CARTOGRAPHIE DES SURFACES IRRIGUEES EN DURANCE PAR TELEDETECTION

RAPPORT FINAL (OCTOBRE 2022)

Ce travail est réalisé par le SMAVD en collaboration avec les Chambres d'Agricultures (04, 05 ,13 ,84 et PACA) et laboratoires TETIS et CESBIO. Il fait partie intégrante des actions du projet LIFE Eau&Climat (LIFE19 GIC/FR/001259). A ce titre, il a reçu un financement du programme LIFE de l'Union européenne et de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES i
LISTE DES FIGURES i
LISTE DES TABLEAUX ii
SIGLES ii
INTRODUCTION 1
CARTOGRAPHIE DE L'IRRIGATION A PARTIR DE L'HUMIDITE DU SOL (TETIS-SMAVD) 3
1.1. Cartographie de l'humidité du sol 4
1.2. Cartographie de l'irrigation à partir des données Sentinel (TETIS) 8
CARTOGRAPHIE DE L'IRRIGATION A PARTIR DES DONNEES IN SITU SUR IOTA2 (CESBIO-SMAVD) 12
2.1. Méthodologie 13
2.2. Cartographie de l'occupation du sol 14
2.3. La cartographie des cultures irriguées et non irriguées 16
2.4. Calcul des surfaces des cultures irriguées 18
RESULTATS ET DISCUSSION 19
CONCLUSION 33
ANNEXES 35
Annexe 1 : Fichier de configuration sur iota2 35
Annexe 2 : Tableau récapitulatif de la méthode de cartographie sur iota-2 36
Annexe 3 : Tableau comparatif des surfaces irriguées du RGA et Télédétection 2021 36
BIBLIOGRAPHIE 38

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Méthodologie de cartographie de l'humidité du sol. 4
Figure 2: Cartes d'humidité du sol sur quatre des cinq territoires obtenus à partir d'une acquisition Sentinel-1 du 23 Juillet 2021. (a) Buech, (b) SIIRF, (c) Basse Durance et (d) ASSE. 5
Figure 3: Schéma méthodologique de la chaîne de classification automatisée Iota-2 13
Figure 4: Matrice de confusion de la carte d'occupation du sol 2021 20
Figure 5: Carte d'occupation du sol en été 2021 21
Figure 6: Matrice de confusion de la classification des cultures irriguées et non irriguées en 2021 21
Figure 7: Carte des cultures irriguées et non irriguées en Durance 22
Figure 8: Carte des cultures irriguées dans l'Asse, 2021 25
Figure 9: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans l'Asse 26
Figure 10: Carte des cultures irriguées dans le SIIRF 27
Figure 11: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le SIIRF 27
Figure 12: Carte des cultures irriguées dans le BUECH 28
Figure 13: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le BUECH 29
Figure 14: Carte des cultures irriguées dans la Basse Durance 29
Figure 15: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le Basse Durance 30

Figure 16: Carte des cultures irriguées dans la Moyenne Durance.....30
Figure 17: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans la Moyenne Durance 32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les formules utilisées pour le calcul de la matrice de confusion.....8
Tableau 2: Précision de la carte d'irrigation obtenue en utilisant l'algorithme S²IM. 9
Tableau 3: Précision de la carte d'irrigation par territoire en 2020, 2021 et 2022.....10
Tableau 4: Pourcentage des surfaces irriguées par territoire 2020 (cultures arbustives exclues) 11
Tableau 5: Données in situ avec le nombre et la surface des parcelles visitées par culture en 2021.14
Tableau 6: Données in situ avec l'information irriguée ou non irriguée par culture en 2021 16
Tableau 7: Données in-situ des types de cultures avec l'information sur l'irrigation en été 2022 16
Tableau 8: Surface totale des parcelles cultivées dans chacun des territoires pilotes.....21
Tableau 9: Tableau de confrontation des résultats de classification avec les données terrain (nombre de parcelles) 23
Tableau 10: Précision de la carte d'irrigation par territoire en 2021 et 2022.....24
Tableau 11: Pourcentage des surfaces irriguées dérivées des cartographies de l'irrigation 24

SIGLES

CNES : Centre national d'études spatiales

CESBIO : Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (Toulouse)

F-Score : Permet de mesurer la fiabilité de la classification

NDVI : Indicateur de végétation par différence normalisée permettant de caractériser l'état de santé de la végétation ou du profil de verdure des cultures pendant la saison de croissance.

NDWI : Indicateur de la teneur en eau de la végétation.

OA : En anglais Overall accuracy, permet de mesurer la précision globale de la classification

OSO : Carte d'occupation des sols fournie par le pôle Théia

RPG : Registre Parcellaire Graphique, information géospatialisée des cultures déclarées à la Politique Agricole Commune de l'Union Européenne

TETIS : Unité mixte de recherche pour les territoires et l'environnement par la télédétection et l'information spatiale (Montpellier)

INTRODUCTION

La relation eau-agriculture revêt de nos jours une acuité majeure surtout dans ce contexte de changement climatique marqué à la fois par la rareté constante des précipitations et la sécheresse observée partout ailleurs. La pratique agricole étant conditionnée à la présence de l'élément essentiel à savoir l'eau, l'absence des précipitations entraîne la pratique précoce et prononcée de l'irrigation. L'irrigation est indispensable pour la qualité de certaines cultures à haute valeur ajoutée : les fruits, les légumes, les semences. C'est aussi un facteur d'intensification en polyculture qui permet de sécuriser et de maintenir des exploitations petites et moyennes. Dans le souci d'une bonne gestion de la ressource, il est impératif d'identifier les parcelles irriguées et d'évaluer la quantité d'eau nécessaire pour un bon développement des cultures. C'est dans ce contexte qu'une connaissance approfondie des périmètres irrigués et les besoins en eau des cultures prend tout son sens.

Au regard des différentes bases de données disponibles, notamment les données du Recensement Général de l'Agriculture, on remarque qu'elles ne permettent pas d'avoir une estimation actualisée et spatialisée à grande échelle sur le bassin de la Durance. C'est dans cet ordre d'idée que la question de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information, plus précisément ce que la télédétection et les images satellitaires peuvent apporter comme connaissance à la cartographie des cultures irriguées en Durance à vue le jour. Des connaissances primordiales pour la modélisation spatialisée de l'eau au travers du C3PO.

Les possibilités offertes par la télédétection se sont considérablement améliorées avec la mission Sentinel (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home) qui permet d'assurer un suivi fréquent (mieux que la semaine) des surfaces continentales avec des bonnes résolutions spatiales (à partir de 10 m x 10 m). De plus, les données Sentinel sont gratuites et distribuées en libre-service. Les données Sentinel-2 permettent de suivre l'état de la végétation tandis que les capteurs radar Sentinel-1 fournissent des données pour suive le développement des végétaux et permettent une estimation de l'humidité du sol en milieux agricoles (El Hajj et al., 2017).

La complémentarité des images satellitaires optique et radar permet de cartographier les occupations et usages (irrigation) du sol, de suivre la dynamique de la végétation et d'estimer les besoins en eau des cultures. Quand ces données sont organisées avec d'autres types de données dans un Système d'Information Géographique (SIG), elles deviennent un outil puissant d'aide à la décision pour tout ce qui touche à la connaissance d'un territoire donné, au suivi des cultures et aux pratiques culturales. Notre mission consiste donc à utiliser la technologie spatiale plus spécifiquement la télédétection pour obtenir des informations précises sur l'occupation des sols en Durance, l'identification des parcelles irriguées dans les cinq territoires pilotes et dans les territoires WEAP afin d'avoir une connaissance des besoins en eau des cultures en Durance.

L’atteinte de ces objectifs nécessite une méthodologie bien structurée pour distinguer les différents types de cultures, différencier les cultures irriguées des non irriguées et estimer les besoins en eau des cultures, en utilisant une approche à quatre étapes. Ainsi, nous avons commencé par (1) la réalisation de la cartographie de l’humidité des sols en Durance, suivie de (2) la cartographie de l’irrigation à partir de l’humidité du sol par TETIS, (3) la cartographie de l’occupation du sol intégrant l’information irriguée / non irriguée des cultures en place sur le territoire. Ces cartes vont permettre d’atteindre notre objectif ultime qui consiste à (5) estimer les surfaces des cultures irriguées dans les territoires pilotes et dans les territoires WEAP en vue de leur utilisation pour une modélisation des besoins en eau des cultures à grande échelle dans le C3PO.

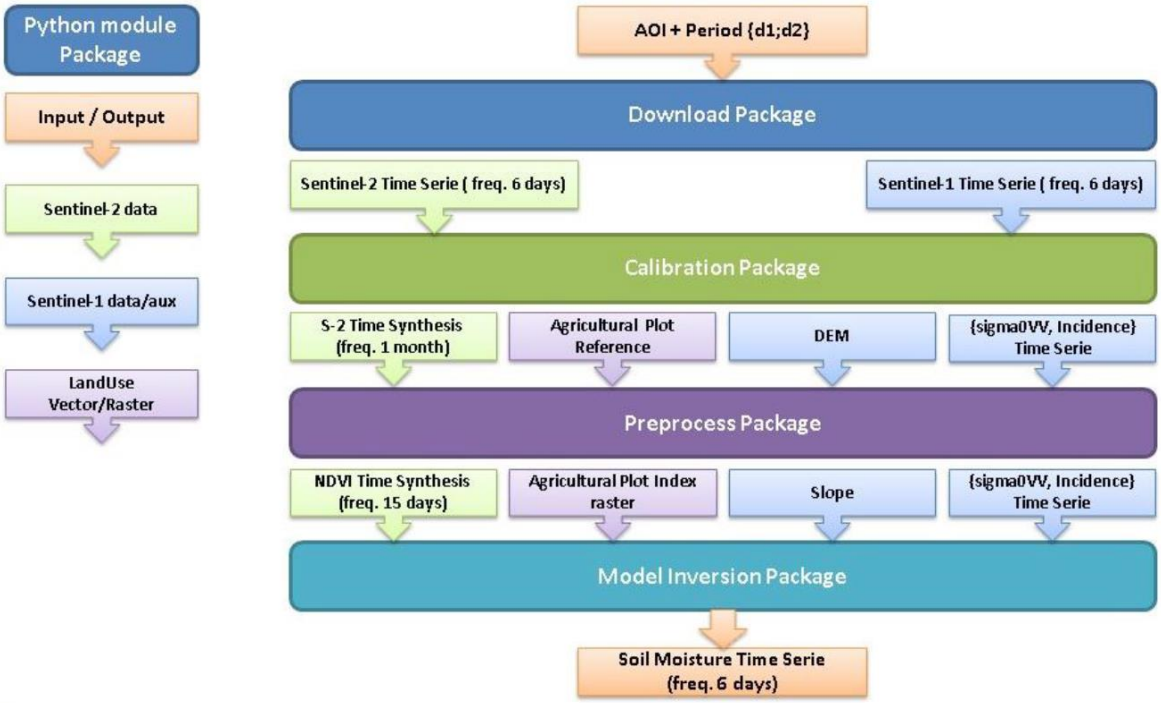
CARTOGRAPHIE DE L'IRRIGATION A PARTIR DE L'HUMIDITE DU SOL (TETIS-SMAVD)

1.1. Cartographie de l'humidité du sol

1.1.1. Méthodologie

La cartographie de l'humidité du sol est un ensemble de processus qui permettent d'opérer l'inversion du coefficient de rétrodiffusion radar. Développée par N. Baghdadi de l'équipe TETIS de Montpellier, elle utilise les techniques des réseaux de neurones et est appliquée sur les grandes cultures et les prairies, mais ne prend pas en compte les cultures arboricoles. La méthodologie est résumée dans la Figure 1.

Figure 1: Méthodologie de cartographie de l'humidité du sol.



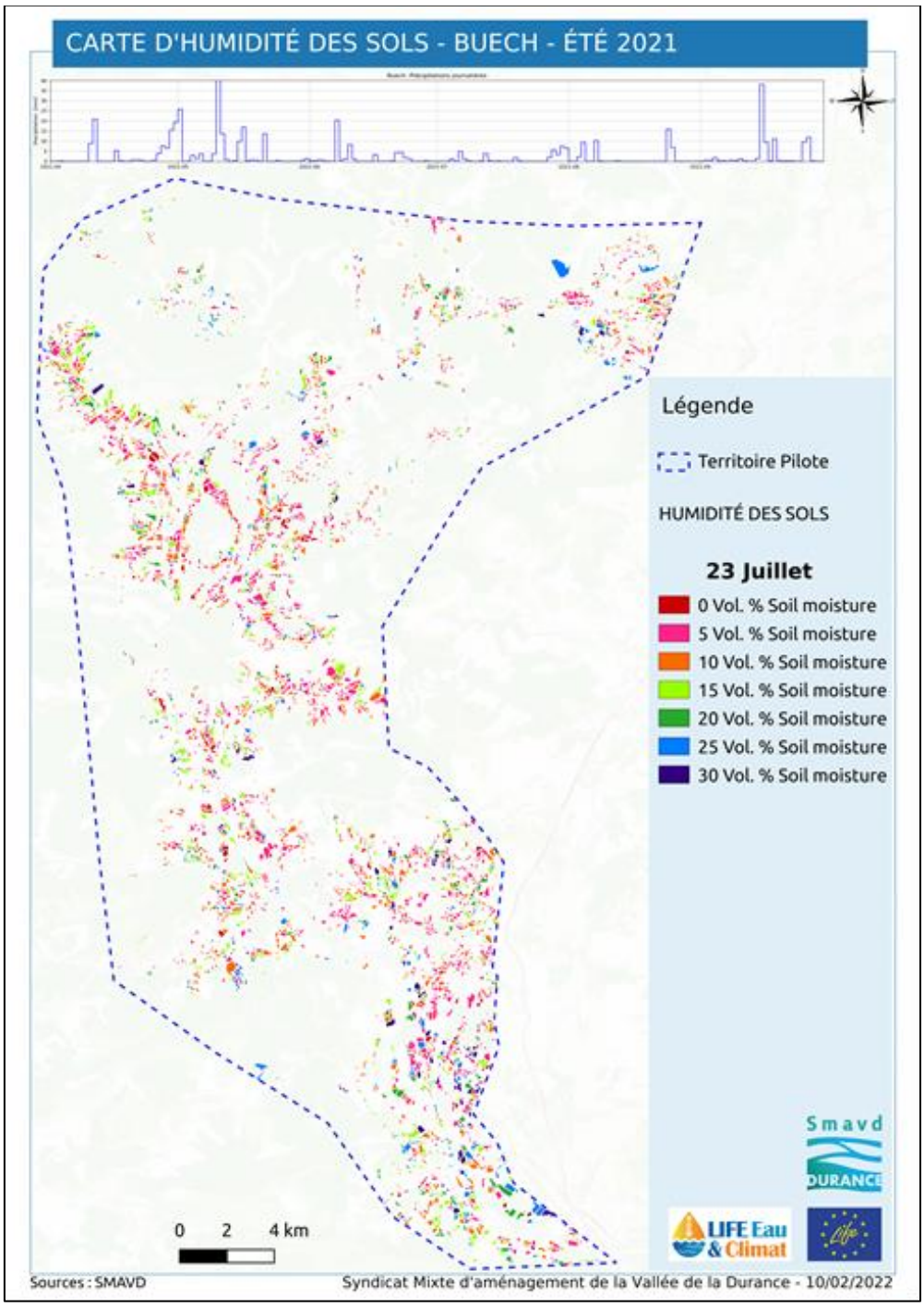
Le processus consiste à estimer pour une image radar donnée, l'humidité de chaque parcelle de culture. Cette humidité est dérivée principalement en utilisant quatre données d'entrées à savoir : l'indice de végétation par différence normalisée, appelé aussi NDVI, les coefficients de rétrodiffusion radar (la moyenne des pixels radar pour chaque parcelle), l'angle d'incidence radar, les limites et contours des parcelles agricoles à partir du RPG et les données de dénivellation du sol (la pente).
La combinaison de ces données d'entrées dans le modèle d'inversion des coefficients de rétrodiffusion radar permet d'extraire l'humidité du sol à l'échelle de la parcelle.

1.1.2. Résultats et discussion

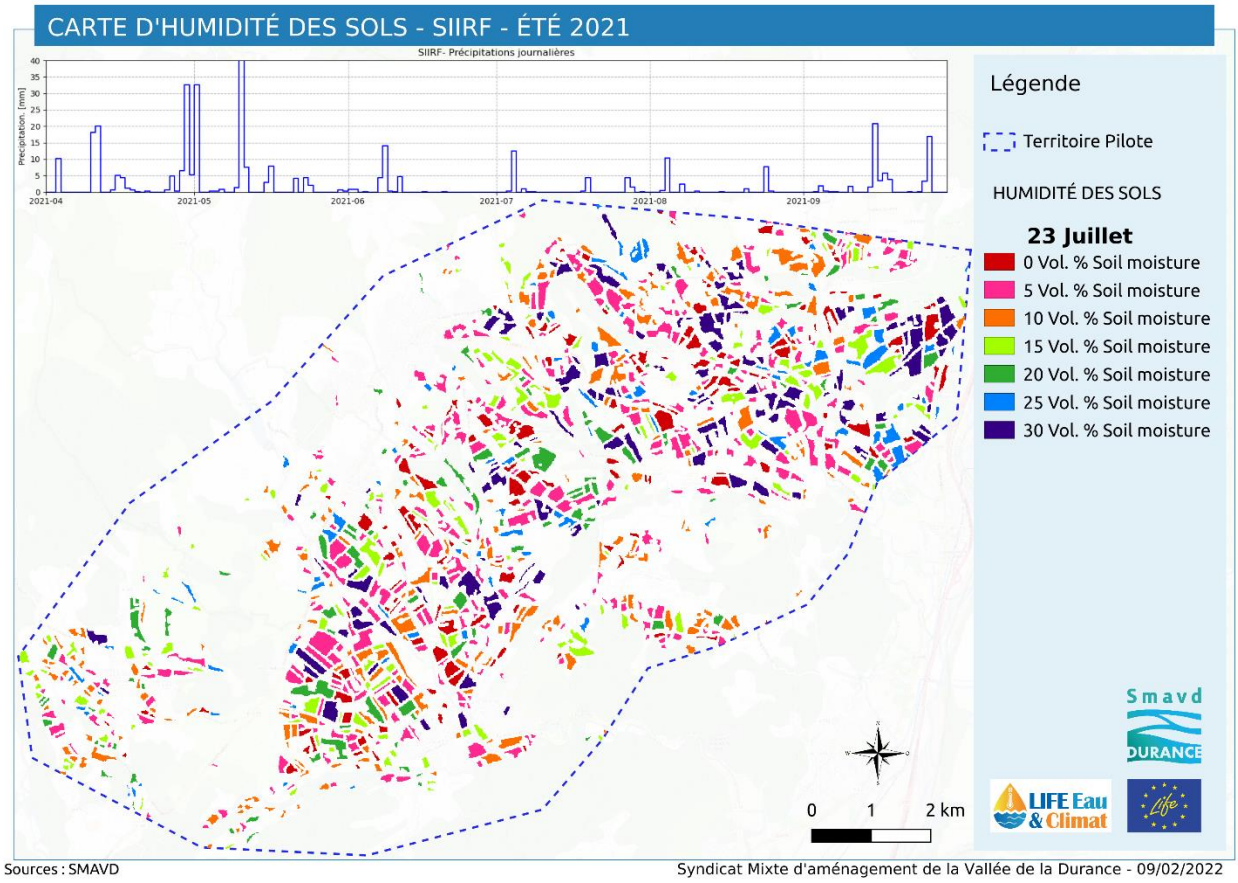
La Figure **2** présente des exemples de cartes d'humidité du sol sur quatre des cinq territoires pilotes à savoir le Buech (Figure 2a), SIIRF (Figure 2b), la Basse Durance (Figure 2c), et ASSE (Figure 2d).

Le code couleur permet de caractériser le degré d'humidité du sol obtenu pour chaque parcelle (rouge peu humide, bleu très humide). En l'absence de précipitations, la valeur de l'humidité permet de mettre en évidence un potentiel apport d'eau par l'irrigation. On considère qu'en dessous de 12%, les cultures ne peuvent pas se développer en été. En l'absence de pluie, des valeurs supérieures à 15% peuvent permettre d'identifier un évènement d'irrigation.

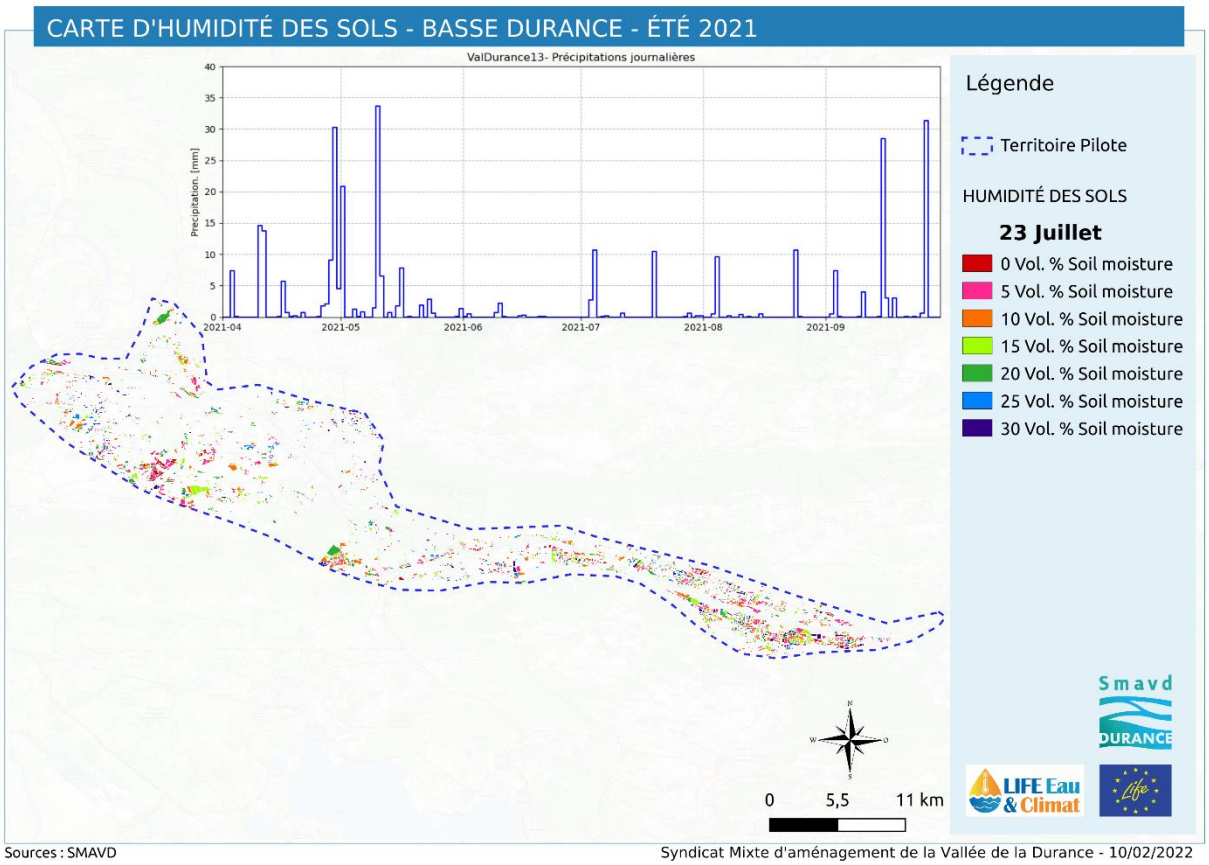
Figure 2: Cartes d'humidité du sol sur quatre des cinq territoires obtenus à partir d'une acquisition Sentinel-1 du 23 Juillet 2021. (a) Buech, (b) SIIRF, (c) Basse Durance et (d) ASSE.



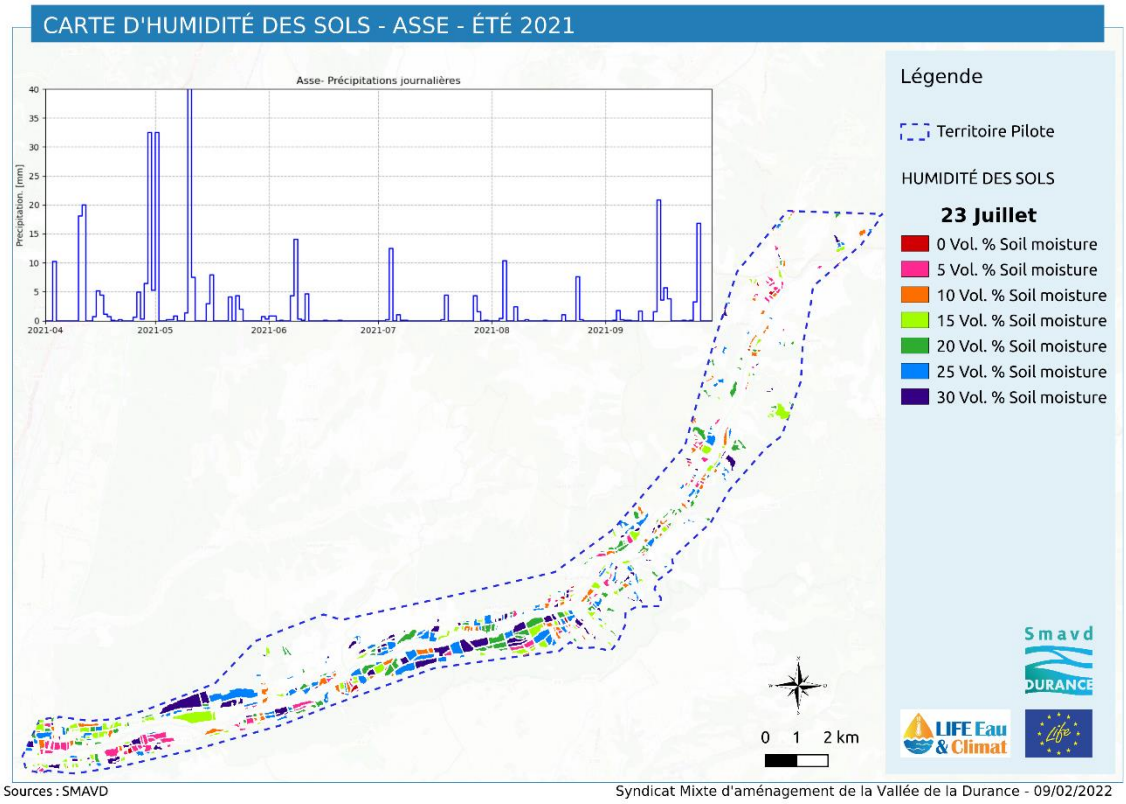
(a)


CARTE D'HUMIDITÉ DES SOLS - SIIRF - ÉTÉ 2021
SIIRF- Précipitations journalières
Precipitation. [mm]
2021-04
2021-05
2021-06
2021-07
2021-08
2021-09
Légende
Territoire Pilote
HUMIDITÉ DES SOLS
23 Juillet
0 Vol. % Soil moisture
5 Vol. % Soil moisture
10 Vol. % Soil moisture
15 Vol. % Soil moisture
20 Vol. % Soil moisture
25 Vol. % Soil moisture
30 Vol. % Soil moisture
0 1 2 km
Smavd
DURANCE
LIFE Eau & Climat
Life
Sources : SMAVD
Syndicat Mixte d'aménagement de la Vallée de la Durance - 09/02/2022

(b)


CARTE D'HUMIDITÉ DES SOLS - BASSE DURANCE - ÉTÉ 2021
ValDurance13- Précipitations journalières
Precipitation. [mm]
2021-04
2021-05
2021-06
2021-07
2021-08
2021-09
Légende
Territoire Pilote
HUMIDITÉ DES SOLS
23 Juillet
0 Vol. % Soil moisture
5 Vol. % Soil moisture
10 Vol. % Soil moisture
15 Vol. % Soil moisture
20 Vol. % Soil moisture
25 Vol. % Soil moisture
30 Vol. % Soil moisture
0 5,5 11 km
Smavd
DURANCE
LIFE Eau & Climat
Life
Sources : SMAVD
Syndicat Mixte d'aménagement de la Vallée de la Durance - 10/02/2022

(c)



(d)

Nous avons exploité de manière simple les résultats obtenus à l'échelle de la parcelle (cultures arbustives exclues) pour déterminer l'irrigation à travers des indicateurs d'humidité et de NDVI mais les résultats n'ont pas permis de conclure de manière satisfaisante. Une autre méthodologie développée par TETIS permet de faire le lien entre le signal radar et irrigation. Elle est présentée dans le paragraphe ci-dessous.

1.2. Cartographie de l'irrigation à partir des données Sentinel (TETIS)

1.2.1. Méthodologie

L'objectif de ce travail effectué par TETIS est d'effectuer une cartographie des surfaces irriguées sur plusieurs territoires dans la région PACA. Cette cartographie est réalisée avec une approche semi-supervisée utilisant des images satellitaires gratuites de la constellation « Copernicus » optique (Sentinel-2) et radar (Sentinel-1). Pour sa phase d'entraînement, l'approche adoptée n'utilise pas des données in situ mais des parcelles de référence sélectionnées par l'approche automatiquement sur la zone d'étude. Les parcelles de références identifiées par l'approche sont supposées correspondre avec une forte probabilité à des parcelles irriguées ou non irriguées. Cette identification des parcelles de référence ne fait pas appel à des données in situ. Seule l'évolution des signaux radar et optiques dans le temps permet de les identifier. Ainsi, cette approche de cartographie de l'irrigation génère ses propres données d'entraînement (échelle de travail est la parcelle).

L'utilisation de cette approche non supervisée permet de s'affranchir de la dépendance des classifieurs supervisés aux données de terrain qui reste un obstacle pour la cartographie opérationnelle des zones irriguées. Dans cette étude, l'approche de cartographie de l'irrigation est appliquée sur les parcelles RPG des grandes cultures et des prairies, et exclut les vignes, les vergers et les oliviers. Cette cartographie est appliquée sur les cultures d'été de l'année 2020, 2021 et 2022.

Les résultats des cartes d'irrigation obtenues pour les trois années ont été croisés avec des données in-situ produites par le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance en collaboration avec les Chambres Départementales d'Agriculture.

1.2.2. Résultats

La validation des résultats des classifications a été faite suite à leurs croisements avec les données in-situ. Pour effectuer cette validation, nous avons dans un premier temps effectué dans QGIS, une jointure des attributs par localisation entre données terrain et le résultat de la classification. Ce qui permet d'avoir les résultats sur l'ensemble de la Durance et par territoire. Le calcul de la précision globale et le F-score global a été fait en utilisant les formules suivantes données en Tableau 1.

Tableau 1 : Les formules utilisées pour le calcul de la matrice de confusion

		TERRAIN	
		IRRIGUEE	NON IRRIGUEE
CLASSIFICATION	IRRIGUEE	X	Y
	NON IRRIGUEE	Z	T
PRECISION GLOBALE (OA)	(X+T) / (X+Y+Z+T)		
Précision irriguée (P_IRR)	X / (Y+X)		
Précision non irriguée (P_NIRR)	T / (T+Z)		
Recall irrigué (R_IRR)	X / (Z+X)		
Recall non irrigué (R_NIRR)	T / (T+Y)		
F-score IRR	2(P_IRR * R_IRR) / (P_IRR + R_IRR)		
F-score NIRR	2(P_NIRR * R_NIRR) / (P_NIRR + R_NIRR)		
F-SCORE	((X+Z) * F-score IRR + (Y+T) * F-score NIRR) / (X+Z+Y+T)		

Les résultats montrent que les parcelles irriguées ont été correctement détectées avec une précision (F_Score_irrigué) de 88.4% en 2020, 62.3% en 2021 et 84.5% en 2022. Pour les parcelles non irriguées, une précision (F_Score_non irrigué) de 86.5% a été observée en 2020, 77.3% en 2021 et 64.3%, en 2022. La précision globale (Overall Accuracy) de la carte atteint 87.6% en 2020, 72.2%, en 2021 et 78.4% en 2022 (Tableau 2). Seules les cultures d'été sont considérées dans cette évaluation.

Tableau 2: Précision de la carte d'irrigation obtenue en utilisant l'algorithme S²IM.

ANNEE	OA	F-SCORE	F-SCORE IRR	F-SCORE NIRR
2020	87.6%	88.2%	88.4%	86.5%
2021	72.2%	73.0%	62.3%	77.3%
2022	78.4%	78.4%	84.5%	64.3%

Ce calcul de la précision n'a pu être effectué en 2020 sur l'ensemble des territoires à cause de l'absence de données terrains exploitables. Seuls les territoires SIIRF et la Basse Durance disposaient de données terrain en 2020. Des données de terrain ont été relevées sur les territoires du Buëch et de l'Asse mais une erreur du logiciel de collecte a rendu impossible leur exploitation. Les résultats des territoires disponibles donnent une précision globale de 85.3% dans le SIIRF contre 90.0% dans la Basse Durance comme nous pouvons le voir sur le Tableau **3**.

En 2021, la précision a été calculée sur l'ensemble de la Durance excepté la moyenne Durance, aussi à cause de l'absence de données terrains exploitables. Les résultats montrent que les parcelles irriguées ont été moins bien détectées qu'en 2020, avec une précision globale de 72.2 % sur l'ensemble des quatres territoires avec 76.0 % dans l'ASSE, 78.0 % dans le Buëch, 59.7 % dans le SIIRF et 75.0 % dans la Basse Durance. Cette baisse observée pourrait s'expliquer par le fait qu'il y a eu énormément de précipitations en 2021 comparativement aux années 2020 et 2022.
En 2020, la précision globale a cette fois-ci été calculée sur l'ensemble des cinq territoires pilotes de la Durance. Les résultats par territoires donnent une précision globale de 61.3 % dans le SIIRF, 69.1 % dans le Buëch, 74.7 % dans l'ASSE, 75.1 % dans la moyenne Durance et 92.1% dans la Basse Durance.

Tableau 3: Précision de la carte d'irrigation par territoire en 2020, 2021 et 2022

TERRITOIRE	ANNEE	OA	F-SCORE	F-SCORE IRR	F-SCORE NIRR
SIIRF	2020	85.3%	85.4%	83.1%	87.0%
	2021	59.7%	60.4%	61.9%	57.2%
	2022	61.3%	61.3%	63.0%	58.0%
ASSE	2020	-	-	-	-
	2021	76.0%	79.0%	31.0%	86.0%
	2022	74.7%	75.0%	77.2%	71.5%
BUECH	2020	-	-	-	-
	2021	78.0%	77.0%	53.0%	85.0%
	2022	69.1%	69.5%	63.9%	73.1%
MOYENNE DURANCE	2020	-	-	-	-
	2021	-	-	-	-
	2022	75.1%	75.1%	82.5%	56.8%
BASSE DURANCE	2020	91.0%	91.0%	93.0%	87.0%
	2021	75.0%	75.7%	77.4%	72.0%
	2022	92.1%	91.8%	95.7%	54.2%

On remarque à travers les résultats des trois années qu'il y a toujours une très bonne détection de l'irrigation dans la Basse Durance, et une moins bonne dans le SIIRF, comparativement aux autres territoires. Ceci pourrait s'expliquer par les différents modes d'irrigation où le gravitaire est le mode dominant dans la Basse Durance surtout au niveau des prairies, et le goutte à goutte dans le SIIRF.

Le Tableau **4** nous donne le pourcentage des surfaces irriguées par territoire en 2020, 2021 et 2022.

Tableau 4: Pourcentage des surfaces irriguées par territoire 2020 (cultures arbustives exclues)

TERRITOIRE	ANNEE	SURFACES NON-IRRIGUÉES (HA)	SURFACES IRRIGUÉES (HA)	% SURFACES IRRIGUÉES
SIIRF	2020	2204	700	24.1%
	2021	1961	876	30.8%
	2022	2158	927	30.0%
ASSE	2020	1118	406	26.6%
	2021	1203	373	23.7%
	2022	1282	562	30.5%
BUECH	2020	6480	1690	20.6%
	2021	6014	1675	21.7%
	2022	6398	3709	36.7%
MOYENNE DURANCE	2020	3368	2018	37.5%
	2021	3324	2037	37.9%
	2022	3347	2448	42.2%
BASSE DURANCE	2020	4204	4222	50.1%
	2021	4780	3720	43.7%
	2022	4330	4515	51.0%

On remarque que près de 50% des parcelles agricoles sont irriguées en Basse Durance en 2020 et 2022 et 44.7% en 2021. En moyenne Durance, le pourcentage des parcelles irriguées est de 42% en 2022 contre 37.5 % en 2020 et 37.9 % en 2021. Ce pourcentage est également plus élevé en 2022 dans l'Asse 30.5% contre 26.6 % en 2020 et 23.7 % de 2021. C'est également le cas dans le Buech (36.7%) en 2022 contre 26.6 % de 2020 et 23.7 % en 2021. Dans le SIIRF, il tourne autour de 30 % en 2021 et 2022 alors qu'il était de 24.1 % en 2020. Il est à noter que ces surfaces ont été calculées uniquement sur les parcelles déclarées à la PAC comme les grandes cultures et les prairies, et exclues les vignes, les vergers et les oliviers.

La cartographie des cultures irriguées et non irriguées, basée sur l'approche semi-supervisée qui génère ses propres données d'entraînement s'avère être très intéressante et donne de très bons résultats. L'utilisation de cette approche non supervisée permet de s'affranchir de la dépendance des classifieurs supervisés aux données de terrain qui reste un obstacle pour la cartographie opérationnelle des zones irriguées. Il serait encore plus intéressant si cette méthode pouvait s'appliquer à des milieux où la végétation est plus dense. Ce serait un plus surtout dans la cartographie est cultures arboricoles.

CARTOGRAPHIE DE L'IRRIGATION A PARTIR DES DONNEES IN SITU SUR IOTA2 (CESBIO-SMAVD)

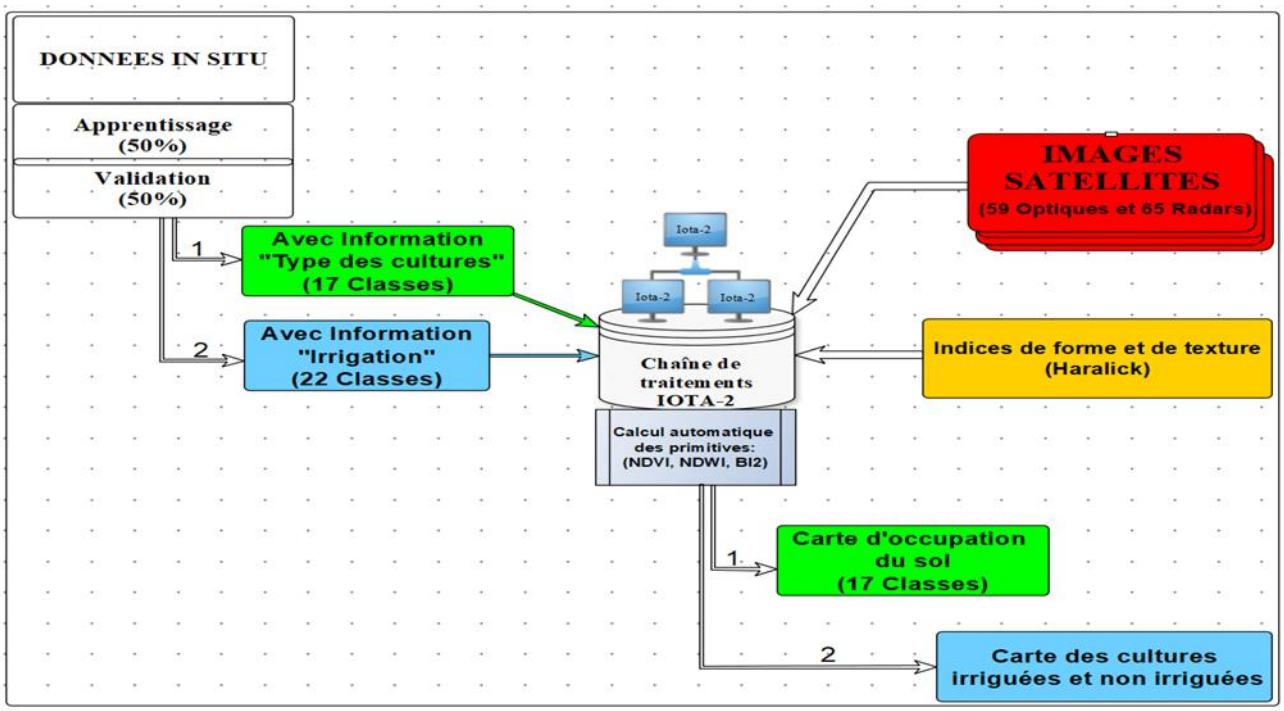
2.1. Méthodologie

Cette deuxième méthode de cartographie de l'irrigation nécessite de disposer des données in-situ de la période agricole étudiée, des données images et des données de références qui font partie intégrante du processus. Pour cela, des collectes de données terrain ont été réalisées par le SMAVD en collaboration avec les Chambres d'Agriculture Départementales, lors des campagnes de terrain d'été 2020, 2021 et 2022 précisément entre le mois de Mai et Août. Ces données collectées renseignent deux types d'informations : le type de culture et l'irrigation. L'information sur le type de culture est utilisée pour la cartographie de l'occupation du sol et celle de l'irrigation pour la distinction des cultures irriguées et non irriguées.

La cartographie de l'occupation du sol précède celle de l'irrigation. Elle permet non seulement de mettre en exergue les différents types de cultures développées sur le territoire étudié, mais aussi de distinguer les classes qui ne sont pas concernées par l'irrigation : exemple de la jachère.

En effet, la réalisation de la cartographie de l'occupation du sol consiste à mettre à disposition du classifieur, des connaissances ou des échantillons permettant de caractériser le territoire, qu'il s'agisse des cultures, des espaces semi-naturels (forêt), des zones d'habitation et des surfaces en eau. Pour ce faire, nous avons utilisé la chaîne de classification automatisée Iota-2 du CNES développée au CESBIO (Figure 3).

Figure 3: Schéma méthodologique de la chaîne de classification automatisée Iota-2



2.2. Cartographie de l'occupation du sol

La cartographie des cultures ou cartographie de l'occupation du sol a été réalisée uniquement avec les images optiques, ce qui n'est pas le cas de la cartographie de l'irrigation qui a nécessité une combinaison d'images optiques et radars. Nous avons utilisé une série temporelle de 93 images optiques Sentinel-2 Level (2A et 2B) soit l'ensemble des images disponibles sur notre zone d'étude pour les 12 mois de l'année 2021, et 185 images Sentinel-1 (radar).

Les données utilisées pour l'apprentissage sont issues des données de terrain. Nous disposons de 1889 échantillons dont 50% sont utilisés pour l'entraînement du classificateur et les 50% restants pour la validation des cartes d'occupation du sol ou des cultures. Il est important que les données terrain soient représentatives de la réalité terrain. Les surfaces utilisées en apprentissage ont un impact direct sur le résultat des classifications. Il est donc important d'avoir des données avec les surfaces les plus représentatives possibles. Ces données terrain sont réparties selon la nomenclature présentée dans le Tableau 5.

Tableau 5: Données in situ avec le nombre et la surface des parcelles visitées par culture en 2021

OCCUPATION DU SOL	NOMBRE DE PARCELLES	SURFACES (HA)
Soja	12	39
Colza	19	56
Vigne	59	59
Pois chiche	22	84
Jachère	67	101
Tournesol	53	122
Maïs_sorgho	83	290
Maraîchages	113	322
Vergers	190	347
Plantes aromatiques	119	415
Prairies temporaires	271	669
Prairies permanentes	391	772
Blé Orge Seigle	490	1069

Notre zone d'étude est entièrement couverte par trois tuiles Sentinel-2. Il s'agit des tuiles T31TFJ, T31TGJ et T31TGK. Les images ont été téléchargées sur les sites de Théia et de PEPS.

Pour distinguer les différentes classes d'occupation du sol, la chaîne calcule automatiquement plusieurs indices comme les indices de végétation par différence normalisée (NDVI), les indices de brillance du sol (BI2) et les indices de teneur en eau par différence normalisée (NDWI). Le NDVI considéré comme étant l'indicateur du profil de verdure des cultures pendant la saison de croissance

et le NDWI comme l'indicateur de la teneur en eau de la végétation. Les indices de formes et de texture ont aussi été calculés sur Orfeo Toolbox (OTB) avant d'être utilisés sur Iota-2 comme données externes. Ils permettent de bien distinguer les classes de végétation à savoir les surfaces semi-naturelles, les vergers et les prairies permanentes et landes. Il s'agit ici des indices de textures d'Haralick et directionnelles SFS (Structural Feature SET*)*. Ces indices ont permis une meilleure discrimination entre les trois classes de végétation à savoir les vergers, vigne et prairies, et d'améliorer la méthode de cartographie appliquée.

2.2.1. Les indices de texture d'Haralick

Les attributs les plus utilisés dans la littérature que les indices d'Haralick nous permettent d'extraire, sont entre autres l'énergie, le contraste, la corrélation, la variance, l'homogénéité et l'entropie (Park et al., 2002).

Les indices d'Haralick ont été calculés en utilisant la librairie OrfeoToolBox. Ces indices se présentent selon trois niveaux sur OrfeoToolbox : simple, avancé et supérieur. Le calcul des indices de texture a été fait selon ces trois niveaux.

Le niveau simple permet le calcul de huit indices de texture à partir de la matrice de cooccurrence et selon un voisinage prédéfini.

Le niveau avancé permet le calcul de neuf autres indices qui sont des mesures statistiques de second ordre, calculés à partir de la matrice de cooccurrence de niveau de gris. Le calcul de ces textures est basé sur une fenêtre de voisinage glissante de taille 7x7 pixels prédéfinie. Cette fenêtre a été choisie parce qu'elle permet un voisinage de 3 pixels à partir du pixel central.

Le niveau supérieur donne 11 indices de texture qui sont calculés à partir de la matrice des longueurs de niveau de gris. Ces mesures correspondent à des longueurs de motifs en fonction des valeurs de niveau de gris. Il faut noter que plus le niveau est élevé, plus le calcul d'indices est long.

2.2.2. Les indices de texture Structural Feature Set (SFS)

SFS est une approche directionnelle de calcul de texture qui consiste à appliquer une analyse directionnelle à partir du pixel central de la fenêtre d'analyse. Ce sont des mesures statistiques employées pour réduire la dimension et extraire les entités d'un histogramme de lignes de direction. Les lignes de direction peuvent être définies comme étant un nombre prédéterminé de lignes également espacées et partant du pixel central. L'extension de ces lignes est basée sur la similarité du niveau de gris du voisin et les lignes partant du pixel central dans différentes directions. Chaque niveau de gris représente une ligne de direction.

SFS permet de calculer six mesures statistiques : longueur, largeur, Pixel Shape Index (PSI), w-mean, Ratio et l'écart type (SD). Les indices SFS ont aussi été calculés en utilisant la librairie OrfeoToolBox.

2.3. La cartographie des cultures irriguées et non irriguées

La distinction des parcelles irriguées et non irriguées nécessite l'utilisation de l'information sur l'irrigation que nous avons dans les données terrain (données in-situ). Les mêmes échantillons utilisés précédemment, ont encore été utilisés sur la chaîne de classification automatisée Iota-2 du CNES. Ces derniers sont répartis selon la nomenclature du Tableau 6.

Tableau 6: Données in situ avec l'information irriguée ou non irriguée par culture en 2021

OCCUPATION DU SOL	NOMBRE DE PARCELLES	SURFACE (Ha)
Ble Orge Seigle irriguée	191	370
Ble Orge Seigle non irriguée	299	699
Mais_sorgho irriguée	78	282
Mais_sorgho non irrigué	5	8
Colza irriguée	17	50
Colza non irriguée	2	6
Maraichages irriguée	106	287
Maraichages non irriguée	7	35
Pois chiche irriguée	4	18
Pois chiche non irriguée	18	66
Soja irriguée	11	38
Soja non irriguée	1	1
Plantes aromatiques irriguée	21	49
Plantes aromatiques non irriguée	98	309
Tournesol irriguée	44	106
Tournesol non irriguée	9	16
Prairie permanente irriguée	279	620
Prairie permanente non irriguée	112	152
Prairie temporaire irriguée	119	291
Prairie temporaire	152	378
Vergers irriguée	173	336
Vergers non irriguée	17	11
Vigne irriguée	40	44
Vigne non irriguée	19	15

Le tableau 7 représente les données in-situ des types de cultures avec l'information sur l'irrigation en été 2022 dans la vallée de la Durance.

Tableau 7: Données in-situ des types de cultures avec l'information sur l'irrigation en été 2022

OCCUPATION DU SOL	NOMBRE DE PARCELLES	SURFACE (HA)	IRRIGATION	SURFACE IRRIGUÉES (HA)
Soja	29	247	1	247
Olivier	32	103	0	82
			1	21
Colza	32	118	1	118
Pois chiche	43	115	0	109
			1	6
Vigne	97	222	0	83
			1	139
Tournesol	147	500	1	500
Maraîchages	161	475	1	475
Mais_sorgho	179	705	1	705
Plantes aromatiques	191	624	0	447
			1	177
Vergers	272	407	1	407
Prairie Temporaire	299	1059	0	514
			1	545
Prairie Permanente	605	1552	0	385
			1	1167
Blé Orge Seigle	618	2176	0	1410
			1	766

L'analyse des données in-situ avec l'information irriguée ou non irriguée révèle un échantillonnage déséquilibré. On a des classes à très faibles parcelles collectées pendant que d'autres ont une centaine de parcelles, ce qui entraîne des problèmes de représentativité des échantillons et des mélanges dans les résultats de la classification. Pour atténuer l'écart entre les échantillons d'apprentissage, nous avons utilisé la méthode d'échantillonnage synthétique.

2.3.1. Les échantillons synthétiques (Samples augmentation)

L'utilisation d'un échantillonnage synthétique pour l'apprentissage automatique en classification est une technique de suréchantillonnage aléatoire des données des classes minoritaires ou de sous-échantillonnage aléatoire des données des classes majoritaires afin d'atténuer le déséquilibre que nous avons entre les différentes classes.

Nous avons donc choisi 5000 points par classe. Les classes minoritaires comme le Colza et le Soja ont eu une augmentation de leurs échantillons pour atteindre les 5000 points. Pour les classes majoritaires, seulement 5000 points ont été utilisés.

Une fois le résultat de la classification obtenu, des post-traitements sont effectués pour calculer les surfaces des différents territoires qui nous intéressent.

2.4. Calcul des surfaces des cultures irriguées

L'objectif de notre mission consiste non seulement à cartographier l'ensemble des cultures pratiquées dans le bassin versant de la Durance, cartographier les cultures irriguées afin de calculer la surface occupée par les différentes cultures irriguées. Pour atteindre cet objectif et disposer des surfaces des parcelles irriguées, nous avons besoin d'un masque des contours des parcelles agricoles. En effet un calcul de surfaces directement depuis le résultat en raster entraîne une surestimation des surfaces, du fait que de nombreux pixels qui ne font pas réellement partie des parcelles agricoles sont prise en compte (chemin entre les parcelles, haies, bâti).

2.4.1. Masque des contours des parcelles agricoles

Pour générer le masque des contours des parcelles agricoles, nous avons eu recours à diverses bases de données déjà existantes, à savoir le Registre Parcellaire Graphique (RPG), les données du cadastre, les bases de données topographiques et d'OCSOL 2019.

En effet, les parcelles du RPG n'étant pas exhaustives, nous avons tenté de trouver les parcelles agricoles manquantes dans les autres bases afin d'avoir un masque de parcelles agricoles représentatif de la réalité terrain. Pour cela, plusieurs traitements ont été réalisés :

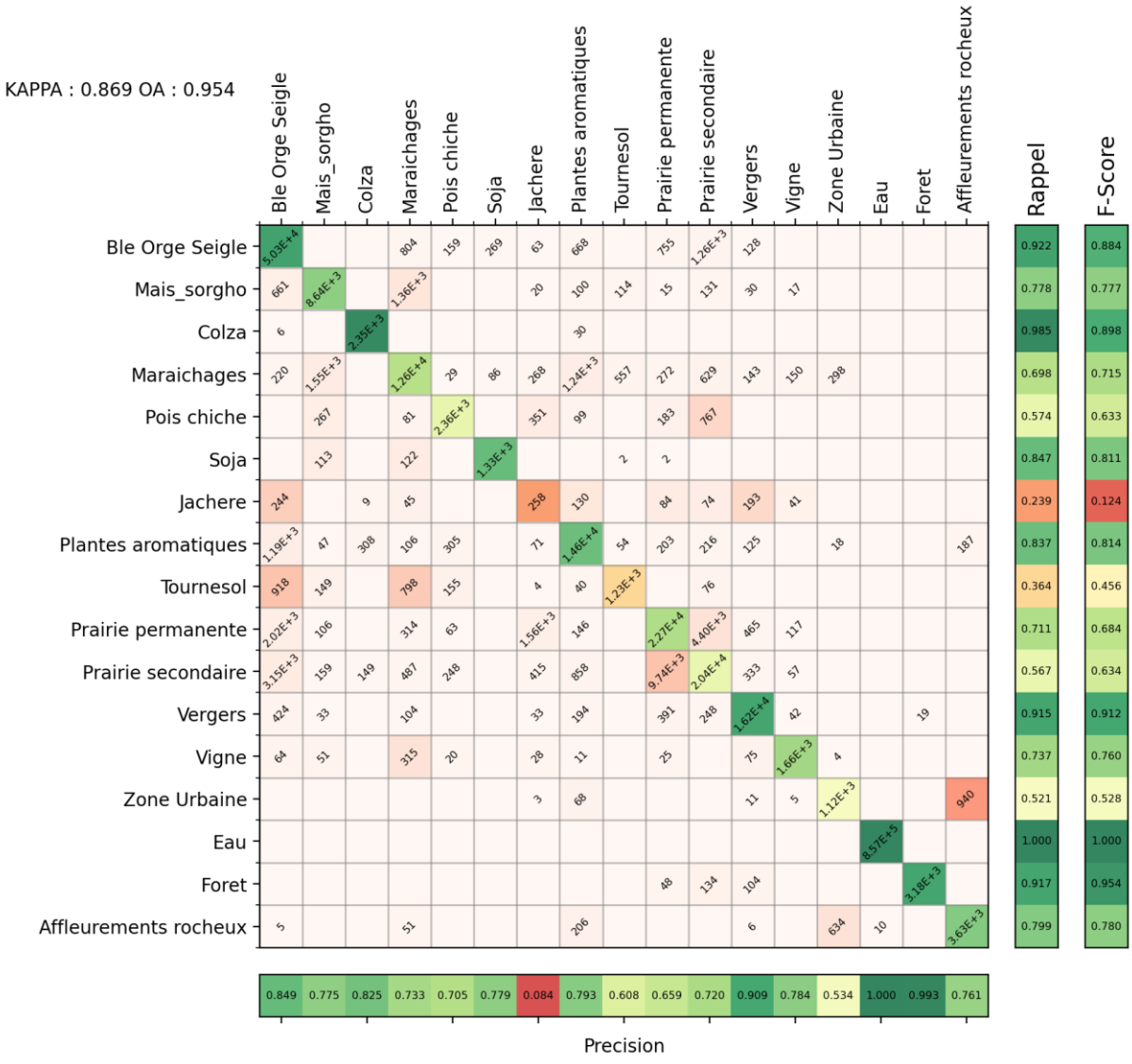
- agrégation des millésimes RPG 2017 à 2020
- un premier croisement entre le RPG et les données du cadastre a été effectué pour extraire la différence (base A).
- une sélection par attributs a été réalisée sur OCSOL_2019 pour sélectionner uniquement les classes en lien avec l'agriculture (base B).
- une deuxième sélection par attributs a été réalisée sur la base A (différence Cadastre – RPG) en considérant uniquement les attributs « Terre, Vigne, Vergers, Sols et Prés ». Cette sélection a été croisée avec la base B pour valider l'occupation du sol.
- une jointure des attributs par localisation entre cette sélection et la base de données TOPO (Bâti), nous a permis de supprimer les parcelles sur lesquelles on retrouve du bâti.
- une digitalisation ou numérisation manuelle a ensuite été faite pour intégrer le reste des parcelles agricoles ne se trouvant pas dans notre sélection ou pour corriger les contours des parcelles du cadastre.
- le résultat obtenu a été fusionné avec le RPG pour nous donner une base plus complète (masque des contours des parcelles agricoles en Durance).

Le masque ainsi obtenu a été utilisé pour calculer les statistiques de zone (Majority) et ensuite les surfaces. Le regroupement des surfaces par classe nous a permis d'avoir les surfaces des cultures irriguées et non irriguées des différents territoires pilotes et aussi des territoires modélisés dans C3PO.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de la cartographie de l'occupation du sol nous donnent une précision globale (OA) de 95,4% des pixels bien classés, c'est-à-dire correspondant aux observations du terrain pour l'été 2021, montrant ainsi que la classification est de très bonne qualité. C'est ce que nous montre la matrice de confusion ci-dessous (Figure 4).

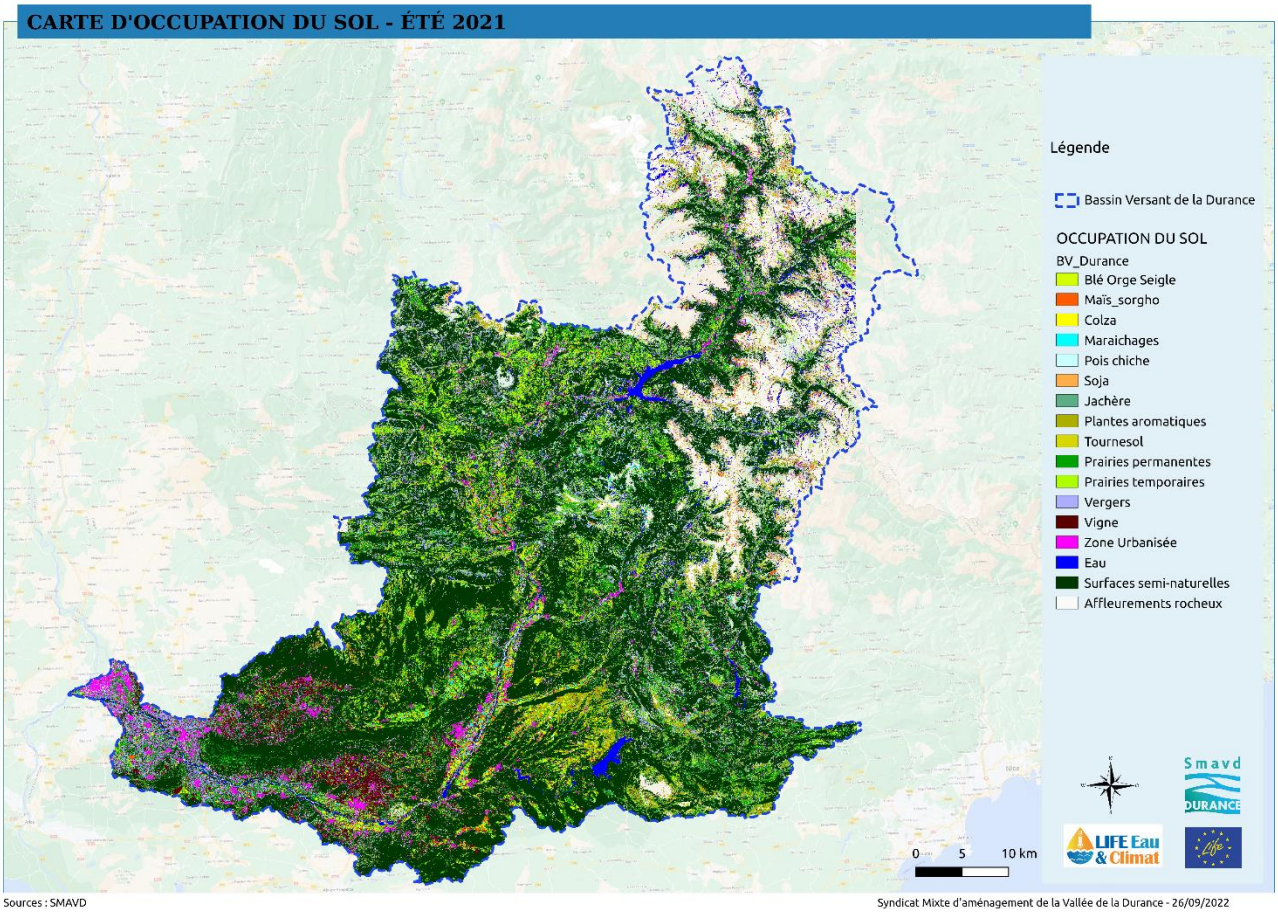
Figure 4: Matrice de confusion de la carte d'occupation du sol 2021



La matrice de confusion, c'est la validation de la classification. Les données terrain sont réparties en deux jeux de 50% chacun, une partie sert à créer le modèle de classification (apprentissage) qui permet de générer la classification et l'autre jeu sert à valider cette classification. Les résultats de la classification se trouvent en ligne et les données in-situ en colonne. Le résultat du croisement entre classification et données in-situ est en diagonale. La coloration verte est révélatrice d'une bonne classification, tandis que les couleurs se rapprochant du rouge révèlent une mauvaise classification due à des mélanges entre pixels d'autres classes. Plus la valeur de la précision et du F-Score d'une

classe se rapproche de 1, plus les pixels de cette classe sont bien classés. Les résultats de la cartographie de l'occupation du sol de l'été 2021 sont présentés sur la figure 5.

Figure 5: Carte d'occupation du sol en été 2021



Le résultat de la cartographie d'occupation du sol a permis de calculer les surfaces cultivées de chacun des territoires pilotes (Tableau 8). Ces surfaces ont été calculées avec le masque des contours des parcelles agricoles en Durance.

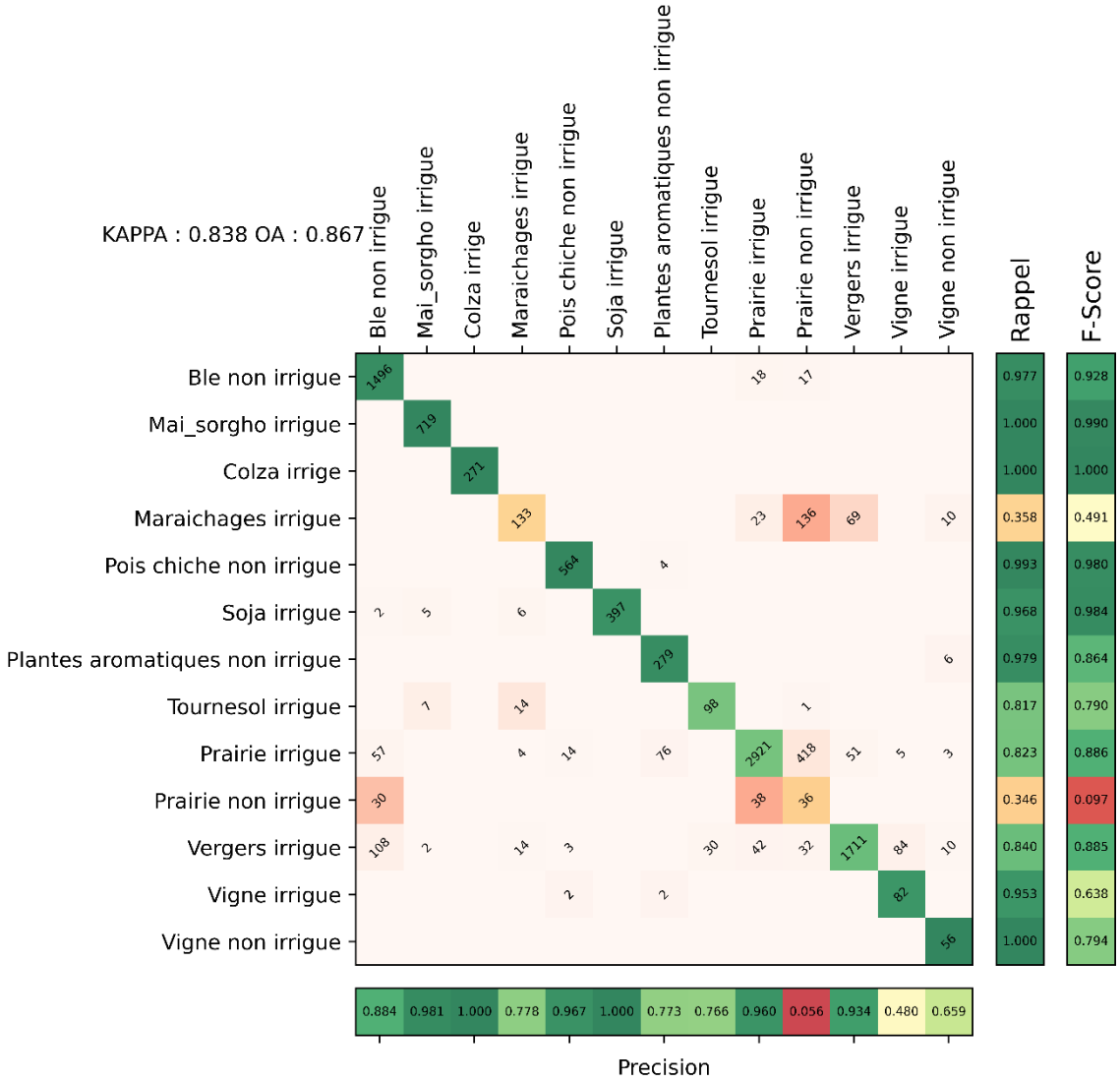
Tableau 8: Surface totale des parcelles cultivées dans chacun des territoires pilotes

TERRITOIRE	ANNEE	ASSE	SIIRF	BUECH	MOYENNE DURANCE	BASSE DURANCE
SURFACES CULTIVEES (Ha)	2021	2117	4573	14421	7279	20604
	2022	2086	4792	14404	7269	20782

La cartographie de l'occupation du sol nous a permis de distinguer les différents types de cultures en Durance et ainsi détecté celles qui ne sont pas concernées par l'irrigation.

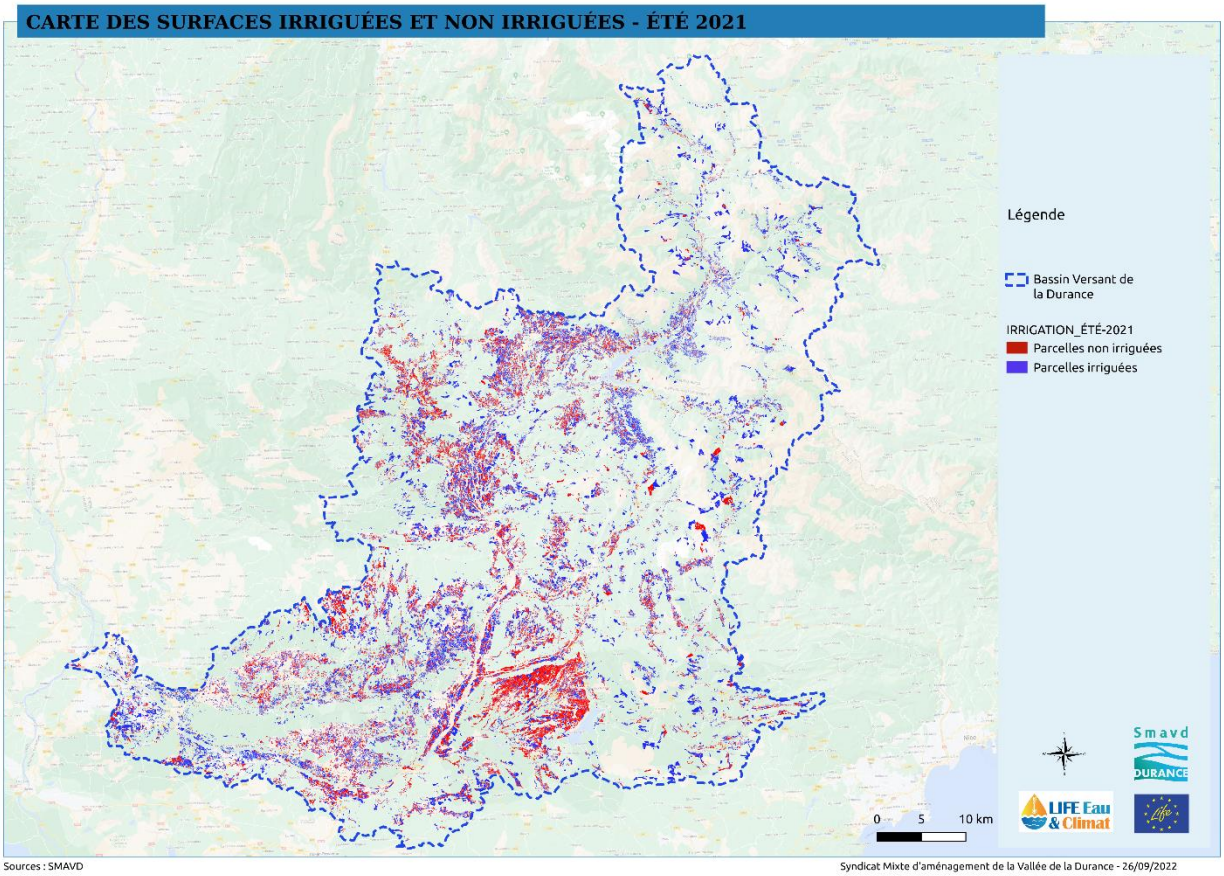
La précision globale de la cartographie des cultures irriguées et non irriguées est de 86,7% dans l'ensemble de la Durance (Figure 6). On observe tout de même quelques mélanges entre les prairies non irriguées et le blé non irrigué et aussi entre le maraîchage irrigué.

Figure 6: Matrice de confusion de la classification des cultures irriguées et non irriguées en 2021



Pour mieux distinguer les différentes classes des cultures irriguées, nous avons combiné les images optiques et radars. L'apport de l'imagerie radar, avec ces informations plus précises sur le sol a entraîné une amélioration remarquable les résultats. La carte des cultures irriguées et non irriguées est présentée sur la Figure 7.

Figure 7: Carte des cultures irriguées et non irriguées en Durance



Le calcul de la précision globale de la carte d'irrigation et du F-score par territoire, à l'aide des données terrains in-situ de l'été 2021, a été réalisé à la suite du calcul des pixels majoritaires de chaque parcelle. Pour cela, une jointure des attributs par localisation a été premièrement faite entre données terrains et le résultat de la classification, permettant d'avoir des résultats par territoire consignés dans le tableau 9 ci-après.

Tableau 9: Tableau de confrontation des résultats de classification avec les données terrain (nombre de parcelles)

TERRAIN	CLASSIFICATION	ASSE	SIIRF	BASSE DURANCE	BUECH
0	0	246	79	93	217
0	1	39	41	11	12
1	0	12	62	25	16
1	1	38	332	254	127

La valeur « 0 » est attribuée aux parcelles non irriguées et « 1 » aux parcelles irriguées. Ces valeurs sont utilisées pour calculer les indicateurs de précision présentée dans le Tableau 12.

Les résultats nous donnent une précision globale de 84,7% dans l'Asse, 79,9% dans SIIRF, 92,5% à BUECH et 90,6% dans la Basse Durance comme le montre le tableau 10.

Tableau 10: Précision de la carte d'irrigation par territoire en 2021 et 2022

MATRICE DE CONFUSION					
TERRITOIRE	**ANNEE**	**OA**	**F-SCORE**	**F-SCORE IRR**	**F-SCORE NIRR**
SIIRF	2021	79.9%	80.5%	86.6%	60.5%
	2022	73.8%	73.6%	71.4%	75.9%
ASSE	2021	84.7%	86.0%	59.8%	90.6%
	2022	80.1%	79.2%	74.9%	83.3%
BUECH	2021	92.5%	92.5%	90.0%	93.9%
	2022	85.6%	85.3%	80.1%	88.7%
MOYENNE DURANCE	2021	-	-	-	-
	2022	84.6%	84.7%	85.1%	84.1%
BASSE DURANCE	2021	90.6%	90.8%	93.3%	83.8%
	2022	89.4%	89.7%	92.7%	81.3%

L'analyse des résultats de la classification nous permet d'évaluer l'étendue des surfaces irriguées et non-irriguées sur l'ensemble des cinq territoires pilotes. Le tableau **11** rapporte les surfaces cartographiées pour chaque territoire et le pourcentage de surfaces irriguées par rapport à la surface agricole totale. Le pourcentage des surfaces irriguées varie entre 31% dans l'Asse contre et 82% dans la Basse Durance.

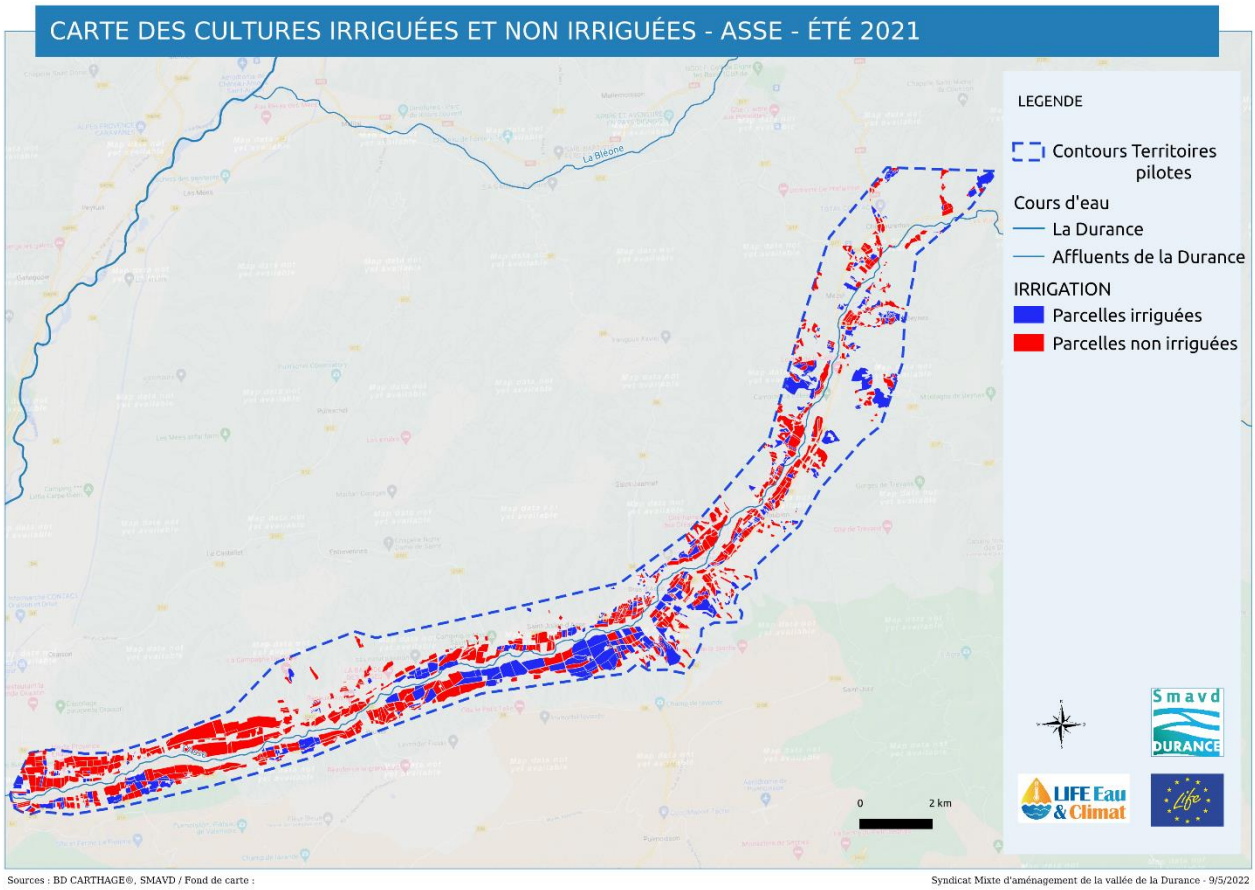
Tableau 11: Pourcentage des surfaces irriguées dérivées des cartographies de l'irrigation

TERRITOIRE	**ANNEE**	**SURFACE TOTALE**	**SURFACES NON-IRRIGUÉES (HA)**	**SURFACES IRRIGUÉES (HA)**	**% SURFACES IRRIGUÉES**
SIIRF	2021	4573	1619	2954	65 %
	2022	4792	1434	3358	70 %
ASSE	2021	2117	1469	648	31 %
	2022	2086	1391	695	33 %
BUECH	2021	14421	8879	5542	38 %
	2022	14404	7476	6928	48 %
MOYENNE DURANCE	2021	7279	3205	4074	56 %
	2022	7269	2965	4304	59 %
BASSE DURANCE	2021	20604	4019	16585	80 %
	2022	20782	3903	16879	81 %

L'analyse de ces résultats nous fait remarquer que le pourcentage des surfaces irriguées par rapport aux surfaces non irriguées a connu une augmentation sur l'ensemble des territoires en 2022. Sur le territoire de SIIRF, 2954 hectares en 2021 contre 3358 en 2022, soit près de 65% des parcelles agricoles sont irriguées en 2021 contre 70% en 2022. Dans l'Asse, le pourcentage est moins prononcé avec seulement 31% en 2021 contre 33% en 2022. Dans la moyenne Durance, 56% des parcelles cultivées sont irriguées en 2021 contre 59% en 2022. C'est aussi le cas dans la Basse Durance où on

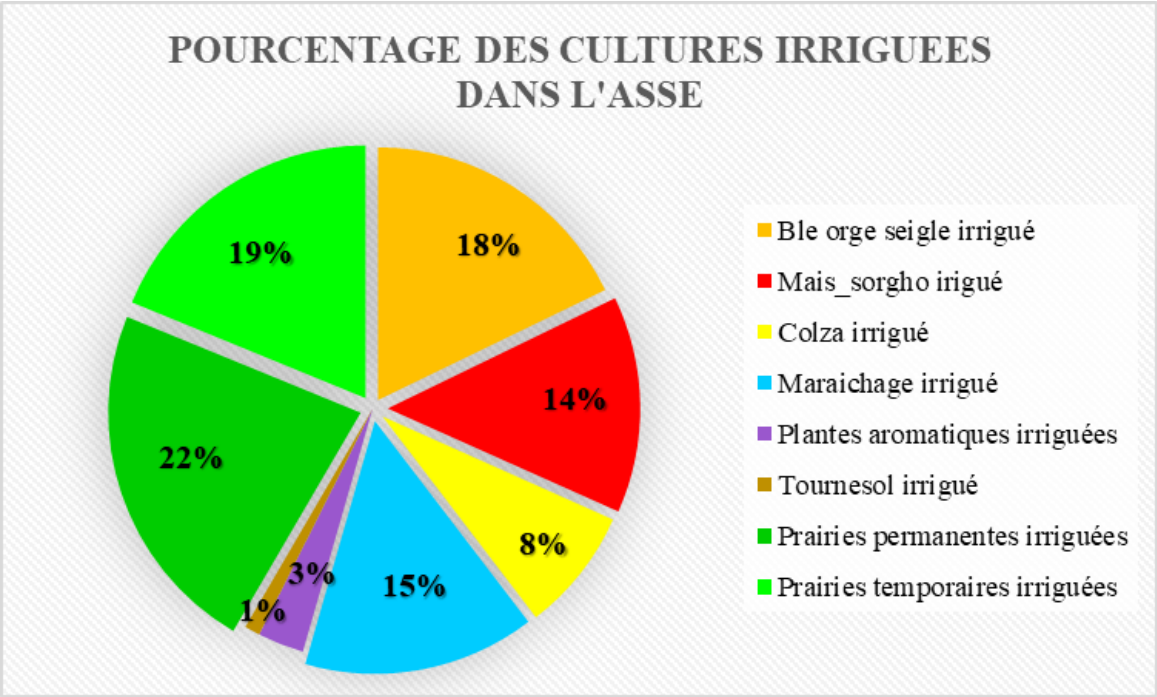
observe une légère augmentation passant de 80% en 2021 à 81% en 2022. La Figure **8** présente la carte des surfaces irriguées dans l'Asse

Figure 8: Carte des cultures irriguées dans l'Asse, 2021



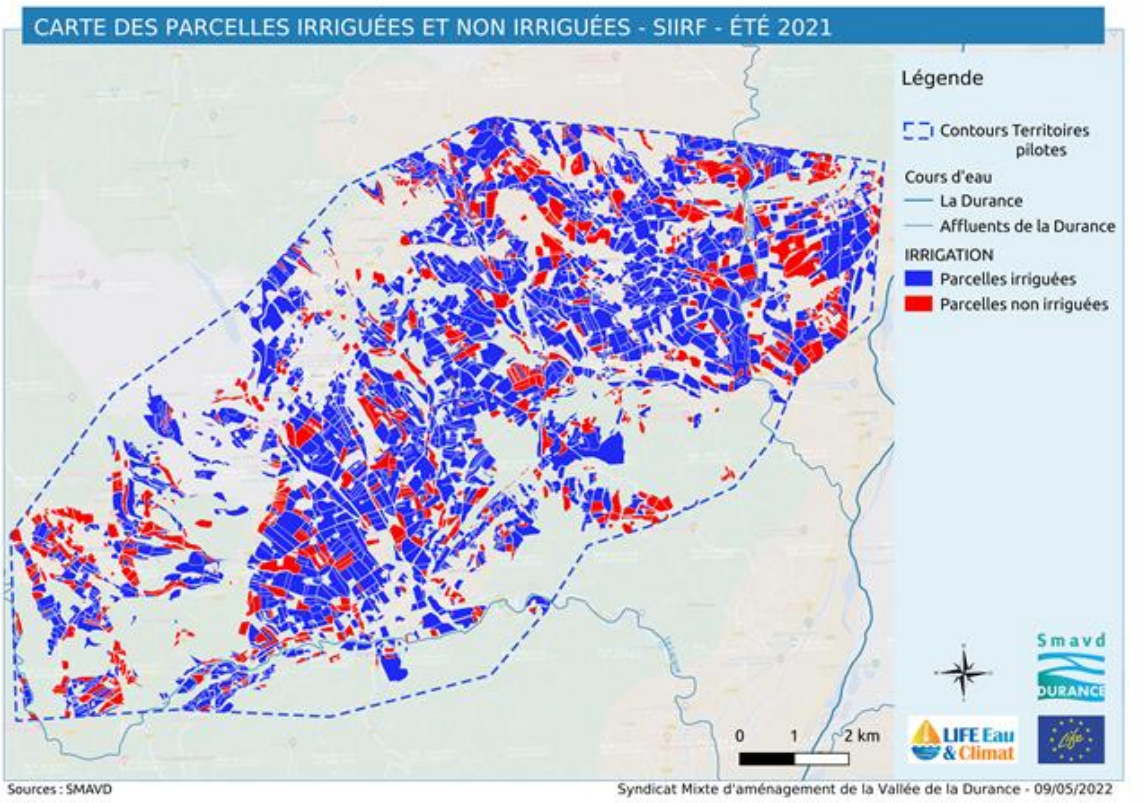
De façon plus détaillée, les surfaces des cultures irriguées dans l'Asse sont constituées de 41% de prairies, 40% de grandes cultures (Blé orge seigle, maïs_sorgho et colza), 15% de maraîchage et 3% de plantes aromatiques (Figure 9).

Figure 9: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans l'Asse



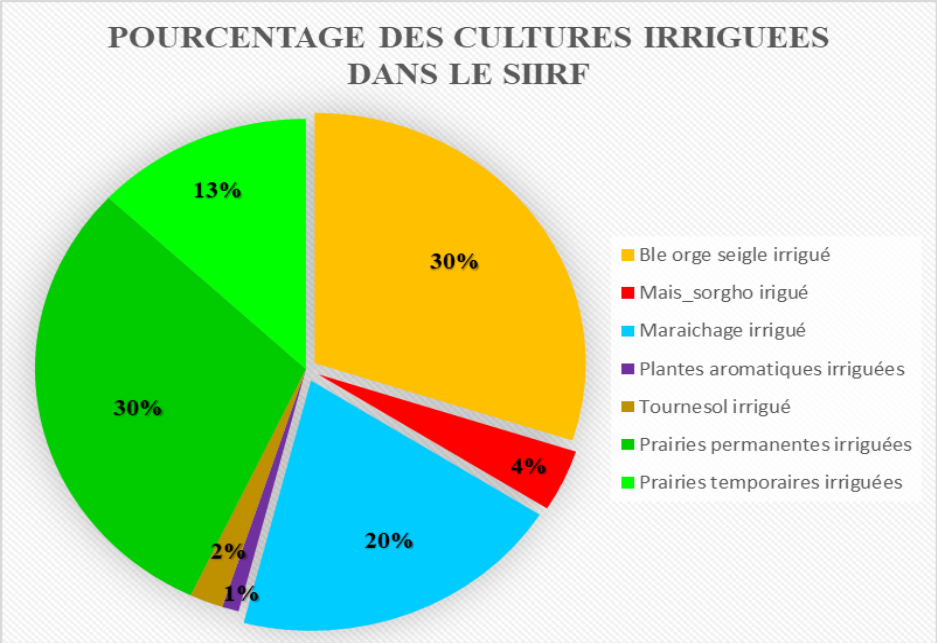
Dans le SIIRF, 3008 hectares sur 4652, soit près de 65% des parcelles agricoles sont irriguées. La figure **10**, représente la carte des cultures irriguées dans le SIIRF.

Figure 10: Carte des cultures irriguées dans le SIIRF



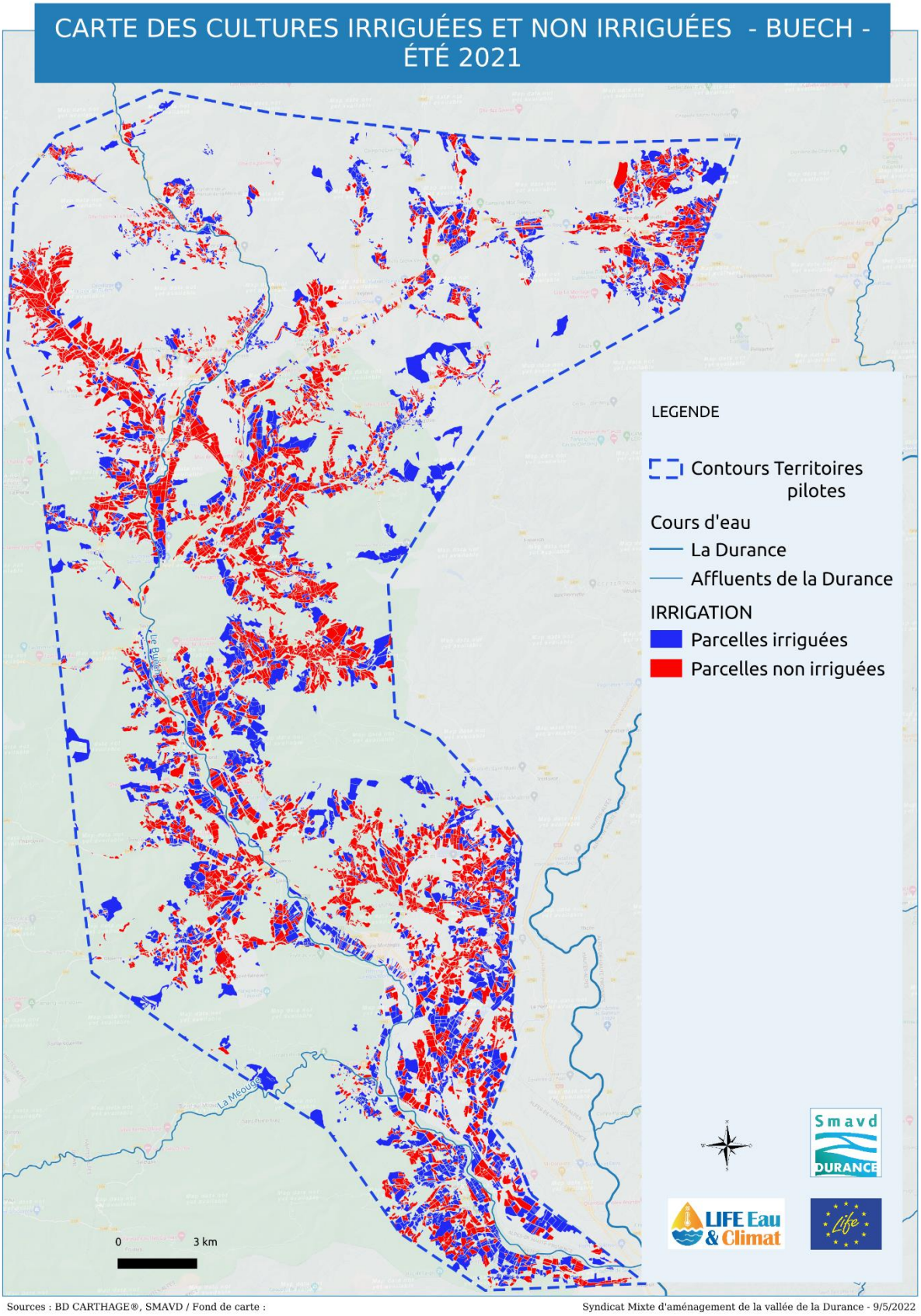
De façon plus détaillée, les surfaces des cultures irriguées dans le SIIRF sont constituées de 43% de prairies, 34 % de grandes cultures (Blé orge seigle, maïs_sorgho), 20% de maraîchage, 2% de tournesol et 1% de plantes aromatiques (Figure 11).

Figure 11: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le SIIRF



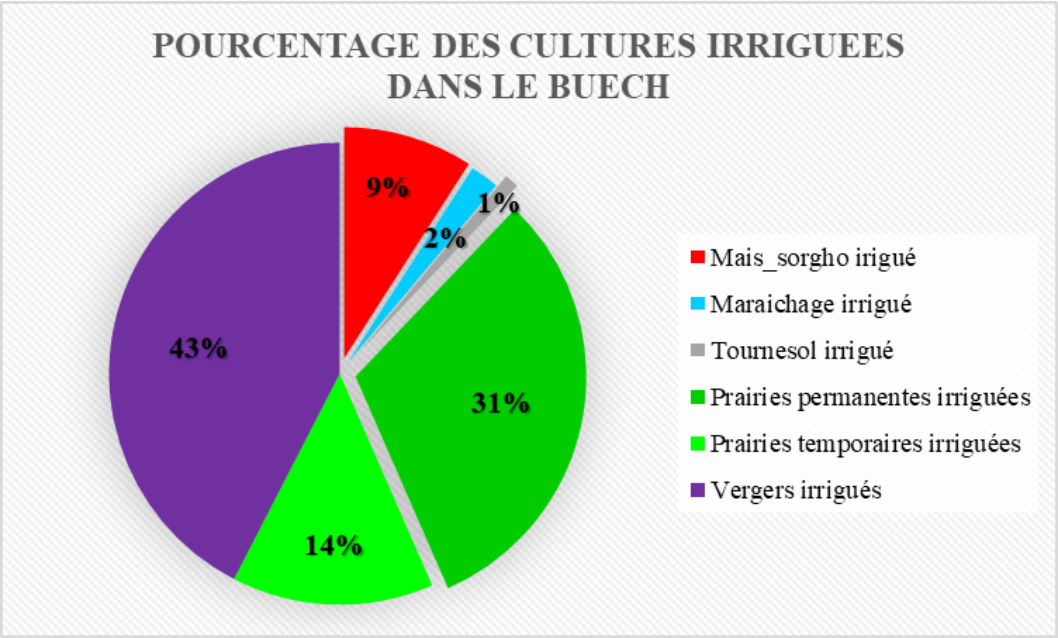
Dans le BUECH, 5324 hectares sur 14521, soit près de 37% des parcelles agricoles sont irriguées en 2021. La figure **12**, représente la carte des cultures irriguées dans le BUECH.

Figure 12: Carte des cultures irriguées dans le BUECH



De façon plus détaillée, les surfaces des cultures irriguées dans le BUECH sont constituées de 45% de prairies, 43% de vergers, 9% de maïs_sorgho, 2% de maraîchage et 1% de tournesol (Figure 13).

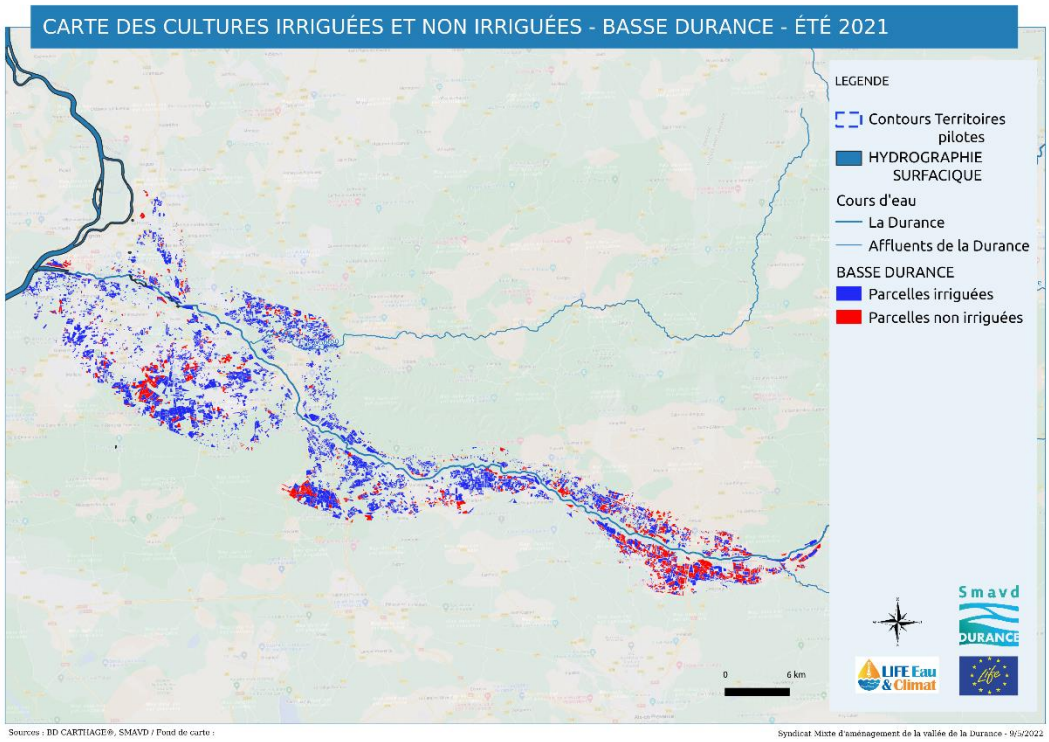
Figure 13: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le BUECH



La figure **14** montre que les vergers, les prairies permanentes et temporaires et aussi le maïs_sorgho sont à elles quatre, les cultures les plus irriguées dans le BUECH soit près de 97%. Le maraîchage ne représente que 2% de l'irrigation en 2021 et 1% pour le tournesol.

La figure **14** représente la carte des cultures irriguées dans la Basse Durance.

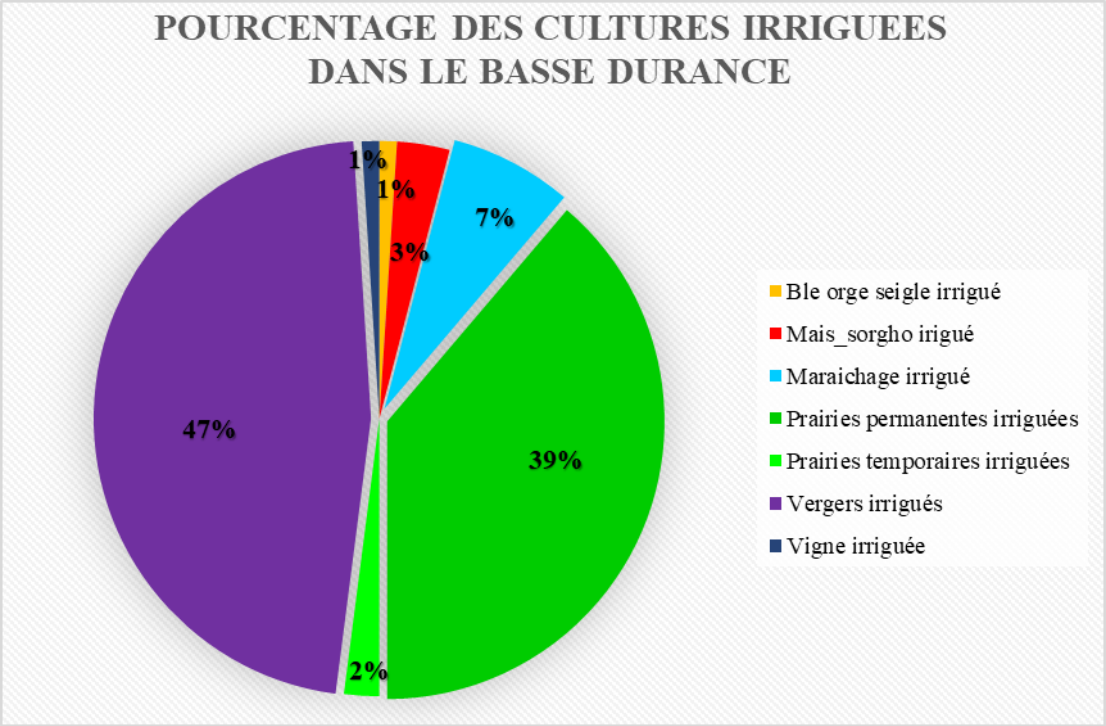
Figure 14: Carte des cultures irriguées dans la Basse Durance



Dans la Basse Durance, 20208 hectares sur 24788, soit près de 82% des parcelles agricoles sont irriguées en 2021. La figure **15**, représente le pourcentage des surfaces des cultures irriguées dans la Basse Durance. De façon plus détaillée, les surfaces des cultures irriguées dans la Basse Durance sont

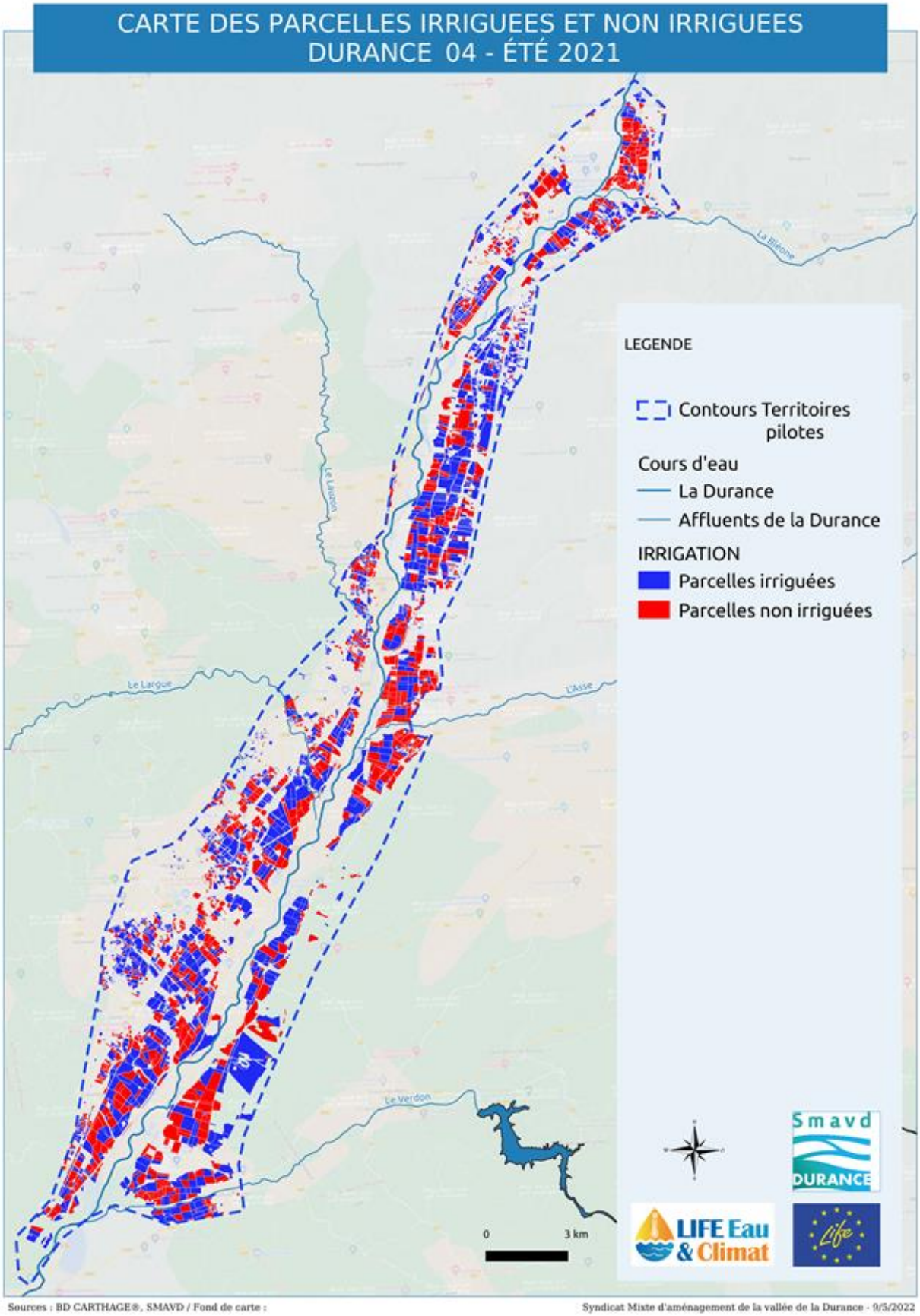
constituées de 47% de vergers, 41% de prairies, 7% de maraîchage, 4% de grandes cultures (Blé orge seigle, maïs_sorgho) et seulement 1% de vigne. Les vergers et les prairies permanentes sont donc les cultures les plus irriguées en Basse Durance soit plus de 86 % de l'irrigation.

Figure 15: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans le Basse Durance



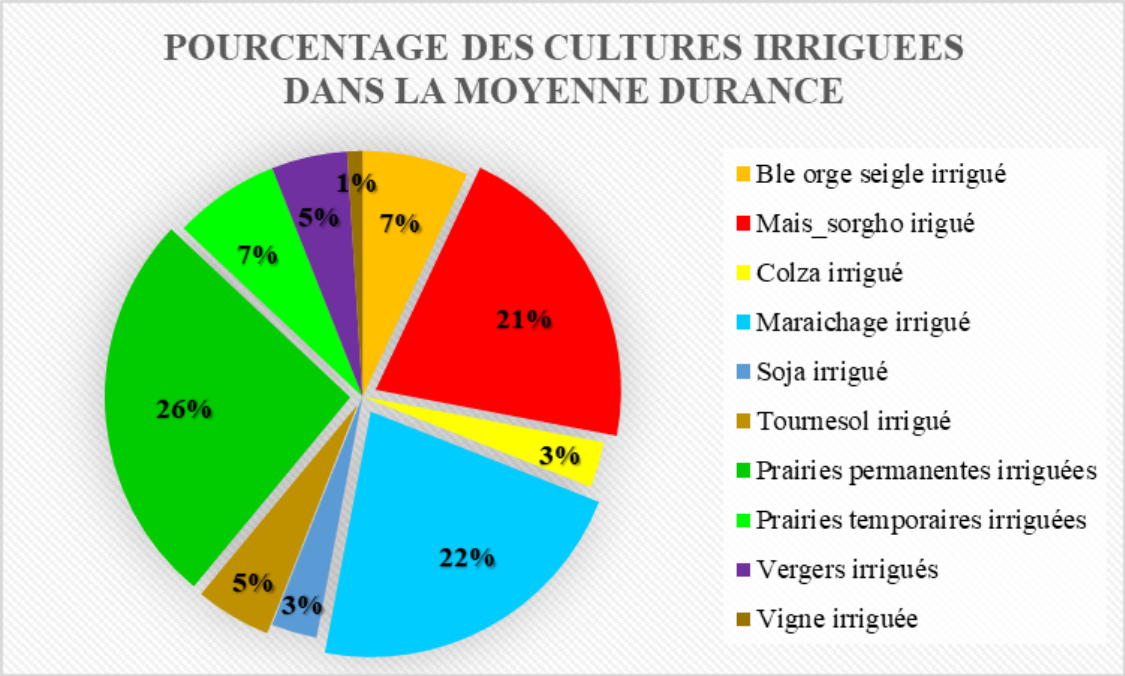
Le cinquième territoire pilote de notre expérimentation s'étend des deux côtés de la Durance entre les barrages de Cadarache au sud et celui de l'Escale au nord. La figure **16** représente la carte des cultures irriguées dans la moyenne Durance.

Figure 16: Carte des cultures irriguées dans la Moyenne Durance


CARTE DES PARCELLES IRRIGUEES ET NON IRRIGUEES
DURANCE 04 - ÉTÉ 2021
LEGENDE
Contours Territoires pilotes
Cours d'eau
La Durance
Affluents de la Durance
IRRIGATION
Parcelles irriguées
Parcelles non irriguées
La Bléone
Le Largue
L'Asse
Le Verdon
0
3 km
Smavd
DURANCE
LIFE Eau & Climat
Life
Sources : BD CARTHAGE®, SMAVD / Fond de carte :
Syndicat Mixte d'aménagement de la vallée de la Durance - 9/5/2022

Dans la moyenne Durance, 3685 hectares sur 9003, soit près de 41% des parcelles agricoles sont irriguées en 2021. La figure **17**, représente le pourcentage des surfaces des cultures irriguées dans la moyenne Durance.

Figure 17: Pourcentage des différentes cultures irriguées dans la Moyenne Durance



La figure 18 montre que la moyenne Durance est le territoire où les cultures irriguées sont les plus diversifiées. De façon plus détaillée, les surfaces des cultures irriguées dans la moyenne Durance sont constituées de 33% de prairies, 22% de maraîchage, 28% de semences. Les vergers et vignes font 10% soit 5% chacun et le soja représente 3% de l'irrigation.

Les prairies permanentes, le maraîchage et le maïs_sorgho sont donc les cultures les plus irriguées et représentent un total de 69% des cultures irriguées en 2021.

Le calcul des surfaces ne se limite pas seulement aux 4 territoires pilotes identifiés initialement. Les cartographies réalisées apportent une information sur l'ensemble du bassin de la Durance et permettent donc de disposer d'une donnée actualisée et spatialisée des cultures irriguées par l'eau de la Durance. Cette information est essentielle pour modéliser les besoins en eau des cultures en Durance dans l'outil C3PO. Les surfaces calculées pour la modélisation C3PO sont regroupées dans un tableau en Annexe **3**.

CONCLUSION

Les différentes méthodologies décrites dans ce rapport, que ce soit par l'utilisation des données de l'humidité du sol basé sur l'apport du signal radar, ou l'utilisation des données in-situ collectées sur terrain durant la période agricole, ont pour finalité d'identifier de manière spatialisée les surfaces des cultures irriguées et non irriguées présentes sur le territoire en Durance, à partir de la télédétection.

L'analyse des résultats de la cartographie de l'humidité du sol réalisée avec une méthode d'inversion du coefficient de rétrodiffusion radar (méthode S²IM de TETIS) permet d'identifier au cours de la saison agricole les potentielles parcelles irriguées. Cette première méthodologie utilise comme seule donnée d'entrée les informations du RPG (contour et filtre des cultures arbustives). La détection de l'irrigation s'effectue ensuite à travers une approche non supervisée, c'est-à-dire sans recourir à d'autres données d'entrée issues du terrain. La principale limite de cette méthode est qu'elle ne s'applique pas aux cultures arbustives ou possédant une couverture végétale trop importante.
De plus, cette méthodologie permet d'obtenir des résultats seulement sur une partie des parcelles du RPG. La cartographie ainsi constituée n'est donc pas représentative de l'ensemble des parcelles agricoles du territoire.

La cartographie de l'occupation du sol effectuée à partir de la chaîne de classification supervisée Iota-2 du CNES a permis d'identifier les différents types de cultures en Durance et de caractériser les occupations du sol qui ne sont pas concernées par l'irrigation (eau, villes, forêts, jachères).

La seconde approche de cartographie des cultures irriguées et non irriguées en Durance utilisée dans ce travail s'appuie sur une méthode de cartographie supervisée réalisée également à partir de la chaîne Iota-2 du CNES. Les difficultés rencontrées pour différencier les types de cultures comme les vergers, les vignes, les oliviers et les prairies nous ont poussés à faire intervenir des indices de formes et textures dans la classification. Les mélanges entre certaines classes dus à leur faible représentativité dans la base de données, a entraîné l'utilisation des données synthétiques qui consiste à suréchantillonner ou à sous-échantillonner les données afin d'équilibrer les différentes.
Les limites de cette méthodologie de cartographie des cultures résident dans la nécessité d'obtention de données in-situ. De plus, la qualité des résultats obtenus dépend de la qualité des données terrain.

Les cartographies réalisées vont permettre d'actualiser les données d'entrée du modèle de bassin de la Durance (C3PO) : surfaces irriguées par type de culture. Pour ce faire un travail important de post-traitement des cartographies brutes obtenues en format raster a été nécessaire pour calculer des

surfaces irriguées réalistes. Ce travail a consisté à générer un masque vectoriel de contours des parcelles permettant d'extraire du raster les informations uniquement sur les parcelles agricoles potentiellement irrigables. Le masque a été généré à partir des contours des parcelles RPG, complétées par les contours parcellaires issues du cadastre et finalement quelques contours dessinés à la main.

En conclusion, cette expérimentation a permis de tester différentes méthodologies de cartographie de l'irrigation développées par les acteurs de la recherche (TETIS, CESBIO) sur le bassin de la Durance. Alors que ces outils avaient été testés jusqu'à présent sur d'autres territoires et uniquement sur les grandes cultures, ce travail permet de valider la pertinence des outils développés pour le contexte durancien notamment pour l'arboriculture, les prairies et l'irrigation gravitaire. Il permet également l'intérêt de ces méthodes pour la mise en place d'un suivi de l'irrigation à grande échelle. Le choix de territoires pilotes contrastés sur la Durance a permis de mettre en évidence la limite des méthodes sur les cultures irriguées en micro-aspersion ou au goutte-à-goutte. Les résultats ont été obtenus à l'échelle du bassin de la Durance et dépassent donc très largement les territoires pilotes initialement sélectionnés. L'obtention de données terrain mieux réparties sur le bassin permettrait de fiabiliser les cartographies obtenues sur l'ensemble du bassin. La sécheresse de l'année 2022, qui a vu plusieurs territoires pilotes de la Durance passer au stade de crise avec un arrêt de l'irrigation en cours de saison a permis de mettre en évidence une difficulté à tirer un bilan des surfaces irriguées en fin de saison. Enfin, ce travail a montré l'importance d'une base de données des contours des parcelles agricoles pour extraire des cartographies une information pertinente et réaliste pour des besoins opérationnels. Si le RPG fournit une partie de ces contours, il paraît essentiel pour les territoires de pouvoir disposer d'une base de données plus complète. Ne pas en disposer constitue un frein évident à l'utilisation de ces méthodologies.

ANNEXES

Annexe 1 : Fichier de configuration sur iota2

```
chain :
{
 output_path : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/RESULTATS/IRRIGATION/DANY/27Sept'
 remove_output_path : True
 nomenclature_path : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/nomenclature_irrig.txt'

 list_tile : 'T31TFJ T31TGJ T31TGK'
 user_feat_path: "/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/textures/2022/B"
 s2_path : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/sensor_data/2022'
 #s2_l3a_path : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/sensor_data/2022_L3A'
 #s1_path :"/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/S1_tilling/s1.cfg"
 ground_truth : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/vector_data/ETE.shp'
 data_field : 'codirrig'
 spatial_resolution : 10
 color_table : '/media/smavd/SMAVD/IOTA_2022/colorFile_irrig.txt'

 minimum_required_dates:0
 proj : 'EPSG:2154'
 first_step: "init"
 last_step: "validation"
}

userFeat:
{
 arbo:"/*"
 patterns:"texture"
}

arg_train :
{
 runs : 10
 ratio : 0.7
 classifier : 'sharkrf'
 otb_classifier_options : {"classifier.sharkrf.ntrees" : 100}
 sample_selection: {"sampler": "random",
                    "strategy": "percent",
                    "strategy.percent.p": 0.7,
                    "ram":10000
                   }
 sample_augmentation : {"target_models":["1","2"],
                        "strategy" : "jitter",
                        "strategy.jitter.stdfactor" : 10,
                        "strategy.smote.neighbors"  : 5,
                        "samples.strategy" : "minNumber",
                        "samples.strategy.minNumber" : 5000,
                        "activate" : True
                       }
}
arg_classification :
{
 merge_final_classifications : True
 merge_final_classifications_method : 'dempstershafer'
 merge_final_classifications_undecidedlabel : 255
 fusionofclassification_all_samples_validation : False
 dempstershafer_mob : 'precision'
 merge_final_classifications_ratio : 0.1
 keep_runs_results : True
 classif_mode : 'separate'
 fusion_options : '-nodatalabel 0 -method majorityvoting'
}
```

Annexe 2 : Tableau récapitulatif de la méthode de cartographie sur iota-2

Tableau récapitulatif de la méthode de cartographie sur iota-2

Données in situ		Date de collectes par territoire		**TOTAL** (Collectées)
		Basse Durance 13	27 mai 2021	402 (854 hectares)
		basse Durance 84	08 Juin2021 07 et 21 Juillet	362 (411 hectares)
		Asse	28 Mai 2021 21 Juin 2021	305 (774 hectares)
		SIIRF	23 Juin 2021	467 (737 hectares)
		Buech	23 Juin 2021 17 Août 2021	427 (991 hectares)
Images satellites (Tuiles T31TFJ, T31TGJ, T31TGK)	Sentinel-1	PEPS (https://peps.cnes.fr)	2021 - (01 Janv - 31 Déc)	185 Images
	Sentinel-2	THEIA (https://theia.cnes.fr)	2021 - (01 Janv - 31 Déc)	93 Images
Primitives calculés	NDVI, NDWI, BI2 (Intégrés dans iota-2)			
Amélioration des résultats	**Indices de forme et de texture**	**Indices de texture d'Haralick (sur OTB)** (otb:haralicktextureextraction)	Simple (8 attributs)	Énergie (uniformité de la texture), Entropie (mesure du caractère aléatoire de l'image d'intensité), Corrélation (comment un pixel est corrélé à son voisinage), Moment de différence inverse (mesure l'homogénéité de la texture), Inertie (contraste d'intensité entre un pixel et son voisinage), Cluster Shade, Cluster Prominence, Haralick Correlation
			Avancé (10 attributs)	Moyenne, Variance (mesure l'hétérogénéité de la texture), Dissimilarité, Somme moyenne, Somme variance, Somme entropie, Différence d'entropies, Différence de variances, IC1, IC2 ;
			Supérieur (11 attributs)	Short Run Emphasis (mesure la netteté de la texture), Long Run Emphasis (mesure la rugosité de la texture), Gray-Level Nonuniformity, Run Length Nonuniformity, Run Percentage (mesure l'homogénéité de la netteté de la texture), Low Accentuation du niveau de gris, accentuation du niveau de gris élevé, accentuation du niveau de gris faible à court terme, accentuation du niveau de gris élevé à court terme, accentuation du niveau de gris faible à long terme, accentuation du niveau de gris élevé à long terme.
		Indice de structures (SFSTextureExtraction)	(SFS est une approche directionnelle de calcul de texture qui consiste à appliquer une analyse directionnelle à partir du pixel central de la fenêtre d'analyse.)	
	Sample Augmentation	Techniques de suréchantillonnage et sous-échantillonnage pour améliorer la classification		

Annexe 3 : Tableau comparatif des surfaces irriguées du RGA et Télédétection 2021

C3PO Code	Canal/Réseau	RGA C3PO_2010	TELEDETECTION_2021 (Surface en Hectare)			TELEDETECTION_2022 (Surface en Hectare)		
			TOTAL	IRRIGUEE	NON IRRIGUEE	TOTAL	IRRIGUEE	NON IRRIGUEE
IRR_BueA01	Buëch amont Serres	1400	1364	428	936	1335	493	842
IRR_BueA02	Guire, Grand arrosage	350	6472	2227	4245	6493	2589	3904
IRR_BueB01	UACCBB, Lazer, Laragne-Monteglin	1250	3414	1267	2147	3463	1737	1726
IRR_BueB02	Upaix, Plateau de Mison, Ventavon (Mison), Ribiers	1400	3171	1620	1551	3113	2109	1004
IRR_DurB01	Canton de Chorges, Plaine d'Espinasse	200	393	289	104	399	306	93
IRR_DurB02	SIVOM MT Venterol, La Prairie, Conquêtes de Tallard, Baronne, Riou Pierroux	200	525	247	278	528	279	249
IRR_DurC01	Valserres, Ventavon (Lardier-Romeyères)	1000	2084	1283	801	2089	1336	753
IRR_DurC02	Ventavon, Monetier-Allemont, Beynon, Claret et Vaumeilh	3000	3861	1743	2118	3869	1797	2072
IRR_Sas01	SIVOM MdC	700	990	626	364	994	652	342
IRR_Jab01	Jabron	150	1076	241	835	1085	261	824
IRR_Van01	Vançon	200	245	135	110	259	161	98
IRR_DurD01	St-Tropez, Sisteron-Ribiers, Salignac-Entrepierres, Peipin-Aubignosc, Château-Arnoux, Volonne	1100	1200	938	262	1221	965	256
IRR_DurE01	Plaine de l'Escale, Moulin des Mees	250	725	319	406	707	396	311
IRR_DurE02	Plaine Les Mées-Oraison	1000	1545	1010	535	1551	1091	460
IRR_DurE03	Manosque-Peyruis	100	503	199	304	507	204	303
IRR_DurE04a	Iles de la Palun, Canal de Manosque	700	1418	886	532	1419	919	500
IRR_DurE04b	La Brillanne	400	1836	1078	758	1834	1094	740
IRR_Ble01	Bléone amont Digne	300	990	455	535	998	489	509
IRR_Ble02	Bléone aval Digne	600	1008	559	449	1036	575	461
IRR_Ble03	Bléone - Duyes		821	242	579	817	267	550
IRR_Ass01	Asse	300	460	145	315	471	194	277
IRR_Ass02	Asse	700	1609	503	1106	1615	501	1114
IRR_DurE05	Plaine de l'Asse, Fustes Villedieu Rousset	150	1252	582	670	1251	600	651
IRR_SCP02	SCP D2 SIIRF Lauzon	400	2268	1447	821	2359	1572	787
IRR_SCP03	SCP D2 SIIRF Largue	900	2305	1507	798	2433	1786	647
IRR_DurF02	Peyrolles	1500	2568	1251	1317	2616	1290	1326
IRR_DurF04	Craponne (La Roque-Charleval-Alleins)	2100	2374	1962	412	2379	1977	402
IRR_DurG05	Mallemort et plaine de Sénas	500	2144	1782	362	2093	1784	309
IRR_DurF03	Mixte Sud-Luberon	1500	2299	1622	677	2306	1631	675
IRR_DurG01	Mérindol, Cabedan Neuf jusqu'à Redortier	500	462	433	29	470	437	33
IRR_DurG02	St-Julien et Cabedan-Neuf en amont de Cavaillon	1000	588	546	42	612	573	39
IRR_DurG03	St-Julien et Cabedan-Neuf en aval de Cavaillon	1900	2307	2042	265	2332	2071	261
IRR_DurG04	4 communes, SICAS1	5500	5513	4919	594	5586	5031	555
IRR_DurH02	SICAS2, Chateaurenard	1500	1381	1246	135	1417	1298	119
IRR_DurH01	Plaine d'Avignon (Puy, Hopital, Crillon)	1100	968	782	186	971	787	184

BIBLIOGRAPHIE

El Hajj M., Baghdadi N., Zribi M., Bazzi H., Synergic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for operational soil moisture mapping at high spatial resolution over agricultural areas, Remote Sensing, 2017, 9, 1292; doi:10.3390/rs9121292