

GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES AU MAGHREB II

Identification des zones agricoles et
estimation des prélèvements d'eaux
souterraines dans la région de
Chtouka au Maroc



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL
SAHARA AND SAHEL OBSERVATORY



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



german
cooperation
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Auteur: Fabian Stoffner
Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles
(BGR), Département Télédétection, Hanovre, Allemagne

Projet: Coopération régionale pour une gestion durable des eaux souterraines
dans la région du Maghreb II

Commandité par: Le Ministère fédéral de la Coopération économique et du
Développement (BMZ), Allemagne

Numéro du Projet BMZ: 2017.2213.1

Numéro du projet BGR: 05-2404

Date: Avril 2022

Sommaire

Sommaire.....	I
Abréviations	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
1. Introduction	1
2. Zone d'étude	2
3. Identification des zones agricoles.....	3
3.1 Données de base	3
3.2 Méthodologie.....	5
3.3 Résultats et interprétations.....	6
4. Estimation des prélèvements des eaux souterraines.....	11
4.1 Méthodologie.....	11
4.2 Résultats et interprétations.....	15
5. Conclusion et prochaines étapes.....	18
6. Références.....	19

Abréviations

ABHSM	Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa
ASE	Agence Spatiale Européenne
BGR	Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles
BMZ	Ministère fédéral de la Coopération économique et du Développement
CRTS	Centre Royal de la Télédétection Spatiale du Maroc
ET_o	Evapotranspiration de référence
ET_c	Evapotranspiration de culture
K_c	Coefficient de culture
NDVI	Normalized difference vegetation index
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
ONUAA	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
SIG	Système d'information géographique

Liste des figures

Figure 1: Zone d'étude, l'aquifère de Chtouka au Maroc	2
Figure 2: Carte d'occupation du sol de l'été 2019 de l'aquifère de Chtouka (CRTS 2020)	4
Figure 3: Tuile 29RMP et l'aquifère de Chtouka (Google Earth 2021, ASE 2015).....	5
Figure 4: Classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019 de l'aquifère de Chtouka	7
Figure 5: Comparaison entre les données vectorielles de la carte du CRTS (a) et les pixels du raster de la classification (b)	9
Figure 6: Comparaison entre le raster de la classification (a) et les données vectorielles de la carte du CRTS (b) avec les images de Google Earth du 12 juin 2019 (c) et du 29 septembre 2019 (d)	10
Figure 7: Pourcentages des différentes cultures en plein champs > 3%, période estivale (selon ANZAR Conseil 2015).....	13
Figure 8: Pourcentages des différentes cultures sous serre > 3%, période estivale (selon ANZAR Conseil 2015)	14
Figure 9: Prélèvement d'eau souterraine moyen selon les différentes classes, basé sur la classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019 et les données d'ANZAR Conseil 2015	17

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficies totales de la classification par classe	7
Tableau 2: Comparaison par classe entre les superficies de la classification et la carte d'occupation du sol du CRTS	8
Tableau 3: Comparaison par classe entre les superficies de la classification et la carte d'occupation du sol du CRTS en utilisant la fonction Sieve	8
Tableau 4: Matrice de confusion de la classification.....	8
Tableau 5: Valeurs moyennes des volumes d'eau souterraine prélevés par les cultures, période estivale (d'après ANZAR Conseil 2015).....	12
Tableau 6: Prélèvement d'eau souterraine basé sur les résultats de la classification du 26 juillet 2019 et de l'eau d'irrigation pour la période estivale 2015 (selon ANZAR Conseil 2015).....	15

1. Introduction

Le projet « Coopération régionale dans le secteur de l'eau au Maghreb » de l'Institut des géosciences et des ressources naturelles de l'Allemagne (BGR) vise à permettre aux institutions spécialisées de trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) un accès aux données actuelles et aux méthodes améliorées de gestion durable des eaux souterraines. Le partenaire régional est l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), une organisation régionale basée à Tunis. Le BGR supporte les spécialistes et les institutions partenaires à combler les lacunes de connaissances existantes dans le domaine de la gestion des eaux souterraines ainsi qu'à évaluer les connaissances existantes et nouvelles afin d'élaborer des décisions stratégiques durables. Le projet est financé par le Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) avec une durée de janvier 2014 à août 2022.

L'un des principaux défis au Maghreb est le prélèvement incontrôlé des eaux souterraines à usage agricole. Ce prélèvement, qui s'étend sur de grandes surfaces et qui est en grande partie inconnu, doit être quantifié. Comme il n'est pas possible de mesurer directement la quantité d'eau souterraine prélevée sur l'ensemble du territoire, une approche indirecte, en deux étapes principales, est utilisée. Tout d'abord, les surfaces agricoles sont déterminées à l'aide de données satellitaires, puis les besoins en irrigation des cultures sont estimés. En tenant compte des données climatiques et météorologiques ainsi que des modes d'irrigation, il est possible de tirer des conclusions sur les prélèvements d'eau souterraine sur la base de ces données.

Le présent rapport décrit une approche pour déterminer les superficies agricoles dans la zone d'étude de Chtouka au Maroc à l'aide d'une classification supervisée pour l'été 2019 et pour estimer la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation des cultures. La méthodologie est développée sur la base des conditions locales et en tenant compte des demandes des autorités locales.

2. Zone d'étude

La zone d'étude est l'aquifère de Chtouka dans le sud du Maroc, située dans le bassin versant de Souss-Massa. Elle s'étend sur une superficie de 1 373 km². L'aquifère est délimité au nord par l'oued Souss et au sud par l'oued Massa. A l'ouest, la zone est directement bordée par l'océan Atlantique (figure 1). A l'est, les contreforts de l'Anti-Atlas constituent sa limite naturelle.

L'occupation du sol de la zone est caractérisée par l'agriculture, notamment par les cultures en plein champ et par les serres. L'irrigation est assurée par un système de canaux ouverts depuis le barrage Youssef Ibn Tachfin au sud-est, mais surtout par le prélèvement d'eau souterraine. En raison de sa localisation côtière, l'aquifère est menacé par l'intrusion d'eau salée, un phénomène aggravé par le prélèvement d'eau souterraine.

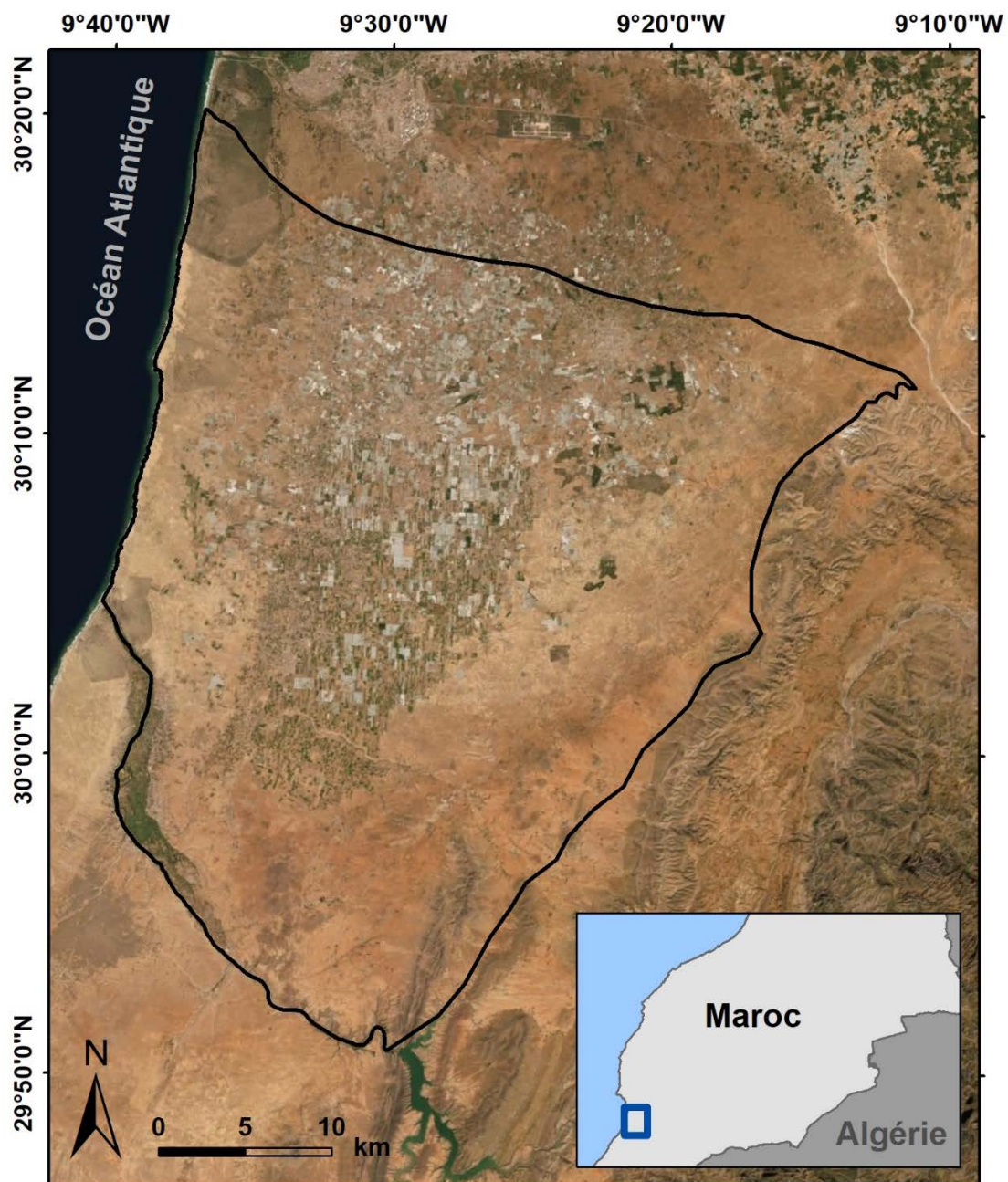


Figure 1: Zone d'étude, l'aquifère de Chtouka au Maroc (Google Earth 2022)

3. Identification des zones agricoles

3.1 Données de base

En 2018, une étude a été réalisée dans le cadre du projet par le bureau d'étude Capion Consulting, en collaboration avec l'Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa à Agadir (ABHSM). Cette étude a recensé les cultures et les arbres typiques prédominants ainsi que leurs cycles et phases de croissance et leurs besoins en eau (Capion Consulting, 2018). Sur la base de ces informations et connaissances, deux périodes agricoles peuvent être identifiées, l'une en hiver/printemps et l'autre en été.

Les cultures de la zone d'étude peuvent être divisées en arboricultures et en cultures saisonnières. Les besoins en eau de ces deux types de culture sont différents au cours de l'année et elles doivent être considérées séparément. Les arboricultures sont des plantes à feuilles persistantes qui sont cultivées toute l'année. Selon l'ABHSM, il y a principalement des oliviers dans la zone d'étude. Les cultures saisonnières sont entre autres les céréales, les melons, les tomates, les pommes de terre et les poivrons, dont la période de croissance a lieu soit en hiver/printemps, soit en été. Selon l'ABHSM, les écarts entre les besoins en eau de ces deux types de culture peuvent être négligés lors du calcul du bilan hydrique semestriel. Les cultures saisonnières sont donc regroupées en une seule classe pour chaque période agricole (hiver/printemps et été). En outre, il existe un grand nombre de serres dans la zone d'étude. En conséquence, trois cultures principales sont distinguées pour déterminer les superficies agricoles: les oliviers, les cultures saisonnières en plein champ et les serres.

Le Centre Royal de Télédétection Spatiale du Maroc (CRTS) a produit une carte numérique de l'occupation du sol de la zone d'étude pour l'été 2019 par photo-interprétation visuelle (CRTS, 2020). La carte a été élaborée à l'échelle 1/10 000 en utilisant les données satellitaires Spot 6/7 de juillet 2019 avec une résolution spatiale de 1,5 m et comprend plusieurs classes telles que les zones urbaines, les zones forestières, les serres, les cultures saisonnières et les oliviers (figure 2). Cette carte de l'occupation du sol est utilisée d'une part pour masquer les zones non agricoles ainsi que les oliviers et d'autre part pour valider les résultats. Plus d'informations sur la méthodologie de la création de la carte d'occupation du sol pour juillet 2019 sont disponibles dans le rapport du CRTS (2014).

Les données satellitaires Sentinel 2 du programme Européen d'observation de la Terre Copernicus sont utilisées pour ce travail, car elles sont libres d'accès et gratuites. De même, avec leur résolution spatiale allant jusqu'à dix mètres, elles offrent les conditions adéquates pour déterminer les zones agricoles, car elles ont une résolution proche de la taille des parcelles de la zone d'étude. La sélection d'une image appropriée sans nuages est garantie par la haute résolution temporelle des images Sentinel 2.

Les étapes de traitement sont réalisées à l'aide du logiciel QGIS. QGIS est un système d'information géographique (SIG) gratuit et facile à utiliser, qui comprend les fonctions nécessaires pour les traitements effectués dans le cadre de ce travail.

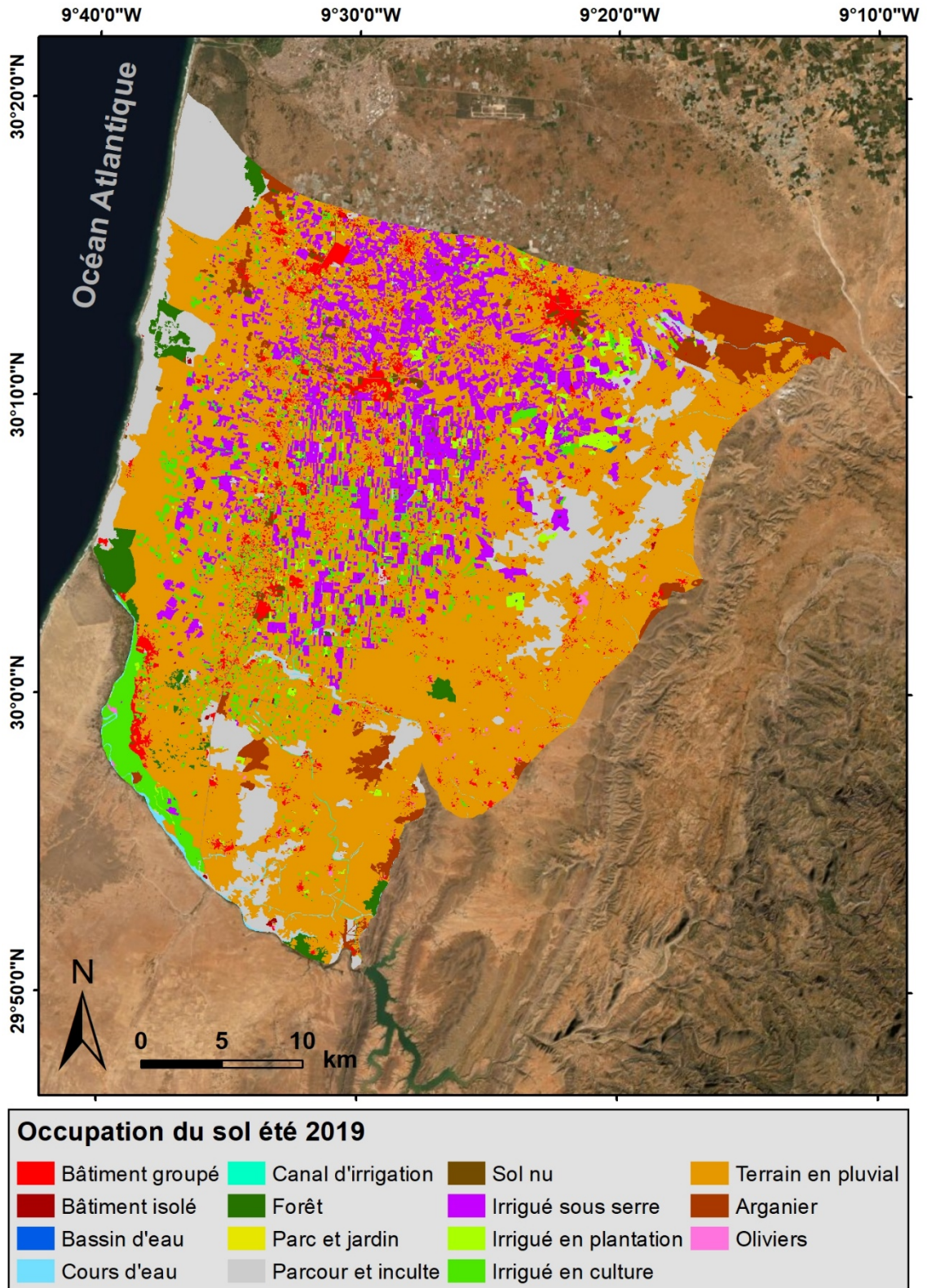


Figure 2: Carte d'occupation du sol de l'été 2019 de l'aquifère de Chtouka (CRTS 2020)

3.2 Méthodologie

Les données Sentinel 2 Level 2A (tuile 29RMP, figure 3) du 26 juillet 2019 sont utilisées pour la classification des superficies agricoles. De plus amples informations sur les paramètres des données sont disponibles sur le site Internet de l'Agence Spatiale Européenne (ASE) (ASE, 2022). Ces données satellitaires correspondent à la date de la carte d'occupation des sols du CRTS de 2019 et sont sans nuages. Les bandes spectrales 02, 03, 04 et 08 (bleu, vert, rouge, proche infrarouge) avec la plus haute résolution spatiale de dix mètres sont combinées et extraites pour la zone d'étude.

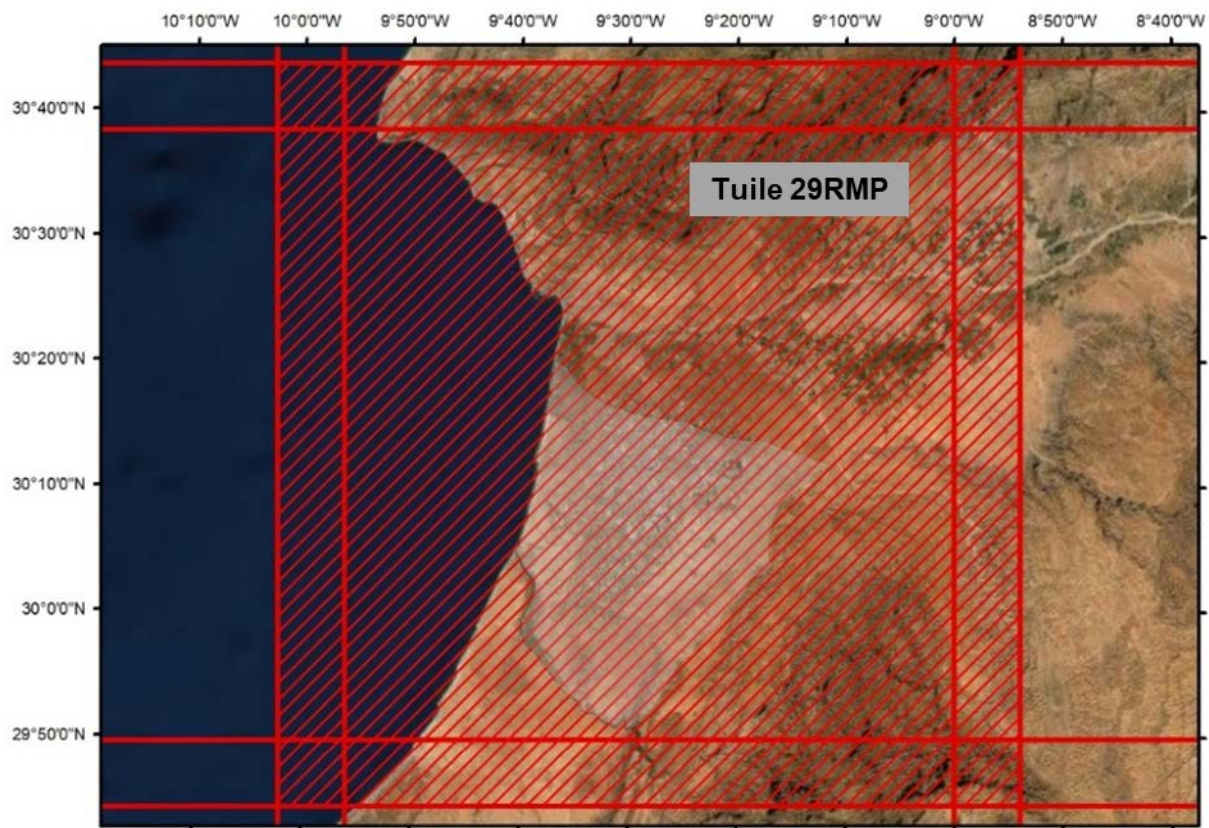


Figure 3: Tuile 29RMP et l'aquifère de Chtouka (Google Earth 2021, ASE 2015)

La carte d'occupation du sol du CRTS de 2019 identifie des zones non agricoles. Il s'agit de zones urbaines, de plans d'eau, de zones forestières, d'arganiers, de parcs, d'espaces verts, de chemins et de terres incultes. Ces surfaces sont masquées au préalable et ne sont pas utilisées pour la classification. De même, les oliviers, qui représentent des superficies agricoles stables au cours du temps, sont masqués et combinés par la suite avec le résultat de la classification. Il reste donc les superficies agricoles potentielles avec des cultures saisonnières et des serres ainsi que le sol pour un traitement ultérieur. Les sols sont définis sur la carte d'occupation du sol du CRTS de 2019 en tant que classes « Sol nu » et « Terrain en pluvial (bour) ». Ces classes n'ont pour l'instant aucune pertinence pour les besoins en eau des cultures, mais elles sont néanmoins prises en compte dans la classification car, malgré la définition du CRTS, elles pourront à l'avenir être cultivées et irriguées. Selon l'ABHSM, il n'existe pas d'autres formes d'occupation du sol pour l'estimation des besoins en eau dans la zone d'étude. Ainsi, pour la classification, les superficies agricoles sont divisées en trois classes « Serre », « Sol » et « Culture saisonnière ».

En l'absence de données de terrain actuelles sur l'utilisation des terres agricoles, les pixels d'entraînement pour les trois classes sont définis visuellement. Les données Sentinel 2 et Google Earth sont utilisées en premier lieu pour définir les zones d'entraînement des trois classes. En outre, le *normalized difference vegetation index* (NDVI), qui est une indication de la présence de végétation, est également calculé pour les données Sentinel 2 et utilisé.

Pour la classe « Serre », 15 zones d'entraînement (1 802 pixels) sont définies, pour la classe « Sol », 20 zones d'entraînement (17 062 pixels) et pour la classe « Culture saisonnière », 15 zones d'entraînement (4 224 pixels). La classe « Sol » présente une plus grande diversité spectrale ce qui nécessite plus de zones d'entraînement et un plus grand nombre de pixels.

L'algorithme du maximum de vraisemblance est utilisé pour la classification supervisée.

3.3 Résultats et interprétations

La figure 4 montre le résultat de la classification supervisée des superficies agricoles pour le 26 juillet 2019 pour la zone d'étude avec les trois classes « Serre », « Sol » et « Culture saisonnière ». Les zones blanches à l'intérieur de la zone d'étude sont les zones masquées au préalable (chapitre 3.2).

La classification montre les superficies totales de chaque classe. Elles s'élèvent à 15 870 ha pour la classe « Serre », à 81 912 ha pour la classe « Sol » et à 7 433 ha pour la classe « Culture saisonnière ». Le résultat de la classification contient des pixels et des groupes de pixels isolés pour lesquels il est clair qu'ils n'ont pas été correctement associés. Cet effet peut être réduit par la fonction *Sieve* et a également été appliqué pour le présent résultat dans QGIS. Les pixels et les groupes de pixels qui sont plus petits qu'une valeur seuil sont remplacés par la valeur des pixels des huit pixels adjacents. Dans cet exemple, une valeur seuil de cinq pixels a été prise. Le tableau 1 donne un aperçu des surfaces.

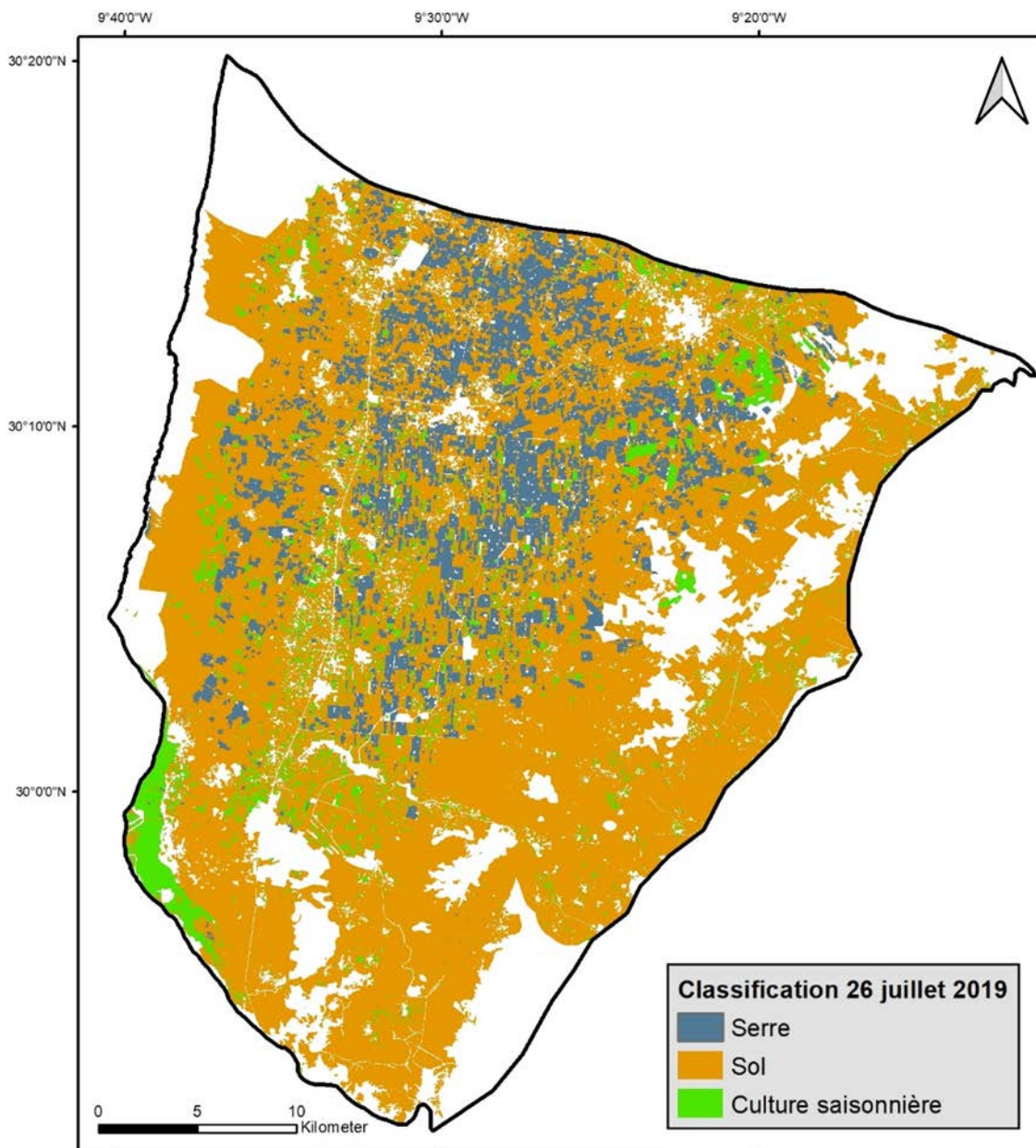


Figure 4: Classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019 de l'aquifère de Chtouka

Tableau 1: Superficies totales de la classification par classe

	Superficie [ha]	
	Classification	Fonction Sieve
Serre	15 870	15 585
Sol	81 912	82 405
Culture saisonnière	7 433	7 196

Les superficies calculées de la classification sont comparées aux superficies totales de la carte d'occupation du sol du CRTS de 2019 afin de valider les résultats. Les tableaux 2 et 3 présentent les superficies totales entre les trois classes de la carte d'occupation du sol du CRTS de 2019 et la classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019. De même, ils indiquent les concordances entre les résultats de la classification et la carte du CRTS de 2019.

Tableau 2: Comparaison par classe entre les superficies de la classification et la carte d'occupation du sol du CRTS

	Carte CRTS 2019	Classification Sentinel 2	Classification vs. CRTS
	Superficie [ha]	Superficie [ha]	[%]
Serre	16 121	15 870	98,4
Sol	80 117	81 912	97,8
Culture saisonnière	9 006	7 433	82,5

Tableau 3: Comparaison par classe entre les superficies de la classification et la carte d'occupation du sol du CRTS en utilisant la fonction Sieve

	Carte CRTS 2019	Classification Sieve	Classification vs. CRTS
	Superficie [ha]	Superficie [ha]	[%]
Serre	16 121	15 585	96,7
Sol	80 117	82 405	97,2
Culture saisonnière	9 006	7 196	79,9

En outre, les résultats sont validés à l'aide de points aléatoires. Au total, 765 points aléatoires sont générés avec une distance minimale de 100 m dans la zone d'étude. Parmi ceux-ci, 122 sont attribués à la classe « Serre », 580 à la classe « Sol » et 63 à la classe « Culture saisonnière ». La répartition des points correspond aux pourcentages de superficies des classes respectives. La comparaison entre la carte d'occupation du sol du CRTS de 2019 et la classification du 26 juillet 2019 est présentée dans le tableau 4 sous forme de matrice de confusion. La matrice de confusion ne change pas même après l'application de l'algorithme Sieve.

Tableau 4: Matrice de confusion de la classification

		Carte CRTS de 2019				Précision de l'utilisateur
		Serre	Sol	Culture saisonnière	Total	
Classification	Serre	96	12	1	109	88,1%
	Sol	25	549	31	605	90,7%
	Culture saisonnière	1	19	31	51	60,8%
	Total	122	580	63	765	
Précision du producteur		78,7%	94,7%	49,2%		Précision globale 88,4%

La matrice de confusion indique une précision globale de 88,4%, avec des différences plus importantes entre les classes respectives. Les faibles précisions du producteur calculées à partir des points aléatoires des classes « Serre » et surtout « Culture saisonnière » s'expliquent partiellement par la comparaison des données raster et des données vectorielles. Le résultat de la classification représente une carte basée sur des pixels qui n'est pas schématique. Par contre, la carte de référence du CRTS est un ensemble de données vectorielles composé de polygones structurés aux contours bien définis. La figure 5 illustre ce phénomène.

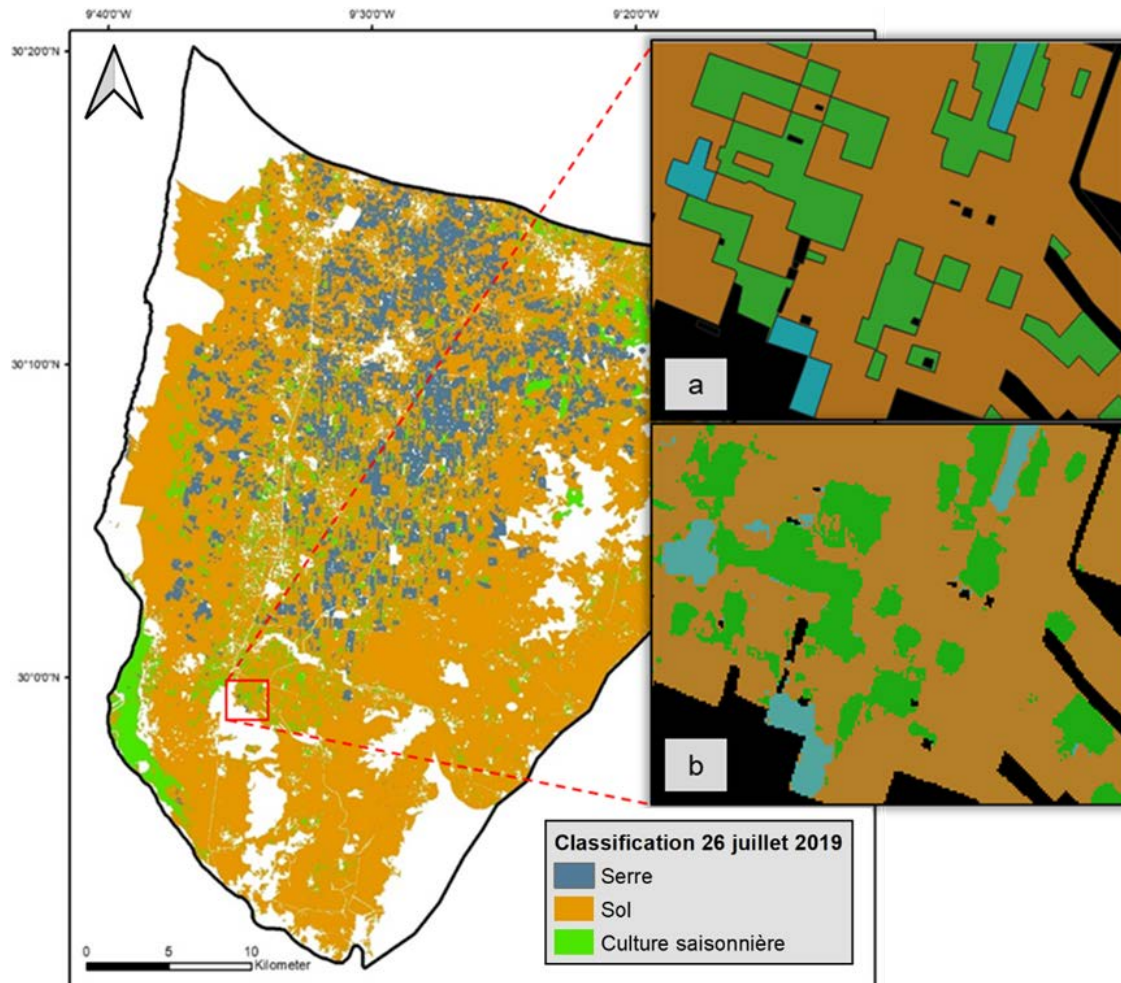


Figure 5: Comparaison entre les données vectorielles de la carte du CRTS (a) et les pixels du raster de la classification (b)

En outre, la carte d'occupation du sol du CRTS définit les parcelles agricoles dans leur ensemble et non la surface cultivée au moment considéré. Il est donc possible que la carte de référence du CRTS représente la totalité de la parcelle, mais celle-ci ne soit que partiellement cultivée au moment de l'acquisition de l'image satellitaire. Ainsi, l'exploitation réelle telle qu'elle est calculée dans la classification peut différer de la carte d'occupation du sol schématique du CRTS.

En outre, la carte d'occupation du sol du CRTS indique parfois des superficies qui ne sont pas détectées sur les images satellitaires. Cependant, la carte d'occupation du sol du CRTS ne contient pas toujours des superficies qu'on peut voir sur l'image satellitaire. C'est le cas pour

la classe « Serres » et pour la classe « Culture saisonnière ». La figure 6 en est un exemple. Elle montre un détail de la carte au centre de la zone d'étude. D'après les résultats de la classification, aucune serre n'existe au centre de l'extrait (figure 9a), alors que la carte du CRTS indique la présence de serres à cet endroit (figure 9b). Visuellement, aucune serre n'est visible sur les données Sentinel 2 du 26 juillet 2019. Cette hypothèse est confirmée par des images de Google Earth du 12 juin 2019 et du 29 septembre 2019 (figure 9c et d). Il est peu probable que des serres aient été montées et démontées pendant la période allant de mi-juin à fin septembre. Par conséquent, l'occupation du sol au moment du 26 juillet 2019, sur laquelle se base la classification, peut différer de la carte d'occupation du sol du CRTS.

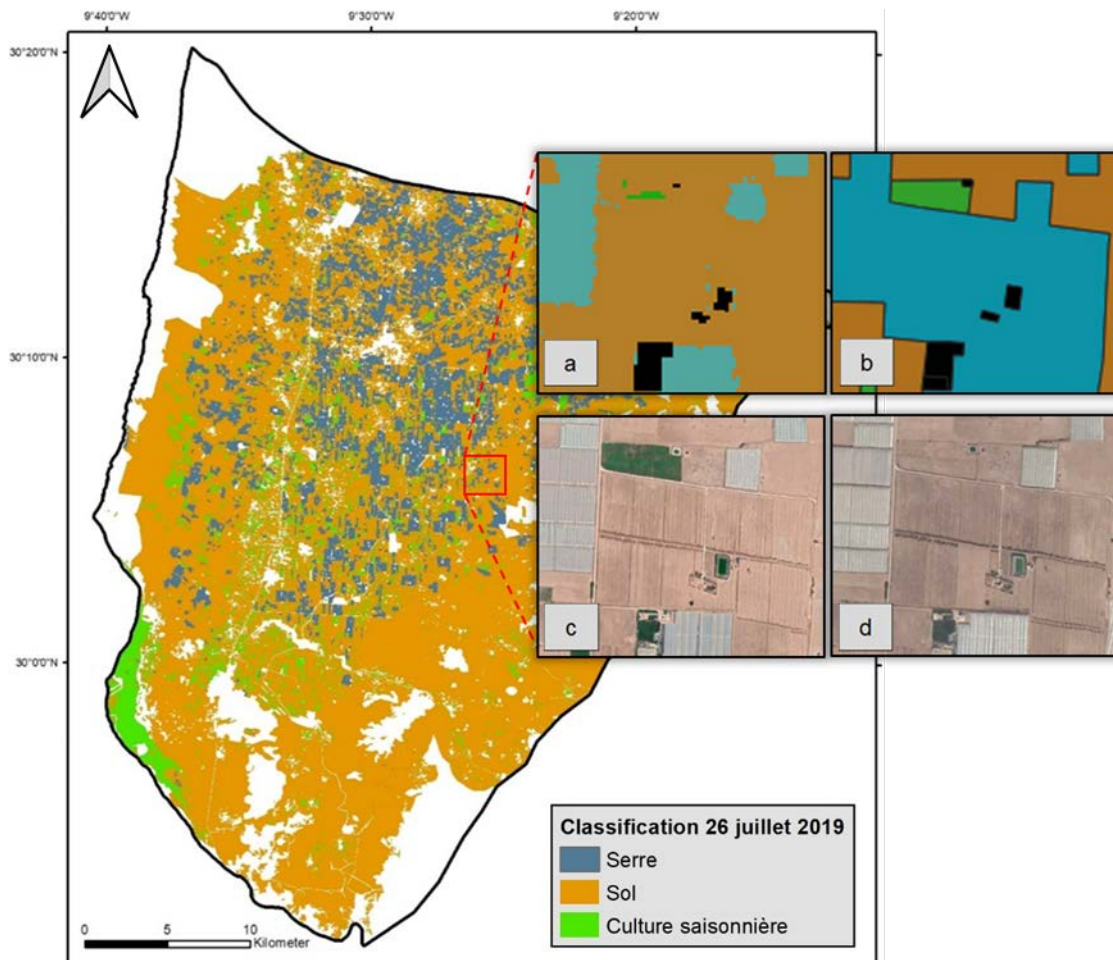


Figure 6: Comparaison entre le raster de la classification (a) et les données vectorielles de la carte du CRTS (b) avec les images de Google Earth du 12 juin 2019 (c) et du 29 septembre 2019 (d)

4. Estimation des prélèvements des eaux souterraines

4.1 Méthodologie

Le prélèvement d'eau souterraine peut être calculé par différentes méthodes. Par exemple, des valeurs théoriques de besoins en eau des cultures par surface pour une certaine région peuvent être utilisées, après avoir été éventuellement adaptées aux conditions locales. Le plus souvent, il s'agit de valeurs empiriques qui peuvent être aussi des valeurs mesurées. Sur la base des besoins en eau des différentes cultures, il est possible d'estimer la quantité d'eau souterraine prélevée après avoir déduit la quantité de précipitation efficace.

Une autre méthode courante est le concept de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (ONUAA), qui vise à déterminer l'évapotranspiration (Allen et al. 1998). Lors d'une première étape, l'évapotranspiration de culture (ET_c) est calculée afin d'estimer les besoins spécifiques en eau des cultures. La quantité d'eau nécessaire pour compenser la perte due à l'évapotranspiration représente la quantité d'eau nécessaire à la croissance des plantes. L'ET_c est donc équivalente aux besoins en eau de la culture. L'ET_c est déterminée en multipliant l'évapotranspiration de référence (ET_o) par le coefficient de culture (K_c) qui est une valeur de correction spécifique à chaque culture. L'ET_o peut être une valeur mesurée ou calculée à partir de données climatiques. Lors d'une deuxième étape, on détermine d'abord les besoins en irrigation de la culture avant de tirer des conclusions sur le prélèvement d'eau souterraine. Le prélèvement d'eau souterraine représente en principe la différence entre le besoin en eau de la culture et les précipitations efficaces. D'autres informations spécifiques au niveau local comme l'agriculture pluviale, les pratiques d'irrigation ou les sources d'eau autres que les eaux souterraines peuvent être utilisées pour améliorer l'estimation du prélèvement d'eau souterraine.

L'idéal est toutefois de connaître le prélèvement d'eau souterraine pour les cultures concernées. Dans le meilleur des cas, ce sont les valeurs mesurées des compteurs d'eau installés sur les pompes.

Pour ce travail, une étude datant de 2015 (ANZAR Conseil, 2015) est disponible, dans laquelle des mesures sur les débits des pompes ont été effectuées et des informations sur la durée de pompage ont été collectées auprès des agriculteurs. En complément, la taille de la surface irriguée ainsi que la culture correspondante sont indiquées. Les travaux de terrain ont été réalisés de fin avril à début juillet 2015. Ces données permettent de déterminer les volumes d'eau souterraine prélevés pour l'irrigation de chaque culture pour la période estivale. Une distinction est faite entre l'agriculture en plein champ et les serres.

Le tableau 5 donne un aperçu des prélèvements d'eau souterraine pour les superficies agricoles des cultures existantes en plein champ ainsi que sous serre. Les valeurs moyennes des quantités prélevées pendant la période estivale y sont indiquées. Les cellules vides du tableau 5 signifient que la culture n'est pas cultivée.

Tableau 5: Valeurs moyennes des volumes d'eau souterraine prélevés par les cultures, période estivale (d'après ANZAR Conseil 2015)

	Cultures en plein air [m³/ha]	Serres [m³/ha]
Abricotier	3 988	
Aubergine	13 191	
Bananier	1 966	6 503
Orge	2 293	
Grenadier	2 722	
Gazon	12 776	
Fève	2 744	8 124
Concombre		14 492
Blé dur	16 582	
Framboise		17 803
Calebasse	26 208	
Pomme de terre	7 584	2 271
Herbes		4 346
Poireau		7 766
Luzerne	20 065	
Maïs	7 287	
Amandier	14 040	
Melon		6 701
Nectarinier	2 890	
Dattier	1 398	
Poivron		8 399
Pêcher	1 747	
Piment	7 020	4 444
Tomate		7 155
Pastèque		1 890
Blé tendre	2 712	
Fleurs		7 109
Agrumes	5 512	
Courgette	4 470	1 716
Oignon	546	

Les parcelles agricoles sur lesquelles une seule culture est installée ont été prises en compte dans le calcul, ce qui permet d'attribuer précisément la superficie et la quantité d'eau d'irrigation. Parfois, la même culture sur différentes parcelles est irriguée en utilisant des modes d'irrigation différentes. Les modes d'irrigation n'ont pas été prises en compte séparément ici, car aucune différence significative n'a été constatée lors de l'analyse des données. L'irrigation goutte-à-goutte est majoritairement utilisée (82% des surfaces).

L'irrigation par aspersion est également une technique d'irrigation pertinente (12% des surfaces).

Le tableau 5 montre qu'il n'y a que peu de cultures qui sont cultivées à la fois en plein champ et sous serre. Il n'est pas possible de dire clairement si la quantité d'eau d'irrigation est plus élevée pour ces cultures lorsqu'elles sont cultivées sous serre ou en plein champ. Théoriquement, on pourrait supposer que la quantité d'eau d'irrigation par hectare est plus faible dans les serres pour plusieurs raisons. Par exemple, la densité des cultures et, par conséquent, le rendement des récoltes et donc la productivité de l'eau peuvent être plus élevés dans les serres.

Selon ANZAR Conseil (2015), les pourcentages de superficies des différentes cultures varient fortement. Ainsi, les agrumes, la luzerne, le maïs, les pêchers, la pomme de terre, la courgette, les nectariniers et le blé tendre sont majoritairement présents dans les cultures en plein champ pendant la période estivale. Ces cultures représentent 85% de la superficie agricole totale. Toutes les autres cultures représentent ensemble moins de 15% de la superficie agricole totale et sont regroupées sous « Autres » (figure 7).

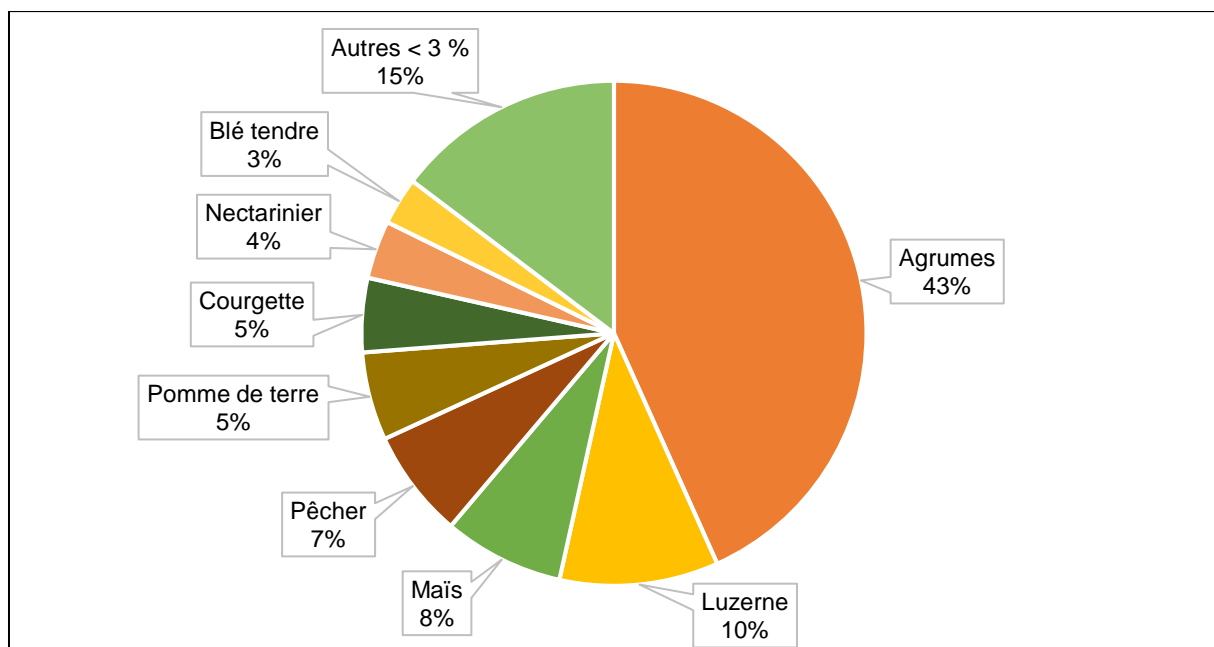


Figure 7: Pourcentages des différentes cultures en plein champs > 3%, période estivale (selon ANZAR Conseil 2015)

Dans les serres, les tomates et les haricots verts sont prédominants pendant la période estivale, représentant ensemble près des trois quarts de la superficie totale. Les poivrons, les bananes et les piments sont également cultivés (19% de la superficie totale). Toutes les autres cultures dont la superficie est inférieure à 3% représentent ensemble 7% de la superficie totale et sont regroupées sous « Autres » (figure 8).

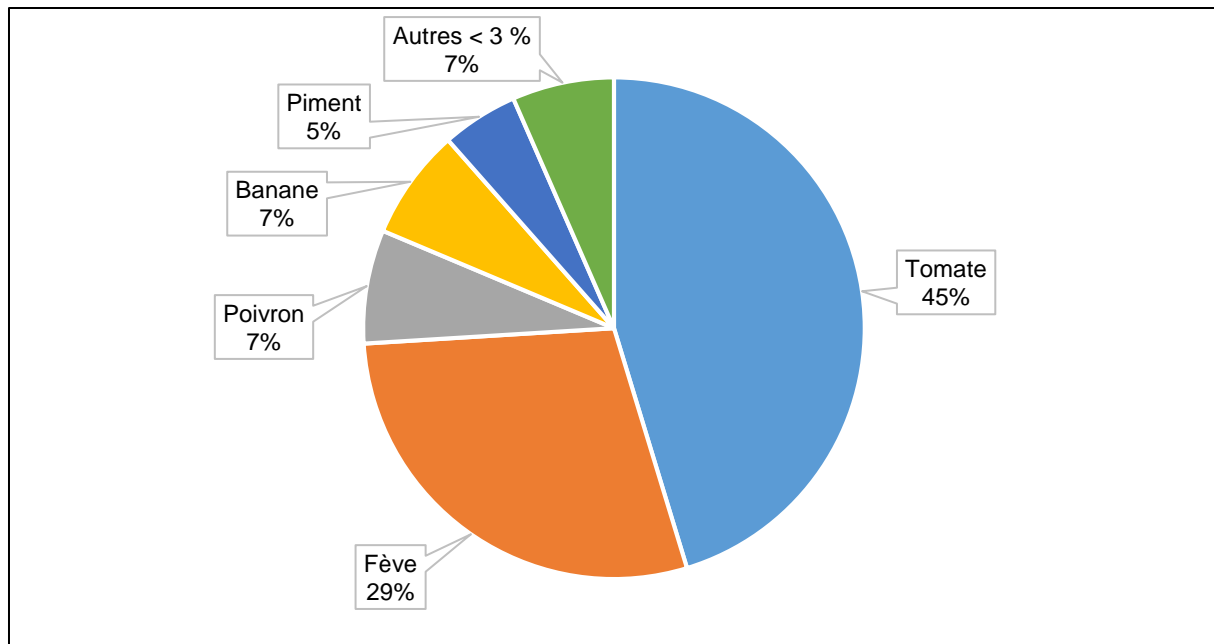


Figure 8: Pourcentages des différentes cultures sous serre > 3%, période estivale (selon ANZAR Conseil 2015)

Sur la base de la quantité moyenne d'eau d'irrigation et des pourcentages des différentes cultures par rapport à la superficie totale, on calcule la valeur moyenne pondérée pour l'agriculture en plein champ et les serres. Celle-ci s'élève à 7 161,6 m³/ha pour les serres et à 6 453,3 m³/ha pour l'agriculture en plein champ. De même, on peut calculer la quantité d'eau d'irrigation pour les oliviers en plein champ à partir des données d'ANZAR Conseil (2015). Elle s'élève à 14 395,7 m³/ha pendant la période estivale. Ces valeurs moyennes sont supposées être le volume d'irrigation par hectare et sont considérées comme équivalentes au prélèvement d'eau souterraine. Une multiplication de ces chiffres avec des superficies agricoles permet donc de déterminer le prélèvement d'eau souterraine.

Pour le calcul, on suppose que la quantité d'eau d'irrigation pondérée de l'année 2015 est également valable pour l'année 2019. Tant en 2015 qu'en 2019, il n'y a pas eu de précipitations durant la période estivale, ce qui aurait pu avoir un impact sur la disponibilité de l'eau pour les cultures (WetterOnline 2021).

Les superficies déterminées par les données satellitaires représentent l'ensemble des zones agricoles cultivées. Les résultats incluent les superficies irriguées et mais aussi les superficies irriguées avec de l'eau de surface provenant du barrage ou d'autres réservoirs. Selon les données d'ANZAR Conseil 2015, 3,41% des serres sont irriguées avec de l'eau de surface. Pour l'agriculture de plein champ, ce chiffre est de 6,18%. En conséquence, 96,59% des serres et 93,82% des parcelles en plein champ sont irriguées avec de l'eau souterraine. Les oliviers sont irrigués à 87,85% avec de l'eau souterraine. Ces proportions sont prises en compte dans le calcul du prélèvement d'eau souterraine en réduisant les superficies irriguées.

4.2 Résultats et interprétations

Le tableau 6 montre les superficies agricoles totales de la zone d'étude qui sont irriguées par les eaux souterraines. Il présente également le prélèvement d'eau souterraine pour la période estivale 2019 (mai à septembre), qui a été calculé par la multiplication de la superficie agricole et le volume moyen d'eau d'irrigation. Le prélèvement d'eau souterraine pour la période estivale 2019 s'élève donc à environ 157 millions m³.

Tableau 6: Prélèvement d'eau souterraine basé sur les résultats de la classification du 26 juillet 2019 et de l'eau d'irrigation pour la période estivale 2015 (selon ANZAR Conseil 2015)

	Superficie irriguée à partir d'eau souterraine [ha]	Quantité moyenne d'irrigation [m ³ /ha]	Prélèvement d'eau souterraine [m ³]
Serre	15 329	7 161,6	109 780 166
Culture saisonnière	6 974	6 453,3	45 005 314
Oliviers	167	14 395,7	2 404 082
Total			157 189 562

Le volume d'irrigation moyen par hectare est déterminé par le débit mesuré de la pompe ainsi que par la durée de pompage. Les durées de pompage aux différents points de prélèvement sont des données fournies par les agriculteurs et il est donc possible que le volume d'irrigation moyen ait été calculé en partie sur la base d'estimations, voire de données erronées. Dans certains cas, les données fournies par les agriculteurs pour une culture donnée sont plus élevées que les valeurs empiriques. La variation des chiffres est également très large, ce qui pourrait à première vue faire croire que les valeurs ne sont pas réalistes. D'un autre côté, cela peut aussi refléter la réalité, car les agriculteurs ont des pratiques d'irrigation différentes.

En comparant les besoins empiriques en irrigation dans les zones climatiques arides et les volumes d'irrigation calculés selon ANZAR Conseil (2015), on constate une différence importante pour les oliviers. Selon les déclarations des agriculteurs, un hectare d'oliviers est irrigué en moyenne avec plus de 14 000 m³ pendant la période estivale. S'y ajoutent encore plus de 7 000 m³ pour la période hiver/printemps. Cela correspond à une irrigation annuelle de plus de 21 000 m³/ha. Donc, le prélèvement d'eau souterraine pour les oliviers dans la zone d'étude s'élève à environ 3,5 millions m³ pour une année. Cependant, les valeurs empiriques montrent que les besoins en irrigation annuels ne dépassent pas 6 000 à 8000 m³/ha (ONUAA 2021a). Si l'on considérait un besoin en irrigation de 8 000 m³/ha pour les superficies des oliviers, le prélèvement d'eau souterraine serait minimisé de 2,2 millions m³ et serait d'environ 1,3 million m³ par an, ce qui correspondrait à une réduction de plus de 60% des besoins en irrigation des oliviers. Cette réduction n'est pas très significative par rapport à la quantité totale d'eau souterraine prélevée.

Les agrumes sont pris en compte dans le calcul de la moyenne pondérée des quantités d'eau d'irrigation pour l'été avec un pourcentage de 43%, car ils représentent une grande partie des superficies agricoles totales. Les déclarations des agriculteurs concernant leur irrigation d'agrumes ont donc un poids important. Les calculs effectués selon ANZAR Conseil (2015) indiquent un volume d'irrigation d'environ 5 500 m³/ha en été. En hiver, cette valeur est d'environ 2 000 m³/ha. Au total, une quantité d'irrigation annuelle d'environ 7 500 m³/ha est donc nécessaire. Les valeurs annuelles empiriques selon l'ONUAA (2021a) se situent entre 9 000 et 12 000 m³/ha et sont donc plus élevées que les données fournies par les agriculteurs.

Si on regarde les valeurs empiriques de la quantité d'eau d'irrigation des agrumes seulement pour la période estivale, pendant laquelle 60% des besoins en eau sont nécessaires (ONUAA 2021b), on observe des valeurs entre 5 500 et 7 500 m³/ha, qui sont aussi proches des données fournies par les agriculteurs. Si on prenait dans ce cas la valeur maximale de 7 500 m³/ha pour le calcul de la valeur moyenne pondérée de l'eau d'irrigation, elle s'élèverait à 7 380 m³/ha. Cela signifierait une augmentation d'environ 15% du prélèvement d'eau souterraine pour l'agriculture en plein champ.

Pour la luzerne, qui représente 10% de la superficie totale dans le calcul de la moyenne pondérée de l'eau d'irrigation en été, la valeur empirique selon l'ONUAA (2021a) est entre 8 000 et 16 000 m³/ha par cycle de croissance. Le calcul basé sur les données fournies par les agriculteurs pour la période estivale est ici légèrement supérieur à 20 000 m³/ha. La luzerne a typiquement un seul cycle de croissance en été. Les besoins en eau de la période estivale peuvent donc être appliqués au cycle de croissance. Si on réduisait par exemple la quantité d'eau d'irrigation à 12 000 m³/ha, ce qui correspond à la moyenne des valeurs empiriques, la valeur moyenne pondérée de l'eau d'irrigation de l'agriculture en plein champ serait réduite à 5 680 m³/ha. Le prélèvement total d'eau souterraine dans l'agriculture en plein champ serait alors réduit d'environ 12%.

Pour toutes les autres cultures saisonnières en plein champ, les différences entre les déclarations des agriculteurs et les valeurs empiriques de l'ONUAA ne sont pas significatives pour le calcul de la valeur moyenne pondérée. Soit les données des agriculteurs et les valeurs empiriques sont du même ordre de grandeur, soit le pourcentage de surface est plutôt faible. En ce qui concerne les quantités d'eau d'irrigation dans les serres, les données d'ANZAR Conseil (2015) constituent la seule source d'information disponible et fiable.

Les estimations des prélèvements d'eau souterraine et leur répartition géographique peuvent être visualisées sur une carte. La figure 9 montre le prélèvement d'eau souterraine pour les superficies agricoles et les différentes classes durant la période estivale 2019, sur la base des résultats de la classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019. Les données représentent les valeurs moyennes pour les différentes classes et peuvent varier dans l'espace.

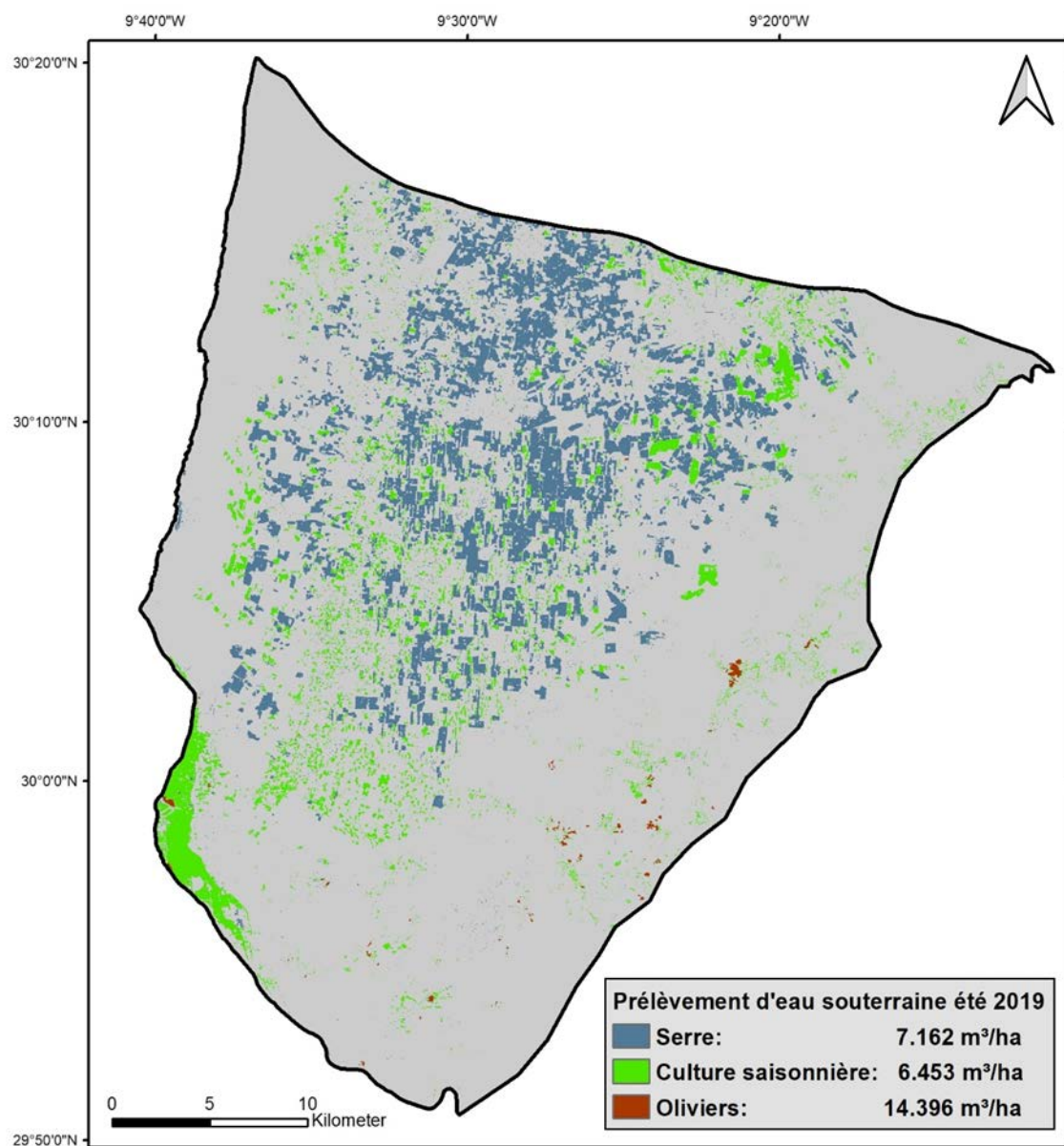


Figure 9: Prélèvement d'eau souterraine moyen selon les différentes classes, basé sur la classification des données Sentinel 2 du 26 juillet 2019 et les données d'ANZAR Conseil 2015

5. Conclusion et prochaines étapes

Le présent travail a présenté une approche pour déterminer les superficies agricoles à l'aide de données satellitaires. Elle a été développée sur la base des conditions locales en tenant compte des demandes des autorités partenaires. Un des aspects importants est que la méthode puisse être mise en œuvre de manière simple et peu coûteuse.

Les résultats présentent les évaluations pour la période estivale 2019. Sur la base des données disponibles, les résultats ont pu être validés à l'aide d'une carte de référence du Centre Royale de la Télédétection Spatiale du Maroc. Il est recommandé de valider les résultats de la période estivale 2019 en effectuant d'autres calculs sur d'autres années et en utilisant des données de terrain, et d'adapter la méthode si nécessaire.

Sur la base des résultats de la détermination des superficies agricoles, le volume des prélèvements d'eau souterraine à usage agricole a été estimé pour l'aquifère de Chtouka. Les bases des calculs ont été fournies par une étude de 2015, qui comprend des données fournies par les agriculteurs concernant l'irrigation des cultures. Ces données constituent une bonne base, mais il est recommandé de se référer à l'avenir à des données supplémentaires et/ou actualisées.

Comparées aux valeurs empiriques de la consommation moyenne des cultures, les données fournies par les agriculteurs concernant l'irrigation peuvent être considérées comme réalistes dans l'ensemble et, par conséquent, le calcul peut être considéré comme plausible. Cependant, il existe parfois des différences importantes entre les données des agriculteurs et les valeurs empiriques de la ONUAA pour certaines cultures, ce qui influence le calcul de la valeur moyenne pondérée de la quantité d'eau d'irrigation. Ces différences montrent également qu'il y a un potentiel d'économie d'eau. Ainsi, ces comparaisons peuvent aider à la prise de décision et à la mise en place de mesures ciblées pour adapter la quantité d'eau d'irrigation.

Cette approche contribue à déterminer les surfaces agricoles et à estimer les prélèvements d'eau souterraine avec un faible investissement en temps et en argent. Ce travail vise donc précisément l'un des objectifs importants du projet, à savoir le suivi des prélèvements d'eau souterraine. La méthodologie n'est pas limitée à la zone du projet, mais pourra être utilisée à l'avenir par l'autorité locale de l'eau ABHSM et l'organisation partenaire OSS et transférée à d'autres zones. Un transfert de connaissances sur l'application de la méthodologie a eu lieu dans le cadre du projet, ce qui permet de garantir sa durabilité.

6. Références

- Agence Spatiale Européenne (ASE) (2015): Sentinel-2 product tiling grid.
- Agence Spatiale Européenne (ASE) (2022): Sentinel-2 mission overview.
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Accès 14.03.2022)
- Allen et al. (1998): Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- ANZAR Conseil (2015): Etude et élaboration de Contrat de Nappe de Chtouka (Province Chtouka Ait Baha). Base de données prélèvements nappe Chtouka.
- Capion Consulting (2018): Expertise pour une collecte et une analyse descriptive des données spatiales au niveau de la nappe de Chtouka – Maroc.
- Centre Royale de la Télédétection Spatiale du Maroc (CRTS) (2014): Cartographie de l'occupation du sol à partir des images satellitaires.
- Centre Royale de la Télédétection Spatiale du Maroc (CRTS) (2020): Carte de l'occupation du sol de l'année 2019.
- Google Earth (2022): <http://earth.google.com>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (ONUAA) (2021a): Crop Water Information. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/> (Accès 25.02.2022)
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (ONUAA) (2021b): WaPOR v2.1. Reference Evapotranspiration (Annual and Monthly), 2019 and 2020, location 30.15,-9.45. https://wapor.apps.fao.org/home/WAPOR_2/1 (Accès 25.02.2022)
- WetterOnline GmbH (2021): Données pluviométriques de la station d'Agadir Aéroport pour les années 2015 et 2019. <https://www.wetteronline.de/rueckblick> (Accès 25.02.2022).