vagues de chaleur et de sécheresses. À l'été 2023, une vague de chaleur que la Société météorologique italienne a appelée « Cerberus », le monstre à trois têtes de « L'Enfer » de Dante, a ébouillanté l'Italie avec des températures dépassant les 45 degrés Celsius dans certaines parties du pays. Le « dôme de chaleur » de longue durée est devenu si intense que le ministère italien de la Santé « a émis une alerte rouge (signifiant » risque de mort) dans 27 villes », rapporte CNN. Il s'agit notamment d'importants centres touristiques tels que Rome, Florence et Bologne. Plus tard le même été (2023), dans le nord de l'Italie, Milan a enregistré sa température quotidienne moyenne la plus élevée depuis 260 ans.

### *Problèmes de disponibilité de l'eau : eaux de surface*

La hausse des températures et les changements dans le cycle des pluies provoquent des sécheresses plus fréquentes dans la région. Cela crée de graves problèmes pour l'agriculture, l'approvisionnement en eau et l'économie liée à la chaîne agroalimentaire. La sécheresse, en particulier, est devenue un problème croissant ces dernières années. La sécheresse qui a frappé le nord de l'Italie et le sud-est de la France en 2022 est sans précédent depuis plus de deux siècles et s'inscrit dans une tendance à long terme de sécheresses plus fréquentes et plus graves dans la région, écrit Nature. L'année 2022 a été particulièrement grave, le Pô, le fleuve le plus long et le plus important d'Italie, ayant enregistré des niveaux d'eau record. Cet assèchement, à son tour, a mis en péril jusqu'à 40 % du secteur agricole italien. L'agriculture italienne est un secteur crucial pour l'économie et l'identité nationale, et la réduction de la disponibilité de l'eau due à la sécheresse endommage les cultures et entraîne des pertes de récoltes et des difficultés économiques pour les agriculteurs. La sécheresse de 2022 dans le nord de l'Italie a causé à elle seule des dommages à l'agriculture de 6 milliards d'euros (6,5 milliards de dollars américains) et mis en péril des milliers d'exploitations agricoles. À l'avenir, les experts prévoient que les sécheresses risquent de devenir plus fréquentes et plus intenses en Italie en raison de la crise climatique. En plus des impacts ci-dessus sur l'agriculture et la production d'énergie, ces conditions de sécheresse augmenteront encore le risque d'incendies de forêt comme ceux que le pays a connus ces dernières années.[15][35]

### *Problèmes de disponibilité de l'eau : niveau de la nappe phréatique*

Le réseau de surveillance des eaux souterraines géré par Arpa Piemonte se compose de 593 points : 383 sont liés au système aquifère de surface, 202 au système aquifère profond et 8 sources. 114 de ces points de surveillance mesurent en continu l'assujettissement (distance entre le niveau du sol et le niveau de l'eau dans l'aquifère) et la température. La zone de surveillance, à laquelle appartiennent les points de surveillance susmentionnés, est divisée en 18 masses d'eau souterraines (GWB) relatives au système d'eau souterraine de surface des plaines et des fonds de vallée et 6 au système d'eau souterraine profonde.

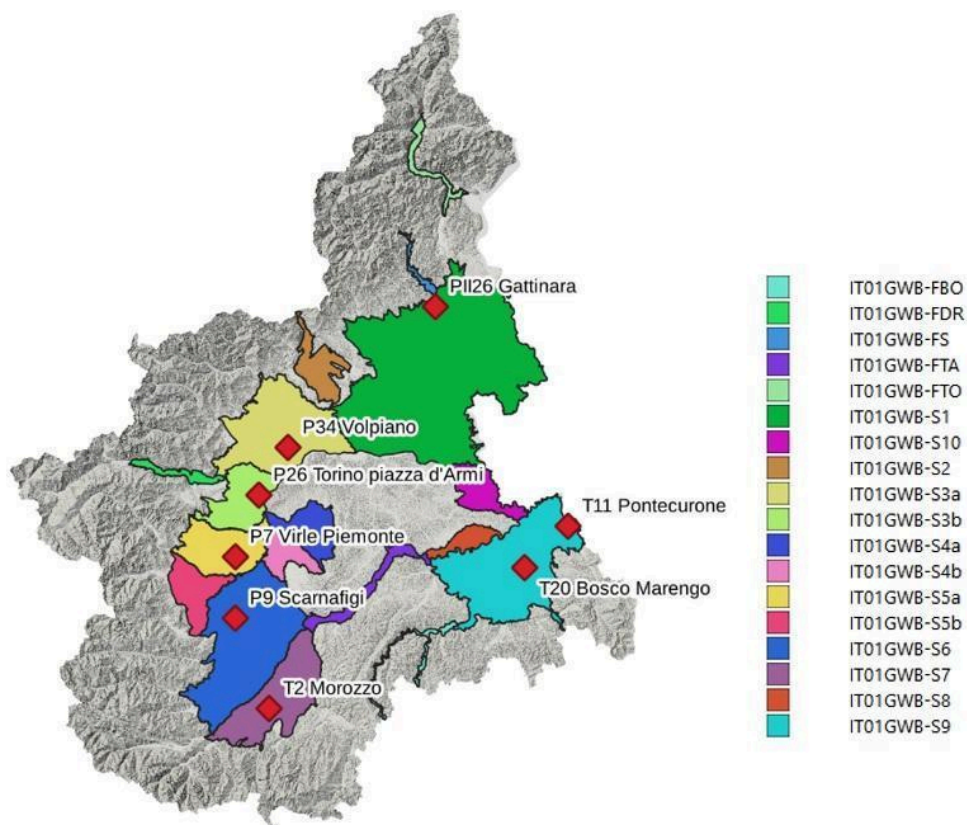
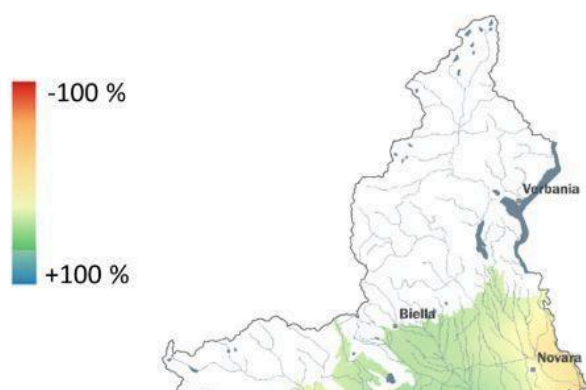


Figure 28 Localisation des points de mesure et des bassins souterrains

Un sous-ensemble de piézomètres de l'aquifère peu profond est instrumenté pour transmettre des données en temps réel, tandis que les autres sont téléchargés deux fois par an. Les données de 8 d'entre eux ont été analysées pour évaluer la situation d'abaissement des aquifères de surface par rapport à la sécheresse en cours. Les données montrent dans certains cas une tendance à la baisse constante et parfois rapide du niveau. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une nouveauté que l'on peut déjà détecter dans les séries chronologiques de données à partir des années 2000, cette tendance apparaît très nette et constitue donc un indice inquiétant d'appauvrissement quantitatif de l'aquifère de surface qui est directement affecté par le manque de contributions du système hydrologique de surface. L'agrégation des données de plusieurs piézomètres, comparables dans leurs caractéristiques, donne une indication de la tendance du GWB dans son ensemble. La représentation des variations saisonnières du niveau de l'aquifère de surface, agrégée par GWB, montre une baisse générale du niveau dans toutes les zones du Piémont pour 2022, avec des valeurs d'assujettissement inférieures à la bande de fluctuation (> 75e centile) : la gradation de couleur met en évidence les GWB avec des valeurs d'assujettissement progressivement plus descendantes [34]

Figure 29 Carte de la différence en pourcentage entre la subsistance moyenne de 2022 et celle de l'année moyenne historique dérivée de la période 2005-2021.



La différence en pourcentage entre l'assujettissement moyen de l'année 2022 et celle de l'année moyenne de la période 2005-2021 montre l'écart et la distribution de la distance de l'aquifère par rapport au niveau du sol au cours de la dernière année.

Dans deux « macro-zones », un abaissement significatif du niveau de l'aquifère émerge : le premier, dans la partie sud-est du Piémont, et le second dans la partie sud-ouest. La portion à l'extrémité nord, en revanche, a des valeurs stationnaires par rapport à la moyenne historique.

### Questions réglementaires et conflictuelles concernant les ressources en eau

Les sécheresses affectent également l'utilisateur final de l'eau bleue en raison de la réduction de la disponibilité de l'eau. Nous analysons brièvement, à titre indicatif seulement, les ordonnances d'urgence adoptées au niveau municipal. Ces ordonnances ont certainement été l'outil institutionnel le plus utilisé lors de la crise de l'eau de 2022 en Italie. Il n'est pas encore certain qu'à l'avenir il sera possible d'avoir des lois plus organiques aptes à concilier les intérêts, publics et privés, opposés et insistantes sur la même ressource. Reconnaisant que la situation météorologique, climato-environnementale en Europe aura tendance à évoluer vers des températures plus élevées et des épisodes de sécheresse plus fréquents, avec des effets significatifs sur le cycle hydrologique et sur la disponibilité des ressources en eau, on peut dire que les conflits pour l'utilisation et la gestion de l'eau pourraient à leur tour s'intensifier et atteindre les territoires qui, Historiquement, ils n'ont jamais été touchés par ce type d'événement. Cela est particulièrement vrai pour les zones géographiques qui dépendent fortement de la neige pour l'approvisionnement en eau et cela parce que la neige est exposée à un risque considérable en cas de réchauffement climatique, avec préjudice du processus naturel de sorte que l'eau est stockée en hiver et libérée au printemps-été, lorsque les demandes d'utilisation augmentent et, Dans le même temps, les précipitations diminuent.

### Le cadre juridique

**Actes de l'État.** La crise de l'eau de 2022 a progressivement touché l'ensemble des régions du centre-nord, conduisant le Conseil des ministres (ci-après également « CdM ») à déclarer, le 4 juillet 2022, « l'état d'urgence pour cause de sécheresse », relatif à la situation de déficit hydrique dans les territoires des Régions et Provinces autonomes relevant des bassins départementaux du Pô et des Alpes orientales, ainsi que pour les conditions et les besoins particuliers détectés sur le territoire des régions de l'Émilie-Romagne, du Frioul-Vénétie Julienne, de la Lombardie, du Piémont et de la Vénétie. En raison de la situation de déficit hydrique prolongé, le 1er septembre 2022, avec une nouvelle résolution du Conseil des ministres, l'état d'urgence a été étendu aux territoires des régions de Ligurie et de Toscane relevant du bassin du nord des Apennins.



Regioni che ricadono  
nei Decreti del CdM  
dichiaranti lo "stato di  
emergenza" (2022)

Figure 30 Régions italiennes qui relèvent du décret « état d'urgence » (2022).

Compte tenu de la persistance de la période de sécheresse, le Conseil

des ministres, par une résolution du 28 décembre 2022, a prolongé ledit « état d'urgence en raison de la crise de l'eau » pour douze mois supplémentaires, pour le Piémont, la Lombardie, l'Émilie-Romagne, la Vénétie, le Frioul-Vénétie Julienne, l'Ombrie, le Latium, la Toscane, la Ligurie et les Marches. La première conséquence de la délibération de l'état d'urgence est l'allocation de fonds pour financer les interventions considérées comme les plus urgentes, autorisant des dépenses au titre du Fonds national d'urgence. La durée de l'état d'urgence ne peut excéder douze mois et ne peut être prolongée de douze mois au plus. Dans ce contexte, le Département de la Protection Civile (ci-après, également DPC) a constamment surveillé l'évolution du temps et du climat en cours et, en tant que membre des Tables des Observatoires de la Sécheresse, la disponibilité de l'eau dans les différentes zones territoriales, également grâce à une étroite collaboration avec les Régions, les Provinces Autonomes, les Ministères et les Organismes Nationaux de Recherche. En particulier, le DPC a fourni des indications utiles sur les tendances à moyen et long terme des prévisions météorologiques et climatiques, afin de contribuer à l'élaboration de scénarios de disponibilité en eau conjointement ou par les observatoires eux-mêmes. Les mesures de protection civile, mises en œuvre pendant la phase d'urgence et nécessaires à une gestion proactive des épisodes de pénurie d'eau, ont permis d'atténuer significativement les désagréments pour la population, notamment en ce qui concerne les besoins en eau potable (camions-citernes pour le transport et la fourniture d'eau en citernes, points de distribution de la ressource en eau par camions-citernes, la construction de réservoirs temporaires et d'accumulations, la pose d'unités de pompage, l'activation de nouvelles sources, la pose de conduites provisoires pour le renforcement du réseau d'adduction et de distribution, la construction de nouveaux puits, etc.). [37]

**Lois régionales.** Les mesures visant à faire face à la sécheresse de 2022 ont été principalement adoptées par les autorités locales. Néanmoins, des mesures importantes ont également été prises par diverses régions, à la suite de la demande et de l'activation de l'état d'urgence. Les Régions jouent un rôle de première importance sur le sujet en discussion, puisqu'elles sont investies de pouvoirs administratifs de gestion « ordinaire » des ressources en eau présentes sur le territoire sous leur juridiction et en vertu des tâches qui leur sont confiées, au niveau de la protection civile, lors de la gestion « d'urgence » de celles-ci. La Région Piémont, au début du mois de juin 2022, a demandé à l'État de déclarer l'état de calamité pour l'agriculture piémontaise et, par la suite, aux municipalités d'éviter le gaspillage. Auparavant, le Conseil régional avait déjà approuvé (décembre 2021), un document spécifique de « Mise en œuvre du Plan régional de protection des eaux (ZEP) », qui a été proposé comme un guide de base extrêmement pratique pour s'adapter aux changements de la disponibilité des ressources en eau sur le territoire piémontais et qui constitue, en outre, une composante de la Stratégie régionale d'adaptation au changement climatique.

#### Lois municipales. Le pouvoir d'ordonnance syndicale

Depuis l'observation des premiers effets de la sécheresse de 2022, en particulier dans le nord de l'Italie, il y a eu une forte « réaction réglementaire » des municipalités, souvent pressée par les autorités régionales, visant à prévenir, endiguer ou gérer la pénurie d'eau dans leurs territoires de compétence. Le résultat de cette réaction est que de nombreuses municipalités ont émis des « ordonnances syndicales d'urgence » pour faire face à un danger qualifié, actuel et concret afin de prévenir ou d'éliminer les dangers graves pour la sécurité de leurs citoyens. Les maires ont le pouvoir d'émettre des ordonnances d'urgence pour protéger la santé publique et la sécurité des citoyens dans les situations d'urgence, y compris les crises de l'eau. En outre, le décret législatif 152/2006 (loi consolidée sur l'environnement) établit que la gestion des ressources en eau doit garantir la

satisfaction prioritaire des besoins humains essentiels, laissant aux municipalités la possibilité d'intervenir avec des mesures restrictives. Les ordonnances municipales peuvent être des outils efficaces pour :

- Limiter les déchets : en interdisant l'utilisation de l'eau potable pour des usages non essentiels (arrosage, lavage de voiture, remplissage des piscines).
- Réguler les délais d'attente : en imposant des créneaux horaires pour l'arrosage des jardins et l'utilisation des fontaines publiques.
- Renforcer le contrôle et la sensibilisation : informer les citoyens sur les mesures à prendre pour une utilisation plus responsable de l'eau.

La situation en France est très similaire. Des restrictions d'utilisation de l'eau sont mises en œuvre pendant les périodes de sécheresse afin de préserver les ressources en eau. Ces restrictions sont déterminées au niveau départemental ou communal et varient en fonction de la gravité de la sécheresse, classées en quatre niveaux : 1) **Vigilance** : pas de restrictions obligatoires ; les habitants sont encouragés à réduire volontairement leur consommation d'eau 2) **Alerte** : les restrictions obligatoires peuvent inclure des interdictions sur : Arroser les jardins à certaines heures, remplir les piscines, lavage de voitures, irrigation des cultures en période d'évaporation, 3) **Alerte Renforcée** : mesures plus strictes, telles que : 1) Restrictions supplémentaires sur l'utilisation de l'eau pour l'agriculture, 2) interdiction d'irrigation des espaces verts publics, 4) **Crise** : restrictions strictes pour prioriser les besoins essentiels en eau, notamment : a) Interdiction d'utilisation non essentielle de l'eau, b) Assurer la disponibilité de l'eau pour la santé, la sécurité civile et l'arrosage.

Par exemple, en 2023, environ 1 022 communes françaises ont été désignées comme « zones de catastrophes naturelles » en raison de la sécheresse, ce qui a entraîné des mesures restrictives sur l'utilisation de l'eau. En période de sécheresse, les autorités locales peuvent imposer des restrictions sur l'utilisation de l'eau pour assurer la conservation des ressources en eau. Ces mesures varient en fonction de la gravité de la situation et peuvent inclure :

**Interdiction de remplir les piscines privées** : Dans certaines régions, comme les Pyrénées-Orientales, l'utilisation de l'eau du réseau public pour le remplissage des piscines et l'irrigation des golfs et des espaces verts a été interdite.

**Limitations de l'irrigation agricole** : Pendant les périodes de sécheresse extrême, des restrictions peuvent être imposées à l'irrigation des champs afin de préserver les ressources en eau.

**Restrictions pour les utilisations non essentielles** : Des activités telles que le lavage de véhicules ou l'arrosage de jardins privés peuvent être interdites.

La réaction législative et réglementaire des municipalités et le contexte dans lequel elle est mise en place, mettent en évidence un conflit sur la gestion de l'eau en Italie, qui pourrait s'aggraver dans un avenir proche. En fait, il est bien connu que la communauté scientifique estime que le changement climatique a pour effet principal l'augmentation de la température moyenne mondiale, ce qui met à son tour en danger, dans de nombreuses régions et en particulier dans la ceinture méditerranéenne, la quantité d'eau que l'humanité est amenée à considérer, dans de nombreux contextes, comme illimitée disponible pour toutes les différentes utilisations ; De la rareté de l'eau et, surtout, d'une régulation indéfinie de l'utilisation de l'eau rare, il est prévisible que des conflits surgissent entre les

usagers et entre les différents usages de l'eau (eau potable, hydroélectrique, touristique, agricole, etc.). Par conséquent, bien que les ordonnances municipales soient des outils légitimes et utiles dans la gestion des crises de l'eau, à condition qu'elles soient adoptées avec des critères de proportionnalité, de légalité et d'efficacité, afin d'être vraiment incisives, elles doivent être coordonnées avec des stratégies plus larges aux niveaux régional et national, tout en promouvant des mesures structurelles pour une gestion durable de l'eau.

## ÉTUDE PROSPECTIVE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DISPONIBILITÉ DE L'EAU

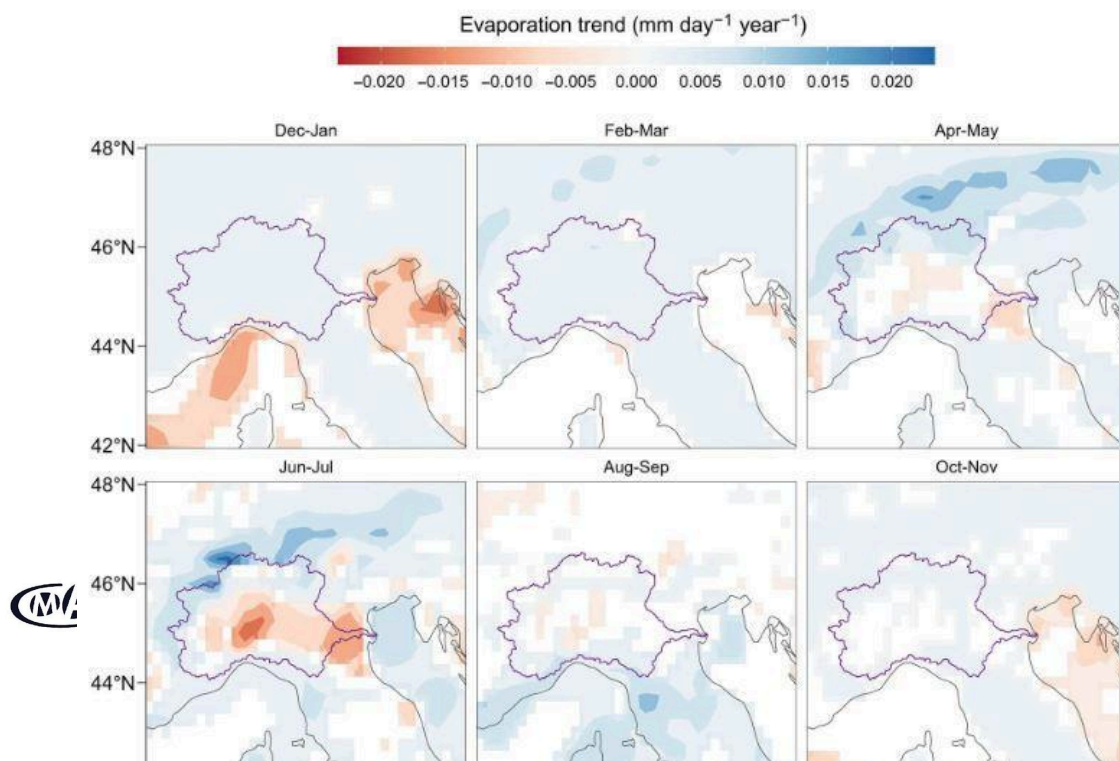
La sécheresse affecte de nombreux aspects de l'environnement et de la société, et toute augmentation future de la demande en eau sera plus critique en période de sécheresse grave. Les changements dans l'ampleur et la fréquence des sécheresses auront des impacts considérables sur la gestion de l'eau, l'agriculture et les écosystèmes aquatiques. Avec l'augmentation prévue de la température mondiale, les scientifiques s'accordent généralement à dire que le cycle hydrologique mondial va s'intensifier et suggèrent que les sécheresses extrêmes deviendront plus fréquentes. En Europe, les principaux effets risquent de se faire sentir sous la forme de changements dans la fréquence des événements extrêmes et des précipitations, provoquant davantage de sécheresses dans certaines régions et plus d'inondations fluviales ailleurs. Le rapport souligne que l'aggravation possible des sécheresses dans les parties méridionales du continent pourrait affecter l'approvisionnement en eau. Pour le confirmer, ces dernières années, les gouvernements italien et français ont déclaré l'état d'urgence dans plusieurs régions en raison de la sécheresse causée par le manque de pluie et la hausse des températures. À titre d'exemple, en 2023, pour aider les régions particulièrement touchées, l'Italie envoie 35 millions d'euros de fonds de secours distribués aux régions d'Émilie-Romagne, du Frioul-Vénétie Julienne, de Lombardie, du Piémont et de la Vénétie. « Pour le bassin du Pô, la crise de l'eau de 2022 est la plus grave de ces 70 dernières années, selon l'analyse de l'Autorité du bassin du Pô ». Les changements dans l'ampleur et la fréquence des sécheresses auront des répercussions considérables sur la gestion de l'eau et la chaîne agroalimentaire. Avec l'augmentation prévue de la température mondiale, les scientifiques s'accordent généralement à dire que le cycle hydrologique mondial va s'intensifier et suggèrent que les extrêmes deviendront ou sont déjà devenus plus courants. [30]

## Et l'avenir ?

Des recherches récentes montrent que l'ampleur de la sécheresse de 2022 est sans précédent au cours des deux derniers siècles et que cet événement s'inscrit dans une tendance à long terme caractérisée par une augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses, en particulier au cours des dernières décennies. Nous montrons également que les principaux facteurs sont les changements dans la saisonnalité du débit des rivières, probablement causés par un passage des précipitations solides aux précipitations liquides, la fonte précoce des neiges, l'augmentation de l'évaporation et l'augmentation des prélèvements d'eau pendant l'été. À l'avenir, les experts prévoient que les phénomènes météorologiques extrêmes deviendront probablement encore plus fréquents et plus graves dans la zone couverte par cette étude. L'impact sur les économies italienne et française pourrait être important. En l'absence d'une action décisive pour réduire les émissions, le PIB de l'Italie pourrait se contracter de 3,7 % d'ici 2050 en raison de facteurs tels que les dommages causés par des phénomènes météorologiques extrêmes et les perturbations dans des secteurs clés tels que l'agriculture. Ce chiffre passera à 8,5 % d'ici 2100 si aucune action climatique n'est rapide.[35]

### Changement de saisonnalité du débit des rivières

La baisse constante du débit estival des rivières, associée à l'augmentation constante du débit printanier, suggère qu'il y a eu un changement de saisonnalité au cours des deux derniers siècles. Pour déterminer si la tendance à la baisse du débit fluvial est causée par une diminution correspondante des précipitations, il est possible d'analyser l'évolution des précipitations cumulatives bimensuelles au cours de la période 1940-2022 à l'aide de l'ensemble de données ECMWF Reanalysis v5 (ERA5). ERA5 a été calculé en combinant les données du modèle avec les observations pour obtenir une représentation spatialement distribuée des précipitations à une résolution de 0,25°, permettant ainsi une estimation détaillée des précipitations moyennes sur de grands bassins versants. Les résultats montrent qu'aucune tendance négative significative ( $P < 0,1$ ) des précipitations dans la zone d'intérêt ne peut être détectée dans une fenêtre bimensuelle, confirmant ainsi les analyses précédentes des enregistrements d'observation des longues précipitations dans le nord de l'Italie. Par conséquent, les variations des précipitations au cours des différents mois n'apparaissent pas comme un facteur déterminant dans la tendance à la baisse du débit des rivières. De plus, aucune tendance significative des précipitations cumulées de novembre à juillet n'a pu être détectée pour les



périodes 1940-2022, 1960-2022, 1980-2022 et 2000-2022 (Fig. S5). Par conséquent, les changements dans les précipitations n'apparaissent pas comme un facteur déterminant de la tendance à la baisse du débit des rivières. Changement du régime de fonte des neiges et des précipitations solides Changement de saisonnalité (Figure 31) suggère que la forme des précipitations (pluie ou neige), plutôt que leur quantité totale, pourrait expliquer la tendance observée de l'écoulement fluvial.

*Figure 31 Changement de l'évaporation totale. Estimation de la tendance de l'évaporation pour la période 1940-2022 à partir des données de réanalyse bimensuelle ERA5. Seules des tendances significatives sont observées ( $P < 0,1$ ). La limite du bassin du Pô est indiquée en violet.*

Le réchauffement climatique a entraîné des changements dans les régimes d'enneigement, ce qui, à son tour, a décalé le moment des inondations en Europe et le moment du débit printanier des rivières alpines. La fonte des neiges induite par le réchauffement précoce a également entraîné une augmentation et une diminution de l'ampleur des inondations. Nous émettons donc l'hypothèse que les tendances observées et les changements dans la saisonnalité de l'écoulement du bassin du Pô en décembre, janvier et février soutiennent l'hypothèse selon laquelle les changements dans la fraction de neige, bien que non statistiquement significatifs, peuvent avoir contribué à l'augmentation des débits fluviaux au début du printemps.

### Variation de l'évaporation

Un troisième facteur pourrait être l'augmentation de l'évaporation. Conformément aux analyses effectuées pour les autres facteurs, les ensembles de données ERA5 ont été utilisés, qui fournissent des estimations de l'évaporation totale, y compris la transpiration de la végétation. Comme le montre le [35]Figure 31, les tendances de l'évaporation bimensuelle dans le bassin du Pô sont principalement positives. Cette augmentation de l'évaporation totale, en particulier le long de la chaîne alpine, est d'une importance capitale dans la zone d'intérêt, car l'évaporation dans les Alpes peut être supérieure à la moyenne malgré de faibles précipitations, amplifiant ainsi le déficit de ruissellement. Notons la présence de quelques zones à tendance décroissante (pour les mois de juin et juillet), qui n'influencent cependant pas beaucoup la tendance de l'évaporation annuelle totale dans le bassin du Pô. Au cours de la période 1940-2022, il y a une tendance statistiquement significative. Cette tendance à la hausse s'est accentuée depuis 1980. Par conséquent, l'augmentation de l'évaporation à travers le bassin apparaît comme un facteur moteur supplémentaire et important.

### Changement des prélèvements d'eau

Un quatrième facteur peut être le prélèvement d'eau, en particulier en raison des prélèvements d'eau de surface pour l'irrigation, qui représentent la majorité (~75 %) des prélèvements totaux du tronçon du Pô. Les consortiums d'irrigation ont constaté une augmentation de la demande en eau au printemps et en été ces derniers temps, principalement en raison de l'anticipation de la saison d'irrigation. Pour tester l'importance de ce facteur supplémentaire, on peut analyser les données de grille pour le bassin du Pô à partir d'un ensemble de données mondiales sur l'utilisation sectorielle de l'eau de 1970 à 2010, qui révèle des tendances négatives, mais non significatives, des prélèvements d'eau pour l'irrigation pendant l'été. Cependant, il se peut que cet ensemble de données ne prenne pas en compte en détail les caractéristiques locales et, par conséquent, nous analysons les progrès dans le bassin du Pô de la zone équipée pour l'irrigation, qui a considérablement augmenté au fil du

temps, passant de 0,86 million d'hectares en 1900 à 1,38 million d'hectares en 1960, jusqu'à 1,63 million d'hectares en 2015. Ce modèle reflète le développement de l'infrastructure hydraulique des années 1940 aux années 1960, suivi d'un plateau global jusqu'à nos jours, ce qui soutient l'hypothèse selon laquelle l'irrigation a augmenté avec une tendance similaire. L'analyse complémentaire des autres usages sectoriels de l'eau révèle des tendances à la hausse statistiquement significatives des prélèvements d'eau domestique pendant l'été. Dans l'ensemble, les résultats ci-dessus soutiennent l'hypothèse selon laquelle les prélèvements d'eau ont augmenté de manière significative au fil du temps pendant toute la période d'observation.[39][25][26]

L'analyse de la littérature montre que la tendance à la baisse à long terme des flux estivaux dans la zone d'intérêt, qui s'est accentuée depuis 1940, est due à la superposition de plusieurs facteurs. Parmi elles, la réduction du régime de précipitations solides, l'anticipation de la fonte des neiges et l'augmentation de l'évaporation totale remontent à l'augmentation des températures dans la région après le petit âge glaciaire et, plus récemment, sous le réchauffement climatique. L'augmentation de la température dans le bassin est particulièrement évidente depuis le milieu du XXe siècle par rapport aux valeurs correspondantes des deux derniers siècles, ce qui se traduit par une évaporation particulièrement forte au cours des 40 dernières années et au cours des mois de juin et juillet, confirmant ainsi le réchauffement comme l'une des racines de la tendance à long terme observée dans les débits estivaux du Pô. Un quatrième facteur est l'expansion des superficies irriguées, qui s'est produite principalement avant le milieu du XXe siècle, ce qui a entraîné une augmentation des prélèvements d'eau de surface, aggravée par l'augmentation des prélèvements d'eau domestique. L'utilisation de l'eau a un effet beaucoup plus important sur les tendances de faible débit que les débits élevés ou moyens, ce qui explique pourquoi les sécheresses hydrologiques du Pô sont souvent amplifiées par rapport aux sécheresses météorologiques. Nos résultats confirment que des interactions complexes entre différents facteurs, notamment la variabilité et le changement climatiques, l'utilisation et le changement de la couverture terrestre, et la gestion de l'eau, déclenchent des sécheresses hydrologiques. Cependant, une quantification rigoureuse de la contribution relative de chacun des facteurs ci-dessus à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses nécessiterait des données sur les prélèvements d'eau actuellement indisponibles sur le bassin versant et des informations climatiques spatialement distribuées étendues dans le temps. De plus, les rétroactions composées dans le processus de sécheresse limitent l'analyse exhaustive de l'attribution. Cependant, on peut dire que la combinaison des causes ci-dessus, associée à des précipitations cumulées modérément inférieures à la normale, a provoqué en 2022 la pire sécheresse hydrologique jamais observée depuis 1807, dont la période de retour a été estimée à plus de quatre siècles pour les débits estivaux. À l'avenir, nous nous attendons à ce que le réchauffement climatique en cours exacerbe les tendances analysées ici. À son tour, leur chevauchement risque d'aggraver la gravité et la fréquence des sécheresses hydrologiques, dépassant peut-être l'ampleur de l'événement de 2022. Cela nécessite une recherche urgente de solutions pour atténuer les risques environnementaux et sociaux, assurant ainsi la durabilité des écosystèmes et des ressources en eau.

## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET EMPREINTE EAU

Le changement climatique affecte profondément les ressources mondiales en eau, avec des conséquences directes sur l'empreinte eau des produits agroalimentaires. À mesure que les températures augmentent et que les régimes de précipitations changent, la durabilité de l'utilisation de l'eau dans la production alimentaire est confrontée à des défis croissants.

## Augmentation de la rareté de l'eau et de la demande d'eau agricole

Le changement climatique intensifie la pénurie d'eau, en particulier dans les régions où l'agriculture dépend fortement de l'irrigation. Des températures plus élevées entraînent une évapotranspiration plus élevée, ce qui signifie que les cultures ont besoin de plus d'eau pour maintenir leur croissance. Cela augmente l'empreinte eau bleue de la production alimentaire, car les agriculteurs dépendent davantage de l'irrigation pour compenser la réduction des précipitations. En outre, les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les sécheresses prolongées et les vagues de chaleur, exercent une pression supplémentaire sur les ressources en eau douce, ce qui rend la production alimentaire moins efficace.

## Changements dans l'utilisation de l'eau et les rendements des cultures

Les changements de précipitations et de température affectent la disponibilité de l'eau verte, qui est cruciale pour l'agriculture en eau de pluie. Dans les régions où les précipitations diminuent, les cultures qui dépendaient traditionnellement de l'eau de pluie peuvent avoir besoin d'une irrigation supplémentaire, ce qui augmente leur empreinte hydrique. De plus, les conditions climatiques changeantes peuvent réduire les rendements des cultures, ce qui signifie qu'il faut plus d'eau par unité de nourriture produite. Cette inefficacité contribue à une empreinte hydrique plus élevée et à une concurrence accrue pour les ressources en eau rares. En particulier, les territoires alpins et les piémont de la fonte des neiges, qui dépendent de la fonte des neiges comme principale source d'eau, sont très vulnérables aux effets du changement climatique. Ces régions dépendent du manteau neigeux saisonnier pour l'eau potable, l'agriculture, l'hydroélectricité et le tourisme. Cependant, la hausse des températures et la dynamique changeante des précipitations modifient considérablement les cycles d'accumulation et de fonte de la neige, ce qui affecte directement l'empreinte hydrique de divers secteurs.

### *Diminution de la couverture neigeuse et de la disponibilité de l'eau*

L'une des conséquences les plus immédiates du changement climatique dans les régions alpines est la réduction de la couverture neigeuse. En fait, les températures plus élevées provoquent la fonte des neiges plus tôt, ce qui entraîne une pénurie d'eau en été, lorsque la demande est plus élevée. De plus, la réduction de l'accumulation de neige a des conséquences directes sur la réduction de la quantité d'eau stockée disponible pour un rejet progressif dans les rivières et les aquifères. De même, l'augmentation des précipitations hivernales, qui remplacent les chutes de neige traditionnelles, modifie les habitudes de stockage de l'eau et les périodes de ruissellement. Ce changement perturbe la disponibilité saisonnière de l'eau, augmentant la dépendance à l'égard de sources alternatives telles que les aquifères et les réservoirs, augmentant ainsi l'empreinte eau bleue des activités gourmandes en eau.

### *Impact sur les besoins en agriculture et en irrigation*

L'agriculture dans les vallées alpines dépend de l'eau de fonte de la neige pour l'irrigation. À mesure que la fonte des neiges devient moins fiable, les entreprises agroalimentaires devront utiliser davantage les eaux souterraines ou les réserves d'eau, ce qui augmentera l'empreinte eau bleue des cultures. L'empreinte eau verte (utilisation d'eau de pluie) pourrait également diminuer pendant les années plus sèches, ce qui obligerait à passer à une irrigation plus intensive, ce qui exercerait une pression supplémentaire sur les ressources en eau. En conséquence, la dépendance vis-à-vis des réservoirs augmentera, ce qui peut, à son tour, augmenter les pertes par évaporation et l'empreinte eau bleue.

### *Augmentation de l'empreinte des eaux grises en raison des problèmes de qualité de l'eau*

À mesure que les glaciers reculent et que la fonte des neiges diminue, la qualité de l'eau peut se détériorer en raison de l'augmentation des charges sédimentaires due à l'érosion du paysage. De plus, une concentration plus élevée de polluants pourrait être due à des volumes d'eau plus faibles dans les rivières. En outre, le changement climatique exacerbe également la pollution de l'eau, ce qui affecte à son tour l'empreinte des eaux grises de la production alimentaire. Des précipitations plus intenses peuvent entraîner une augmentation du ruissellement d'engrais et de pesticides dans les plans d'eau, ce qui augmente le besoin d'eau propre pour diluer les contaminants. De plus, les conditions de sécheresse peuvent concentrer les polluants dans les rivières et les lacs, réduisant ainsi la disponibilité de l'eau potable pour l'agriculture et la transformation des aliments. Ces changements augmentent l'empreinte des eaux grises, car il faut plus d'eau pour diluer les polluants à des niveaux sûrs.

### *Impact sur le bétail et les aliments transformés*

L'élevage a une empreinte hydrique particulièrement élevée, car il nécessite de grandes quantités d'eau pour la production, l'abreuvement et la transformation des aliments pour animaux. La hausse des températures et la modification des régimes pluviométriques peuvent réduire la productivité des pâturages, ce qui entraîne une dépendance accrue à l'égard des cultures fourragères irriguées et une augmentation de l'empreinte hydrique de la viande et des produits laitiers. De plus, les industries de transformation des aliments, qui utilisent d'importantes quantités d'eau pour le lavage, le refroidissement et l'emballage, peuvent être confrontées à une empreinte d'eaux grises plus élevée en raison de l'augmentation de la production d'eaux usées et de la pollution due au ruissellement agricole.

### *Impact sur la santé et la fertilité des sols*

Les sécheresses et les vagues de chaleur plus fréquentes contribuent à la dégradation des sols, réduisant la matière organique et rendant les sols moins productifs au fil du temps. Les fortes pluies et les inondations peuvent entraîner l'érosion des sols et la perte de nutriments, ce qui augmente le besoin d'engrais, ce qui augmente à la fois les coûts de production et la pollution de l'environnement.

### *Risques accrus de ravageurs et de maladies*

Les températures plus chaudes et les niveaux d'humidité variables créent des conditions favorables aux ravageurs et aux agents pathogènes, menaçant les cultures de base telles que le maïs et le blé. L'élargissement de l'éventail des espèces envahissantes oblige les agriculteurs à utiliser davantage de pesticides et de fongicides, ce qui augmente les coûts de production et soulève des préoccupations environnementales.

### *Perturbations de la production animale et laitière*

Le stress thermique chez les animaux réduit la production laitière, l'efficacité de la reproduction et la prise de poids chez le bétail, ce qui entraîne une baisse de la production de viande et de produits laitiers. La baisse de la qualité des pâturages en raison de températures plus élevées et de sécheresses prolongées oblige à passer à des aliments plus chers, ce qui a un impact sur la rentabilité de l'élevage de bovins, de volailles et de porcs.

### *Volatilité des prix et instabilité des marchés*

La baisse des rendements et les perturbations de la chaîne d'approvisionnement contribuent à la hausse des prix des produits de base et à l'augmentation de la volatilité des prix. La dépendance à

l'égard de cultures sensibles au climat met les petits exploitants agricoles en danger économique, ce qui entraîne une instabilité dans les communautés rurales. Les phénomènes météorologiques extrêmes (tels que les ouragans et les sécheresses) perturbent les routes commerciales mondiales, retardant les expéditions et augmentant le coût du transport des aliments pour animaux (viande, lait, chaîne d'approvisionnement) et du blé (chaîne d'approvisionnement du pain et des pâtes).

### *Stratégies d'adaptation pour les régions alpines*

Pour atténuer ces impacts, le secteur agroalimentaire doit adopter des pratiques de gestion durable de l'eau. Des technologies d'irrigation efficaces, telles que l'irrigation goutte à goutte et la collecte des eaux de pluie, peuvent réduire l'empreinte de l'eau bleue. Le passage à des cultures résilientes au climat qui nécessitent moins d'eau peut également aider à stabiliser l'utilisation de l'eau à des fins agricoles. De plus, l'amélioration du traitement des eaux usées et la réduction de l'utilisation d'engrais peuvent réduire l'empreinte des eaux grises, garantissant ainsi des sources d'eau plus propres pour la production alimentaire future. En particulier, pour relever ces défis, les territoires alpins doivent mettre en œuvre des politiques d'efficacité hydrique telles qu'une meilleure gestion du stockage de l'eau dans les réservoirs pour compenser les changements saisonniers de la fonte des neiges.

## Besoins en eau DANS LA CHAÎNE AGROALIMENTAIRE

Le changement climatique affecte profondément la production de produits agricoles, augmentant les risques pour la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire, les consommateurs et les économies du monde entier. Des mesures d'adaptation durables sont essentielles pour protéger la sécurité alimentaire et assurer la résilience agricole à long terme. L'estimation des besoins agricoles, actuels et futurs, nécessite une connaissance adéquate de la répartition des surfaces agricoles. Comme décrit ci-dessus, les estimations modélisées des besoins sont basées sur la disponibilité quotidienne des précipitations et sur les besoins en évapotranspiration des plantes, et sont calculées par unité de surface cultivée pour chaque culture individuelle : la connaissance de l'extension des surfaces cultivées joue un rôle central dans le calcul des volumes des besoins d'irrigation, en multipliant les mm/jour estimés par le modèle en m<sup>3</sup>/jour ou m<sup>3</sup>/ha/jour.

### De l'eau verte et bleue pour la production de matières premières agroalimentaires

Le changement climatique perturbe de plus en plus la production de matières premières dans la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire, ce qui affecte les rendements des cultures, les prix des denrées alimentaires et la stabilité de la chaîne d'approvisionnement. La hausse des températures, les changements dans la dynamique des précipitations et les événements météorologiques extrêmes de plus en plus fréquents modifient les conditions de culture des principales cultures vivrières et commerciales, avec des conséquences économiques sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

Des températures plus élevées peuvent réduire la productivité des cultures, en particulier pour les produits sensibles à la température tels que le blé, le maïs et le riz. Le stress thermique peut entraîner une baisse des taux de photosynthèse, une réduction du remplissage des haricots et une maturation prématurée. La modification des régimes de précipitations affecte l'agriculture pluviale, augmentant les risques de sécheresse à certaines périodes et provoquant des précipitations excessives et des inondations à d'autres. Cette incohérence rend la production agricole moins prévisible. De plus, les effets de la fertilisation peuvent améliorer la croissance de certaines cultures comme le soja, mais ces avantages sont souvent contrebalancés par le stress hydrique et les limitations en nutriments. Les régions connaissant une réduction des ressources en eau bleue (eaux de surface et eaux souterraines) peuvent avoir du mal à maintenir l'irrigation, ce qui augmente les coûts de production.

Des taux d'évapotranspiration plus élevés nécessitent des intrants d'irrigation plus élevés, ce qui augmente l'empreinte hydrique des matières premières et entraîne une concurrence accrue pour l'eau entre l'agriculture, l'industrie et les zones urbaines.

### Classification des superficies agricoles

La zone considérée dans l'étude est située dans la province de Cuneo et fait partie de la région du Piémont (Italie du Nord). Historiquement, le Piémont et la province de Cuneo ont toujours été des zones riches en eau, avec une agriculture irriguée très développée et articulée. Un recensement effectué par la Région Piémont fait état d'environ 10 000 km de canaux d'irrigation sur le territoire régional, auxquels s'ajoutent plus de 2000 km de conduites d'irrigation sous pression. L'un des objectifs de cette stratégie est d'étudier les ressources en eau de la région et l'utilisation de l'eau par différentes activités économiques, également dans le contexte du changement climatique, afin de promouvoir une meilleure connaissance et une meilleure capacité d'adaptation dans les

communautés montagnardes. Actuellement, la région de Cuneo connaît des problèmes d'approvisionnement en irrigation, en moyenne plus graves que les autres provinces de la région. Cela est principalement dû au fait que les rivières dont il dépend proviennent du sud-ouest des Alpes, une région sans les glaciers importants des Alpes du Nord. De plus, la gestion du système d'irrigation est très fragmentée entre des dizaines de districts et de consortiums (Figure 32), ce qui ne facilite pas l'élaboration d'une stratégie commune pour faire face aux crises de l'eau de plus en plus fréquentes. Dans ce contexte, une analyse comparative des besoins en irrigation et des ressources en eau disponibles, ainsi que d'éventuels scénarios futurs découlant du changement climatique, est certainement importante.

Dans la zone à l'étude, il existe actuellement de nombreux réservoirs artificiels pour le stockage des ressources en eau (Figure 32). L'objet de l'étude est l'évaluation de l'efficacité de ces bassins et une estimation de la quantité de demande en eau qui sera sujette à la variabilité future en raison du changement climatique, tant en termes de disponibilité que de demande à des fins d'irrigation. Étant donné qu'une analyse détaillée de la composante agricole n'entre pas dans le cadre de ce projet, afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'empreinte hydrique, l'analyse des ressources en eau du bassin de Stura di Demonte est présentée ici, dans lequel, dans un projet précédent, des instruments de mesure ad hoc ont été installés pour surveiller en permanence la couverture neigeuse dans les zones montagneuses (Municipalité de Limone Piemonte). Le bassin de la Stura di Demonte (fermé à Fossano) a une superficie de 1 326,78 km<sup>2</sup>, avec une altitude maximale de 3 197 m au-dessus du niveau de la mer au Monte Argentera et une altitude minimale de 269 m au-dessus du niveau de la mer à Fossano. Le fleuve principal est la Stura di Demonte, avec un développement total d'environ 110 km, de la source à la confluence avec le Tanaro.

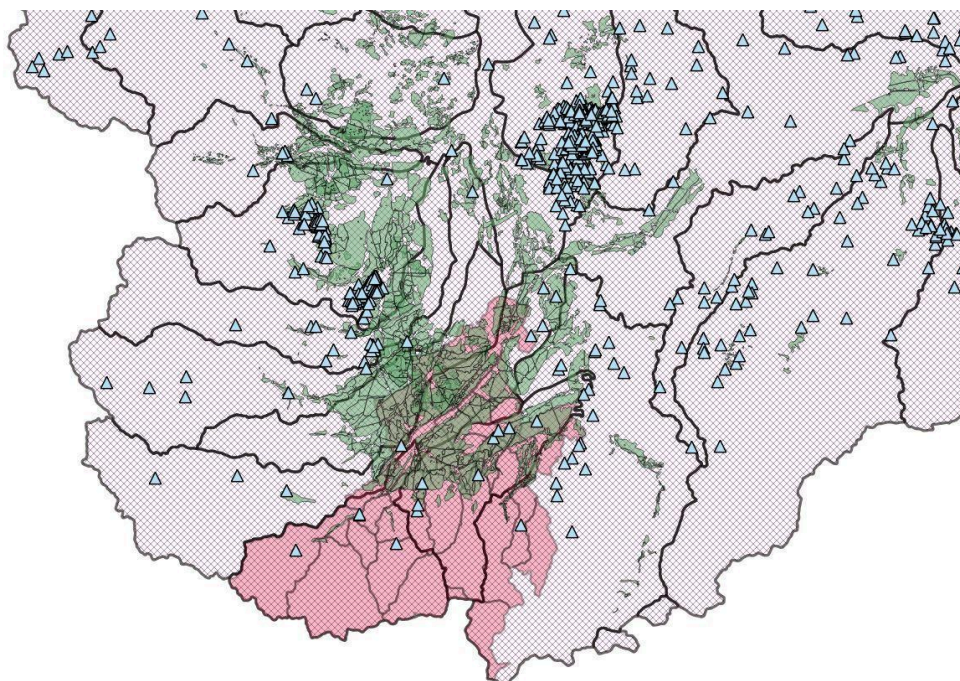


Figure 32. Zone en question, zones de consortiums d'irrigation (vert), réservoirs artificiels de stockage d'eau (triangles bleus).

## Produits agricoles visés

La répartition des zones agricoles a été reconstruite à partir des informations fournies par le Registre agricole de la région du Piémont, en tenant compte des 28 municipalités impliquées dans l'étude. Le Registre agricole recueille chaque année des informations sur les pratiques agricoles à l'échelle cadastrale, ce qui permet de reconstituer l'extension des surfaces cultivées par type de culture au cours de chaque année individuelle, à partir de 2015. Dans Table 1 les 99 classes de zones agricoles décrites dans le Registre agricole sont déclarées, numérotées selon la classification originale.

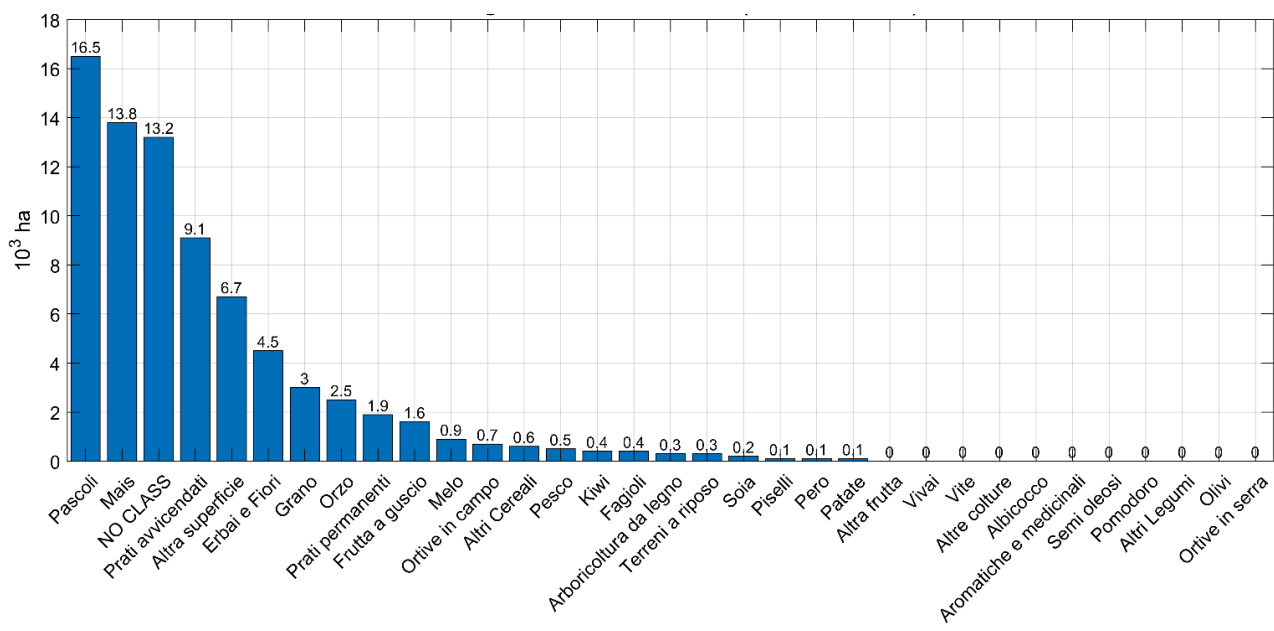
*Table 1. Surfaces agricoles pour les cultures disponibles dans le catalogue du Registre agricole de la région du Piémont. En rouge, les cultures qui n'ont pas été prises en compte pour le calcul des besoins en irrigation (51, 82, 96 : superficies supposées non irriguées ; \_N.D. : superficies non classées).*

## CLASSES DE CULTURES du Registre agricole piémontais

1. BLÉ TENDRE ET ÉPEAUTRE	46. MAÏS BOURGEONNANT
2. BLÉ DUR	47. MAÏS À MATURATION CIREUSE
3. LE SEGLEAU	48. AUTRES GRAMINÉES CÉRÉALIÈRES MONOPHYTES
4. ORGE	49. AUTRES GRAMINÉES
5. AVOINE	50. GRAINES
6. MAÏS	<b>51. DES TERRES EN JACHÈRE, SANS AIDE</b>
7. RIZ	54. VIS
8. SORGHO	55. OLIVE DE TABLE
9. AUTRES CÉRÉALES	56. OLIVE POUR L'HUILE
11. POIS SÉCHÉ	62. MÉLODIE
12. HARICOTS SECS	63. POIRE
13. FÈVE	64. La CSP
14. LUPIN DOUX	65. NETTARINA
15. AUTRES LÉGUMINEUSES SÉCHÉES	66. ABRICOT
16. POMME DE TERRE	67. AUTRES FRUITS TEMPÉRÉS
18. PLANTES À RACINES DE FOURRAGE	68. ACTINIDIA
20. LE HLBON	69. AUTRES FRUITS SUBTROPICAUX

## France – Italia ALCOTRA

- |   |   |
|---|---|
| 22. LIN   | 70. AMANDIER                              |
| 23. CHANVRE                                       | 71. NOISETTE                              |
| 24. COLZA ET COLZA                                | 72. CHÂTAIGNE                             |
| 25. TOURNESOL                                     | 73. NOIX À COQUE (AUTRES)                 |
| 26. SOJA  | 74. PÉPINIÈRES, ARBRES FRUITIERS          |
| 27. AUTRES PLANTES OLÉAGINEUSES                   | 75. PÉPINIÈRES DE PLANTES ORNEMENTALES    |
| 28. PLANTES AROMATIQUES, MÉDICAMENTS ET COND.     | 76. PÉPINIÈRES, AUTRES                    |
| 29. AUTRES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES            | 77. CULTURES LIGNEUSES AGRICOLES EN SERRE |
| 30. TOMATE DE TABLE                               | 78. AUTRES CULTURES LIGNEUSES AGRICOLES   |
| 31. TRANSFORMATION DE LA TOMATE                   | 80. JARDINS FAMILIAUX                     |
| 32. AUTRES LÉGUMES DE PLEIN CHAMP                 | 81. PRAIRIES PERMANENTES                  |
| 34. AUTRES LÉGUMES DANS LES POTAGERS STAB. O IND. | <b>82. PASCOLI</b>                        |
| 36. AUTRES LÉGUMES PROTÉGÉS EN SERRE              | 85. BOSQUETS DE POPLARS                   |
| 38. FLEURS ET PLANTES ORNEMENTALES EN PLEIN AIR   | 86. AUTRES ARBORICULTURES DU BOIS         |
| 39. FLEURS PROTÉGÉES DANS LA SERRE                | <b>96. AUTRE SURFACE INUTILISÉE</b>       |
| 44. LUZERNE                                       | 98. AUTRE SURFACE                         |
| 45. AUTRES PRAIRIES ALTERNÉES                     | <b>_N.D.</b>                              |



France – Italia ALCOTRA

Figure 33. Hectares agricoles par type de culture sur la zone d'étude. Les valeurs se réfèrent à la moyenne de 2015 à 2021, selon le registre agricole de la région du Piémont.

L'information est fournie annuellement au niveau de la parcelle cadastrale : chaque parcelle est associée à une ou plusieurs classes d'utilisation agricole avec les hectares concernés concernés. La classification des surfaces agricoles n'est donc pas figée dans le temps, mais varie d'année en année selon les pratiques de rotation des cultures et d'alternance de jachères et de terres actives.

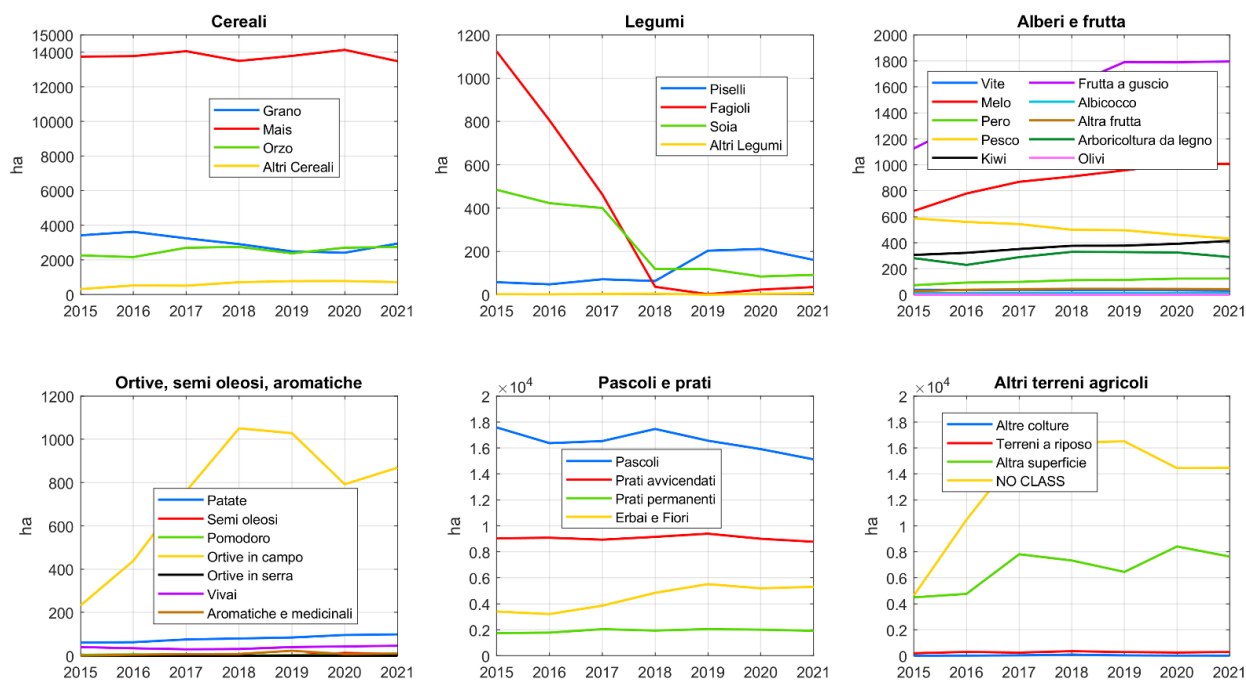


Figure 34. Variabilità annuale des superficies agricoles cultivées par classes de produits (2015-2021)

Selon les données du Registre agricole, de 2015 à 2021, la culture céréalière irriguée saisonnière la plus cultivée dans la zone d'étude est le maïs (environ 13 800 ha/an), comme le montre le Figure 34.

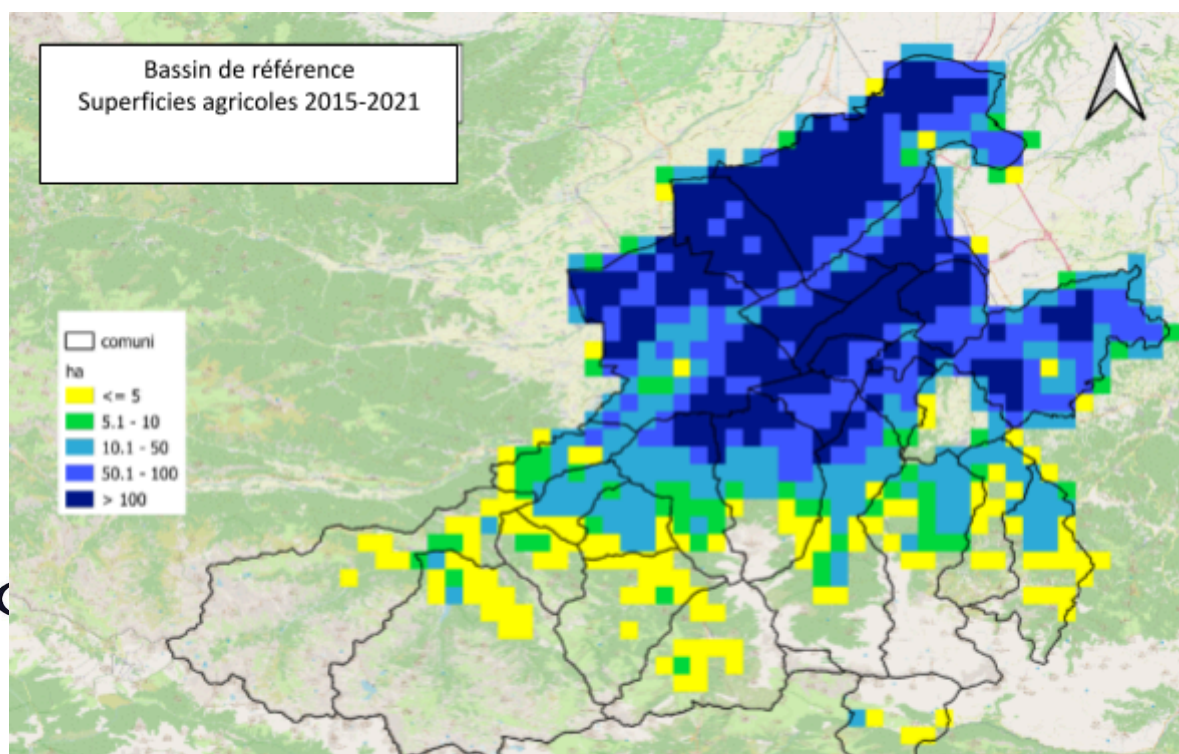


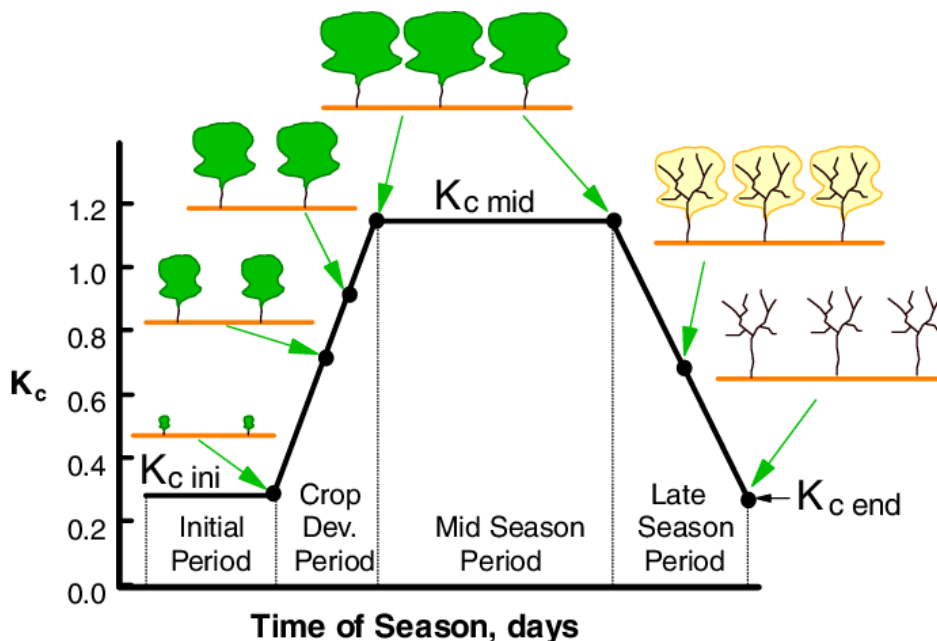
Figure 35. Carte des superficies agricoles totales (résolution  $0,0125^\circ \times 0,0125^\circ$ , environ  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ). Les cartes ont été produites pour chacune des cultures déclarées dans le Registre agricole, de 2015 à 2021.

### Cartes quadrillées des zones agricoles

Les données originales des zones agricoles sont géoréférencées et attribuées aux différentes parcelles cadastrales associées aux fiches cadastrales des différentes communes, année par année. Compte tenu de l'hétérogénéité de la taille et de l'agencement géométrique des parcelles cadastrales, les données ont été converties en grilles de pixels afin d'être utilisées dans des modèles numériques pour le calcul des besoins, au moyen d'un processus de « rasterisation ». Le résultat, pour chaque type de recadrage, est une grille de  $200 \times 240$  pixels, à la résolution la plus élevée  $\sim 1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ , contenant des valeurs numériques correspondant à la somme des zones agricoles qui se trouvent dans chaque pixel. Dans le cas de parcelles de moins de 1 ha, la surface agricole a été entièrement attribuée au pixel dans lequel se trouve le centre de gravité de la parcelle cadastrale, tandis que dans les autres cas, la zone agricole a été attribuée proportionnellement aux pixels dans lesquels se trouve la superficie de la parcelle cadastrale. La carte des zones agricoles a été calculée pour chaque année et pour chaque type de culture. Chaque parcelle cadastrale s'est vu attribuer les hectares cultivés chaque année de 2015 à 2021, et les superficies ont été agrégées afin de produire des cartes de répartition maillées comme le montre Figure 35.

### Modélisation de l'évapotranspiration et des besoins d'irrigation

Les besoins en eau des cultures de la zone PITER ont été calculés, comme décrit dans les chapitres précédents, en modélisant les besoins quotidiens en évapotranspiration des zones agricoles, sur la base de la méthodologie proposée par la FAO. [12]



Un modèle de bilan hydrique du sol a été utilisé pour calculer l'évapotranspiration réelle des cultures, en fonction des conditions météorologiques quotidiennes, en tenant compte des apports d'eau de pluie, des sorties d'évapotranspiration et des pertes d'infiltration profonde de la zone racinaire des

plantes. Évapotranspiration efficace [39]( $ET_a$ ) a été calculée pour tous les jours de 2015 à 2021, à partir d'une évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ), selon la formule proposée par la FAO, c'est-à-dire

$$ET_{a,i} = ET_{0,i} \cdot k_{c,i} \cdot k_{s,i} , \quad (1)$$

où  $ET_0$  et  $ET$  sont exprimés en mm/jour,  $J_e$  c'est le jour générique où l'évapotranspiration est calculée,  $K_c$  est un coefficient adimensionnel propre à la culture et à la phase de croissance (appelé « coefficient de culture », dont l'évolution saisonnière est schématisée dans Figure 36), et  $K_s$  Il s'agit d'un coefficient de stress hydrique, qui peut varier entre 1 (conditions d'humidité suffisante pour éviter l'apparition de stress chez les plantes) et 0 (conditions limites de flétrissement). Le coefficient de stress hydrique  $K_s$  il est calculé selon la formule suivante, selon la méthodologie de la FAO :

$$k_{s,i} = \begin{cases} 1 & \text{si } S_i \geq S^* \\ \frac{S_i - S_w}{(1 - \rho_i)(S_{fc} - S_w)} & \text{si } S_w < S_i < S^* \\ 0 & \text{si } S_i \leq S_w \end{cases} \quad (2)$$

où  $S_i$  est l'humidité du sol dans la couche atteinte par les racines des plantes [mm] le jour  $i$ ,  $S_w$  est l'humidité du sol dans des conditions de stress hydrique élevé et de flétrissement des plantes (« point de flétrissement ») et  $S^*$  est l'humidité du sol dans laquelle les premiers symptômes de stress hydrique se manifestent (seuil de stress caractéristique de chaque culture, en fonction de leurs tolérances respectives à la rareté de l'eau).

Le bilan hydrique dans la couche racinaire a lieu quotidiennement, car la somme des entrées et des sorties d'eau :

$$S_{i+1} - S_i = P_i + I_i - ET_{a,i} - PS_i , \quad (3)$$

où  $S_i$  est l'humidité du sol le jour  $i$  [mm], variable entre la limite supérieure de la capacité du champ et la limite inférieure du flétrissement,  $S_{i+1}$  est l'humidité du sol résultant du solde journalier qui sera prise comme valeur initiale le jour suivant [mm] ;  $PS_i$  est l'eau de pluie perdue de la zone racinaire en raison de l'infiltration profonde et du ruissellement ;  $P_i$  est les précipitations quotidiennes [mm] ;  $ET_{a,i}$  est l'évapotranspiration effective [mm] et  $I$  est le besoin d'irrigation [mm].

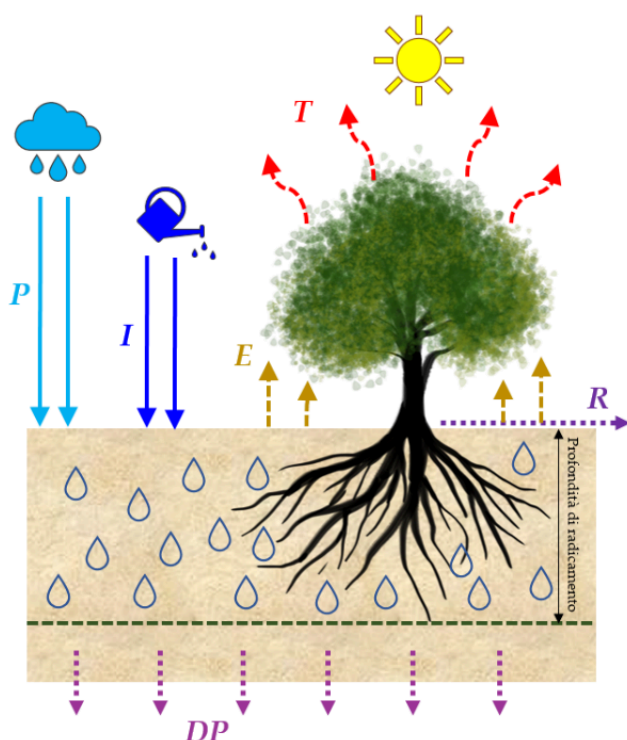


Figure 37. Schéma conceptuel du modèle de bilan des eaux souterraines pour le calcul des besoins en irrigation.  $I$  : besoins en irrigation ;  $P$  : précipitations ;  $ET$  : évapotranspiration effective ( $E$  : évaporation,  $T$  : transpiration) ;  $R$  : ruissellement ;  $DP$  : l'infiltration profonde. L'exigence  $I$  est quantifiée lorsque  $P$  n'est pas suffisant pour satisfaire à l' $ET$ . Lorsque le phosphore est supérieur à la capacité de stockage de l'eau du sol, une partie de l'eau de pluie s'écoule dans les eaux de ruissellement de surface et les infiltrations profondes.

Pendant les périodes de pénurie d'eau, lorsque les précipitations sont rares, en fréquence, en intensité ou les deux, l'humidité du sol peut atteindre des niveaux qui peuvent causer des conditions de stress dans les cultures. Au cours de ces périodes, le modèle quantifie la quantité d'eau idéalement nécessaire pour compenser le manque de précipitations jour après jour, en maintenant l'humidité du sol dans des conditions juste suffisantes pour éviter le stress. Cet équilibre permet de quantifier l'importance théorique de l'apport en eau à administrer aux plantes pendant la saison agricole, en comparant les différentes périodes de croissance et les différentes années. Le **besoin d'irrigation** ainsi calculé est donc un **indicateur de l'eau idéalement nécessaire pour compenser les carences en précipitations et permettre un état pérenne de niveau minimum optimal d'humidité du sol** de manière à éviter les réductions d'évapotranspiration et de stress chez les plantes. L'estimation de ce besoin, bien qu'elle ne corresponde pas en réalité à une utilisation quotidienne réelle de l'eau d'irrigation, fournit des informations utiles pour l'analyse des différences annuelles et des périodes saisonnières où le manque de précipitations est le plus critique. L'estimation des volumes des besoins en irrigation a été faite en multipliant les mm/jour calculés par le modèle pour chaque type de culture et l'extension des zones agricoles correspondantes. De cette façon, il a été possible d'évaluer l'effet des températures et des précipitations sur les besoins en eau des plantes, afin de comparer les séries chronologiques des différentes années, d'évaluer l'impact de différentes cultures sur les besoins totaux et de simuler des scénarios futurs dans lesquels les précipitations et les températures pourraient suivre des régimes différents. Le calcul des besoins volumétriques en eau nécessitait également une connaissance fine de la répartition annuelle des surfaces agricoles. Le volume des besoins est calculé comme le produit des hauteurs d'eau (par jour ou par an) des besoins pour les superficies agricoles de chaque culture individuelle dans une partie donnée du territoire.

### Données météorologiques et climatiques

L'analyse des besoins d'irrigation et des régimes d'écoulement des cours d'eau s'appuie notamment sur les variables météorologiques et climatiques quotidiennes **précipitations** et **température** (sur

laquelle est basée l'estimation de l'évapotranspiration de référence). L'ARPA Piemonte fournit des mesures quotidiennes des précipitations, des précipitations et des chutes de neige, ainsi que des températures moyennes, maximales et minimales ([40]Figure 38)

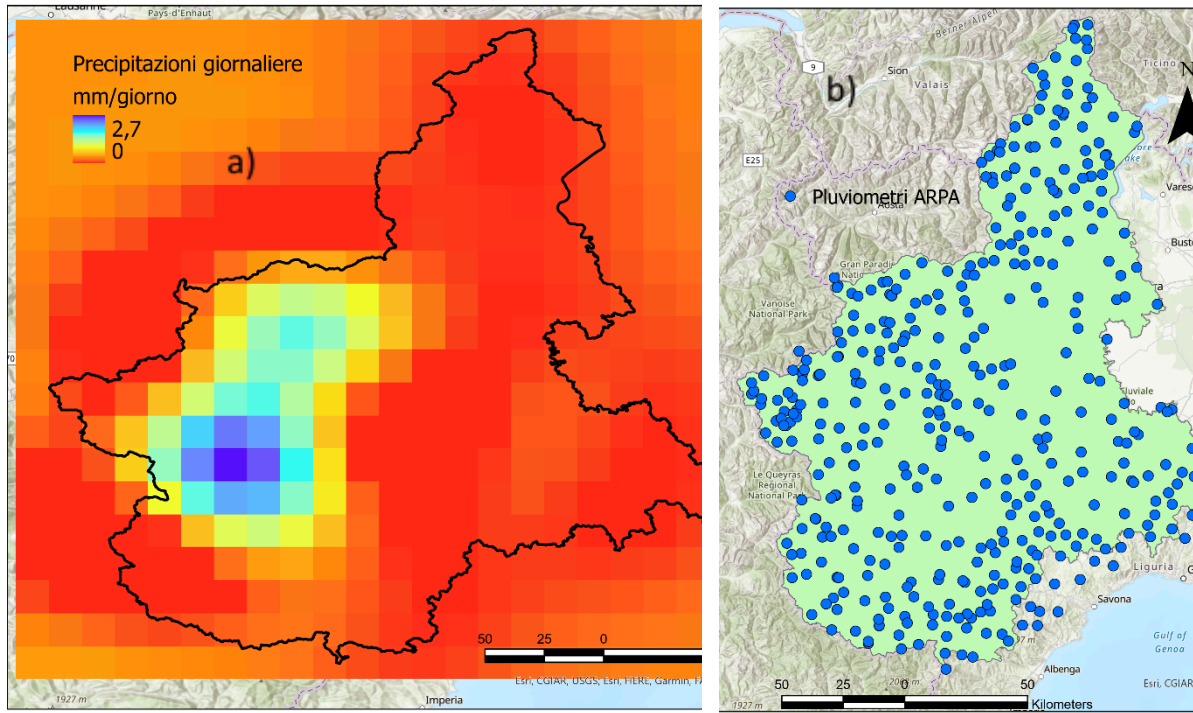


Figure 38. a) les données relatives aux précipitations quotidiennes par maille [mm/jour] et aux températures maximales et minimales [°C] fournies par l'ARPA Piemonte ; (b) Stations de mesure ARPA Piemonte actives au 31/12/2021 : pluie quotidienne, neige, températures moyennes, maximales et minimales.

Les données de pluviométrie et de température de l'ARPA ont été utilisées pour modéliser les besoins en irrigation des zones agricoles au cours des années précédentes et comme référence pour ajuster les scénarios climatiques futurs en fonction du contexte local.

### Modélisation des résultats des besoins en irrigation

Les estimations de modélisation pour la période 2015-2021 ont montré que les besoins en irrigation dans la zone du PITER peuvent varier de moins de 1 500 m<sup>3</sup>/ha/an, les années suffisamment pluvieuses, à plus de 3 500 m<sup>3</sup>/ha/an les années particulièrement sèches (comme 2017 et 2021). Les figures suivantes montrent la série des besoins d'irrigation par unité de surface cultivée pour chaque année de 2015 à 2021, tant en termes de valeurs quotidiennes (Figure 39). Il est très évident que la plupart des besoins d'irrigation sont nécessaires aux cultures pendant l'été, lorsque la plupart des cultures saisonnières sont cultivées. En automne et en hiver, la demande d'irrigation est sporadique et limitée, principalement par les céréales d'hiver. Dans Figure 40 et **Erreur. La source de référence n'a pas été trouvée**. Les tendances quotidiennes et cumulatives similaires des besoins d'irrigation du maïs sont signalées, à titre d'exemple d'une culture d'été avec des besoins en eau élevés.

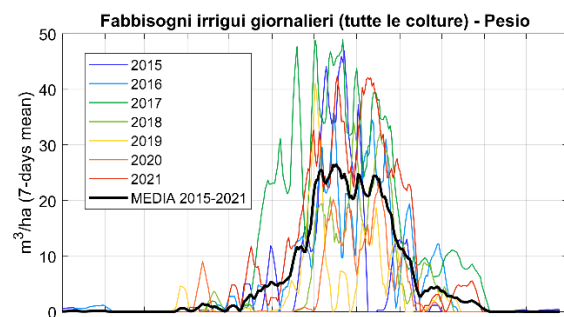
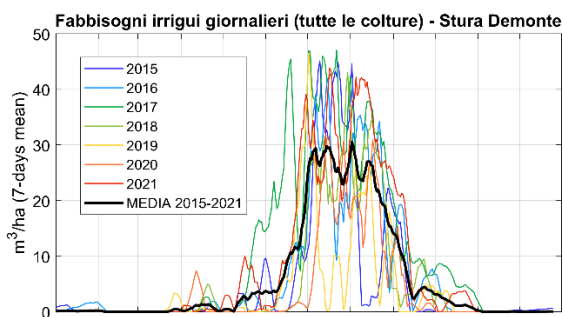


Figure 39. Besoins journaliers en irrigation calculés sur les 4 bassins de la zone PITER, de 2015 à 2021.

Les besoins d'irrigation atteignent des valeurs proches de 40 m<sup>3</sup>/ha/jour entre juillet et août presque chaque année. Les années où les précipitations sont moyennes, les besoins en irrigation sont plus nécessaires en été, entre fin juin et début septembre. Cependant, pendant les années sèches comme 2017 et 2021, la période pendant laquelle les intrants d'irrigation sont nécessaires peut commencer à partir de la fin mai et se poursuivre jusqu'à la deuxième quinzaine d'octobre.

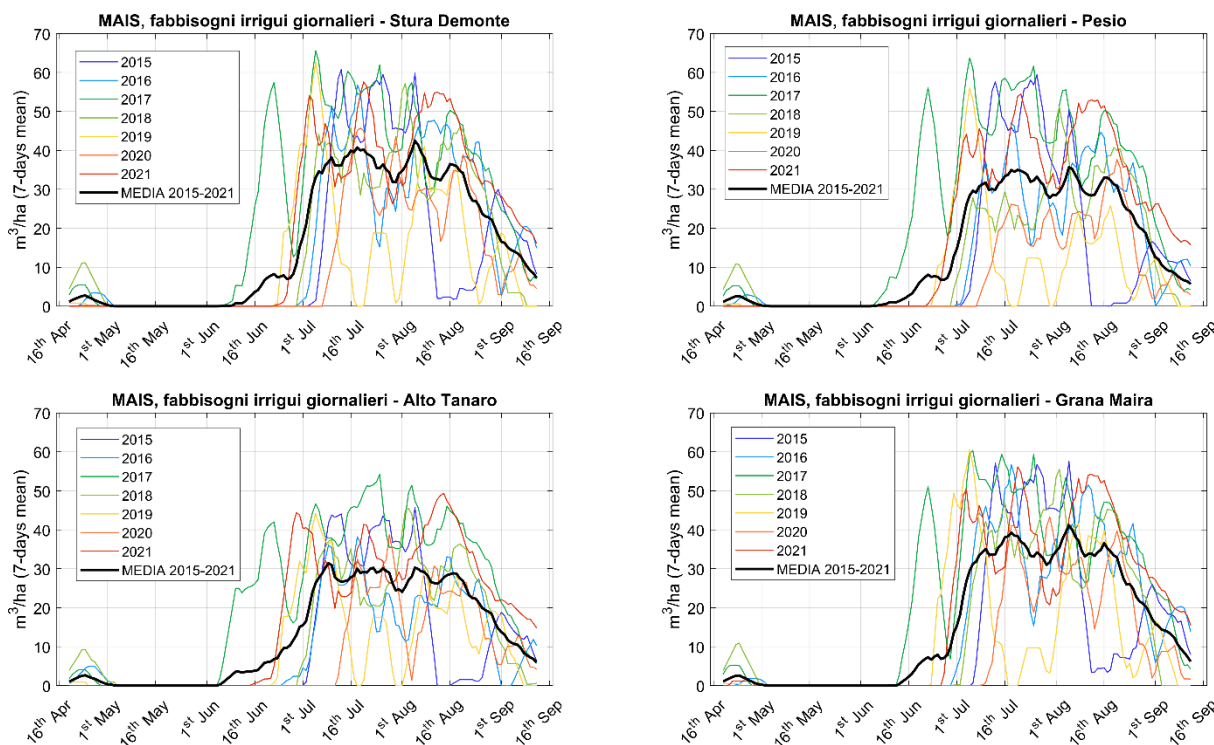


Figura 40. Besoins journaliers en irrigation du MAIZE, calculés sur les 4 bassins de la zone du PIT, de 2015 à 2021.

### Besoins en irrigation par type de culture

Les cultures qui ont les besoins en irrigation les plus élevés sont sans aucun doute les céréales et les graminées fourragères, comme indiqué dans Figura 41. Le calcul des volumes par type de produit est peu influencé par la rotation des cultures dans la zone concernée, car bien que les céréales d'été, les graminées fourragères et les jachères soient alternées localement tous les 3-4 ans, le nombre total d'hectares sur l'ensemble de la zone varie peu d'une année sur l'autre. Les facteurs qui influencent le plus la variabilité des volumes des besoins d'irrigation sont les précipitations (intensité et fréquence) et le forçage d'évapotranspiration. Dans la présente étude, tous les champs classés comme fourrages ont été considérés comme potentiellement irrigables et donc inclus dans le calcul des besoins. Souvent, les champs occupés par les graminées fourragères sont ceux impliqués dans la rotation des cultures ou sont de grandes parcelles dans les contreforts entièrement dédiées à la production de fourrage. Le volume élevé des besoins, dans ce cas, ne dépend pas tant de la grande sensibilité des

graminées au stress hydrique que des vastes surfaces cultivées en fourrage (d'où proviennent de grands volumes de besoins).

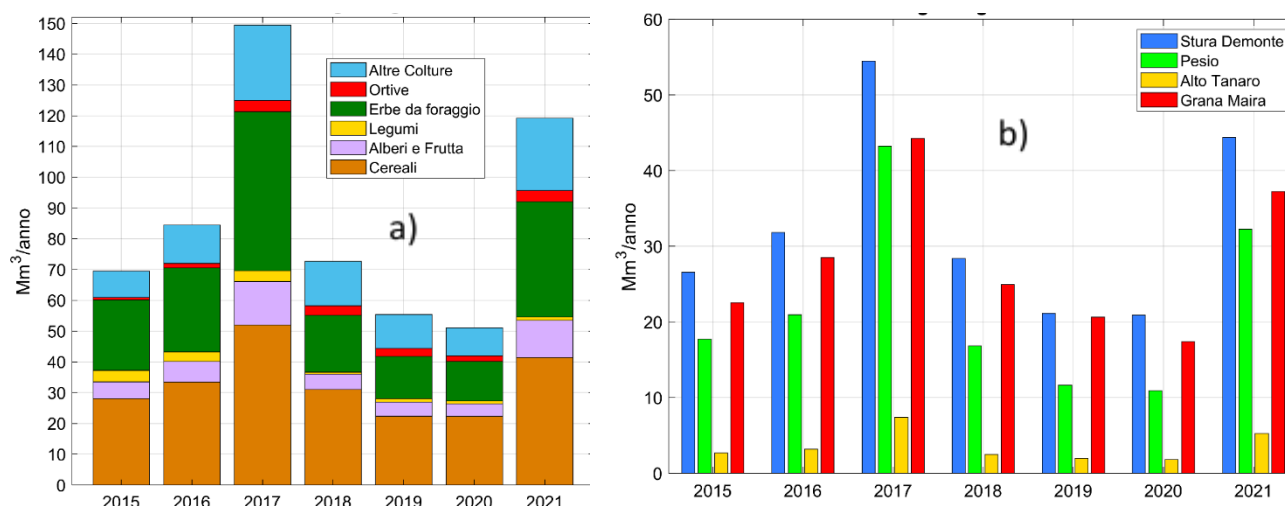


Figure 41. a) Volumes des besoins annuels en irrigation des différentes catégories de cultures dans la zone du PITER. b) Volumes des besoins d'irrigation requis par les zones agricoles dans les quatre bassins concernés par les communes PITER.

### Comparaison entre les besoins en irrigation et les ressources en eau disponibles (Demonte 2015-2021)

Les besoins en irrigation calculés sur le bassin de la Stura di Demonte ont été comparés aux débits moyens du ruisseau Stura, mesurés près de l'aréomètre ARPA situé à Fossano (Figure 42a). La série des besoins a été moyennée sur la période 2015-2021, en ne considérant que les besoins découlant des zones agricoles desservies par des canaux d'irrigation qui puisent l'eau de la Stura en amont de l'aréomètre de Fossano. La station hydrométrique de Fossano sur la Stura di Demonte est active depuis 2000 et est toujours opérationnelle. Le choix de cette station permet de placer la section de fermeture du bassin versant à un point instrumenté actif depuis plus de vingt ans ; en outre, une longue série d'informations utiles d'un point de vue hydrologique est disponible sur le bassin de Stura di Demonte, rapportée dans l'Atlas des bassins versants piémontais.

Dans Figure 42b montre la comparaison entre la série des besoins annuels moyens d'irrigation sur la période 2015-2021 (multipliée par un facteur de 4, afin de tenir compte des inefficacités des systèmes d'irrigation) et les débits quotidiens de la Stura di Demonte mesurés à Fossano. Les besoins d'irrigation (ligne verte) représentent dans ce cas les volumes d'eau qu'il faudrait prélever du cours d'eau pour répondre aux besoins en eau des plantes en situation de manque de précipitations, compte tenu des inefficacités des systèmes d'irrigation.

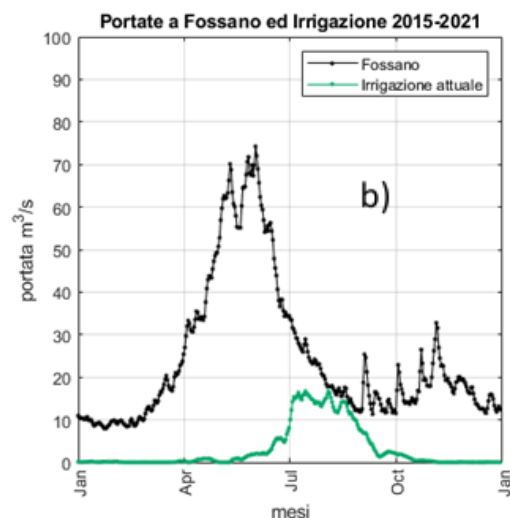
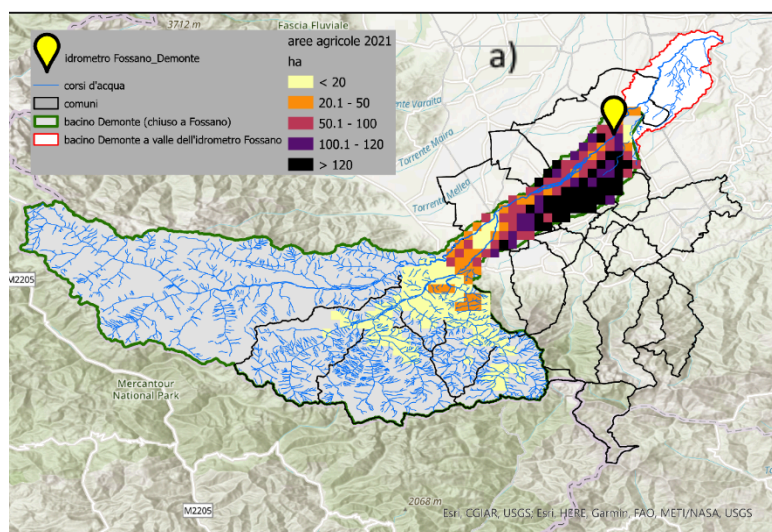


Figura 42. a) la superficie del bacino della Stura di Demonte su laquelle les besoins en irrigation ont été calculés. (b) comparaison entre les débits moyens de la Stura di Demonte sur la période 2015-2021 (en noir) et les volumes des besoins d'irrigation (multipliés par un facteur 4 afin de compenser l'effet des inefficacités de l'irrigation), en vert.

En hiver et au printemps, les débits des rivières sont nettement supérieurs aux besoins d'irrigation, qui sont proches de zéro. Au cours des mois de juillet et d'août, en revanche, il y a une baisse soudaine des débits quotidiens et une augmentation des besoins d'irrigation : bien que les débits dérivables soient en moyenne toujours supérieurs aux volumes d'eau nécessaires aux cultures, au cours du mois d'août, les deux séries présentent un gaspillage très faible. À cette période de l'année, les ressources en eau de la Stura di Demonte peuvent ne pas être suffisantes pour répondre aux besoins des années particulièrement sèches, compte tenu également du volume d'eau qui doit être maintenu dans la rivière pour assurer le débit vital minimum.

## Analyse des impacts induits par les scénarios climatiques futurs

L'objet de ce travail concerne également l'étude des impacts du changement climatique sur l'agriculture dans la sous-zone telle que décrite ci-dessus. Pour cette raison, plusieurs ensembles de données de projections climatiques futures ont été pris en compte et l'étude s'est concentrée sur celles pour lesquelles un bon niveau de performance a émergé dans la zone méditerranéenne et qui en même temps avaient une résolution adéquate pour être utilisées à l'échelle locale.

### Projections climatiques : données CORDEX-UE

Pour les besoins de cette étude, les données du modèle climatique régional CORDEX-UE, téléchargées à partir du Copernicus Climate Data Store (CDS), ont été choisies : cet ensemble de données a une bonne résolution spatiale (0,11° x 0,11°), une fréquence de données à l'échelle quotidienne et fournit toutes les variables climatiques nécessaires à la modélisation de l'estimation des besoins d'irrigation (précipitations et température). [41]

*Tabella 2. Schéma des modèles climatiques CORDEX-UE utilisés pour simuler les besoins agricoles et la disponibilité en eau dans les décennies à venir, selon les scénarios d'émissions RCP 2.6 et 8.5. Les cinq projections climatiques utilisées sont obtenues en combinant des modèles climatiques globaux (MCG) et des modèles régionaux (MCR). (i) l'intervalle de temps utilisé pour comparer les estimations du modèle et les données ARPA. (ii) l'intervalle de temps pour lequel les projections des besoins et des ressources en eau ont été calculées, à la suite de la correction des modèles climatiques basés sur les données de l'ARPA pour la période (i).*

Scénario	MRC	.GCM	Calendrier
RCP 2.6, 8.5	CLMcom-CCLM4-8-17	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 <sup>(i)</sup> , 2021-2055 <sup>(ii)</sup>
RCP 2.6, 8.5	KNMI-RA CMO22E	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 <sup>(i)</sup> , 2021-2055 <sup>(ii)</sup>
RCP 2.6, 8.5	SMHI- RCA4	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 <sup>(i)</sup> , 2021-2055 <sup>(ii)</sup>
RCP 2.6, 8.5	SMHI- RCA4	NCC-NorESM1-M	2006-2020 <sup>(i)</sup> , 2021-2055 <sup>(ii)</sup>
RCP 2.6, 8.5	KNMI-RA CMO22E	MPI-M-MPI-ESM-LR	2006-2020 <sup>(i)</sup> , 2021-2055 <sup>(ii)</sup>

Dans la présente étude, les données de 5 modèles CORDEX-UE ont été utilisées pour la modélisation de l'estimation des besoins d'irrigation au cours des trois prochaines décennies, en fonction des variables climatiques décrites par les scénarios de prévision RCP (*Trajectoires de concentration représentatives*) 2.6 et 8.5 : Selon la nomenclature du GIEC, il s'agit des scénarios climatiques correspondant respectivement à des conditions de forte limitation des émissions et à des conditions sans restriction d'émissions. Pour simuler les scénarios de besoins et de disponibilité en eau dans la zone d'étude, les données de températures quotidiennes et de précipitations fournies par les cinq modèles CORDEX-EU qui ont le mieux démontré leur capacité à simuler les variables météorologiques et climatiques dans la zone méditerranéenne ont été utilisées. Dans Table 2 Les modèles climatiques

utilisés, qui sont le résultat d'une combinaison de modèles climatiques mondiaux et régionaux, sont énumérés.

### Scénarios futurs des besoins en irrigation

Les besoins en irrigation des zones agricoles situées dans le bassin de Stura di Demonte ont été calculés sur la base des données climatiques de précipitations et de températures fournies par CORDEX-EU (corrigées comme décrit dans la section précédente) pour la période 2025-2055. Dans et sont rapportées respectivement les valeurs journalières et cumulatives des estimations prévisionnelles des besoins d'irrigation, obtenues en tenant compte des scénarios RCP 2.6 et 8.5.

En moyenne, les estimations prévisionnelles montrent un scénario de besoins d'irrigation plus élevés dans le cas du scénario RCP 8.5 (c'est-à-dire un scénario dans lequel aucune politique n'est adoptée pour limiter les émissions de carbone dans l'atmosphère). Afin de limiter l'incertitude résultant de l'application d'un seul modèle, les valeurs moyennes des besoins de prévision parmi les 5 modèles CORDEX utilisés ont été utilisées pour les estimations prévisionnelles examinées dans la section suivante.

### *Projections futures du stress hydrique : le cas du maïs*

Comme décrit dans les chapitres précédents, la demande d'irrigation est un indicateur du volume d'eau idéalement nécessaire pour compenser les pénuries d'eau dues aux précipitations. Il est donc évident que cet indicateur est applicable pour quantifier le niveau de stress hydrique potentiel d'une culture pendant la saison de croissance (ou pendant des périodes spécifiques de l'année, dans le cas des cultures pérennes).

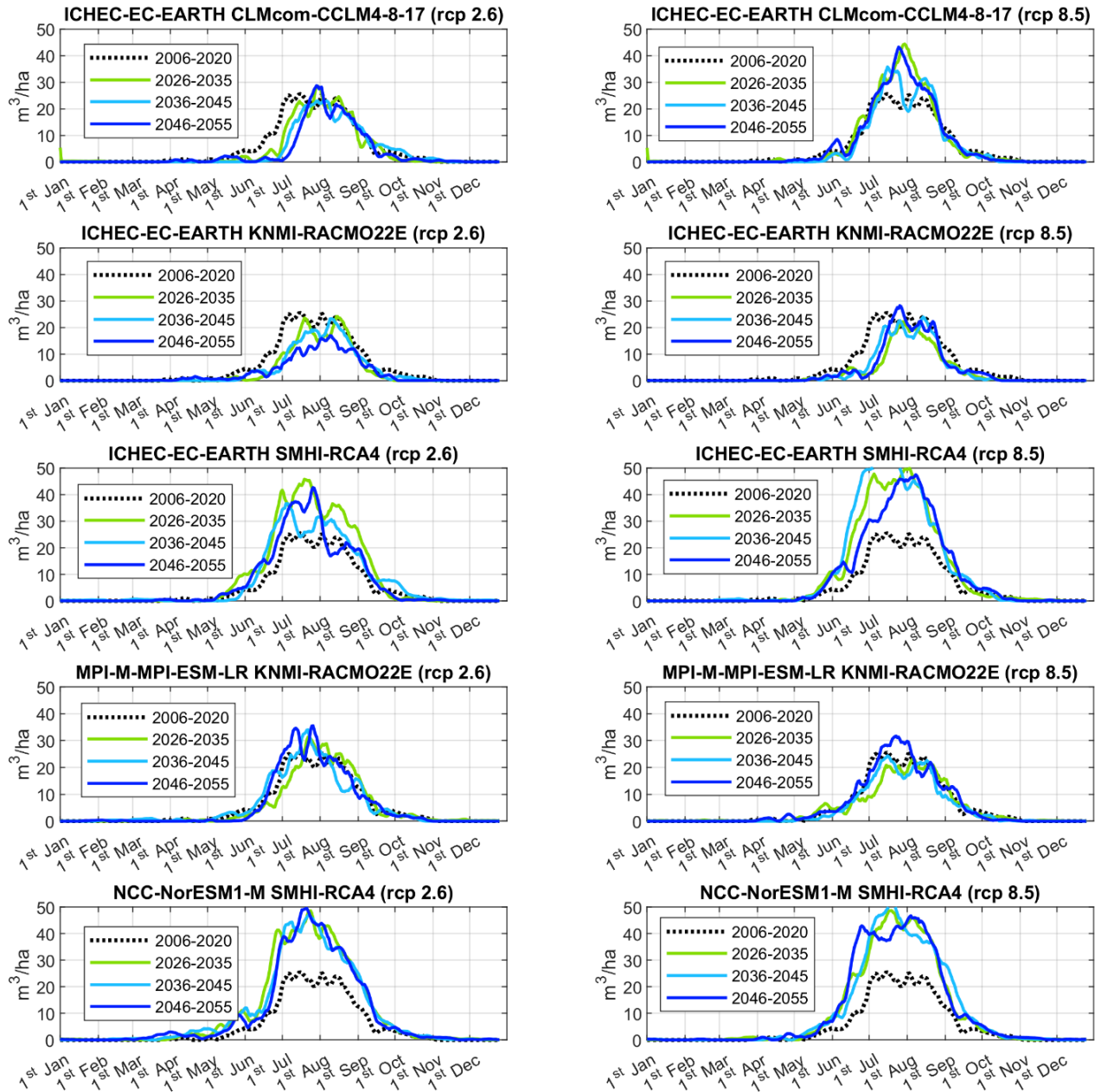


Figure 43. Scénarios futurs des besoins quotidiens en irrigation pour le bassin de Stura di Demonte, calculés à l'aide des données climatiques CORDEX-UE pour les décennies 2026-2035 (vert), 2036-2045 (bleu clair), 2046-2055 (bleu). La ligne noire pointillée indique l'évolution quotidienne des besoins moyens d'irrigation, calculés pour la même superficie sur la période 2006-2020.

Les projections futures des besoins en irrigation sont utiles pour analyser les changements attendus dans la fréquence et l'intensité du stress hydrique associé aux différentes cultures. Dans cette section, le cas du maïs est pris comme exemple pour illustrer les variations estimées du stress hydrique associées aux céréales largement consommées qui nécessitent de gros volumes d'irrigation.

Dans Figure 44 Les scénarios futurs de stress hydrique associé au maïs sont représentés, exprimés en nombre de jours par saison de croissance **Coefficient de stress hydrique  $K_s$**  (introduite dans le chapitre sur la méthodologie de modélisation des besoins) suppose des valeurs inférieures à 1 (en ne tenant compte que des apports d'eau provenant de la pluie). Les valeurs progressivement inférieures à 1 indiquent des conditions de stress potentiel de plus en plus intense (n.b. à la valeur 0, on suppose que la plante subit des conditions de flétrissement extrêmes).

Dans le cas où les conditions futures seraient alignées sur ce qui est attendu dans le scénario RCP 8.5, les estimations montrent une augmentation progressive et considérable des jours de stress hydrique saisonnier de l'ordre de 0,4-0,5, c'est-à-dire un stress sévère (avec des compromis quantitatifs et qualitatifs potentiels du produit cultivé).

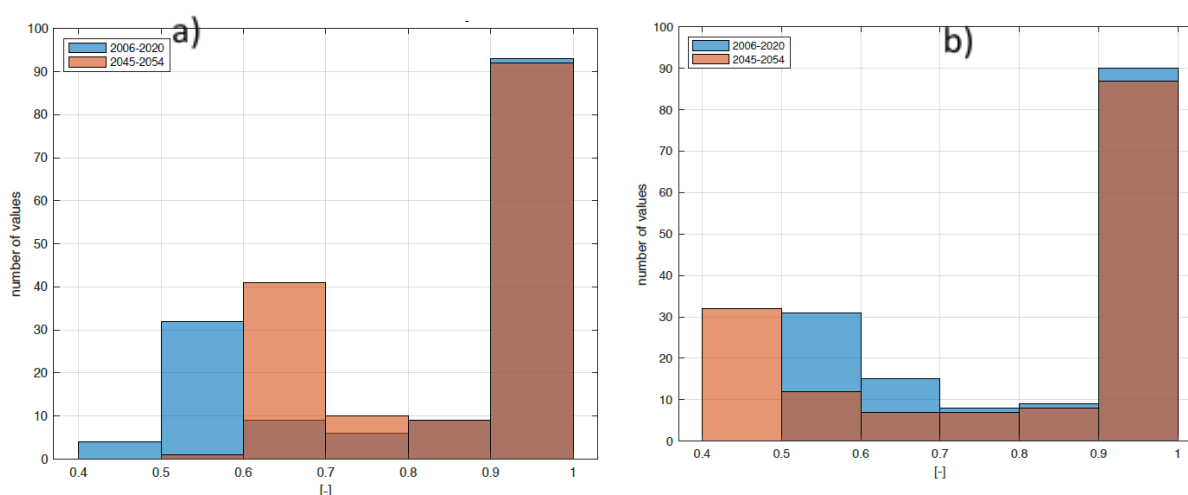


Figure 44. Situation actuelle (2006-2020, bleu) et scénarios futurs (2045-2054, orange) du stress hydrique saisonnier associé au maïs : distribution fréquentielle des valeurs quotidiennes du coefficient de stress hydrique, tout au long de la saison de croissance du maïs. a) Scénarios de prévision du RPC 2.6 ; b) Scénarios de prévision du RPC 8.5.

### Scénarios futurs : besoins en irrigation et ressources en eau disponibles

Les données de prévision de la température et des précipitations ont été utilisées pour simuler les besoins et les débits d'irrigation dans la zone en question, afin de comparer l'état actuel décrit dans Figure 42 avec des scénarios futurs, résultat des projections climatiques pour les décennies à venir.

D'après la comparaison en Figure 45a, il est raisonnable de supposer que les besoins d'irrigation sont destinés à augmenter progressivement au cours des mois d'été des prochaines décennies, jusqu'à ce qu'ils égalent (ou dépassent) les niveaux d'eau disponibles dans la Stura di Demonte. Les moyennes sur la période 2030-2050 ont été obtenues en exploitant les projections climatiques des cinq modèles CORDEX sélectionnés, et donc en simulant les débits et les besoins d'irrigation : la ligne noire est la moyenne des simulations de débit obtenues à partir des cinq modèles CORDEX pour le scénario RCP 8.5, tandis que la ligne verte est la moyenne analogue des besoins d'irrigation. Dans Figure 45a Des comparaisons des débits et des besoins prévus pour la décennie 2030-2050 sont présentées, montrant en plus de la série moyenne les différents résultats obtenus à l'aide des cinq modèles

France – Italia ALCOTRA

CORDEX : selon certaines estimations de modélisation, pendant une partie du mois d'août, les besoins pourraient être supérieurs de plus de 40 % aux débits de la Stura di Demonte. De cette comparaison, il est évident qu'en l'absence de fortes limitations des émissions de gaz à effet de serre qui pourraient détourner le scénario futur de celui décrit comme RCP 8.5, les besoins en irrigation seront de plus en plus comparables ou supérieurs aux débits d'eau maximaux disponibles dans les masses d'eau de surface de la zone en question.

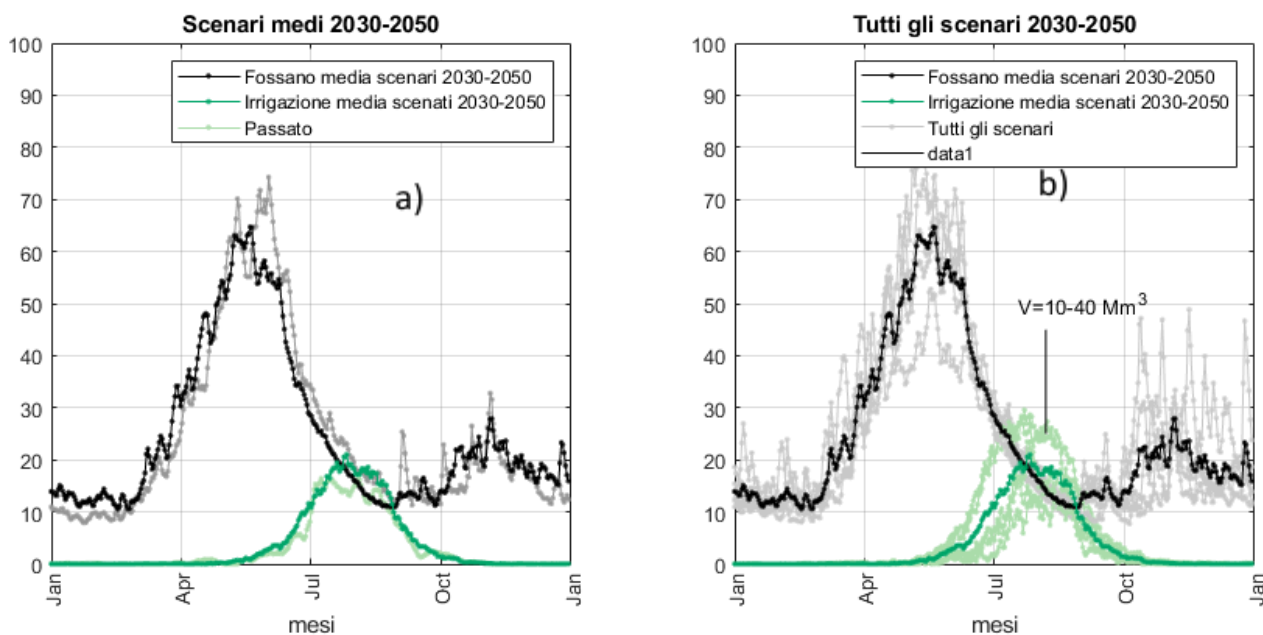


Figure 45. Scénarios futurs des besoins et des débits d'irrigation dans le ruisseau Stura di Demonte (scénario RCP 8.5). a) Comparaison entre les séries moyennes pour la période 2015-2021 et les moyennes obtenues à partir des modèles de prévision pour la période 2030-2050. (b) Moyenne des scénarios futurs (besoins et débits) et comparaison avec les résultats obtenus à partir de chacun des 5 modèles de prévision CORDEX.

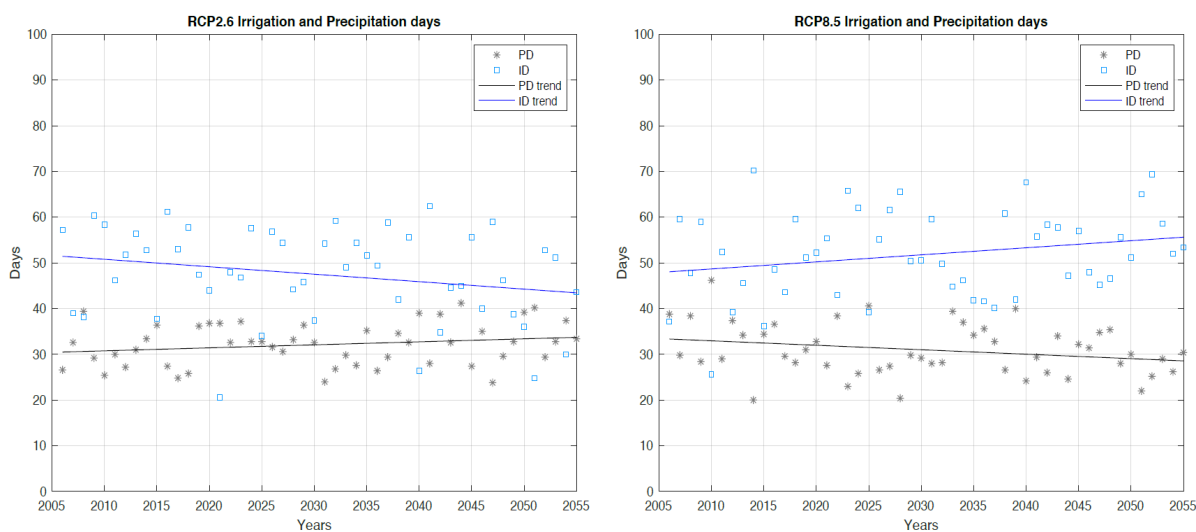


Figura 46. Tendances des jours de pluie et des jours de demande d'irrigation, selon les projections de CORDEX jusqu'en 2055. Comparaison des scénarios RPC 2.6 et 8.5.

En termes de jours/an de besoins en irrigation, Figure 46 montre les tendances des scénarios futurs de jours de pluie et de jours de demande d'irrigation pendant la saison du maïs (avril à octobre). La comparaison des scénarios montre que dans le cas RCP 2.6, on s'attend à ce que les jours de pluie augmentent et que la tendance des jours de demande soit négative. À l'inverse, dans le scénario 8.5, les projections indiquent une diminution progressive de la fréquence des précipitations et une augmentation des besoins d'irrigation pendant la campagne du maïs.

### Scénarios futurs : l'eau des aquifères

En 2022, l'absence prolongée de précipitations a entraîné une réduction de la recharge des nappes phréatiques dans le Piémont et la région alpine du sud-est de la France. L'analyse des données historiques de 1959 à 2022 indique que ces déficits peuvent réduire considérablement la quantité d'eau souterraine disponible pour l'approvisionnement en eau potable, affectant fortement l'ensemble de la chaîne agroalimentaire. En fait, une grande partie des aquifères de la zone montagneuse d'intérêt sont très vulnérables aux crises climatiques, qu'il s'agisse de sources mineures le long des pentes ou d'importantes urgences karstiques. Les aquifères situés dans les fonds des vallées principales, également vulnérables, sont à leur tour affectés par les types d'activités économiques qui persistent en surface ou dans les bassins hydrogéologiques ou hydrologiques. Le changement climatique affecte considérablement les ressources en eau souterraine de la région, provoquant la chute des aquifères. Ce phénomène est attribuable à plusieurs facteurs tels que, a) la diminution des chutes de neige : La réduction des chutes de neige entraîne une moindre recharge des aquifères, puisque la neige qui fond lentement contribue de façon significative à l'infiltration de l'eau dans le sous-sol. Avec moins de neige, l'apport aux aquifères diminue, ce qui réduit la disponibilité des eaux souterraines, b) Augmentation des températures et évapotranspiration : L'augmentation des températures mondiales provoque une augmentation de l'évapotranspiration, c'est-à-dire la combinaison de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration des plantes. Ce processus réduit l'humidité du sol et la quantité d'eau disponible pour l'infiltration dans les aquifères, c) Variations des précipitations : Le changement climatique modifie les régimes de précipitations, provoquant des sécheresses plus fréquentes et plus intenses. Dans le Piémont, depuis 2017, il y a des situations de déficit hydrique presque chaque année, avec une diminution des précipitations de 20 % au cours de la période 1991-2022 par rapport à 1921-1950. Cette réduction des précipitations limite la recharge naturelle des aquifères, d) Augmentation des prélèvements d'eau : En période de sécheresse, l'agriculture et d'autres secteurs augmentent l'extraction d'eau des aquifères pour compenser les pénuries de surface. Cette surexploitation contribue à l'abaissement du niveau des nappes phréatiques, aggravant la situation. La baisse du niveau des nappes phréatiques peut entraîner l'assèchement des puits et des sources, réduisant ainsi la disponibilité de l'eau dans la chaîne agroalimentaire, qui dépend fortement des eaux souterraines. Pour contrer ces effets, il est crucial de mettre en œuvre des pratiques de gestion durable de l'eau, telles que l'utilisation efficace de l'eau dans l'agriculture, la protection des zones de recharge des eaux souterraines et l'adoption de technologies d'économie d'eau. En outre, les consortiums d'irrigation jouent un rôle crucial dans l'adaptation et l'atténuation des effets du changement climatique, en investissant dans des infrastructures durables et des stratégies pour l'avenir. Le changement climatique exerce une pression importante sur les eaux souterraines dans la zone d'intérêt du projet. Il est essentiel de prendre des

mesures intégrées et durables pour préserver ces ressources vitales et assurer la résilience du territoire face aux défis climatiques à venir.

## Conclusions

D'après ce qui est présenté dans ce rapport, les changements climatiques devraient avoir une incidence importante sur l'empreinte hydrique des produits agroalimentaires dans la zone d'intérêt en raison de la hausse des températures, des changements dans la dynamique des précipitations et de la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes. En particulier, le changement climatique augmentera l'empreinte hydrique des produits agroalimentaires, notamment en augmentant les besoins d'irrigation et en réduisant la fiabilité des précipitations. Les stratégies d'adaptation, telles qu'une irrigation efficace, des cultures résistantes à la sécheresse et une meilleure gestion de l'eau, seront essentielles pour maintenir la durabilité agricole face au changement climatique.

Les principaux facteurs qui auront un impact sur l'empreinte eau sont :

1. Augmentation de la demande en eau pour l'irrigation : La hausse des températures et les sécheresses prolongées entraîneront des taux d'évapotranspiration plus élevés, ce qui signifie que les cultures nécessiteront plus d'irrigation. Cela augmentera l'empreinte eau bleue, même là où l'agriculture dépend déjà des aquifères. Les cultures gourmandes en eau telles que le riz, le maïs et les vergers seront particulièrement touchés.
2. Diminution de la disponibilité de l'eau verte : La réduction et l'irrégularité des précipitations diminueront la disponibilité de l'eau verte pour l'agriculture pluviale, obligeant les agriculteurs à passer à des pratiques agricoles plus dépendantes de l'irrigation. Ce changement pourrait rendre certaines cultures non durables dans certaines régions, modifiant ainsi les paysages agricoles traditionnels.
3. Concurrence accrue pour les ressources en eau : La pénurie d'eau entraînera des conflits entre les utilisateurs agricoles, industriels et domestiques. En particulier, les vignobles et les céréales pourraient souffrir d'une disponibilité limitée de l'irrigation, ce qui entraînerait une baisse des rendements et une baisse de la qualité.
4. Changements dans la qualité des cultures et les pratiques agricoles : Les agriculteurs peuvent avoir besoin d'adapter leurs choix de cultures pour s'adapter aux conditions climatiques changeantes. Les cultures traditionnelles telles que le blé, le maïs et les raisins peuvent éprouver des difficultés dans leurs régions actuelles, tandis que d'autres cultures tolérantes à la sécheresse (par exemple, le sorgho, les pois chiches) peuvent devenir plus viables.
5. Augmentation de l'empreinte des eaux grises en raison de la pollution : Le changement climatique peut entraîner des pluies abondantes et des inondations plus fréquentes, qui transportent des pesticides et des engrais dans les rivières et les lacs, augmentant ainsi l'empreinte des eaux grises. La pollution de l'eau limitera encore les ressources en eau potable disponibles.
6. Dépendance accrue aux aquifères : Avec des précipitations moins fiables, les agriculteurs pourraient extraire plus d'eau des aquifères, abaissant ainsi les aquifères. Cela augmentera l'empreinte eau bleue et épuisera les ressources en eau non renouvelables. L'industrie agroalimentaire est fortement dépendante de la disponibilité des ressources en eau, tant

## France – Italia ALCOTRA

pour la production agricole que pour les processus de transformation. Le changement climatique exacerbera le problème de l'abaissement des aquifères, mettant en péril la durabilité du secteur.

7. La raréfaction des ressources en eau entraînera : a) une augmentation des coûts de production due à la nécessité de capter l'eau de sources plus profondes ou de traiter les eaux usées, b) une réduction des rendements agricoles, avec un impact sur la quantité et la qualité des matières premières disponibles pour la transformation, c) des restrictions et limitations de l'utilisation de l'eau, imposées par les autorités locales en période de crise de l'eau, qui peuvent ralentir la production et compromettre la chaîne agroalimentaire, d) les difficultés en matière de sécurité alimentaire, car le manque d'eau peut affecter la salubrité et la qualité des produits transformés.

## Bibliographie

(s.d.). (International Foundation Big Data and Artificial Intelligence for Human Development)

Récupéré sur <https://www.ifabfoundation.org/2022/06/10/2022-european-drought/>

(s.d.). Récupéré sur

<https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/confronti-storici/dati/dati.html>

(s.d.). Récupéré sur

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-Cordex-domains-singlelevels?tab=form>

A. AghaKouchak, A. M. (2021). Anthropogenic drought: Definition, challenges, and opportunities. . *Rev. Geophys.*

Allen, R. G. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, FAODrainage and Irrigation*. Rome: Food and Agriculture Organization.

B. I. Cook, J. E.-H. (2022). , Megadroughts in the Common Era and the Anthropocene. *Nat. Rev. Earth Environ.* .

Bulletin, J. M. (2022). *Crop monitoring in Europe. Vol. 30 No 3, 21 March 2022*. EU.

Cao, X. B. (2023). Unravelling the effects of crop blue, green and grey virtual water flows on regional agricultural water footprint and scarcity. *Agric. Water Manag.*

Chapagain, A. K. (2004). *Value of Water Research Report Series No.16, UNESCO-IHE*.

Récupéré sur [www. waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf)

Chapagain, A. K. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*.

Chelli, G. (2023). Po river drought in 2022 was the worst of the last two centuries. *Nature Italy*.

Clifford, C. (2022). “Italy has declared a state of emergency because of drought: ‘There is no doubt that climate change is having an effect,’ the prime minister said” .

D. Faranda, S. P. (2023). Persistent anticyclonic conditions and climate change exacerbated the exceptional 2022 European-Mediterranean drought. *Environ. Res. Lett.*

D. Peña-Angulo, S. M.-S.-C. (2020). Long-term precipitation in South western Europe reveals no clear trend attributable to anthropogenic forcing. *Environ. Res. Lett.*

dell'Alimentazione, M. d. (s.d.). <https://agreste.agriculture.gouv.fr/>.

Doorenbos, J. a. (1979). *Yield response to water, FAO Drainage and Irrigation*. Rome: FAO.

Drought: Piedmont water reserves exhausted says official. (2022). *ANSA English*.

Falkenmark, M. (2023). Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*.

Falkenmark, M. a. (2004). *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. London: Earthscan.

FAO. (2010). (FAOSTAT database)

FAO. (2010). [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html). (CROPWAT 8.0 model)

FORÊT, M. D. (2024). *L'essentiel de l'agriculture régionale*.

H. Hisdal, K. S. (2001). Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent?  
*Int. J. Climatol.*

Hendy CRC, K. U. (1995). *Livestock and the environment finding a balance: Interactions between livestock production systems and the environment, Impact domain: concentrate feed demand.*

Hoekstra AY, C. A. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* London: Earthscan.

Hoekstra, A. Y. (2002). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trad.* Delft, Netherlands: UNESCO-IHE.

Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade.* Delft, The Netherlands: Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE.

Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources.* Oxford, UK: Blackwell Publishing.

Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources.* Oxford: Blackwell Publishing.

Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources.* Oxford: Blackwell Publishing.

Hoekstra, A. Y. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* London, UK: Earthscan.

Hoekstra, A. Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Adv. water Resour.*

Hoekstra, M. M. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*.

ISPRA. (s.d.). *Lo stato di severità idrica a scala nazionale*. Récupéré sur [https://www.isprambiente.gov.it/pre\\_meteo/idro/SeverIdrica.html](https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html)

J. Spinoni, J. V. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol*.

Liu, J. G. (2007). GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*.

Liu, J. G. (2007). GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*.

Marston, L. &. (2017). Drought impacts to water footprints and virtual water transfers of the Central Valley of California. *Water Resour. Res*.

Marta Tuninetti, S. T. (2015). Marta Tuninetti, Stefania Tamea, Paolo D'Odorico, Francesco Laio, Luca Ridolfi. *Water resources research*.

Mastrotheodoros, T., Pappas, C., Molnar, P., Burlando, P., Manoli, G., Parajka, J., . . . Fatichi, S. (2020). More green and less blue water in the Alps during warmer summers. *Nat. Clim. Chang*.

Mekonnen MM, H. A. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol Earth Syst Sci*.

Montanari, A. (2023). Why the 2022 Po River drought is the worst in the past two centuries. *Science Advances*.

- Organization), F. (. (2003). *Technical conversion factors for agricultural commodities*.  
Récupéré sur [www.fao.org/fileadmin/templates/ess/  
documents/methodology/tcf.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/methodology/tcf.pdf)
- P. Mehta, S. S. (2022). Global Area Equipped for Irrigation Dataset 1900-2015. *Zenodo*.
- Poggi D., S. T. (2021). *PROGRAMMA INTERREG VA ALCOTRA 2014-2020 – PITER ALPIMED – Progetto n. 4945 ALPIMED CLIMA*.
- Ponce-Oliva, R. D.-L. (2021). Water use and climate stressors in a multiuser river basin setting: Who benefits from adaptation? *Water Resour. Manag.*
- Portmann, F. T. (2010). MIRCA2000 – Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*.
- Rockström, J. (2001). Green water security for the food makers of tomorrow: Windows of opportunity in drought-prone savannahs'. *Water Science and Technology*.
- Rost, S. G. (2008). Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resour. Res.*
- Siccità in Piemonte: la situazione delle falde*. (s.d.). Récupéré sur <https://www.arpa.piemonte.it/notizia/siccita-piemonte-situazione-delle-falde>
- Siebert, S. a. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*.
- Vanessa Novoa, C. R.-R.-S. (2024). A temporal analysis of the consequences of the drought regime on the water footprint of agriculture in the Guadalupe Valley, Mexico. *Scientific Reports*.

Watson RT, Z. M. (1998). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.

Williams, J. R. (1995). The EPIC model', in V. P. Singh (ed) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publisher.

WWAP (World Water Assessment Programme). (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. London: UNESCO Publishing.

Z. Huang, M. H. (2018). Global gridded monthly sectoral water use dataset for 1971-2020. *Zenodo*.

Zisopoulou, K. &. (2021). An in-depth analysis of physical blue and green water scarcity in agriculture in terms of causes and events and perceived amenability to economic interpretation. *Water* .

# Interreg



Cofinancé par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

# goccia a goccia

## France – Italia ALCOTRA



CAMERA DI COMMERCIO  
CUNEO



CAMERA DI COMMERCIO  
RIVIERE DI LIGURIA  
IMPERIA LA SPEZIA SAVONA

