



**HAL**  
open science

## **International trade and water use in agriculture : The case of Tunisia.**

Sarra Kekli, Angela Cheptea, Catherine Laroche-Dupraz

### ► **To cite this version:**

Sarra Kekli, Angela Cheptea, Catherine Laroche-Dupraz. International trade and water use in agriculture : The case of Tunisia.. 18. Journées de la recherche en Sciences Sociales, Inrae; SFER; CIRAD, Dec 2024, Reims (France), France. <hal-04966012>

**HAL Id: hal-04966012**

**<https://hal.science/hal-04966012v1>**

Submitted on 25 Feb 2025

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

## Commerce international et utilisation de l'eau en agriculture: Le cas de la Tunisie

Sarra Kekli<sup>1</sup>, Angela Cheptea<sup>1</sup>, Catherine Laroche Dupraz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut national de la recherche agronomique et l'environnement

<sup>2</sup> L'Institut Agro Rennes-Angers

UMR SMART 1302 l'Institut Agro Rennes-Angers –INRAE

### Résumé

Ce travail étudie le lien entre le commerce des produits agricoles et l'utilisation de l'eau d'irrigation en Tunisie. Il produit une base de données associant des informations sur la production, l'empreinte en eau et le commerce du pays, différenciées par produits et par régions. Nous mettons en avant l'hétérogénéité des gouvernorats tunisiens en termes de spécialisation en cultures et de l'empreinte en eau d'irrigation de leurs productions et exportations agricoles. Nos résultats révèlent une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation via les exportations des produits cultivés que par leur sur le marché domestiques. Les olives et les dattes, produits phares de l'agriculture tunisienne, comptent pour la grande majorité de l'eau virtuelle « cachée » dans les exportations de produits agricoles bruts ou transformés du pays, mais n'excellent pas dans la valorisation de l'eau d'irrigation. On estime une valeur d'environ 1 \$/m<sup>3</sup> pour les exportations de dattes et une valeur moyenne de 2-3 \$/m<sup>3</sup> pour les exportations d'olives et huile d'olive. Les agrumes, tomates et céréales, cultivés principalement dans des zones plus humides et avec un important apport en eau de pluie, permettent une valorisation de l'eau d'irrigation jusqu'à dix fois plus élevée. Pourtant, la Tunisie est moins compétitive dans ces produits, dont la majorité est consommée localement, et les conditions pédoclimatiques limitent la conversion des spécialisations agricoles des régions arides.

**Mots clés :** Eau virtuelle, irrigation, ressources en eau, commerce international, produits agricoles, Tunisie.

**Codes JEL :** Q15, Q17, Q25, R19

### International trade and water use in agriculture : The case of Tunisia

#### Abstract

This study examines the connection between agricultural trade and the use of irrigation in Tunisia. It produces a database that merges information differentiated by products and regions on production, water footprints, and trade. We emphasize the heterogeneity of Tunisian provinces in terms of the crop specialization and the irrigation water footprint associated to their overall agricultural production and exports. Our findings reveal a higher valuation of irrigation water through exports of cultivated crops than their sale on the domestic market. Olives and dates, the flagship products of Tunisia's agriculture, account for the vast majority of virtual water "hidden" in the exports of agricultural goods (raw and processed), but yield a slim valuation of irrigation water. We find a value of around \$1 per m<sup>3</sup> of irrigation water for exported dates, and of \$2-3 per m<sup>3</sup> for the exports of olives and olive oil. Citrus fruits, tomatoes, and cereals, grown mainly in more humid areas and with a significant use of rainwater, yield values up to ten times higher. However, Tunisia is less competitive in these products, most of which are consumed locally, while soil and climate conditions do not permit to extend their cultivation in arid regions.

**Keywords:** Virtual water, irrigation, water resources, international trade, agricultural products, Tunisia.

**JEL codes:** Q15, Q17, Q25, R19

# Commerce international des produits agricoles et utilisation de l'eau en agriculture: Le cas de la Tunisie

Sarra Kekli<sup>1</sup>, Angela Cheptea<sup>1</sup>, Catherine Laroche Dupraz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut national de la recherche agronomique et l'environnement (INRAE), UMR SMART 1302

<sup>2</sup> L'Institut Agro Rennes-Angers, UMR SMART 1302

## Introduction

Selon le rapport de l'Institut Tunisien des Études Stratégiques (ITES, 2023) sur la sécurité alimentaire du pays à l'horizon 2035, la Tunisie envisage de réévaluer l'impact des politiques commerciales sur l'utilisation de l'eau d'irrigation dans la production agricole. Cette proposition reflète une prise de conscience nouvelle des défis posés par les pressions locales sur les ressources en eau, exacerbées par le commerce international, dans un contexte de raréfaction croissante de cette ressource.

La présente communication se propose d'examiner les interactions entre le commerce international et la gestion des ressources en eau en Tunisie, en mettant un accent particulier sur l'impact des échanges commerciaux sur l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole, afin d'éclairer les implications de ces dynamiques commerciales, tant sur le plan économique qu'en termes de durabilité environnementale en Tunisie.

Conformément au modèle classique de commerce international, on peut observer que l'expansion des exportations s'accompagne de l'intensification de l'usage des ressources et facteurs mobilisés dans les secteurs pour lesquels le pays dispose d'un avantage comparatif du fait de leur meilleure valorisation sur les marchés internationaux que sur le marché domestique. Ces théories (Ricardo, Viner et Heckscher-Ohlin-Samuelson) ont été développées dans un contexte où le facteur considéré comme limitant, et mobile entre secteurs, était le travail, la principale ressource utilisée pour la production étant la main-d'œuvre disponible dans le pays ; les autres ressources nécessaires aux productions étant, au 19<sup>ème</sup> siècle, considérées comme infinies, en tous les cas, non limitantes. En réalité, il apparaît clairement aujourd'hui que certaines ressources essentielles à la production (en particulier agricole) comme l'eau, sont non seulement limitées mais menacées de surexploitation plus encore avec la perspective des évolutions climatiques à venir. Pour autant ces anciens modèles restent pertinents pour comprendre dans quelle mesure les politiques commerciales seraient susceptibles d'influer l'utilisation des ressources comme l'eau dans le contexte agricole et remodeler les économies en fonction des dotations factorielles et des structures de production.

Des études telles que Wichelns (2001) et Allan (2003) ont fait le lien entre la quantité d'eau nécessaire à la production d'un bien ou service (eau virtuelle) et les dotations des pays en ressources hydriques, suggérant que les nations confrontées à des pénuries d'eau pourraient avoir intérêt à importer des produits agricoles dont la production nécessite beaucoup d'eau depuis des pays bien dotés en ressources hydriques, leur permettant de préserver leurs ressources hydriques limitées. Cette vision prospective permettrait, selon ses promoteurs, non seulement de maximiser l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau mais encouragerait également une gestion plus durable de cette ressource vitale (Chapagain et Hoekstra, 2003; Wichelns, 2004).

Toutefois, un certain nombre d'études montrent que la réalité ne se conforme pas forcément à cette vision : certains pays où les ressources hydriques sont rares développent l'utilisation intensive de l'eau pour exporter des produits sur le marché international, au risque de surexploiter leurs ressources en eau pour répondre à la demande étrangère, mettant en péril leurs propres besoins en eau à long terme (Garrido et al, 2010 ; Chapagain et Mekonnen, 2023). Cet apparent paradoxe s'explique très bien par la théorie des avantages comparatifs, dès lors que l'eau utilisée pour produire un bien destiné à être exporté est mieux valorisée sur le marché international que s'il elle était utilisée pour produire des biens moins bien rémunérés sur le marché domestique. Or ces situations peuvent amener à aggraver

les déséquilibres régionaux en matière d'accès à l'eau et privilégier les régions agricoles exportatrices au détriment des autres régions du pays.

Dans cette perspective, notre recherche vise à analyser comment les dynamiques du commerce international influencent la gestion des ressources en eau en Tunisie, un pays qui, tout en étant confronté à des défis hydriques significatifs, cherche à tirer parti de ses avantages comparatifs dans le secteur agricole.

La section suivante présente comment le lien entre la gestion de la ressource en eau et les échanges est traité dans la littérature, avec focus sur les travaux axés sur les pays arides. La section II décrit brièvement les données utilisées dans la présente analyse, leur appariement et conversion pour une analyse en termes de produits agricoles permettant d'explorer amplement la variation par régions et produits. Dans la section III, nous utilisons ces données pour cartographier les spécialisations des différentes régions tunisiennes, quantifier l'empreinte en eau d'irrigation et les volumes d'eau virtuelle exportés au niveau des produits et régions, et calculer la valorisation de l'eau virtuelle sur les marchés domestique et d'exportation. Enfin, nous discutons les implications de ces disparités régionales et par produits sur la gestion de la ressource en eau.

## **I – Commerce international et gestion de la ressource en eau**

### ***1.1 Le concept de l'eau virtuelle***

Le concept de l'*eau virtuelle* a été introduit par John Anthony Allan en 1993. L'eau virtuelle mesure l'eau nécessaire pour produire différents biens et services. Allan a présenté ce concept pour la première fois lors d'un séminaire à Londres, le qualifiant initialement d'"eau intégrée" ou "eau cachée" (Allan, 1993) pour illustrer notamment le cas des pays arides du Moyen-Orient, qui exportaient pourtant des produits nécessitant une irrigation intensive, comme les avocats.

Avec l'augmentation des préoccupations telles que la rareté de l'eau et la durabilité des développements, le concept d'eau virtuelle a gagné en intérêt, son utilisation se concentrant principalement sur les produits agro-alimentaires dont la production requiert de grandes quantités d'eau. L'évolution de ce concept en "*empreinte eau*" par des chercheurs tels que Hoekstra et ses collègues constitue un outil permettant de quantifier précisément la consommation d'eau tout au long des chaînes d'approvisionnement, enrichissant ainsi notre compréhension de la consommation d'eau par les consommateurs, les producteurs et les nations (Hoekstra et al., 2011).

Ainsi, utilisé initialement par des géographes avec une dimension spatiale pour cartographier les flux entre différentes régions et pays, le concept d'eau virtuelle a ensuite été adopté par des économistes pour expliquer les flux liés au commerce international (Debaere, 2014; Gilmont, 2015; Duarte et al, 2019; Makhoul et al, 2017). Certains pays importateurs peuvent réduire leur propre consommation d'eau en important des produits qui nécessitent une quantité substantielle d'eau pour leur production, réalisant ainsi un transfert virtuel d'eau des régions où elle est abondante vers celles où elle est plus rare, tandis que les pays exportateurs bénéficient de la valorisation de leurs produits agricoles, car ces produits incorporent l'eau utilisée durant leur production (World Water Council, 2004). Certains auteurs avancent que cela pourrait encourager également des pratiques de consommation d'eau plus responsables, impactant ainsi positivement les politiques liées à l'environnement, à l'alimentation et à la gestion de l'eau dans une perspective de durabilité à long terme (Antonelli and Sartori, 2014). Roch et Gendron (2005) apportent toutefois une réserve à cette approche. En effet, le concept d'eau virtuelle est utile pour comprendre l'impact du commerce international sur les ressources en eau, mais le commerce international ne garantit pas l'équité et la juste répartition des ressources, et les bénéfices du commerce ne sont pas toujours équitablement répartis, ce qui peut entraîner une intensification de l'usage des ressources en eau dans les pays exportateurs, parfois au détriment de leur propre sécurité hydrique.

Ainsi, la majorité de la littérature relative à l'eau virtuelle quantifie les flux d'eau virtuelle et le rôle du commerce international dans l'atténuation *versus* l'amplification des disparités des ressources en eau.

Ces études varient d'un niveau global (pour les échanges internationaux et pour tous les produits confondus) à des analyses plus spécifiques (pour un seul pays et un seul produit), abordant des questions comme les orientations politiques, la sécurité alimentaire ou la valorisation de l'eau.

### **1.2 Les échelles d'étude du commerce de l'eau virtuelle**

À l'échelle globale, les recherches se concentrent sur les flux internationaux d'eau virtuelle pour une vaste gamme de produits agricoles et non agricoles. Ces études, telles que celles menées par Hoekstra et Hung (2002), Hoekstra (2003), Chapagain et Hoekstra (2003, 2004), Renault (2003) et Zimmer et Renault (2003), estiment le volume total d'eau virtuelle échangée entre pays à l'échelle mondiale. Par exemple, l'étude de Hoekstra et Hung évalue le commerce mondial d'eau virtuelle à  $1040 \times 10^9 \text{ m}^3$  par an pour la période 1995-1999, tandis que l'étude de Renault et Zimmer fournit une estimation de  $1340 \times 10^9 \text{ m}^3$  pour l'année 2000. Ces études englobent une variété de produits, y compris les cultures, les produits animaux et industriels, offrant ainsi une vue d'ensemble du flux global d'eau virtuelle.

À l'échelle nationale, les études examinent les flux d'eau virtuelle entre un pays spécifique et ses partenaires commerciaux pour des produits agricoles. Ainsi Tamea et al. (2012) pour l'Italie et El-Sadek (2010) pour l'Égypte, se concentrent sur la manière dont un pays importe ou exporte de l'eau virtuelle *via* la vente ou l'achat sur les marchés internationaux des produits agricoles. Par exemple, Tamea et al. (2012) ont constaté que l'Italie avait un solde net d'importation de  $55 \text{ km}^3$  d'eau virtuelle en 2010, mettant en évidence son rôle d'importateur net d'eau virtuelle. De même, El-Sadek (2010) a révélé que le taux d'importation nette d'eau virtuelle en Égypte atteignait 23,55 % de ses ressources en eau, soulignant les défis spécifiques auxquels le pays est confronté en matière de sécurité alimentaire et de gestion des ressources en eau.

L'analyse de Duarte et al. (2019) offre un aperçu de l'évolution des volumes d'eau virtuelle échangés dans le secteur agricole de 1965 à 2010 entre différentes régions ou groupes de pays à l'échelle continentale, et évalue la contribution des activités agricoles et d'élevage à ces échanges. Les auteurs montrent que, malgré une pression croissante sur les ressources en eau, les pays ont maintenu leurs niveaux d'exportation d'eau virtuelle, avec des variations notables dans le niveau de transformation des produits exportés, en fonction du degré de développement des pays.

Sartori et al. (2017) montre que les zones développées augmentent leurs échanges de produits agricoles à forte valeur ajoutée, souvent plus intensifs en eau, alors que les économies moins développées se spécialisent dans la production de produits agricoles de base, faisant évoluer différemment leur sécurité alimentaire. Sartori et Schiavo (2015) pointe que, même dans le cas où le commerce international permet à un pays d'économiser sa ressource en eau *via* des importations de produits étrangers, cela accroît en contrepartie sa dépendance vis-à-vis des fournisseurs étrangers pour sa sécurité alimentaire. L'étude de Sagardoy et Varela-Ortega (2010) met aussi en avant l'importance du commerce international de produits agricoles pour la sécurité alimentaire et la gestion des ressources en eau dans la région méditerranéenne. Leur analyse montre que le choix des cultures et les pratiques d'irrigation sont adaptées pour maximiser l'efficacité de l'eau et tirer meilleur parti du commerce, soulignant que pour garantir une gestion durable des ressources en eau, les politiques doivent intégrer non seulement des considérations environnementales mais aussi socio-économiques.

Ces différentes observations suggèrent que les dynamiques commerciales sont influencées par des déterminants économiques (la valorisation de l'eau virtuelle sur les marchés internationaux) plutôt que par une volonté de redistribution des ressources en eau des zones abondantes vers les zones déficitaires, ce qui ouvre la voie à une réflexion sur le rôle que pourraient jouer les politiques commerciales pour la préservation des ressources en eau. De fait, Rosa et al. (2019) démontrent que les stratégies commerciales conduisent à une surutilisation de l'irrigation (l'eau bleue) dans les pays exportateurs, et estiment que la moitié des irrigations au niveau planétaire serait non soutenable. Chepeta et Laroche-Dupraz (2021) montrent que l'intensité de l'irrigation en agriculture dépend des prix espérés sur les marchés internationaux, particulièrement pour les cultures exportées. En termes de recommandations politiques, les auteurs préconisent que les décideurs tiennent compte des effets

du commerce sur l'utilisation de l'eau pour l'irrigation, notamment dans les régions sujettes à la sécheresse. Ils suggèrent d'utiliser des outils de politique commerciale telles que des taxes d'exportation spécifiques ou des quotas d'exportation, basés sur la quantité d'eau virtuelle contenue dans les produits échangés, considérant ces approches comme potentiellement plus simples et efficaces pour la gestion de la ressource en eau que les politiques de tarification différenciée de l'eau, en particulier dans les pays en développement.

### ***1.3 Les études menées en zones aux ressources en eau vulnérables***

Chapagain et al. (2006) estiment qu'en absence du commerce international les besoins en eau virtuelle assurant le même niveau de consommation mondiale seraient 28% plus élevés. Avec un modèle plus élaboré, Biewald et al. (2014) estiment à 20% cette économie d'eau virtuelle associée au commerce de produits agro-alimentaires. Ces auteurs montrent également que le commerce modifie les pratiques d'irrigation au niveau mondial : il génère une baisse de 20% de la production agricole pluviale et une hausse de 13% et la production agricole en irrigation par rapport à la situation d'autarcie, avec des effets particulièrement élevés pour l'Afrique et le Moyen Orient.

L'étude de Gilmont (2015) montre que des pays du MENA peuvent réduire la pression sur leurs ressources en eau locales en augmentant leurs importations alimentaires, au risque d'accroître leur dépendance aux importations. L'importation des produits gourmands en eau permet de soulager la pénurie locale de cette ressource. De même, l'analyse de Tamea et al. (2012) illustre sur le cas d'Italie la capacité des pays à adapter leurs importations et exportations d'eau virtuelle sur le long terme, ainsi que la hausse constante de la distance parcourue par ces flux.

En revanche, Carleton et al. (2024) montrent que, même si la disponibilité globale en eau pour l'agriculture n'a pas diminué de manière significative, la spécialisation des régions/pays arides dans l'exportation de produits intensifs en eau conduit à l'épuisement rapide des ressources en eau locales et l'émergence ou l'aggravation des problèmes économiques et sociaux. Ce constat est souligné aussi par Liu et Yang (2010) pour certains pays européens, tels que l'Espagne, qui exportent des produits agricoles intensifs en eau depuis des régions où l'eau est déjà rare. En même temps, Garrido et al. (2010) montrent que l'Espagne est un importateur net d'eau virtuelle et utilise le commerce pour réduire sa vulnérabilité face aux fluctuations climatiques. Cette étude indique également que le commerce de l'eau virtuelle exerce une pression sur la gestion de la ressource en eau du pays.

En utilisant un modèle d'équilibre général calibré sur le Maroc, Diao et Roe (2003) suggèrent déjà l'intérêt d'utiliser conjointement la tarification de l'usage de l'eau et la politique commerciale marocaine pour faire évoluer le commerce de façon à mieux gérer l'utilisation des ressources en eau du pays. Novo et al. (2009) examinent l'alignement du commerce international de céréales avec la rareté relative de l'eau. Leur étude montre comment le commerce peut être structuré pour refléter les disponibilités en eau des différentes régions, permettant ainsi une utilisation plus efficace des ressources hydriques globales.

En somme, l'examen des différentes études confirme l'importance pour un pays soumis à contraintes hydriques de considérer de façon précise et approfondie l'impact du commerce des produits agricoles sur ses ressources en eau et sa sécurité alimentaire. Ces travaux suggèrent l'intérêt qu'un pays pourrait avoir à ajuster sa politique commerciale agricole en fonction de l'eau virtuelle dans les échanges, afin d'obtenir une gestion plus efficace de la ressource en eau.

### ***1.4 Le cas de la Tunisie***

Le choix de la Tunisie pour cette étude est motivée d'une part par l'importance économique du secteur agricole, et d'autre part en raison de la vulnérabilité des ressources hydriques du pays. Le secteur agricole représente environ 10% des exportations totales du pays, soit près de 1,947 milliard de dollars américains en valeur pour l'année 2020 (ONU, 2020). Les exportations agricoles tunisiennes sont dominées par les olives et les dates, sous forme brute ou transformée. Entre 2003 et 2022, les deux

produits ont été exportés à hauteur de 77% et respectivement 35,4% de la production nationale en quantité (MARHP, 2018; MARHP, 2023).

Située en Afrique du Nord, la majeure partie du territoire tunisien est caractérisée par un climat aride, influencé par les brises marines, les vents sahariens, et la crête tunisienne. Cette diversité géographique entraîne des conditions climatiques variées : de semi-humides dans l'extrême nord à semi-arides au nord-ouest, arides au centre, et désertiques au sud sur plus de 50 % de la superficie du pays. Les précipitations annuelles varient grandement, oscillant entre 1 600 mm dans l'extrême nord à moins de 100 mm dans les régions du sud, posant des défis uniques pour l'agriculture de chaque région (Gafrej, 2017). La répartition des ressources en eau de la Tunisie est marquée aussi par une forte disparité régionale, donnant lieu à des pratiques agricoles très différentes et de défis spécifique pour la gestion de l'eau. Le potentiel en eau d'irrigation est composé à 55% par des eaux de surface, la plupart dans le nord du pays, et à 45% par des eaux souterraines, concentrés dans le sud. Les eaux de surface sont gérées à travers 36 barrages et 209 lacs collinaires. Malgré cette importante infrastructure, la baisse des précipitations et la diminution conséquente du taux d'envasement des barrages (23% en moyenne en 2021) ont renforcé l'irrégularité et l'inégalité des apports d'eau en Tunisie (BPEH, 2020). Les ressources en eau souterraines jouent un rôle crucial dans l'atténuation des sécheresses, en particulier dans les zones à précipitations irrégulières (BPEH, 2021). Pourtant, elles sont majoritairement non-renouvelables et surexploitées (avec un taux d'extraction de 119-146%).

L'agriculture tunisienne absorbe environ 80% des prélèvements d'eau, principalement issus des aquifères profonds, exerçant une pression intense sur cette ressource limitée (BPEH, 2020). Cette situation est exacerbée par une gestion de l'eau caractérisée par des défis dans la gouvernance et des limitations des instruments de gestion actuels, qui ne parviennent pas toujours à répondre aux besoins des acteurs locaux (Gafrej, 2017). Dans ce contexte, le gouvernement tunisien, à travers ses ministères de l'Agriculture et du Commerce, envisage de revoir les politiques d'exportation des produits agricoles pour mieux intégrer l'utilisation d'eau virtuelle (ITES, 2023). Cette initiative et l'intérêt récent des décideurs publics à la notion d'eau virtuelle indique une prise de conscience de la nécessité d'intégrer des considérations de gestion durable des ressources hydriques dans les stratégies politiques nationales.

Chahed et al. (2010) ont développé un modèle global de la balance hydrique de la Tunisie, simulant divers scénarios à l'horizon 2025 et 2050. Ce modèle a mis en évidence la nécessité d'optimiser l'utilisation de la ressource hydrique nationale, en développant l'exportation de produits issues d'une agriculture principalement pluviale (comme l'huile d'olive) et l'importation de produits cultivés avec une irrigation intense. En quantifiant les flux d'eau virtuelle de la Tunisie, Chahed et al. (2015) et Makhlouf et al. (2017) ont montré que le pays est importateur net d'eau virtuelle. La plupart des flux sortants en eau virtuelle (pluviale et d'irrigation) est liée à l'exportation d'huile d'olive et de dattes, tandis que l'importation de céréales permet au pays d'économiser des ressources en eau. Souissi et al. (2017) défend que la Tunisie pourrait économiser des volumes importants d'eau en modifiant ses stratégies commerciales. L'étude de Chahed et al. (2015) met aussi en évidence d'importantes variations régionales et à travers les produits en termes d'eau virtuelle. Dans la même veine, Hammami et al. (2017) soulignent les fortes variations de l'eau virtuelle liées à la culture céréalière entre les différentes régions de la Tunisie. Lajili-Ghezal et al. (2014) ont approfondi ce type d'analyses en examinant l'apport en eau nécessaire pour diluer les pollutions agricoles. Ils défendent le perfectionnement des techniques d'irrigation pour réduire ces besoins en eau dans les régions semi-arides et améliorer la sécurité alimentaire.

Souissi et al. (2019) ont examiné l'empreinte eau alimentaire des consommateurs tunisiens et ont révélé des variations importantes en fonction des choix alimentaires, caractéristiques démographiques et régions géographiques du pays. Ils trouvent que les habitants des grandes villes ont tendance à avoir une empreinte eau plus élevée, principalement en raison de leur consommation accrue de produits d'origine animale et des gaspillages alimentaires. Les auteurs suggèrent la promotion de régimes

alimentaires plus durables et des ajustements dans les politiques agricoles et commerciales pour mieux gérer les ressources en eau.

Notre étude vise à tester, sur l'échelle de la Tunisie, l'hypothèse économique selon laquelle une meilleure valorisation des biens agricoles sur les marchés internationaux conduit à une utilisation plus intensive de l'eau d'irrigation (eau bleue), au risque de mettre en jeu la durabilité des ressources en eau du pays. Contrairement aux études antérieures qui ont intégré l'eau pluviale (eau verte) ou qui se sont concentrées sur les produits agricoles stratégiques, nous cherchons précisément à identifier les produits et les régions concernées par leur forte empreinte en eau d'irrigation. Notre approche complète les travaux de Souissi et al. (2019) en explorant l'eau virtuelle du point de vue de la demande étrangère, et non pas domestique.

Pour tester cette hypothèse, il est nécessaire d'identifier les quantités des biens agricoles tunisiens exportés et vendues sur le marché domestique, les prix auxquels ils sont commercialisés dans chaque circuit, et la quantité d'eau d'irrigation nécessaire à leur production. Ensuite, la quantification et caractérisation des flux d'eau virtuelle permettra de mieux comprendre en quelle mesure le commerce extérieur de la Tunisie permet une utilisation durable de ses ressources hydriques.

## II – Données et méthode

### **2.1 Appariement de données issues de sources distinctes**

Pour cette étude nous avons apparié des données nationales et régionales sur la production et les besoins en eau des principales cultures de la Tunisie, ainsi que leur exportation et commercialisation sur le marché domestique. Les détails sont présentés dans l'Annexe.

Les données nationales sur la production agricole au niveau national sont tirées de FAOSTAT. Elles ont été complétées par des données déclinées à l'échelle des gouvernorats (divisions administratives), collectées auprès des Commissariats Régionaux au Développement Agricole de la Tunisie. Ces données renseignent la quantité produite (en tonne) et la surface cultivée (en ha) pour chaque produit et année. Contrairement aux données nationales disponibles sur une large période et pour la plupart des produits cultivés dans le pays, les données régionales ont une couverture plus réduite, tant sur la dimension temporelle que sur la dimension produit. Par exemple, la production des céréales, dattes et olives est documentée jusqu'en 2015-2017, alors que celle des légumes (tomates, concombres, pastèques, melons et piments) est collectée pour une période plus récente. De même, les données régionales sont regroupées pour tous les agrumes et sont très peu ou pas de tout renseignées pour les autres fruits (pommes, figues, abricots, pistaches). Cela implique une réduction de l'étendue de l'analyse à douze produits ou groupes de produits, qui couvrent environ 75% de la production agricole du pays et 83% de la surface cultivée. Pour combiner des données avec dimension temporelle différente, nous choisissons de présenter les résultats sous forme de moyenne annuelle sur la période 2010-2020. Ces choix nous permettent d'explorer au maximum la richesse et variation des données régionales.

Nous apparions ces données avec les estimations de Mekonnen et Hoekstra (2010) d'eau d'irrigation pour la Tunisie. La littérature sur l'eau virtuelle et l'empreinte en eau (WFP – Water Foot Print) distingue trois catégories des ressources en eau utilisées en agriculture: (i) *eau verte*, eau de pluie stockée dans le sol, (ii) *eau bleue*, provenant des ressources en surface et souterraines, et (iii) *eau grise*, nécessaire pour contrecarrer les effets nocifs des polluants tels que les engrais et les pesticides. A l'aide d'un complexe modèle mobilisant des concepts et sources agronomiques, géographiques et pédoclimatiques, Mekonnen et Hoekstra (2010) déduisent la quantité d'eau (en m<sup>3</sup>) utilisée pour cultiver une unité (tonne) de produit – en moyenne annuelle sur la période 1996-2005, séparément pour chacune des trois catégories d'eau virtuelle ci-nommées, pour 126 produits agricoles et la majorité des pays du monde. Cette base constitue la principale source de données sur l'empreinte en eau utilisées dans la littérature académique et les travaux d'expertise, en particulier pour les analyses impliquant des comparaisons à travers les produits et/ou les pays. Elle fournit les empreintes en eau

de la plupart des produits cultivés en Tunisie, au niveau national et par gouvernorat. Pour cette étude, nous nous concentrons sur l’empreinte en eau bleue, c’est-à-dire correspondant à l’irrigation. L’appariement avec les données de production a été fait sur la base des codes produits et noms des gouvernorats, présents dans les deux sources.

Les données sur les exportations tunisiennes – toutes destinations confondues – proviennent de la base COMTRADE des Nations Unies (basée sur les déclarations de douane collectées par chaque pays). Elles ont une très bonne couverture annuelle et par produit, mais sont fournies seulement au niveau national. Pour apporter une dimension régionale à ces données, nous supposons que les exportations d’un produit donné sont réparties entre gouvernorats proportionnellement à leurs parts dans la production nationale. En prenant l’exemple des dattes dont 55-56% de la production est concentrée dans le gouvernorat de Kebili, nous considérons que cette région contribue avec le même taux aux exportations tunisiennes de dattes. Alors que l’irrigation se fait au niveau des produits agricoles de base, ceux-ci peuvent être exportés non seulement sous forme brute, mais aussi comme produits transformés. Cet aspect est important pour la Tunisie, dont le principal produit agricole exporté – l’huile d’olive – est un produit de transformation. De même, une bonne partie des agrumes et tomates cultivées dans le pays sont exportées sous forme de concentré, jus, ou sauce. Pour intégrer les exportations des produits agricoles transformés (issus de la première transformation), nous les exprimons en équivalent produit agricole de base (racine). Nous appliquons le coefficient de conversion fourni par Mekonnen et Hoekstra (2010) pour chaque produit commercialisé au niveau international, ainsi que leur correspondance entre produits transformés et produits de base. Selon ce calcul, étant donné qu’une tonne d’olives permet de produire 200 kg d’huile d’olive vierge, l’exportation de 100 tonnes d’huile d’olive correspond à un équivalent de 500 tonnes d’olives.

## 2.2 L’empreinte en eau et la valorisation de l’eau virtuelle

En multipliant le niveau de production ( $q$ ) par l’empreinte en eau bleue ( $WFP$ ), nous obtenons la quantité d’eau d’irrigation utilisée pour cultiver chaque produit  $k$  dans chaque gouvernorat  $i$  :

$$Irrigation_{ki} = q_{ki} \times WFP_{ki} . \quad (1)$$

La somme de ces résultats à travers les produits donne l’empreinte en eau de la production agricole totale de chaque gouvernorat :  $WFP_i = \sum_k Irrigation_{ki} = \sum_k q_{ki} \times WFP_{ki}$  , et la somme de ces derniers permet d’obtenir l’empreinte en eau d’irrigation pour l’ensemble de la production agricole tunisienne :  $WFP_{TUNISIE} = \sum_i WFP_i = \sum_i \sum_k q_{ki} \times WFP_{ki}$  .

En combinant ces résultats avec des informations sur les échanges, nous pouvons déterminer la quantité d’eau d’irrigation associée aux exportations ( $x$ ):

$$Irrigation_{ki}^{EXP} = x_{ki} \times WFP_{ki} . \quad (2)$$

Comme plus haut, ce calcul peut être mené au niveau de chaque produits et gouvernorats, ainsi que pour l’ensemble du pays.

En connaissant le prix auquel les produits sont vendus à l’intérieur du pays et à l’étranger, on peut déduire la valorisation maximale de l’eau virtuelle utilisée pour irrigation. Pour la commercialisation sur le marché domestique, nous utilisons les prix auprès des producteurs ( $p$ ) fournis par FAOSTAT. Pour obtenir une approximation des prix d’exportation, nous utilisons la valeur unitaire ( $p^{EXP}$ ) égale au ratio entre la valeur monétaire des exportations et la quantité exportée. Puisque les données sur les prix et les exportations sont disponibles seulement au niveau national, nous utilisons l’empreinte en eau d’irrigation moyenne au niveau du pays pour calculer la valorisation de l’eau virtuelle de chaque produit sur les deux marchés:

$$V_k = \frac{p_k}{WFP_k} ; \quad V_k^{EXP} = \frac{p_k^{EXP}}{WFP_k} . \quad (3)$$

Par conséquent, les résultats que nous obtenons ne varient pas non plus à travers les régions. Un écart positif entre la valorisation d’un produit sur le marché international et le marché domestique indique

l'attractivité du premier, susceptible d'inciter les producteurs à se spécialiser davantage dans l'exportation de ce produit.

### III – Les résultats : fortes disparités régionales et par produit

#### 3.1 La spécialisation de l'agriculture tunisienne

L'agriculture tunisienne est concentrée sur la culture d'un petit nombre de produits phares (voir Tableau 1). 78% de la surface agricole du pays est dédiée à la culture d'olives et de céréales. Ces produits comptent pour 41% de la valeur de la production agricole exprimée en prix de producteur. Les données présentées dans la section précédente permettent d'établir les spécificités régionales de l'agriculture tunisienne en termes de spécialisation et d'irrigation. La Figure 1 met en lumière la répartition géographique des principales cultures à travers les gouvernorats. Ainsi, nous observons une distribution spatiale de la production en accord avec les conditions pédoclimatiques et la disponibilité des ressources en eau. Cela explique la forte concentration de certaines cultures dans certaines régions du pays, ainsi que la forte spécialisation de certains gouvernorats dans un nombre limité de produit.

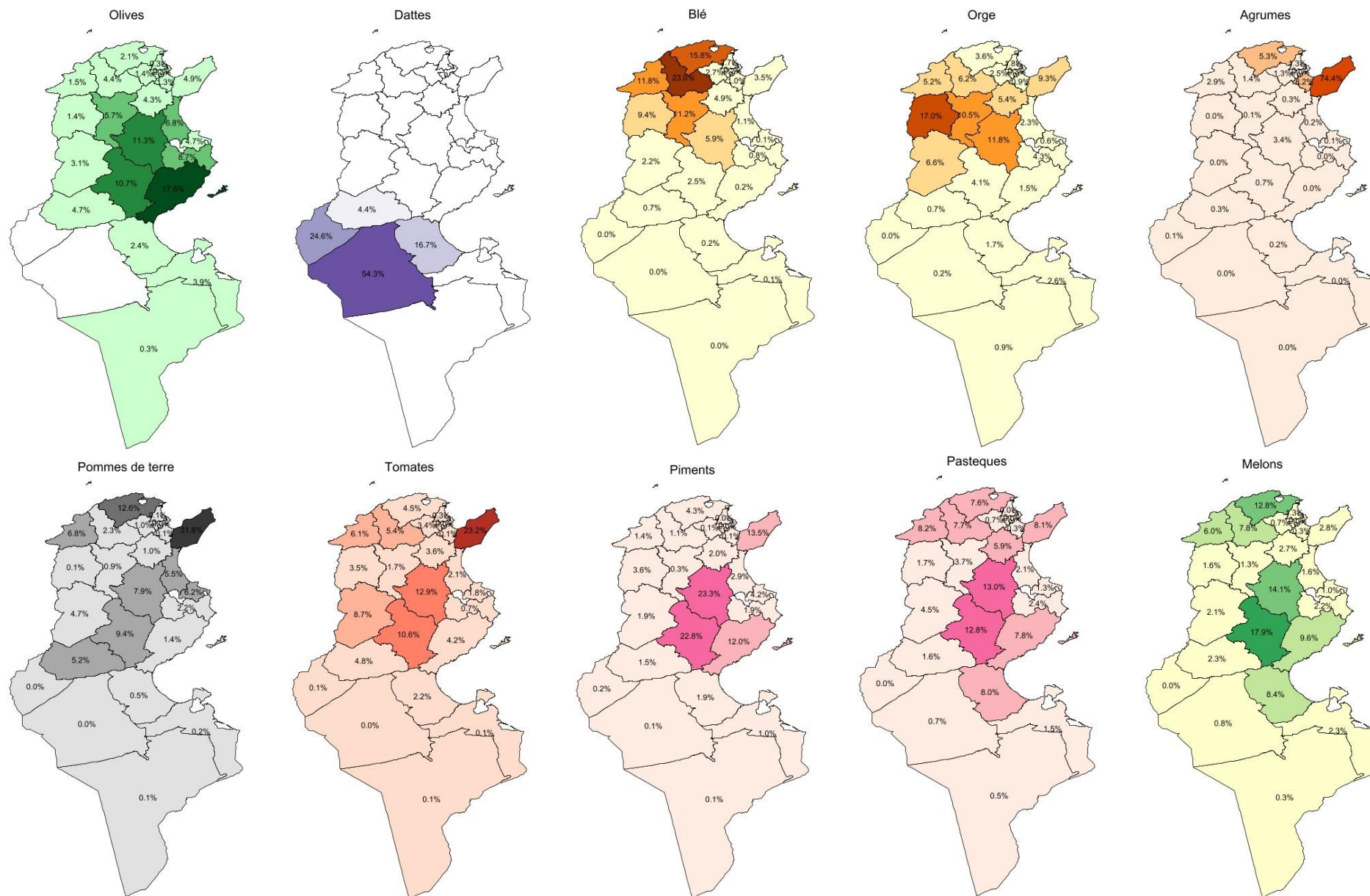
Les olives sont de loin la principale culture de la Tunisie, avec une contribution de 28% à la production agricole du pays et de 50% aux exportations (produits agricoles bruts et transformés). La plupart (98% des surfaces) sont des olives à huile, cultivées en agriculture pluviale. Pour cette raison la production d'olives est répandue sur l'ensemble du territoire, sauf les régions les plus arides. Les dattes sont la deuxième culture en termes de poids dans la valeur de la production agricole et les exportations. La culture des dattes est concentrée dans quatre gouvernorats du sud, Kebili assurant à lui seul plus de la moitié de la production nationale et des surfaces dédiées. Contrairement aux olives, les dattes sont cultivées dans un climat aride ou saharien (dans les oasis) et intégralement avec irrigation à partir des nappes souterraines, pour la plupart surrexploitées. Les autres produits occupent une place plus faible dans l'agriculture tunisienne et sont produits autant en pluvial qu'en irrigation. La majorité de la production de céréales – 77% pour le blé et 54% pour l'orge – est localisée dans le nord-ouest de la Tunisie, région avec de conditions climatiques et sols adaptés, qui enregistre le plus grand niveau de pluviométrie et où sont situés les principaux barrages permettant une irrigation avec d'eaux de surface. Les céréales cultivées par la Tunisie sont destinées principalement à la consommation domestique, le pays étant un importateur net de ces produits.

**Tableau 1 : Les principales cultures de la Tunisie**

	Part dans la production en valeur	Part de la surface cultivée	Part de la production exportée en quantité	
			<i>produits bruts</i>	<i>produits bruts et transformés</i>
Olives	0,2786	0,4574	0,000	0,876
Dattes	0,1230	0,0138	0,456	0,441
Blé	0,1043	0,1837	0,000	0,125
Piments	0,0693	0,0023	0,031	0,034
Tomates	0,0609	0,0078	0,015	0,074
Agrumes	0,0409	0,0037	0,063	0,062
Pommes de terre	0,0314	0,0065	0,002	0,019
Pastèques	0,0305	0,0023	0,016	0,038
Orge	0,0245	0,1445	0,000	0,000
Melons	0,0087	0,0027	0,080	0,012
Concombres	0,0074	0,0009	0,000	0,000
Courges	0,0063	0,0009	0,043	0,056
Total	0,7859	0,8266		

Source : Calculs par les auteurs. Moyennes sur la période 2013-2016.

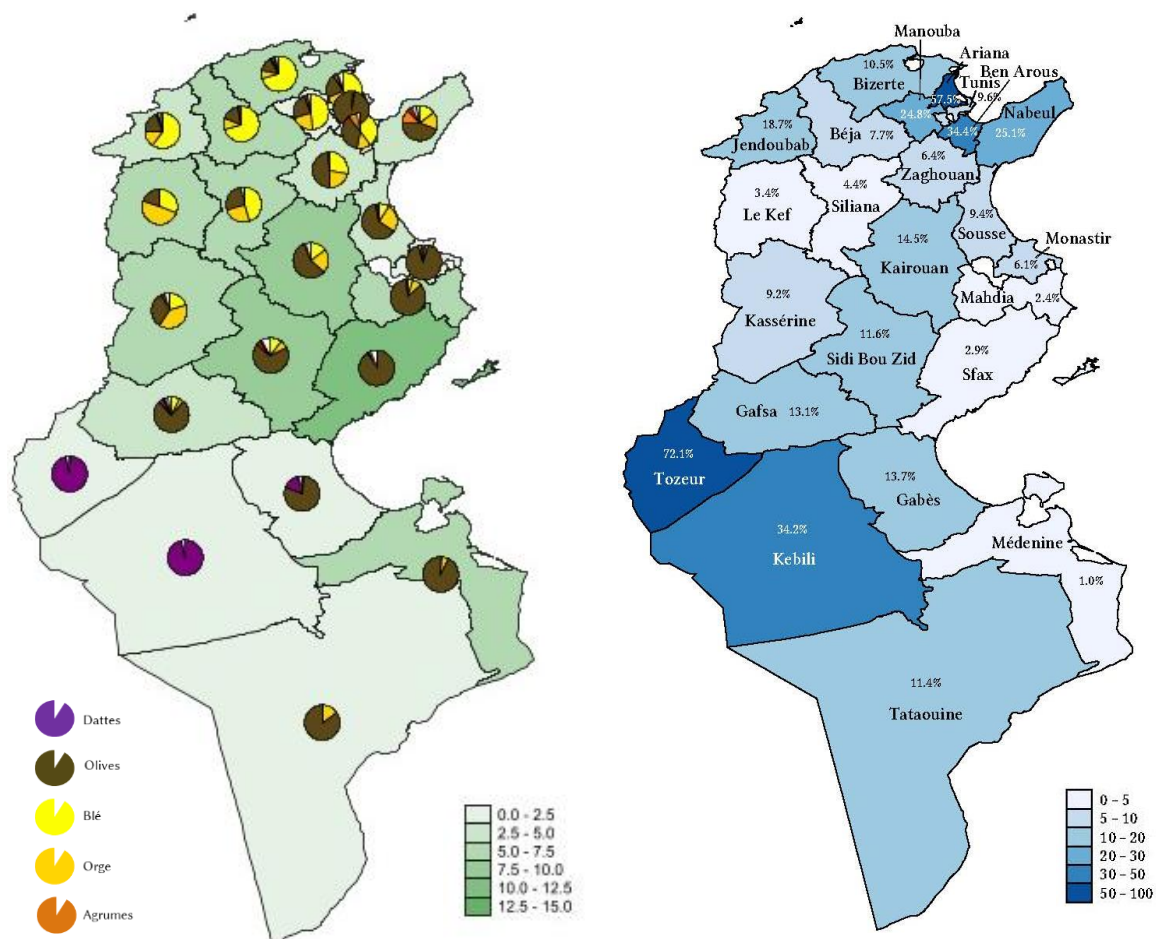
**Figure 1 : Répartition géographique des principaux produits cultivés en Tunisie (% dans la production nationale - moyennes sur la période 2010-2020)**



Le gouvernorat de Nabeul, situé dans le nord-est de la Tunisie, domine la production d'agrumes (75% de la production nationale). C'est également la première région productrice de pommes de terre (31%) et tomates (25%). Cette concentration s'explique par la disponibilité d'eaux d'irrigation, la proximité des grandes villes (principal débouché domestique) et des deux plus grands ports. Les autres cultures maraîchères sont concentrées dans deux gouvernorats dans le centre du pays – Kairouan et Sidi-Bou-Zid – et dans une moindre mesure dans les régions côtières du nord et du centre.

La Figure 2 complète cette analyse par une cartographie de la répartition par cultures de la production agricole de chaque gouvernorat. Cette visualisation permet de distinguer les cultures qui dominent la production agricole dans chaque région et de mettre en avant la concurrence entre différentes cultures au niveau régional pour les ressources hydriques. La forte spécialisation des régions du sud et centre-est dans la culture d'un petit nombre de produits agricoles contraste avec la diversification des cultures dans les régions du nord. La carte révèle que la culture de l'olivier domine dans la plupart des régions, en accord avec l'importance de cette culture dans la production et les exportations tunisiennes. L'agriculture des régions du sud-ouest est fortement marquée par la culture des dattes, concentrée dans des zones oasiennes. On observe également une compétition entre les olives et les céréales dans le nord et le centre de la Tunisie.

**Figure 2 : Spécialisation agricoles des gouvernorats tunisiens**



Source : Calculs par les auteurs.

Notes : La carte à gauche : les camemberts représentent la part de chaque culture dans la surface cultivée du chaque gouvernorat, moyennes sur la période 2010-2020 ; les nuances de vert reflètent la part de chaque gouvernorat (en %) dans la surface totale cultivée du pays. La carte à droite : les nuances de bleu reflètent la part irriguée dans la surface cultivée (en %) de chaque gouvernorat.

La région avec l'agriculture la plus diversifiée du pays est le gouvernorat de Nabeul dans la pointe nord-est, leader dans la production d'agrumes, pommes de terre et tomates. Grâce au climat tempéré chaud, niveau élevé de pluviométrie et position géographique proche des principales aires urbaines et axes de transport maritime, cette région produit à grande échelle la moitié des principales cultures agricoles du pays. La production y est relativement équilibrée entre les différentes cultures, donnant lieu à un indice de concentration Herfindahl-Hirschmann de 0,28, le plus faible de la Tunisie. On observe une diversité agricole légèrement inférieure dans les gouvernorats Ariana et Benarous, situés aux périphéries nord et sud de la capitale et fortement spécialisés dans l'approvisionnement de cette aire urbaine. A l'autre extrémité, nous retrouvons Tozeur et Kébili avec une forte spécialisation dans la culture de dattes, ainsi que Tunis avec un petit secteur agricole dominé par la culture d'olives. Les trois régions ont des indices de concentration supérieurs à 0,90.

L'agriculture tunisienne est fortement orientée vers l'exportation. C'est vrai en particulier pour les principales cultures du pays. Ainsi, 87% de la production totale d'olives sont destinés aux marchés internationaux (dernière colonne du Tableau 1), la plupart transformée en huile. Les dattes sont exportées à un taux de 44%, la Tunisie est le troisième exportateur mondial de ce produit. On exporte principalement la variété Deglet Nour, très appréciée pour sa qualité supérieure, ce qui explique sa présence marquée sur les marchés internationaux (MARHP, 2023). La Tunisie étant un importateur net de céréales, sa culture de blé et d'orge est prioritairement destinée à la consommation domestique. Le pays exporte néanmoins environ 12,5% de sa production, essentiellement du blé dur, profitant des prix attractifs sur le marché international. Quant aux cultures maraîchères comme les tomates, courges, pastèques, melons, piments et pommes de terre, elles sont principalement destinées à la consommation locale, avec moins de 6 % de la production exportée.

Cette variation du taux d'exportation à travers les cultures illustre clairement les priorités stratégiques de l'agriculture tunisienne : maximiser les revenus d'exportation avec des produits à forte valeur ajoutée tels que les olives et les dattes, tout en assurant la disponibilité de cultures essentielles pour la consommation domestique, comme le blé et les légumes. Ce choix stratégique exprime l'arbitrage entre générer des revenus plus élevés à travers les exportations et assurer la sécurité alimentaire en limitant la dépendance aux importations.

### ***3.2 Quantification et valorisation de l'eau d'irrigation***

Le Tableau 2 traduit les spécialisations agricoles des gouvernorats tunisiens en termes d'empreinte en eau d'irrigation. La première colonne indique la quantité d'eau d'irrigation utilisée pour produire l'ensemble de produits cultivés par gouvernorat. La deuxième colonne montre la quantité exportée de cette eau d'irrigation. Ces valeurs ont été calculés selon les équations (1) et (2) de la section II. Nos résultats montrent que le gouvernorat de Kébili est de loin le principal consommateur d'eau d'irrigation, avec 525 millions de m<sup>3</sup> en 2016, soit plus d'un tiers du total national. Cette consommation élevée est due au profil pédoclimatique et agricole de la région, largement spécialisée dans la culture des dattes via une irrigation intense à hauteur de 3271 m<sup>3</sup> par tonne produite. Près de la moitié de l'eau d'irrigation utilisée par cette région est exportée (0.46), un taux double à la part exportée de sa production agricole évaluée aux prix producteur (0.22). Les autres grands utilisateurs d'eau d'irrigation sont les gouvernorats de Sidi Bouzid, Sfax, Tozeur et Nabeul, avec des consommations annuelles supérieures à 100 millions de m<sup>3</sup>. Ces niveaux de consommation s'expliquent par le fait que ces régions ont un climat très aride et/ou se spécialisent dans des cultures gourmandes en eau comme les dattes, agrumes, et certaines cultures maraîchères.

Un calcul similaire par produit révèle les olives et les dattes sont responsables pour le plus grand volume d'eau bleue virtuelle exportée – avec respectivement 366 et 336 millions de mètres cubes – en raison de leur poids important dans les exportations et leur empreinte en eau relativement élevée. Ce résultat est cohérent avec le travail de Souissi et al. (2017), qui quantifient les flux sortants d'eau bleue associés aux exportations de dattes à 300 millions de mètres cubes. Ces auteurs notent également que la culture des olives n'est pas préoccupante en termes de consommation d'eau, car elle

valorise efficacement l'eau de pluie (quantifiée à 1 395 millions de mètres cubes), qui est de toute manière non récupérable. Les autres produits se distinguent par une consommation en eau bleue beaucoup plus réduite : 27 millions m<sup>3</sup> pour les exportations de blé, 6 millions m<sup>3</sup> pour les agrumes et 4 millions m<sup>3</sup> pour les tomates.

Pour la majorité des régions tunisiennes, la part de l'eau d'irrigation exportée excède celle de la production agricole exportée (les deux colonnes centrales du Tableau 2). Cela indique une spécialisation dans l'exportation des produits intensivement irrigués, en désaccord avec la théorie du commerce international basée sur la dotation en facteurs étant donnée la rareté des ressources en eau de Tunisie. On observe le contraire pour des régions qui pratiquent une importante agriculture pluviale, comme Monastir, Sousse ou Nabeul. Pour comprendre cet état de faits, nous analysons dans la suite la valorisation de l'eau d'irrigation en fonction de la destination des produits agricoles (et leurs transformations) cultivés dans chaque région.

Nous distinguons deux principaux débouchés des cultures irriguées, le marché domestique et les exportations. Les produits analysés ici sont exportés à des prix plus élevés que les prix pratiqués sur le marché domestique (Figure A1 de l'Annexe). Plusieurs facteurs sont à l'origine de cet écart : des consentements à payer plus élevés des clients étrangers issus des pays à hauts revenus (en particulier de l'Union Européenne – un des principaux destinataires des exportations agricoles tunisiennes), la surreprésentation des produits de haute qualité – et donc plus chers – dans les exportations (la conjecture Alchian-Allen connue aussi comme « shipping the good apples out »), ainsi qu'un niveau de transformation plus élevé des produits exportés (avec une valeur ajoutée plus élevée).

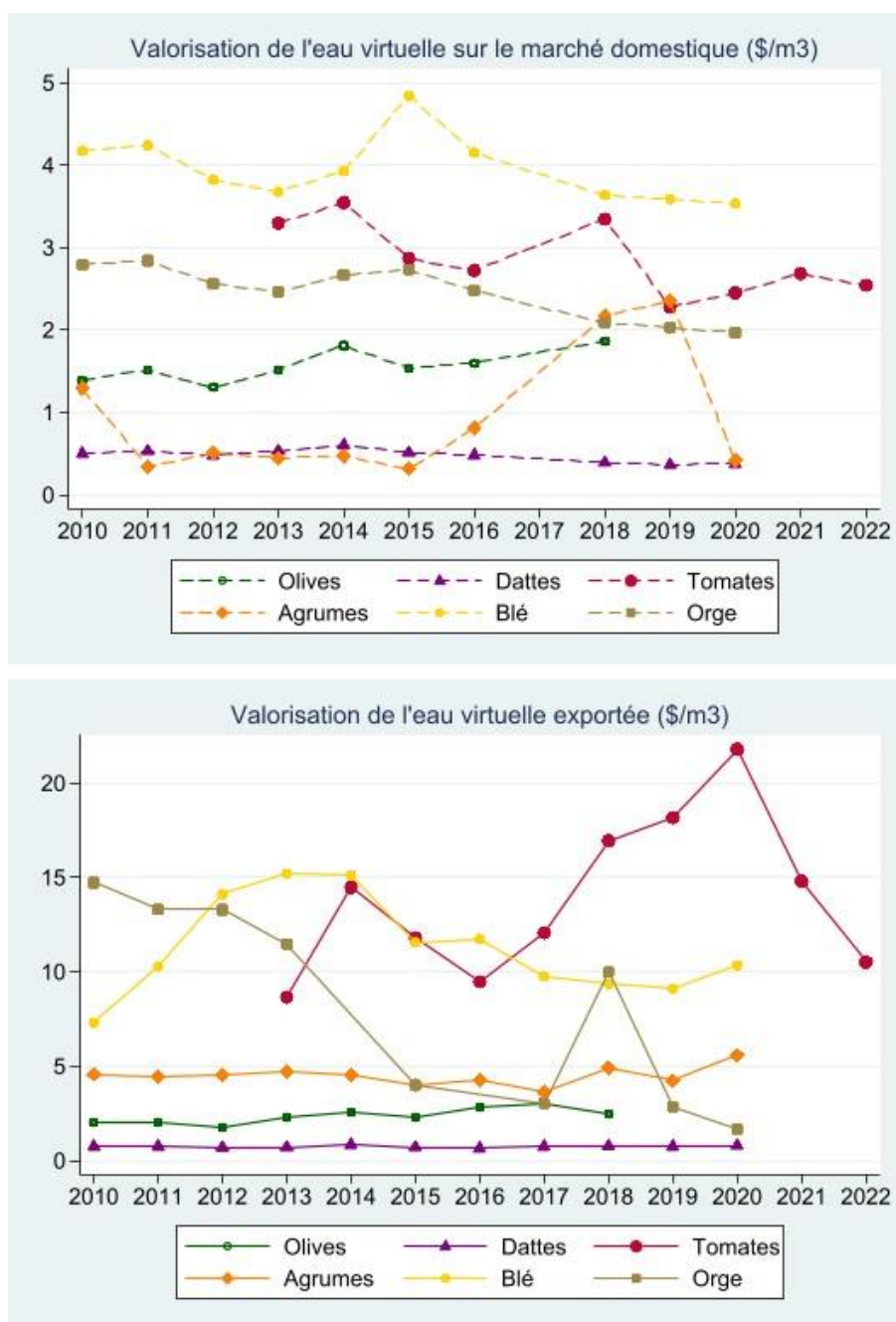
**Tableau 2 : L'empreinte en eau d'irrigation et sa valorisation par gouvernorat**

Région	Utilisation d'eau virtuelle (million m <sup>3</sup> , en 2016)		Part exportée		Valorisation de l'eau virtuelle (\$/m <sup>3</sup> , en 2016)	
	associée à la production	associée aux exportations	eau virtuelle	production en valeur	aux prix producteur	aux prix d'export
Ariana	8.60	3.96	0.46	0.26	23.32	56.50
Beja	29.43	11.30	0.38	0.27	19.64	36.96
Bizerte	53.87	17.42	0.32	0.19	15.33	28.62
Gabes	118.49	59.69	0.50	0.31	3.60	13.49
Gafsa	29.62	13.63	0.46	0.41	0.10	0.13
Jendouba	31.37	7.32	0.23	0.18	4.94	14.73
Kairouan	68.99	16.63	0.24	0.26	6.64	12.61
Kasserine	0.18	0.02	0.11	0.40	2.71	7.43
Kebili	524.77	241.48	0.46	0.22	0.48	0.65
Kef	4.12	1.08	0.26	0.23	21.94	53.45
Mahdia	.	.	.	0.46	.	.
Medenine	.	.	.	0.82	.	.
Monastir	1.85	0.03	0.02	0.64	5.65	22.01
Nabeul	129.63	19.70	0.15	0.22	9.53	22.74
Sfax	72.25	51.61	0.71	0.52	3.84	9.39
Sidibouazid	161.97	90.16	0.56	0.39	2.33	6.19
Siliana	7.78	3.26	0.42	0.38	10.11	25.13
Sousse	6.62	0.87	0.13	0.42	10.38	20.75
Tataouine	.	.	.	0.73	.	.
Tozeur	152.14	69.95	0.46	0.22	0.64	1.45
Tunis	0.56	0.40	0.71	0.72	3.08	6.64
Zaghouan	8.30	3.64	0.44	0.50	9.41	21.90
Tunisie	1 410.54	612.15	0.43	0.31	13.55	28.42

Source : Calculs par les auteurs.

La Figure 3 illustre la valorisation de l'eau virtuelle utilisée pour l'irrigation des principales cultures tunisiennes, calculée selon l'équation (3). Le graphique d'en haut indique la valorisation associée à la vente des produits sur le marché domestique ; celui d'en bas correspond à la valorisation associée à la commercialisation des produits aux prix d'export. Notons que ces calculs prennent en compte les exportations de produits de première transformation des produits agricoles irrigués, tels que l'huile d'olive, les tomates séchées et le jus d'orange. Tout d'abord les graphiques révèlent que, pour tous les produits, l'eau d'irrigation est mieux valorisée via les exportations que par les débouchés domestiques. Deuxièmement, les produits avec l'empreinte en eau la plus faible – les céréales et les tomates – offrent une meilleure valorisation de l'eau virtuelle, sur n'importe quel marché. Par contre, ces produits enregistrent également des fluctuations très fortes de prix internationaux (d'export).

**Figure 3 : Valorisation de l'eau virtuelle bleue (\$/m<sup>3</sup>)**



Source : Calculs par les auteurs.

Les olives montrent une valorisation élevée de l'eau bleue en raison de leurs prix élevés sur les marchés internationaux. Par exemple, l'huile d'olive est exportée à des prix bien supérieurs au prix domestique. Cette dynamique est renforcée par la politique agricole tunisienne qui, tout en subventionnant la plupart des produits de base pour le marché intérieur, ne subventionne pas l'huile d'olive, incitant ainsi son exportation. Le blé et l'orge montrent une valorisation plus volatile en raison des fluctuations des prix sur le marché international, tandis que les prix domestiques sont stabilisés par des politiques gouvernementales. Les agrumes et les tomates, bien qu'ayant un potentiel de valorisation élevé sur les marchés internationaux, se caractérisent par production irrégulière et une forte consommation locale qui limitent les volumes disponibles pour l'exportation, et donc la valorisation de l'eau qui y est associée. En outre, les dattes ressortent comme moins valorisées par rapport à l'eau consommée en irrigation, résultat induit par leur empreinte en eau très élevée. En effet, la culture d'une tonne de dattes nécessite environ 60 fois plus d'eau d'irrigation que la culture d'une tonne de tomates, et 10 fois plus qu'une tonne de blé. Cette consommation accrue d'eau est principalement due au climat saharien des régions où sont cultivées les dattes, la faible pluviométrie étant compensée par une irrigation soutenue.

Nous concluons notre analyse par une analyse comparative de la valorisation l'eau virtuelle bleue – sur le marché domestique et le marché d'export – au sein de chaque gouvernorat, reportée dans les deux dernières colonnes du Tableau 2. Ce calcul combine les valorisations de l'eau virtuelle par produit discutée ci-dessous et les spécialisations des gouvernorats présentés dans la sous-section précédente. Les résultats montrent que les gouvernorats du nord, spécialisés dans les cultures céréalières, de tomates et d'agrumes – des produits qui consomment moins intensément l'eau d'irrigation – affichent les meilleures valorisations. Dans ces régions, la valorisation de l'eau d'irrigation varie de 15 à 50 USD par m<sup>3</sup> sur le marché international, et de 5 à 20 USD par m<sup>3</sup> sur le marché domestique. En revanche, les régions spécialisées dans la culture des dattes, qui consomment intensivement de l'eau d'irrigation, montrent les valorisations les plus faibles, souvent inférieures à 1 USD par m<sup>3</sup>. Cette faible valorisation est observée tant sur les marchés domestiques qu'internationaux, ce qui reflète la corrélation négative entre la valorisation de l'eau et son niveau de consommation.

## **Conclusion**

Nos résultats semblent confirmer une meilleure valorisation de l'eau virtuelle de la production destinée à l'exportation que pour le marché domestique. Effectivement, il semble révéler une intensité d'irrigation plus forte dans les régions le plus exportatrices. Ceci nous incite à regarder dans quelle mesure une réorientation du commerce via des outils de politique aux frontières seraient susceptible d'améliorer la gestion de la ressource en eau en agriculture.

Toutefois, cela oblige à regarder les choses de manière plus précise et globale. Outre son impact sur la gestion de la ressource en eau (intensité d'irrigation, choix des cultures irriguée, choix des variétés selon leurs besoins en eau), tout instrument de politique commerciale (par exemple, taxation de contenu en eau virtuelle des exportations) aurait aussi un impact en termes de sécurité alimentaire, en particulier sur les dimensions disponibilité et l'accès pour les tunisiens compte tenu des conditions pédoclimatique et potentiels agronomiques des différents gouvernorats.

C'est pourquoi une meilleure gestion de la ressource en eau qui passerait par la mise en cause de la spécialisation de ces régions serait à mettre en balance avec la stratégie en termes de souveraineté alimentaire : choix de ce que le pays souhaite produire, consommer, exporter, importer ; maîtrise de ses dépendances aux importations pour l'approvisionnement alimentaire et aux exportations pour ses capacités à financer sa consommation. C'est l'objet de la poursuite de cette analyse.

## Références

- Allan, J.A. « Fortunately There Are Substitutes for Water Otherwise Our Hydropolitical Futures Would Be Impossible, Priorities for Water Resources Allocation and Management ». London: Overseas Development Administration, 1993.
- Allan, J.A. « Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus. Useful Concept or Misleading Metaphor? » *Water International* 28, no 1 (1 mars 2003): 106-13. <https://doi.org/10.1080/02508060.2003.9724812>.
- Antonelli, Marta, et Martina Sartori. « Unfolding the Potential of the Virtual Water Concept. What is Still Under Debate? » *SSRN Electronic Journal*, 1 janvier 2014. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2533435>.
- Benalaya, Abdallah, Asma Souissi, Bel-Hassen Abdelkefi, Talel Stambouli, Rifka Hammami, et Rouz Slim. *Recueil des fiches technico-économiques observées des principales cultures pratiquées en Tunisie, Tome 2*, 2015.
- Biewald, Anne, Susanne Rolinski, Hermann Lotze-Campen, Christoph Schmitz, et Jan Philipp Dietrich. « Valuing the impact of trade on local blue water ». *Ecological Economics* 101 (1 mai 2014): 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.003>.
- BPEH. « Revue du Bureau de Planification et des équilibres Hydrauliques - RAPPORT NATIONAL DU SECTEUR DE L'EAU Année 2020 », 2020. <https://onagri.home.blog/2022/03/01/revue-du-bureau-de-planification-et-des-equilibres-hydrauliques-bpeh-au-ministere-de-lagriculture-des-ressources-hydrauliques-et-de-la-peche-tunisie%ef%bf%bc%ef%bf%bc%ef%bf%bc%ef%bf%bc/>.
- BPEH. « Revue du Bureau de la Planification et des Equilibres Hydrauliques - RAPPORT NATIONAL DU SECTEUR DE L'EAU Année 2021 », 2021. [http://www.onagri.tn/uploads/secteur-eau/RNE2021\\_VersionFianle\\_MarsF2023\\_ONAGRI.pdf](http://www.onagri.tn/uploads/secteur-eau/RNE2021_VersionFianle_MarsF2023_ONAGRI.pdf).
- Canas, Patrice, et Bernard Schwengler. *Économie de la mondialisation. De Boeck Supérieur*, 2019.
- Carleton, Tamma, Levi Crews, et Ishan Nath. « Is the World Running Out of Fresh Water? » *AEA Papers and Proceedings* 114 (1 mai 2024): 31-35. <https://doi.org/10.1257/pandp.20241008>.
- Chahed, Jamel, Mustapha Besbes, et Abdelkader Hamdane. « Virtual-Water Content of Agricultural Production and Food Trade Balance of Tunisia ». *International Journal of Water Resources Development* 31, no 3 (2015): 407-21.
- Chahed, Jamel, Mustapha Besbes, et Abdelkader Hamdane. « Water scarcity and food security: A global assessment of water potentiality in Tunisia », 33-52, 2010.
- Chahed, Jamel, Abdelkader Hamdane, et Mustapha Besbes. « A comprehensive water balance of Tunisia: blue water, green water and virtual water ». *Water International* 33 (1 décembre 2008): 415-24. <https://doi.org/10.1080/02508060802543105>.
- Chapagain, A.K., et A. Y. Hoekstra. « Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products », août 2003. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report13.pdf>.
- Chapagain, A.K., et A. Y. Hoekstra. « Water footprints of nations Volume 1: Main Report », novembre 2004. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report16Vol1.pdf>.
- Chapagain, Ashok, Arjen Hoekstra, et Hubert Savenije. « Water saving through international trade of agricultural products ». *Hydrology and Earth System Sciences* 10 (30 juin 2006). <https://doi.org/10.5194/hess-10-455-2006>.
- Cheptea, Angela, et Catherine Laroche Dupraz. « Is Irrigation Driven by the Price of Internationally Traded Agricultural Products? » *Q Open* 1, no 1 (8 avril 2021): qoab002. <https://doi.org/10.1093/qopen/qoab002>.

- Debaere, P. "The global economics of water: Is water a source of comparative advantage?" *American Economic Journal: Applied Economics*, 6 (2) (2014), pp. 32-48. Doi: 10.1257/app.6.2.32
- Diao, Xinshen, et Terry Roe. « Can a water market avert the "double-whammy" of trade reform and lead to a "win-win" outcome? » *Journal of Environmental Economics and Management* 45 (1 mai 2003): 708-23. [https://doi.org/10.1016/S0095-0696\(02\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0095-0696(02)00019-0).
- Dostaler, Gilles. « Adam Smith (1723-1790) ». *Le Monde diplomatique*, 1 février 2007. <https://www.monde-diplomatique.fr/mav/91/DOSTALER/52460>.
- Dostaler, Gilles. « David Ricardo (1772-1823) ». *Le Monde diplomatique*, 1 février 2007. <https://www.monde-diplomatique.fr/mav/91/A/52461>.
- Duarte, Rosa, Vicente Pinilla, et Ana Serrano. « Long Term Drivers of Global Virtual Water Trade: A Trade Gravity Approach for 1965–2010 ». *Ecological Economics* 156 (1 février 2019): 318-26. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.012>.
- El-Sadek, Alaa. « Virtual Water Trade as a Solution for Water Scarcity in Egypt ». *Water Resources Management* 24, no 11 (1 septembre 2010): 2437-48. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9560-9>.
- Gafrej, Raoudha. « Gouvernance de l'eau en Tunisie: Etude du cas du gouvernorat de Kasserine », 2017.
- Gallois, Nicolas. « Bertil Ohlin (1899-1979) et Eli Filip Heckscher (1879-1952). Le commerce international ». In *100 penseurs de l'économie*, 141-44. Petite bibliothèque. Auxerre: Éditions Sciences Humaines, 2020. <https://doi.org/10.3917/sh.quint.2020.01.0141>.
- Garrido, Alberto, Paula Novo, Roberto Rodríguez-Casado, et Consuelo Varela-Ortega. « Economic aspects of virtual water trade: Lessons from the Spanish case », 145-58, 2010. <https://doi.org/10.1201/b10541-12>.
- Gilmont, Michael. « Water resource decoupling in the MENA through food trade as a mechanism for circumventing national water scarcity ». *Food Security* 7 (9 novembre 2015). <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0513-2>.
- Hammami, Rifka, Talel Stambouli, Aymen Frija, Asma Souissi, et A Benalaya. « Comparative Study of the virtual water consumed by cereals in different bioclimatic areas of Tunisia Etude comparative de l'eau virtuelle consommée par les cereales dans les différentes zones bioclimatiques de la tunisie » 43 (1 juillet 2017): 2352-62.
- Hoekstra, A. Y. « HOEKSTRA 2003 Virtual Water Trade.pdf », février 2003. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/HOEKSTRA%202003%20Virtual%20Water%20Trade.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HOEKSTRA%202003%20Virtual%20Water%20Trade.pdf).
- Hoekstra, A. Y., et P.Q. Hung. « Virtual water trade A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade », 2002. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report11.pdf>.
- Hoekstra, Arjen, Ashok Chapagain, M. Aldaya, et Mesfin Mekonnen. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*, 2011.
- INSTITUT TUNISIEN DES ÉTUDES STRATÉGIQUES. « La Sécurité De La Tunisie A L'Horizon 2035 », décembre 2023. <http://www.onagri.nat.tn/uploads/Etudes/Securite-Alim-ITES.pdf>.
- Lajili-Ghezal, Lamia, Talel Stambouli, Marwa Weslati, et Asma Souissi. « Virtual Water and Food Security in Tunisian Semi-Arid Region ». *Agriculture, Forestry and Fisheries* 3 (30 septembre 2014): 341-45. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20140305.12>.
- Liu, Junguo, et Hong Yang. « Global agricultural green and blue water consumptive uses and virtual water trade », 23-32, 2010. <https://doi.org/10.1201/b10541-4>.

Makhlouf, Mariem, Ali Chebil, Aymen Frija, Abdalah Benalaya, Omar Althuwaynee, Hatem Chouchane, Samir Sayadi, et Chokri Thabet. « Value of Virtual Water Applied for the Production of Strategic Agricultural Commodities of Tunisia ». *Journal of Environmental and Agricultural Sciences* 2313 8629 10 (31 mars 2017): 52-63.

MARHP. « Exportations de l'huile d'olive en Tunisie et suivi de certains marchés extérieurs », 2018.

MARHP. « Flash sur les exportations des dattes tunisiennes », 2023. [http://www.onagri.tn/uploads/filieres/dattes/Flash\\_Dattes\\_nov-2023\\_Fr.docx.pdf](http://www.onagri.tn/uploads/filieres/dattes/Flash_Dattes_nov-2023_Fr.docx.pdf).

Mekonnen, M. M., et A. Y. Hoekstra. « Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf », décembre 2010. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>.

Novo, P., A. Garrido, et C. Varela-Ortega. « Are virtual water “flows” in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity? » *Ecological Economics* 68, no 5 (15 mars 2009): 1454-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.10.013>.

ONU. « ONU Base de données Comtrade », 2020. <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow>.

Picon, Dorothée. « Adam Smith (1723-1790). De la morale à l'économie ». In *Les grands penseurs des Sciences Humaines*, 7-11. Petite bibliothèque. Auxerre: Éditions Sciences Humaines, 2016. <https://doi.org/10.3917/sh.journ.2016.01.0007>.

Renault, Daniel. « VALUE OF VIRTUAL WATER IN FOOD: PRINCIPLES AND VIRTUES », 2003. [https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/43/218764/218764\\_doc.pdf](https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/43/218764/218764_doc.pdf).

Roch, Lysiane, et Corinne Gendron. « Le commerce de l'eau virtuelle : du concept à la politique ». *Géocarrefour* 80, no 4 (1 octobre 2005): 273-84. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1259>.

Rosa, Lorenzo, Davide Danilo Chiarelli, Chengyi Tu, Maria Cristina Rulli, et Paolo D'Odorico. « Global Unsustainable Virtual Water Flows in Agricultural Trade ». *Environmental Research Letters* 14, no 11 (octobre 2019): 114001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4bfc>.

Sagardoy, Juan A, et Consuelo Varela-Ortega. « Present and Future Roles of Water and Food Trade in Achieving Food Security, Reducing Poverty and Water Use », 2010.

Sartori, Martina, et Stefano Schiavo. « Connected we stand: A network perspective on trade and global food security ». *Food Policy* 57 (1 novembre 2015): 114-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.10.004>.

Sartori, Martina, Stefano Schiavo, Andrea Fracasso, et Massimo Riccaboni. « Modeling the future evolution of the virtual water trade network: A combination of network and gravity models ». *Advances in Water Resources* 110 (1 décembre 2017): 538-48. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.005>.

Siebert, Stefan, et Petra Döll. « Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation ». *Journal of Hydrology, Green-Blue Water Initiative (GBI)*, 384, no 3 (30 avril 2010): 198-217. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.031>.

Souissi, Asma, Rifka Hammami, Talel Stambouli, et A Benalaya. « Blue and green virtual water in the international trade of strategic agricultural products of Tunisia ». *Journal Of Nea Sciences*, 02 juillet 2017, 2286-5314.

Souissi, Asma, Nadhem Mtimet, Laura McCann, Ali Chebil, et Chokri Thabet. « Determinants of Food Consumption Water Footprint in the MENA Region: The Case of Tunisia ». *Sustainability* 14, no 3 (janvier 2022): 1539. <https://doi.org/10.3390/su14031539>.

Souissi, Asma, Nadhem Mtimet, Chokri Thabet, Talel Stambouli, et Ali Chebil. « Impact of Food Consumption on Water Footprint and Food Security in Tunisia ». *Food Security* 11, no 5 (2019): 989-1008. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00966-3>.

Tamea, S., J. A. Carr, F. Laio, et L. Ridolfi. « Drivers of the Virtual Water Trade ». *Water Resources Research* 50, no 1 (2014): 17-28. <https://doi.org/10.1002/2013WR014707>.

Tamea, Stefania, Paola Allamano, Joel Carr, Pierluigi Claps, Francesco Laio, et L. Ridolfi. « Local and global perspectives on the virtual water trade ». *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 9 (1 novembre 2012). <https://doi.org/10.5194/hessd-9-12959-2012>.

Viner, Jacob. *Studies in the Theory of International Trade*. London: Routledge, 2016. <https://doi.org/10.4324/9781315409610>.

Webber, Don. « Rendement des facteurs et hétérogénéité régionale : quels sont les effets des échanges commerciaux et des marchés du travail sur le salaire moyen dans les diverses régions d'Europe ? » *Innovations* 15, no 1 (2002): 151-71. <https://doi.org/10.3917/inno.015.0151>.

Wichelns, Dennis. « The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages ». *Agricultural Water Management* 66, no 1 (1 avril 2004): 49-63. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.09.006>.

Wichelns, Dennis. « The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt ». *Agricultural Water Management* 49 (1 février 2001): 131-51. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00134-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00134-7).

WCO. « World Customs Organization ». Consulté le 20 août 2024. [https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs\\_nomenclature\\_previous\\_editions/hs\\_nomenclature\\_table\\_2012.aspx](https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs_nomenclature_previous_editions/hs_nomenclature_table_2012.aspx).

World Water Council. « E-Conference Synthesis: Virtual Water Trade - Conscious Choices », 2004. [https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Thematics/virtual\\_water\\_final\\_synthesis.pdf](https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Thematics/virtual_water_final_synthesis.pdf).

Zimmer, Daniel, et Daniel Renault. « Virtual water in food production and global trade review of methodological issues and preliminary results », 2003

## Annexe du papier

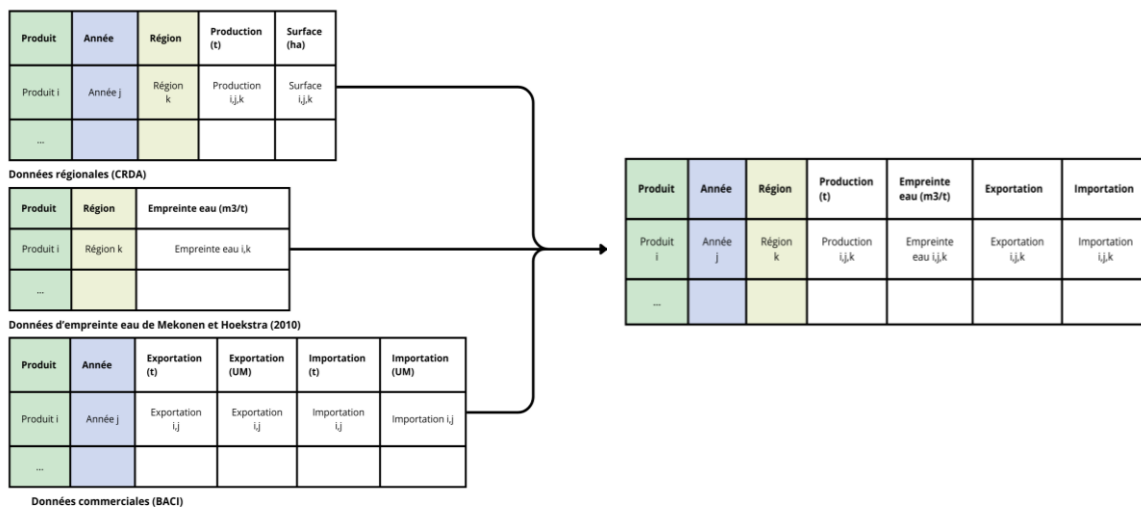
### « Commerce international des produits agricoles et utilisation de l'eau en agriculture: Le cas de la Tunisie »

Sarra Kekli<sup>1</sup>, Angela Cheptea<sup>1</sup>, Catherine Laroche Dupraz<sup>2</sup>

#### 1 Appariement de données issues de sources distinctes

L'appariement des données permet de combiner des ensembles de données distincts (issues de bases différentes) grâce à des informations communes (Figure A1).

Figure A1: Description de l'appariement des bases de données



Ce processus commence par l'association des données de production agricole qui incluent, pour chaque produit et chaque année, la quantité cultivée dans chaque gouvernorat (division administrative en Tunisie). Par exemple, cette approche permet d'identifier qu'en 2011, dans le gouvernorat de Tunis, 2 900 tonnes d'olives ont été produites.

Ces données sont ensuite appariées avec des informations sur l'irrigation ou l'empreinte d'eau bleue — la quantité d'eau utilisée par unité de production. Le terme "empreinte eau" est préféré à "eau virtuelle" pour rester cohérent avec la terminologie utilisée dans la base de données de Mekonen et Hoekstra (2010), que nous utilisons pour mesurer les flux d'eau virtuelle. Ainsi, si notre base de données indique qu'à Tunis, 216 m<sup>3</sup> d'eau sont nécessaires pour produire une tonne d'olives, nous pouvons en déduire l'empreinte en eau de cette production pour le gouvernorat.

Le résultat de cet appariement fournit une mesure précise de la quantité d'eau utilisée pour chaque produit dans chaque gouvernorat, permettant de calculer l'empreinte en eau bleue pour toute la production agricole tunisienne. En combinant ces données avec des informations commerciales, il est possible de déterminer la proportion de chaque produit exporté et, par conséquent, la quantité d'eau bleue qui lui est associée. Prenons l'exemple des olives : si la Tunisie produit 500 000 tonnes d'olives et en exporte 200 000, cela signifie que 40% de la production nationale est exportée. Rappelons que la production de ces olives consomme 216 m<sup>3</sup> d'eau par tonne, nous estimons que 43 200 000 m<sup>3</sup> d'eau virtuelle ont été "exportés" via les olives.

Ce travail d'appariement de données issues de bases distinctes a nécessité d'établir la correspondance entre les codes produits distincts FAO et HS BACI pour chaque produit agricole.

## 2 Transformation des produits et correspondances

L'appariement de l'empreinte en eau des différents produits aux données commerciales est possible en faisant correspondre les codes FAO utilisés dans notre base de données avec les codes HS racine des produits agricoles. Nous avons ainsi établi une correspondance détaillée entre chaque produit et son code FAO associé aux codes HS des versions 1996, 2007, 2012 et 2017. Comme illustré dans le Tableau 1, les versions antérieures du code HS manquent souvent de précision. Dans certains cas, un unique code HS peut correspondre à plusieurs codes FAO. Par exemple, les olives et les citrouilles partagent le même code HS mais possèdent des codes FAO distincts. Cette distinction est indispensable pour notre étude car, si nous disposons des données de production individuelles pour chaque produit mais seulement d'une donnée commerciale globale, nous risquons de surévaluer les exportations de ces produits, voire de reporter une quantité d'exportation supérieure à la quantité produite. De plus, il n'est pas judicieux de cumuler les exportations d'olives et de citrouilles dans notre analyse car les olives nécessitent une évaluation distincte, étant l'un des produits les plus exportés par la Tunisie. Afin de pallier ce problème, nous avons consulté les versions plus récentes des classifications HS (post-2007), qui attribuent un code HS unique par code FAO. Ainsi, pour les versions 2012 et 2017, chaque code FAO dispose d'un code HS correspondant, ce qui justifie l'utilisation des données BACI pour les codes HS de 2012 ou 2017 dans notre appariement.

Les codes HS présentés dans le tableau 1 correspondent aux "root products", c'est-à-dire les produits primaires ou bruts qui n'ont pas subi de transformation avant leur exportation. Pour ne pas sous-estimer les quantités exportées de chaque produit agricole brut, il est essentiel de prendre en considération les sous-produits dérivés exportés de ce produit primaire. Par exemple, quantifier uniquement l'exportation des tomates sans considérer l'exportation des jus de tomate ou du concentré de tomate pourrait ne pas capturer l'intégralité de la quantité de tomates exportée. Pour remédier à cela, nous avons examiné tous les codes produits HS 2012, des chapitres 6 à 24, pour identifier les codes des sous-produits de chaque produit brut. Nous avons également créé une base de données contenant les produits et leurs sous-produits, avec leurs codes HS correspondants et leur code FAO commun. Ainsi, même si les tomates, le jus de tomate et le concentré de tomate n'ont pas le même code HS, dans notre base de données de production, ils sont tous considérés comme un seul produit avec un code FAO unique pour faciliter l'appariement ultérieur.

Afin de ne pas considérer les quantités exportées de sous-produits comme l'équivalent exact des quantités de produit primaire exportées, car la transformation d'un produit en sous-produit peut entraîner une augmentation ou une diminution du volume du produit brut. Ces ratios de conversion sont présents dans la base de données de Mekonnen et Hoekstra (2010) et intégrés à notre base de données des sous-produits. En convertissant les quantités exportées pour chaque produit dans la base de données commerciale en appliquant le ratio de conversion pour estimer la quantité équivalente en produit primaire, on transforme les données des sous-produits en une estimation de l'impact de leur commerce sur la consommation des produits primaires.

Pour calculer la quantité totale équivalente de produit primaire exportée à partir des sous-produits, on utilise la formule suivante :

$$QE(i)^{EXP} = \sum_{j \subseteq i} Q(j)^{EXP} \times \rho(j \subseteq i) \quad , \quad \text{où}$$

- $QE(i)^{EXP}$  est la **quantité équivalente de produit primaire (i) exportée**
- $Q(j)^{EXP}$  est la **quantité exportée de sous-produit (j)** est la quantité de chaque sous-produit exportée en UM.
- $\rho(j \subseteq i)$  est le **ratio de conversion**, i. e. le coefficient utilisé pour convertir une quantité du sous-produit (j) en équivalent du produit primaire (i). Ce ratio reflète la quantité de produit primaire requise pour générer une quantité spécifique du sous-produit, tenant compte des gains ou des pertes de volume durant le processus de transformation. Par exemple, si la production de 0,8 tonne de concentré de tomate nécessite 1 tonne de tomates fraîches, le ratio de conversion serait calculé comme suit : Ratio de conversion =  $1 / 0,8 = 1,25$ . Ce ratio est égal à 1 pour les produits primaires ou pour les transformations ne générant ni gain ni perte de volume.

**Tableau A1 : Correspondances des codes FAO et HS des produits étudiés**

FAO	Description produit		HS 1996	HS 2007	HS 2012	HS 2017
15	Blé tendre	Graines	100190		100191	100191
		Autres			100199	100199
	Blé dur	Graines	100110		100111	100111
		Autres			100119	100119
394	Citrouilles, courges et potirons		70990		70993	
260	Olives				70992	
116	Pommes de terre		70190			
568	Cantaloup et autres melons		80719			
497	Citrons et limes		80530			
397	Concombres, cornichons		70700			
577	Dattes		80410			
569	Figues		80420			
490	Oranges		80510			
44	Orge	graines	100300		100310	
		autre			100390	
507	Pamplemousses et pomelos		80540			
567	Pastèques		80711			
689	Piments forts et piments, secs, crus	Ni moulu ni concassé	90420		90421	90421
		Moulu ou concassé			90422	90422
401	Piments forts et piments, verts		70960			
515	Pommes		80810			
116	Pommes de terre		70110			
495	Tangerines, mandarines, clémentines	Clémentines	80520		80522	
		Mandarines			80521	
		Autre			80529	
388	Tomates, fraîches		70200			

Source : World Customs Organization (2012)

La somme de ces quantités converties pour tous les sous-produits liés à un même produit primaire donnera la quantité totale de ce produit primaire équivalente à l'exportation. Cette méthode assure de capter l'ensemble des flux d'exportation associés à la production initiale de la matière première, offrant ainsi une estimation complète et précise de l'impact des exportations sur la consommation des ressources nationales.

On agrège ensuite les quantités converties de tous les sous-produits par produit primaire pour obtenir la quantité totale de produit primaire équivalente exportée. Cette somme fournit une vue complète sur l'exportation de chaque produit brut. Une fois les quantités de produits primaires exportées correctement estimées et agrégées, ces données peuvent être appariées avec les informations sur la production et l'empreinte en eau. Cela permettra d'évaluer précisément quelle fraction de la production nationale et de l'empreinte en eau associée est attribuable aux exportations.

En incorporant des informations sur les prix domestiques des produits agricoles, extraites de la base de données FAOSTAT, nous visons à quantifier et analyser la valorisation des produits agricoles sur les marchés locaux par rapport aux marchés internationaux.

À ce stade, nous disposons d'une base structurée intègre des données détaillées pour chaque produit et chaque année : la quantité de production, une estimation de la consommation d'eau associée à cette production, et le prix auquel ces produits sont vendus sur le marché domestique, mais aussi les quantités exportées et les valeurs à l'exportation, ainsi qu'une répartition par région, détaillant pour chaque gouvernorat les quantités produites et les volumes d'eau utilisés pour cette production.

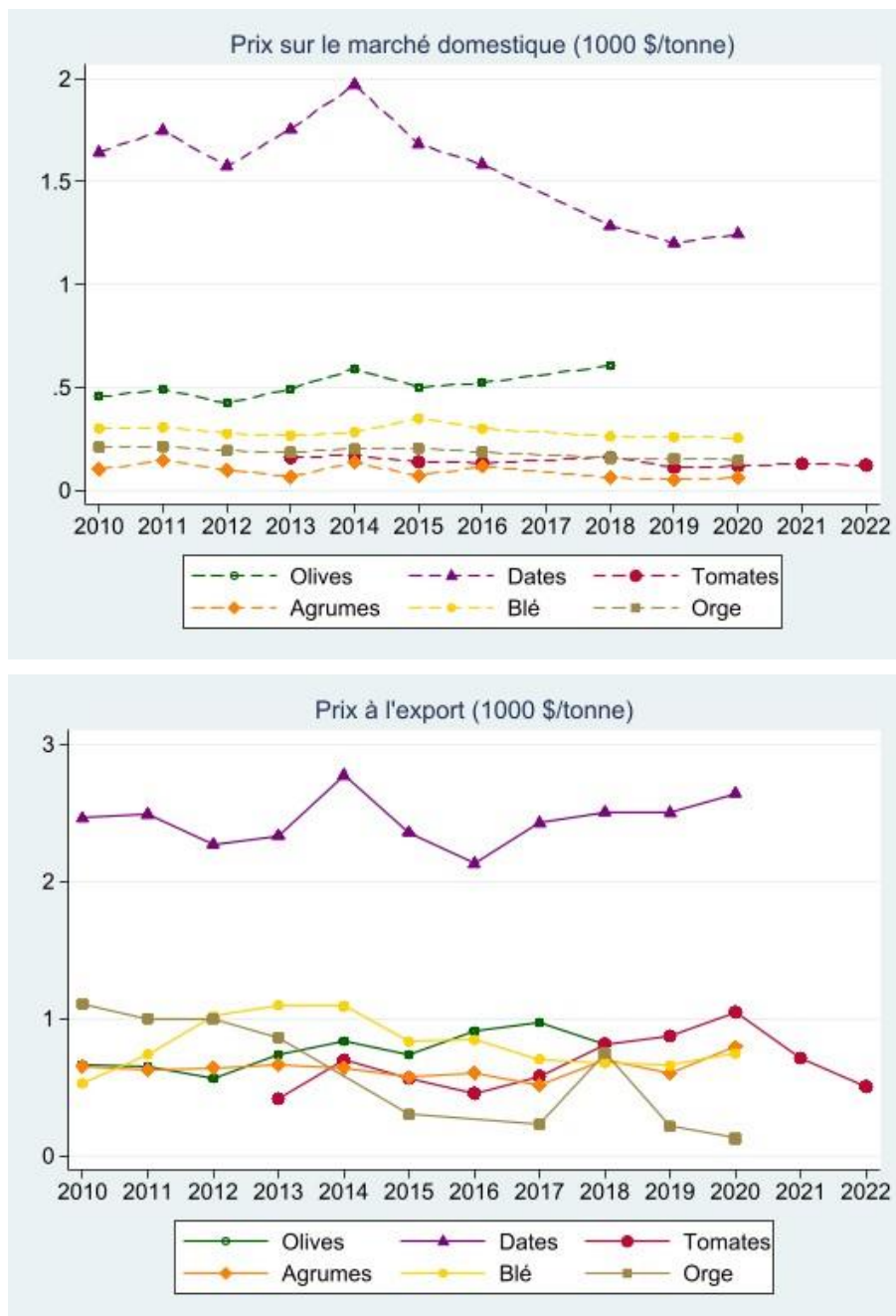
## 2 L'empreinte en eau des produits et l'évolution des prix sur différents marchés

**Tableau A2 : L'empreinte moyenne en eau d'irrigation des produits cultivés en Tunisie**

Produit	Empreinte en eau bleue (m <sup>3</sup> /t)
Dattes	3 271
Pastèques	330
Melons	330
Olives	325
Piments	295
Agrumes	228
Pommes de terre	122
Concombres	102
Orge	75
Blé	72
Tomates	48
Courges	2

Source : Mekonnen et Hoekstra (2010). Moyennes nationales.

**Figure A2: Prix des principales cultures tunisiennes**



Source : Calculs par les auteurs.