

STRATÉGIE SMART GREEN WATER POUR FAVORISER LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION AGRICOLE DANS LA RÉGION SUDOE (SUD-OUEST DE LA FRANCE ET PÉNINSULE IBÉRIQUE)



Avril 2026

TABLE DES MATIÈRES

1. RAISONS D'ÊTRE DE LA STRATÉGIE SMART GREEN WATER	5
2. MÉTHODE UTILISÉE	7
3. DÉFINITION DE LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION	9
4. DIAGNOSTIC PRÉALABLE	12
4.1. Diagnostic territorial	12
4.1.1. France	12
4.1.2. Espagne	13
4.1.3. Portugal	15
4.2. Étude de solutions pour l'agriculture irriguée	16
4.2.1. Niveaux de technicisation dans la numérisation de l'irrigation	16
4.2.2. Solutions numériques pour l'irrigation	17
5. ANALYSE ET DIAGNOSTIC DES FACTEURS POUR LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION	22
5.1. Analyse PESTEL	22
5.2. Analyse <i>SWOT</i>	24
5.2.1. Faiblesses	24
5.2.2. Menaces	25
5.2.3. Forces	26
5.2.4. Opportunités	26
6. FEUILLE DE ROUTE ET SCÉNARIOS POUR LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION	28
6.1. Stratégie de numérisation en fonction des situations	28
6.2. Étapes de la numérisation de l'irrigation	30
6.2.1. Promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée	30
6.2.2. Projet de numérisation	32
6.2.3. Numérisation ou gestion de l'eau basée sur les données	34
6.3. Exemples de réussites et d'apprentissage	35
6.3.1. Exemple de réussite. La zone irriguée du Baix Ter (Catalogne)	35
6.3.2. Exemple de réussite. Projet A3P (Anticipation, Planification et Pilotage des Prélèvements d'eau pour l'agriculture), en Nouvelle-Aquitaine, France	37
6.3.3. Exemple de réussite. Intervention pour l'efficacité de l'eau (<i>IEA</i>) au Portugal	37
6.3.4. Cas d'apprentissage. La numérisation génère des données 24 heures sur 24, 7 jours sur 7	37
7. PLANS D'ACTION	39
7.1. Phase 1. Actualiser le diagnostic territorial	39
7.2. Phase 2. Définition des actions par objectifs	40
7.3. Phase 3. Suivi et évaluation des résultats	42
7.3.1. Système de suivi	42
7.3.2. Indicateurs clés	42
7.3.3. Évaluation des résultats	44
8. LA STRATÉGIE RIS3 POUR LA DIFFUSION DES TECHNOLOGIES	45
9. ÉQUIPE DE RÉDACTION	47
10. DOCUMENTS CONSULTÉS	48
11. ANNEXES À LA STRATÉGIE	50
11.1. Annexe I. Antécédents	50
11.2. Annexe II. Projets Interreg Sudoe liés à l'eau	50
11.3. Annexe III. Surfaces irrigables et irriguées, d'après Eurostat, actualisation (26/09/2025)	51
11.4. Annexe IV. Adaptation et mise à jour des programmes	52
11.5. Annexe V. Tableau des indicateurs d'innovation régionale de l'UE (2025)	53

INDEX DES FIGURES

Figure 1. Stress hydrique de référence pour le futur (concurrence pour les ressources en eau) dans l'arc méditerranéen jusqu'en 2050 selon le scénario (SSP3 RCP7.0). Atlas des risques hydriques des aqueducs. Source : Institut des ressources mondiales (2024) [4] (Figure tirée de la Stratégie de réutilisation de l'eau régénérée)	5
Figure 2. Partenaires du projet Smart Green Water	7
Figure 3. Organismes associés au projet Smart Green Water.....	8
Figure 4. Répartition des surfaces irriguées en France (2020). Source : Agreste – Recensement agricole 2020.....	12
Figure 5. Surface irriguée et circonscriptions agricoles, 2023. Source : Observatoire de la durabilité de l'irrigation.....	13
Figure 6. Répartition des surfaces irriguées et des différents systèmes d'irrigation au niveau des parcelles. Élaboration propre à partir des données de l'ESYRCE (Enquête sur les surfaces et les rendements des cultures. Analyse de l'irrigation en Espagne, 2022)	14
Figure 7. « La numérisation de l'irrigation en Espagne, dans un contexte de crise climatique », Murcie (27/1/2025)	15
Figure 8. Surface agricole utile au Portugal. Source : INE, I.P.	15
Figure 9. Facteurs à prendre en compte dans une analyse PESTEL. Source : site web PESTELAnalysis.com	22
Figure 10. Facteurs de l'analyse FFOM/SWOT pour la numérisation de l'irrigation dans la région Sudoe. .	24
Figure 11. Différents scénarios dans le cadre de la feuille de route pour la numérisation des systèmes d'irrigation	29
Figure 12. Répartition des aides des deux appels à projets du PERTE sur l'irrigation par communauté autonome, et leur rapport avec la superficie irrigable par communauté autonome. Source : Élaboration propre.	33
Figure 13. Répartition des aides du deuxième appel à projets du PERTE de numérisation de l'irrigation (décision provisoire du 17/10/2025). Source : Élaboration propre.	34
Figure 14. Synthèse graphique de cinq caractéristiques de la zone irrigable du Baix Ter	36
Figure 15. Classification des partenaires et associés au projet Smart Green Water	45
Figure 16. Tableau des indicateurs d'innovation régionale du territoire Sudoe pour l'année 2025	53

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Date des visioconférences et de la réception des informations des associés au projet Smart Green Water. Des démarches ont été effectuées auprès de tous les associés.....	8
Tableau 2. Identification des obstacles et des moteurs de la numérisation de l'agriculture de L'irrigation dans la région Sudoe, selon la méthode PESTEL	23
Tableau 3. Scénarios sur la voie de la numérisation de l'irrigation (Source : Élaboration propre).....	29
Tableau 4. Liste des facteurs susceptibles d'influencer la phase de promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée en fonction du type d'irrigants.	30
Tableau 5. Proposition d'objectifs et d'indicateurs pour la phase de promotion de la numérisation de l'irrigation.	39
Tableau 6. Structure de définition des objectifs permettant de classer les différentes actions, adaptée du IIIe Plan d'action pour la numérisation (2024-2026) du MAPA	41
Tableau 11. Série chronologique des surfaces irrigables et irriguées des différents pays du territoire Sudoe (Eurostat 26/09/2025)	51
Tableau 12. Série chronologique des surfaces irrigables et irriguées des différents pays du territoire Sudoe (Eurostat 26/09/2025) (suite)	52

1. RAISONS D'ÊTRE DE LA STRATÉGIE SMART GREEN WATER

Smart Green Water est un projet financé par le programme européen **Interreg Sudoe**, qui couvre la péninsule ibérique et le sud-ouest de la France. L'objectif principal de ce projet, qui regroupe 9 partenaires et s'étend de 2024 à 2026, est d'accélérer la numérisation de l'irrigation afin de favoriser les économies d'eau sur ce territoire. Pour ce faire, Smart Green Water met en œuvre une série **d'actions pilotes**, axées sur la formation, la sensibilisation et le transfert de solutions innovantes. En outre, une **stratégie transnationale** est proposée afin de promouvoir le développement, la mise en œuvre et la diffusion de solutions intégrées visant à répondre aux besoins d'une agriculture durable, raisonnée et numérisée, conformément aux priorités régionales de S3 (ou RIS3).

La **stratégie Smart Green Water** apparaît en réponse à un défi critique et croissant pour le territoire Sudoe : **l'impact du changement climatique** sur l'agriculture qui se manifeste par des **sécheresses de plus en plus intenses et fréquentes** (voir figure 1).

Le changement climatique accentue la variabilité des phénomènes hydrométéorologiques, ce qui provoque non seulement une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, mais aussi des épisodes plus récurrents de précipitations extrêmes et d'inondations, ainsi que des changements brusques de température. À long terme, on observe une tendance à l'augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses, ce qui modifie les régimes pluviométriques et réduit la disponibilité en eau, tout en augmentant les besoins en eau des cultures. Ces facteurs, associés à une augmentation de la demande ou à l'apparition de nouveaux usagers d'eau, font de l'eau une ressource rare, exerçant une pression importante sur les systèmes d'irrigation, qui comptent parmi les plus dépendants de cette ressource.

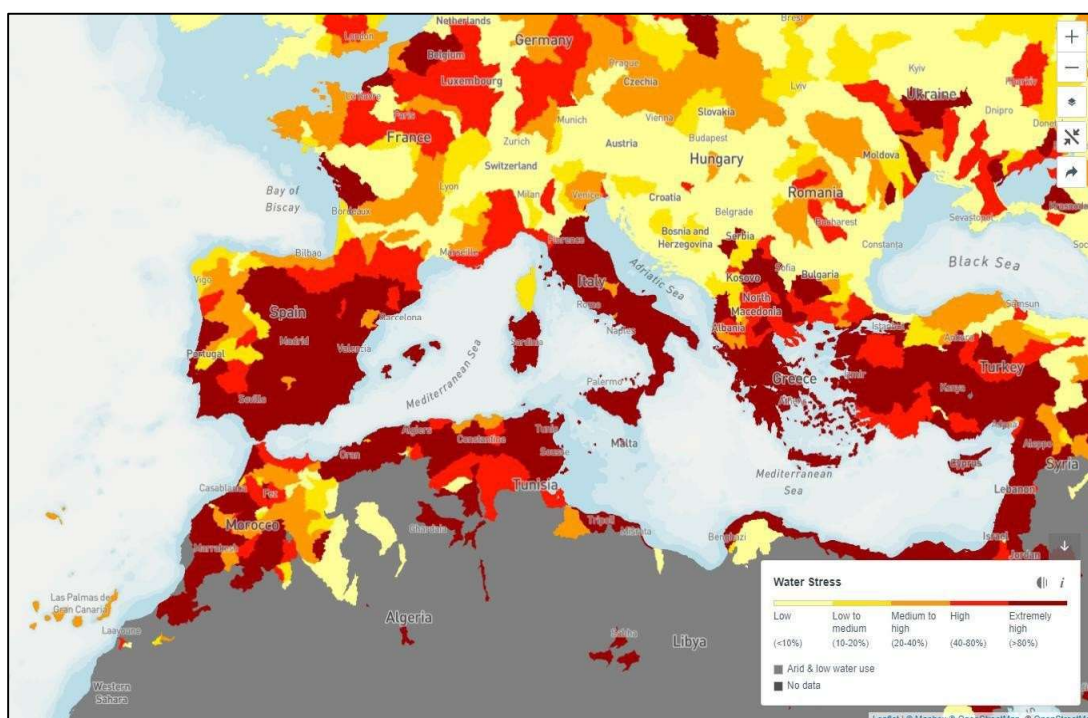


Figure 1. Stress hydrique de référence pour le futur (concurrence pour les ressources en eau) dans l'arc méditerranéen jusqu'en 2050 selon le scénario (SSP3 RCP7.0). Atlas des risques hydriques des aqueducs. Source : Institut des ressources mondiales (2024) [4] (Figure tirée de la Stratégie de réutilisation des eaux régénérées).

De plus, on constate une augmentation de la demande en eau dans d'autres secteurs. En milieu urbain, la **croissance démographique et le développement de certaines activités industrielles** dans des zones spécifiques du territoire Sudoe accentuent la **concurrence pour cette ressource**. À cela s'ajoutent de nouvelles utilisations émergentes de l'eau, telles que la production d'hydrogène vert ou le refroidissement des centres de données (datacenters), qui introduisent de nouvelles tensions dans les équilibres hydriques régionaux.

Compte tenu de ce contexte, il est indispensable d'évoluer vers une **utilisation plus efficace et plus durable de l'eau**, en particulier en agriculture. Parmi les facteurs clés permettant d'améliorer l'efficacité hydrique, on peut citer la **modernisation des systèmes d'irrigation** et, de plus en plus, la **numérisation des systèmes de gestion de l'eau** à l'aide d'outils technologiques avancés.

La **stratégie Smart Green Water** a donc été conçue pour devenir un document de référence visant à **inspirer et à orienter les administrations publiques du territoire Sudoe** pour l'intégration de la numérisation de l'irrigation agricole au sein de leurs politiques et stratégies d'adaptation au changement climatique. La stratégie vise également à améliorer la résilience du secteur agricole, à encourager la collaboration interrégionale en tirant parti des expériences existantes en Espagne, au Portugal et dans le sud de la France, et à renforcer le tissu socio-économique rural par l'innovation, la formation et l'accès à des solutions numériques utiles et applicables.

2. MÉTHODE UTILISÉE

Pour élaborer ce document, nous avons consulté le diagnostic territorial qui avait été élaboré pour le prototype de la stratégie transnationale Smart Green Water (voir point 11.1 de l'annexe I. Contexte), des entretiens ont également été menés auprès des différents partenaires et associés au projet (voir Figure 2), et nous avons mis à profit l'expérience de l'équipe de rédaction en matière de numérisation de l'irrigation (v. chapitre 9. Équipe de rédaction).

PARTENARIAT / CONSORTIUM



Figure 2. Partenaires du projet Smart Green Water.

Par ailleurs, nous avons consulté les livrables réalisés dans le cadre du projet au cours des derniers mois et des entretiens ont été menés auprès des 16 associés au projet (voir Figure 3 et Tableau 1 pour plus d'informations).



Figure 3. Associés au projet Smart Green Water.

Il faut souligner que les contributions des différents organismes associés au projet *Smart Green Water* ont été hétérogènes. Dans certains cas, des changements sont intervenus au niveau des responsables des organismes, dans d'autres cas parce que certains associés n'avaient pas de lien direct avec la numérisation de l'irrigation. Jusqu'à trois démarches ont été effectuées pour tenter d'obtenir un retour d'information de qualité de la part de tous les associés.

Tableau 1. Date des visioconférences (VC) et de la réception des informations des associés au projet Smart Green Water. Des démarches ont été effectuées auprès de tous les associés.

Organisme	Pays	VC	Document
Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE)	Espagne	13/06/2025	-
Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	Portugal	13/06/2025	-
Asociación Catalana para la Innovación y la Internacionalización del Sector del Agua, Catalan Water Partnership	Espagne	17/06/2025	-
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales	Espagne	18/06/2025	-
Aigües del Segarra Garrigues S.A.	Espagne	19/06/2025	-
Associació d'Iniciatives Rurals de Catalunya (ARCA)	Espagne	23/06/2025	-
Instituto iMdea Agua	Espagne	23/06/2025	23/06/2025
Associació Leader de Ponent	Espagne	07/07/2025	-
Pôle Aquavalley	France	-	10/06/2025
Agrupación Europea de Cooperación Territorial Galicia Norte de Portugal	Espagne	-	20/06/2025
Agence de Développement Économique d'Occitanie AD'OCC	France	-	24/06/2025
Associació per al Desenvolupament Rural Integral de la zona Nord-Oriental de Catalunya (ADRINOC)	Espagne	-	-
Dirección General de Innovación Govern de les Illes Balears	Espagne	-	-
Fundació Girona Regió del Coneixement	Espagne	-	-
Diputació de Lleida / Conseil provincial de Lérida	Espagne	-	-
Établissement Public à caractère Industriel et Commercial Augas de Galicia	Espagne	-	-

Source : Élaboration propre.

3. DÉFINITION DE LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION

La **numérisation de l'irrigation** consiste à utiliser les technologies numériques disponibles (capteurs et actifs numériques) pour collecter, traiter et analyser des données temporelles et spatiales qui aident à la prise de décision afin d'améliorer la gestion du binôme eau-énergie, en tenant compte de la variabilité de la ressource en eau et du continuum sol-plante-atmosphère. Ces outils doivent améliorer et optimiser l'efficacité de l'utilisation des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité et/ou la durabilité de la production agricole.

L'Association internationale pour l'agriculture de précision (ispag.org) la définit ainsi : « L'agriculture de précision est une stratégie de gestion qui collecte, traite et analyse des données temporelles, spatiales et individuelles, et les combine avec d'autres informations pour étayer les décisions de gestion en fonction de la variabilité estimée, et ainsi améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité et la durabilité de la production agricole ». On considère que la numérisation de l'irrigation n'est qu'une partie de l'agriculture de précision, mais elle présente plusieurs caractéristiques communes avec celle-ci. La définition énonce une série de caractéristiques qu'il convient de garder à l'esprit lorsqu'on parle de numérisation de l'irrigation :

- ✓ **Collecter, traiter et analyser différents types de données.** La numérisation commence par la production et la collecte de données en continu dans l'espace-temps. Il faut tirer parti de toutes les données produites, et non pas se limiter aux données de base (deux données par campagne d'irrigation, par exemple).
- ✓ **Gérer la variabilité.** Tant de la ressource en eau que du continuum sol/plante/atmosphère.
- ✓ **Passer de la production de données à la connaissance :**
 - Les **données** ne sont que des chiffres sans contexte.
 - **L'information** est une donnée avec un contexte.
 - La **connaissance** est la mise en relation de l'information avec une intention.
- ✓ Des **données de qualité** aident à prendre **de meilleures décisions**. À l'instar de l'agriculture de précision, il faut avancer en 3 étapes :
 - Produire des données (mesures à l'aide de capteurs)
 - Définir la prescription.
 - Mettre en œuvre la prescription.
- ✓ L'objectif est **d'améliorer et d'optimiser l'utilisation des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité et la durabilité** de la production agricole, ainsi que de réduire les coûts.
- ✓ Promouvoir **la modernisation des systèmes d'irrigation**, l'idée étant de remplacer les méthodes classiques par des systèmes à pression, qui facilitent la numérisation, afin d'améliorer la gestion de l'irrigation et d'utiliser l'eau de manière plus efficace.

Estimer les bénéfices économiques de la numérisation est un exercice qui exige tout d'abord de connaître le coût de l'eau sur chacun des territoires, et surtout les rendements/qualités obtenus pour les différentes cultures. Les cultures à forte valeur ajoutée ont un plus grand potentiel de numérisation, comme c'est le cas du raisin destiné à la vinification.

La gestion de l'eau en agriculture s'organise à trois niveaux :

1. **Organisme de bassin**, chargé des opérations de déstagement et de gérer les différentes masses d'eau.
2. **Collectifs des communautés d'utilisateurs**. Dans les grands systèmes d'irrigation espagnols, il existe des communautés générales, ainsi que des collectivités ou des communautés de base (CR : communautés d'irrigants, ou CUAS : communautés d'utilisateurs d'eaux souterraines). En France, il existe des associations d'irrigants (loi de 1901) et des organismes uniques de gestion collective (OUGC). Au Portugal, il existe des associations d'irrigants ou de bénéficiaires de droits publics.
3. **Exploitation individuelle**. C'est à ce niveau que s'appliquent toutes les stratégies de définition des dotations en eau pour l'irrigation.

Il existe différents intrants dans l'agriculture irriguée (énergie, engrais, produits phytosanitaires, herbicides, semences, carburant, etc.). Parmi ceux-ci, seuls seront pris en compte ceux qui ont un lien direct avec les pratiques d'irrigation comme, par exemple, l'énergie utilisée pour le pompage ou pour la fertirrigation, qui est généralement appliquée via les systèmes d'irrigation.

Comme indiqué dans le document de caractérisation des outils numériques d'aide à l'irrigation du projet Smart Green Water, il existe plus d'une centaine d'outils destinés à faciliter la numérisation et la prise de décision en matière d'irrigation, axés sur le secteur agricole du territoire Sudoe. Ce travail propose de classer ces outils numériques (technologies disponibles, actions d'amélioration, etc.) dans les catégories suivantes :

1. **Visualiser/partager les informations liées à la gestion des masses d'eau**. Les systèmes automatiques d'information hydrologique (SAIH) des organismes de bassin, fournissent des informations sur les réserves des masses d'eau, le débit des cours d'eau, les données météorologiques, les systèmes d'irrigation, les données sur la qualité de l'eau, etc.
2. **Gérer les communautés d'utilisateurs**. La gestion collective de l'eau en agriculture doit reposer sur une gestion transparente et précise de la ressource. Pour cela, il est important de disposer d'informations à jour concernant les membres de la communauté, le cadastre, les entrées/sorties et résolutions de litiges/enquêtes administratives, les assemblées, les infrastructures, les quotas d'irrigation, la surveillance des infrastructures et de la qualité de l'eau d'irrigation, etc.
3. **Concevoir/optimiser/surveiller les réseaux d'irrigation**. À l'aide de SIG, BIM, EPANET, Sigopram, télécommande, télémessure, SCADA, débitmètres, compteurs, capteurs de pression, sondes de niveau, vannes pour la régulation dynamique des canaux, piézomètres, etc. L'objectif fondamental est d'approfondir la connaissance réelle de la comptabilité de l'eau et du fonctionnement du réseau d'irrigation.
4. **Surveiller la qualité de l'eau d'irrigation**. La surface irriguée à l'aide de sources d'eau non conventionnelles (eau recyclée ou dessalée) ne cesse d'augmenter ; il est recommandé d'en assurer le contrôle en temps réel, conformément au décret royal 1085/2024 sur la réutilisation de l'eau.
5. **Surveiller le continuum sol-plante-atmosphère à l'aide de capteurs** : stations météorologiques, sondes de teneur en eau et de potentiel, capteurs de plante.
6. **Surveiller à l'aide de capteurs à distance le continuum sol-plante-atmosphère** : télédétection à partir d'images satellites, d'aéronefs pilotés ou de drones pour le suivi de la variabilité de différents indices de végétation ou de teneurs en eau.
7. **Plateformes numériques** proposant des outils adaptés à chaque culture pour optimiser les besoins en eau et suivre le cycle de culture.

8. **Définir des jumeaux numériques et des systèmes d'aide à la décision** : des modèles virtuels qui simulent et optimisent l'irrigation à partir des informations fournies par différents types de capteurs.
9. **Optimiser la gestion énergétique liée à l'irrigation**, ainsi que les différents intrants en lien direct avec l'irrigation, par exemple la fertirrigation.
10. **Surveiller les indicateurs permettant de suivre la durabilité environnementale de l'irrigation** : contrôle des retours (quantité et qualité de l'eau), estimation de l'empreinte hydrique ou de carbone, etc.
11. **Former techniquement les exploitations, les communautés d'irrigants et l'administration**, afin d'améliorer l'utilisation de la technologie (plateformes de partage des connaissances, classer les technologies existantes, etc.).
12. **Transmettre/communiquer sur la transformation numérique de l'irrigation**. Il est important de communiquer les nouveautés technologiques aux différents acteurs du secteur de l'irrigation et à la société civile via différents canaux : sites web, webinaires, newsletters, réseaux sociaux et réseaux professionnels.
13. **Créer des catalogues de fournisseurs de services** (logiciels, matériel) liés à la numérisation des réseaux d'irrigation et/ou des systèmes d'irrigation au niveau des parcelles.

4. DIAGNOSTIC PRÉALABLE

4.1. Diagnostic territorial

Entre mars et septembre 2024, le consortium Smart Green Water a réalisé un diagnostic territorial de l'agriculture dans le sud-ouest de l'Europe, auquel ont participé différents partenaires du projet en élaborant un résumé par pays : l'IRTA pour l'Espagne, l'ASOI pour la France et le COTR pour le Portugal. Au total, 82 personnes ont été interrogées en France, en Espagne et au Portugal.

En annexe ci-dessous, vous trouverez l'évolution de la surface irrigable des pays du Sud-Ouest de l'Europe, selon la publication d'Eurostat du 26 septembre 2025.

Les conclusions que l'on peut tirer de ce diagnostic territorial sont les suivantes :

4.1.1. France

Le diagnostic territorial en France révèle que les prélèvements d'eau pour l'activité agricole s'élèvent à environ 3 300 - 3 400 hm³/an, ce qui représente 11 % des prélèvements totaux d'eau douce en France (centrales nucléaires comprises). Si l'on considère l'eau réellement consommée (non restituée), l'agriculture représente entre 58 % et 62 % de la consommation totale en France. La surface agricole utilisée (SAU) est principalement occupée par des cultures non irriguées, bien que l'irrigation soit de plus en plus courante, notamment dans la culture de la vigne dans le sud du pays.

Les régions d'Occitanie et de Nouvelle-Aquitaine sont en France celles où l'on irrigue le plus, avec près de 30 % de la superficie agricole utilisée irriguée. Ces régions bénéficient de conditions climatiques favorables à la diversité agricole, la production de maïs y est moindre et on y a souvent recours à des cultures à forte valeur ajoutée telles que les fruits, les légumes ou la vigne. Malgré cela, on observe une forte dépendance vis-à-vis des réseaux d'irrigation collectifs et des difficultés à gérer l'eau lors des épisodes de sécheresse.

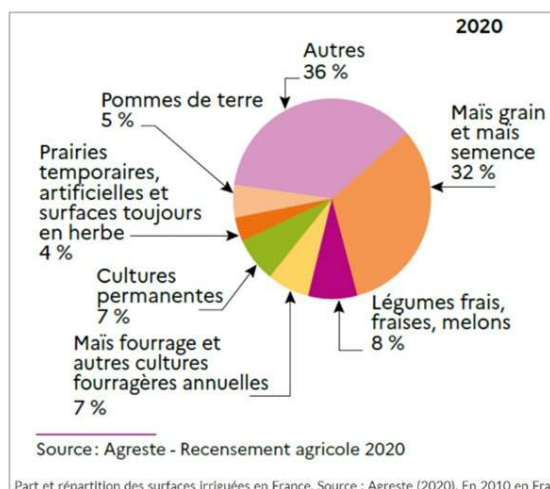


Figure 4. Répartition des surfaces irriguées en France (2020). Source : Agreste – Recensement agri

L'évolution des conditions climatiques, avec une augmentation des épisodes de sécheresse, a conduit à une augmentation de 23% de la surface irriguée entre 2010 et 2020 (2,8 millions d'hectares), ce qui témoigne d'un intérêt croissant pour la modernisation. Il est toutefois nécessaire d'adapter les pratiques agricoles et les itinéraires techniques afin d'optimiser l'utilisation de l'eau et de réduire les pertes en nutriments, ce qui est crucial pour la durabilité environnementale. La situation varie considérablement selon le type de culture, la mise en œuvre des technologies numériques doit donc être personnalisée.

Les régions du sud-ouest de la France comptent un large éventail d'acteurs spécialisés dans l'irrigation (Inra, Institut Agro, UMR Eau, IFV, Arvalis, CTIFL, Fruition Science, ITK, CACG, etc.) qui ont dirigé divers projets d'innovation, tels que l'IRRI-ALT'EAU, qui réutilise les eaux usées traitées pour l'irrigation des vignobles, et le projet Tai-Oc (CACG), qui promeut la transition agroécologique et l'irrigation en Occitanie.

4.1.2. Espagne

En Espagne, le diagnostic souligne l'importance de l'irrigation en agriculture. D'après les données communiquées par le ministère de l'Agriculture, la surface irriguée représente 22 % de la surface cultivée, mais concentre 71 % de la valeur de la production nationale.

Les cultures irriguées constituent une part significative de l'ensemble des terres cultivées (voir figure 5), avec des infrastructures d'irrigation bien développées dans plusieurs régions : Andalousie, Aragon, Murcie, Castille-et-León, Castille-La Manche, Communauté valencienne, Estrémadure et Catalogne. Les enquêtes menées dans le cadre du projet indiquent qu'on utilise de plus en plus des outils numériques pour la gestion de l'eau en agriculture, bien que leur adoption varie selon les communautés d'irrigants, les agriculteurs et les conseillers en irrigation.

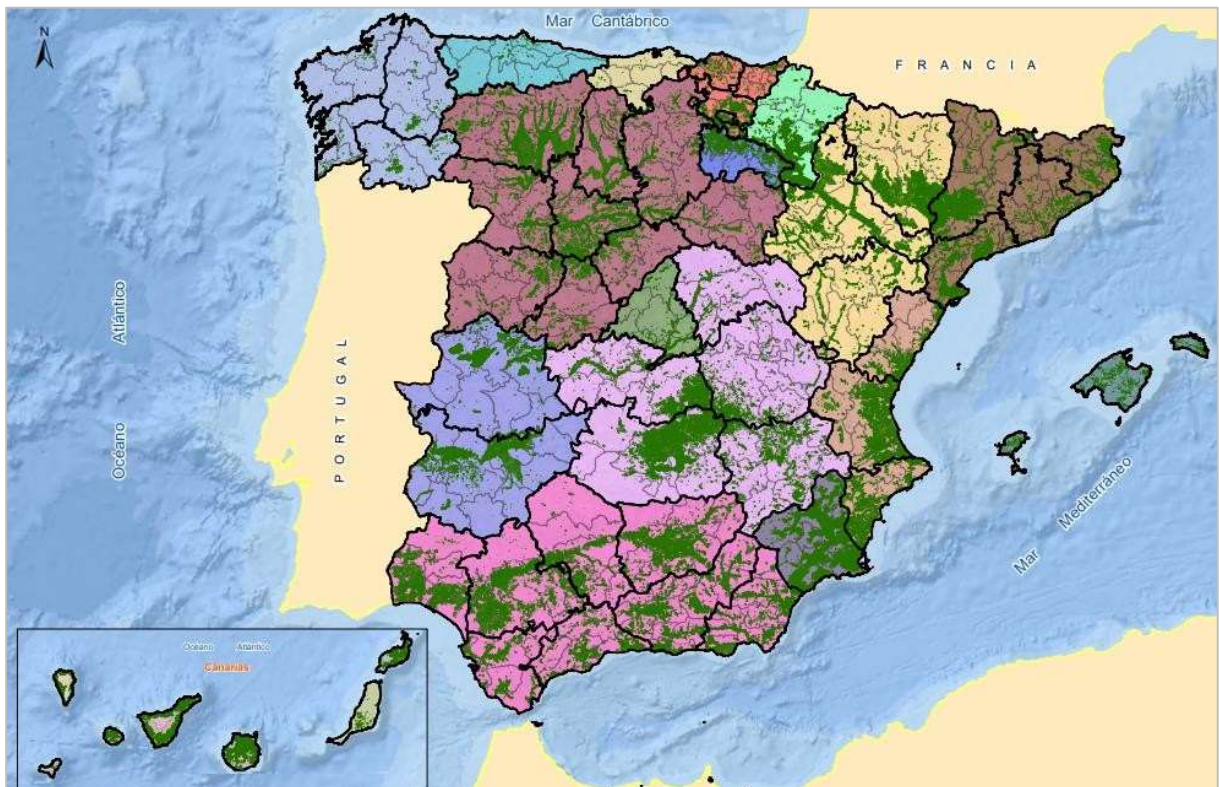


Figure 5. Surface irriguée et circonscriptions agricoles, 2023. Source : Observatoire de la durabilité de l'irrigation.

Les investissements pour moderniser l'irrigation sont actuellement considérables en Espagne, avec 2,5 milliards d'euros qui y seront consacrés d'ici à 2027, principalement axés sur des systèmes d'irrigation plus efficaces et sur l'automatisation/la numérisation de l'irrigation. L'utilisation de technologies telles que les capteurs d'humidité du sol, les drones pour la surveillance des cultures et les plateformes de gestion des données est en augmentation, ce qui permet une gestion plus précise et plus efficace de l'eau. Des projets clés sont mentionnés, tels que l'Observatoire de l'eau et la plateforme NABIA, qui incluent des données sur l'état écologique, chimique et quantitatif des masses d'eau continentales.

La variabilité climatique constitue un défi majeur qui affecte la disponibilité en eau pour l'irrigation. En réponse à cela, des politiques et des réglementations ont été mises en œuvre pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, parmi lesquelles il faut saluer la Directive-cadre sur l'eau, les Plans hydrologiques de bassin, le Plan national d'irrigation ou le Plan de relance, de transformation et de résilience. En ce qui concerne la gouvernance, les communautés d'irrigants et d'autres communautés d'utilisateurs voient leur rôle renforcé en tant qu'acteurs clés de la gestion collective des ressources hydriques.

La figure 6 présente la surface irrigable en Espagne par province, ainsi que la proportion de chacun des systèmes d'irrigation au niveau des parcelles. Comme on peut le constater, les systèmes d'irrigation ont tendance à être localisés dans le sud du pays, tandis que dans le nord, l'irrigation par aspersion/pivots est plus importante, et il existe des superficies en attente de modernisation.

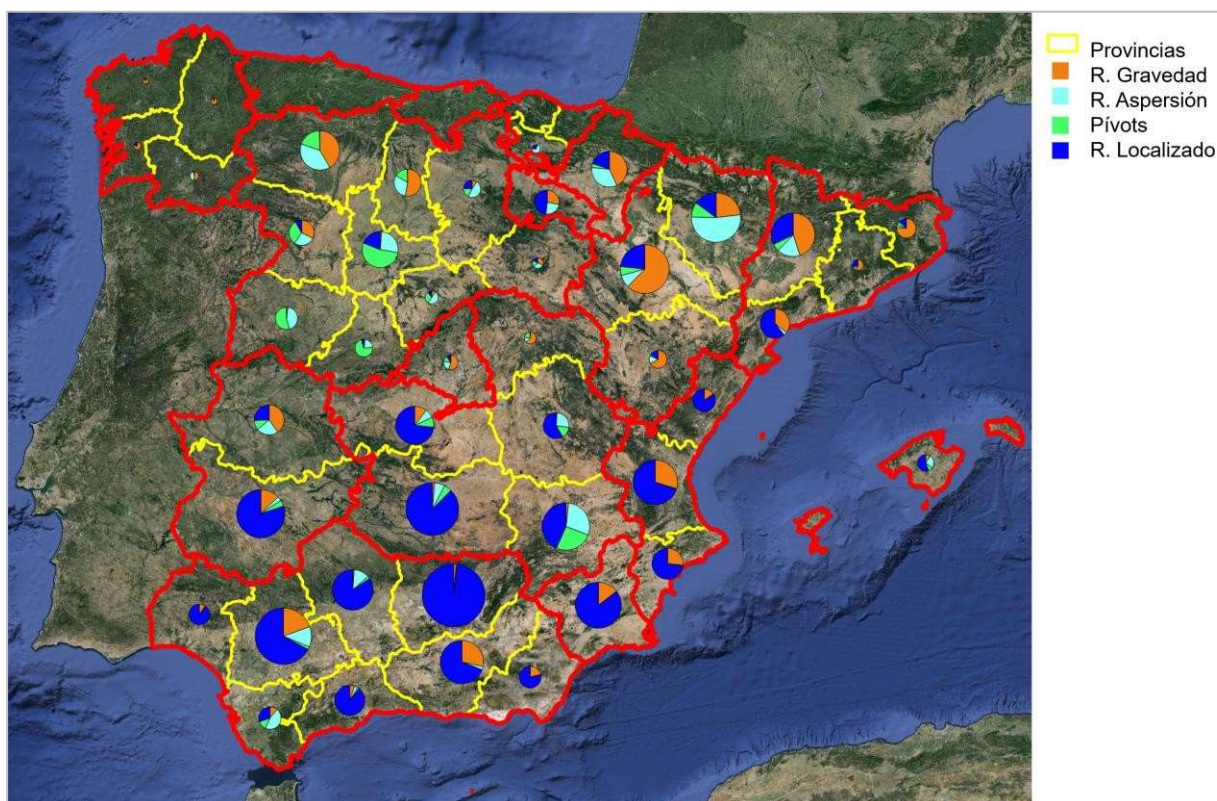


Figure 6. Répartition des surfaces irriguées et des différents systèmes d'irrigation au niveau des parcelles. Élaboration propre à partir des données de l'ESYRCE (Enquête sur la surface et les rendements des cultures. Analyse des irrigations en Espagne pour l'année 2022).

Provinces Par gravité Irrigation par Aspersion Pivots Irrigation localisée

La figure 7 est une illustration qui résume la grande variabilité des systèmes d'irrigation en Espagne. La variabilité des cultures est due à la variabilité des dotations en eau et au coût de l'eau. Il existe également une importante variabilité au niveau des organismes qui gèrent l'eau. Toutes ces variables conditionnent la numérisation de l'irrigation, tant au niveau des communautés d'utilisateurs qu'au niveau des exploitations.

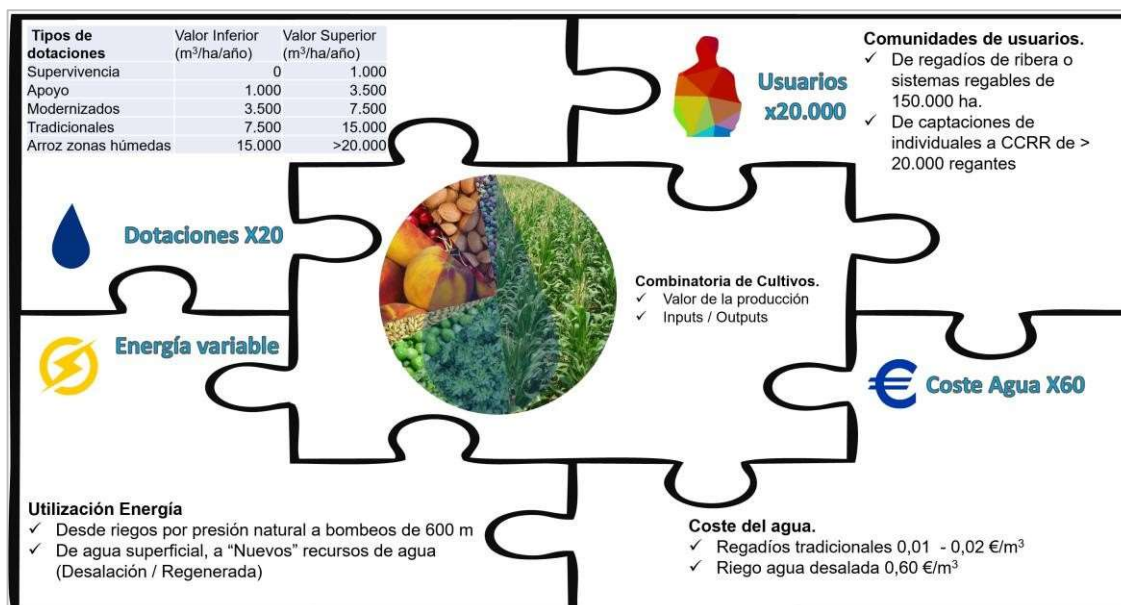


Figure 7. Variabilité de l'irrigation en Espagne, diapositive utilisée par Ignasi Servià lors de la présentation « La numérisation de l'irrigation en Espagne, dans un contexte de crise climatique », Murcie (27/1/2025).

4.1.3. Portugal

Le diagnostic au Portugal se concentre sur la région de l'Alentejo (voir figure 8), où les principales cultures sont les oliviers, les amandiers, les vignes et les céréales. La surface agricole irriguée est d'environ 218 821 hectares, soit 10 % de la superficie agricole totale. La région est confrontée à des défis liés à la variabilité des précipitations, qui affecte la disponibilité de l'eau d'irrigation.

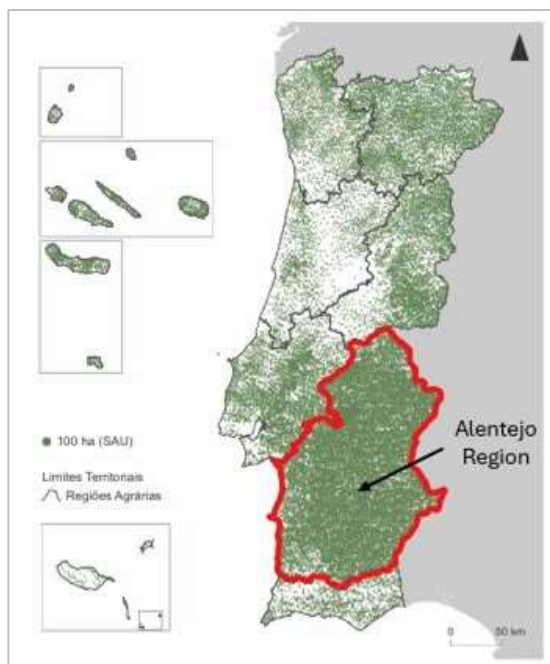


Figure 8. Superficie agricole utile au Portugal.
Source : INE, I.P.

La région de l'Alentejo couvre un tiers du territoire national et concentre environ 37 % de la surface irrigable du Portugal. Les cultures permanentes, qui constituent 65 % de la superficie irrigable de l'Alentejo, comprennent les oliviers, les fruits à coque et la vigne, tandis que les cultures temporaires sont principalement constituées de céréales et de prairies. De nombreuses exploitations agricoles utilisent plusieurs plateformes numériques qui ne communiquent pas efficacement entre elles, ce qui se traduit par des données fragmentées et des pratiques de gestion inefficaces.

Le diagnostic mentionne qu'au Portugal, il y a eu des projets d'irrigation de précision et de développement de technologies de précision dans les systèmes d'application variables (VRI), tels que le projet [HubIS « Open innovation Hub for Irrigation Systems in Mediterranean agriculture » \(2020-2023\)](https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/22-fie-online-irrigation-portal) et le projet <https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/22-fie-online-irrigation-portal>

Il convient également de souligner la collaboration entre les organismes publics et les associations agricoles pour fournir des conseils techniques et soutenir l'intégration de plateformes numériques qui optimisent l'utilisation de l'eau.

En définitive, les diagnostics territoriaux préalables réalisés en France, en Espagne et au Portugal révèlent une grande hétérogénéité dans la gestion de l'irrigation agricole, avec des défis et des opportunités spécifiques à chaque pays et à chaque communauté d'usagers. La France est confrontée à la nécessité de moderniser ses pratiques agricoles en réponse à la variabilité climatique croissante, tandis que l'Espagne progresse dans la modernisation et l'adoption de technologies numériques pour améliorer l'efficacité de l'irrigation. Le Portugal, quant à lui, doit surmonter la fragmentation des données et améliorer la communication entre les plateformes numériques utilisées en agriculture.

La mise en œuvre de technologies « intelligentes » et la coopération transnationale sont essentielles pour favoriser une gestion de l'irrigation plus efficace et durable sur l'ensemble du territoire Sudoe. La stratégie doit être flexible et s'adapter aux conditions spécifiques de chaque région, en favorisant l'innovation et la numérisation dans le secteur agricole.

4.2. Étude de solutions pour l'agriculture irriguée

Cette section offre une vue d'ensemble structurée des principales solutions numériques appliquées à l'irrigation agricole, y compris les différents niveaux de technicité de la numérisation de l'irrigation et une typologie des technologies disponibles sur le marché. Les systèmes d'automatisation, de surveillance et de gestion de l'irrigation sont décrits, ainsi que les capteurs à distance et de terrain et les plateformes de prévision et d'aide à la décision, dans le but de caractériser l'état actuel de la numérisation de l'irrigation et son potentiel pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la durabilité du secteur agricole.

4.2.1. Niveaux de technicité dans la numérisation de l'irrigation

Les différents niveaux de technicité dans la numérisation de l'irrigation agricole sont décrits ci-après. Cela met en évidence que, pour superviser et optimiser le fonctionnement des installations, il est important que la gestion de l'irrigation se fonde sur les données. Utiliser des technologies numériques et de télécommunications permet de gérer l'irrigation à distance, d'améliorer l'interaction avec l'utilisateur et de faciliter une prise de décision qui s'appuie sur des informations objectives.

- **Niveau 1 : Programmation de l'irrigation** : La programmation de l'irrigation consiste à automatiser le calendrier et les doses d'irrigation. Les programmeurs d'irrigation permettent aux agriculteurs de gérer le début et la fin de chaque cycle d'irrigation, en ajustant la quantité d'eau et d'engrais apportés aux cultures. Ces dispositifs électroniques peuvent être commandés manuellement ou à distance via des plateformes en ligne ou des applications mobiles, ce qui permet une meilleure interaction avec l'utilisateur et une gestion fondée sur les données.
- **Niveau 2 : Surveillance** : La surveillance du système d'irrigation vise à contrôler le bon fonctionnement de l'installation, à détecter les pannes et à ajuster la programmation de l'irrigation en fonction des conditions météorologiques et du développement de la culture. Elle utilise des capteurs installés sur le terrain, généralement connectés à des plateformes en ligne, ce qui facilite l'accès, la visualisation, le téléchargement et le traitement des données par l'utilisateur.

- **Niveau 3 : Irrigation de précision** : L'irrigation de précision intègre les informations des systèmes de surveillance et la connaissance du continuum sol-plante-atmosphère pour apporter la quantité d'eau strictement nécessaire. Ce niveau réduit les flux de retour d'eau par ruissellement et percolation, améliorant ainsi l'efficacité de l'irrigation. Il permet un apport d'eau précis et s'adapte aux besoins de la culture à chaque stade.
- **Niveau 4 : Systèmes d'irrigation « intelligents »** : Les systèmes d'irrigation « intelligents » analysent automatiquement les informations provenant de divers capteurs pour déterminer quand et en quelle quantité irriguer. Ils intègrent des modèles prédictifs basés sur des données historiques, s'adaptent aux conditions environnementales et à d'autres facteurs tels que les coûts énergétiques. Ces systèmes aident les agriculteurs à utiliser efficacement les ressources en eau, ils garantissent un apport d'eau optimal tout au long de la campagne d'irrigation, et réalisent même des simulations, à l'aide de jumeaux numériques de différents scénarios, afin d'optimiser à la fois l'utilisation des ressources et la production.

4.2.2. Solutions numériques pour l'irrigation

Actuellement, de nombreuses entreprises proposent des solutions numériques destinées à l'irrigation agricole. [Digimapa](#), un moteur de recherche disponible sur la plateforme Tierra du ministère de l'Agriculture du gouvernement espagnol, est un outil remarquable pour localiser ces entreprises. Cet outil permet d'identifier les entreprises Agrotech spécialisées dans les technologies d'irrigation, facilitant ainsi l'accès à des informations détaillées sur les produits et services disponibles sur le marché. Il est particulièrement utile pour les professionnels du secteur agricole qui cherchent à mettre en œuvre des solutions innovantes et efficaces sur leurs exploitations. En France, on peut citer la plateforme participative [Wiki Agri Tech](#), qui recense près de 2 000 solutions numériques pour l'agriculture en général, il est prévu qu'elle soit disponible en plusieurs langues.

En ce qui concerne les solutions numériques existantes pour l'irrigation agricole, elles peuvent être classées en quatre catégories : les systèmes d'irrigation automatisés, les capteurs à distance, les capteurs de proximité et les systèmes de gestion et de prévision de l'irrigation.

A. Systèmes d'irrigation automatisés

Les systèmes d'irrigation automatisés constituent une solution technologique de pointe qui intègre des dispositifs électroniques et des capteurs pour gérer efficacement la distribution de l'eau et des engrais dans les exploitations agricoles. Ces systèmes permettent une gestion précise des ressources en eau, favorisant la durabilité et la productivité grâce à l'application des principes de l'agriculture de précision.

Le composant central de ces systèmes est le **programmeur d'irrigation**, un dispositif électronique qui régle le fonctionnement des éléments hydrauliques de la tête d'irrigation. Cette tête est composée de vannes, de pompes, de réservoirs d'engrais et de doseurs, tous coordonnés par le programmeur. Sa fonction principale est d'exécuter les plans d'irrigation et de fertirrigation définis par l'agriculteur, en activant les différents mécanismes aux moments programmés et dans les quantités requises.

Le niveau de sophistication du programmeur peut varier en fonction du type de culture, de la taille de l'exploitation et du degré de technicisation du système. Dans les exploitations utilisant l'irrigation sous pression, ce dispositif assure une distribution homogène de l'eau et des nutriments. Les usagers configurent des paramètres tels que l'heure de début de l'irrigation, sa durée et la dose d'engrais à

apporter, en ajustant ces valeurs tout au long de la campagne en fonction des conditions climatiques et du stade phénologique de la culture.

Une caractéristique remarquable de ces systèmes est leur capacité à réagir de manière autonome aux données fournies par des capteurs locaux. Ces capteurs peuvent mesurer des variables telles que le niveau de liquide dans les réservoirs, le pH et la conductivité électrique de la solution nutritive, ainsi que l'humidité du sol à différentes profondeurs. Ces informations permettent au programmeur d'adapter l'irrigation en temps réel, en optimisant la quantité d'eau et d'engrais, afin d'éviter les situations de stress hydrique ou l'excès de fertilisants.

De nombreux programmeurs existants sont aujourd'hui équipés d'une connectivité Internet, ce qui permet de les intégrer facilement à des plateformes numériques de gestion agronomique. Grâce à des applications web, les agriculteurs peuvent interagir avec le système à distance, modifier la programmation, recevoir des alertes et consulter les données historiques. Cette interopérabilité avec des systèmes d'analyse plus complexes permet de prendre des décisions stratégiques fondées sur des données, comme ajuster l'irrigation en fonction de modèles climatiques ou de recommandations agronomiques (voir plus d'informations dans la section D. Systèmes de gestion et de prévision de l'irrigation).

B. Capteurs à distance

L'utilisation de capteurs à distance en agriculture a révolutionné la manière de surveiller les cultures et de gérer les ressources en eau. Ces technologies permettent d'obtenir des informations détaillées et continues sur l'état du sol, la végétation et les conditions environnementales, aidant ainsi à une prise de décisions plus précise en matière de planification de l'irrigation.

- **Images satellites :**

Les images obtenues par satellite utilisent différentes bandes du spectre électromagnétique pour capter des données concernant des variables clés telles que l'humidité du sol, la vigueur des cultures, l'utilisation de l'eau et autres facteurs environnementaux. Cette technologie est particulièrement utile pour surveiller régulièrement de vastes superficies agricoles, ce qui permet de détecter des schémas spatiaux qui ne sont pas évidents à l'œil nu.

Grâce à ces images, il est possible d'identifier des différences d'humidité entre différentes zones d'une même parcelle, ce qui aide à détecter les déficiences d'un système d'irrigation, telles qu'une répartition de l'eau inégale. Ces informations permettent d'ajuster les schémas d'irrigation pour obtenir une couverture plus homogène et plus efficace. Un exemple marquant de cette application est l'utilisation de l'indice de végétation par différence normalisée (*NDVI*), qui permet d'évaluer l'état de la végétation et de détecter un début de stress hydrique avant qu'il devienne visible sur les plantes. Ce type d'analyse est essentiel pour anticiper les problèmes agronomiques et agir de manière préventive.

- **Images par drone :**

Les drones équipés de capteurs spécialisés, tels que des caméras thermiques ou des dispositifs à infrarouge proche (*NIR*), offrent une vision détaillée et haute résolution de l'état hydrique et physiologique des cultures. Ces appareils peuvent survoler les parcelles agricoles et générer des cartes précises qui montrent les variations de l'humidité du sol, de la température de surface et d'autres indicateurs pertinents pour la santé et la gestion des cultures.

Un avantage significatif des drones réside dans leur capacité à effectuer des vols programmés à des moments précis du cycle de culture, ce qui permet de comparer les données au fil du temps et de détecter des tendances. Dans les systèmes plus avancés, les données recueillies par les drones sont directement intégrées à des plateformes de gestion agronomique et à des systèmes d'irrigation automatisés. Cette intégration permet d'activer automatiquement l'irrigation dans les zones où un déficit hydrique est détecté, optimisant ainsi l'utilisation de l'eau et améliorant l'efficacité opérationnelle.

La combinaison d'images satellites et de données obtenues par des drones offre une vision multi-échelle de l'état des cultures, du niveau régional jusqu'au niveau de la parcelle, ce qui permet une gestion plus précise et adaptative de l'irrigation. Ces technologies, connectées à des systèmes « intelligents », contribuent à une agriculture plus durable, plus efficace et plus résiliente face à des conditions climatiques changeantes.

C. Capteurs de proximité

Les capteurs de proximité sont des outils clés de l'agriculture de précision, car ils permettent d'obtenir des informations directes et localisées de l'état hydrique des plantes, du sol et de l'environnement. On les classe en trois grands groupes : les capteurs de plante, les capteurs de sol et les capteurs environnementaux. Il existe en outre des capteurs destinés à contrôler le fonctionnement du système d'irrigation et la qualité de l'eau utilisée.

- **Capteurs végétaux :**

Ces dispositifs sont conçus pour mesurer des paramètres physiologiques directement liés à l'état hydrique des cultures. Les utiliser permet d'ajuster l'irrigation en fonction des besoins réels des plantes.

- **Capteurs de flux de sève :** Ils mesurent la variation thermique dans le xylème, ce qui permet d'estimer le taux de transpiration de la plante en temps quasi réel. Bien que leur application commerciale soit limitée, ils sont largement utilisés dans la recherche pour comprendre le comportement hydrique de différentes cultures.
- **Capteurs de turgescence foliaire :** ils évaluent la pression générée par le jus cellulaire sur la paroi cellulaire de la feuille, ce qui permet de déterminer l'état hydrique de l'arbre. Ces capteurs peuvent distinguer trois états : hydratation optimale, stress hydrique léger et stress hydrique sévère, ce qui facilite la prise de décisions d'irrigation plus précises.
- **Capteurs de température des plantes :** ils analysent la différence de température entre la feuille et l'air ambiant, ce qui est un indicateur direct du niveau d'hydratation foliaire. Cette information est utile pour détecter les réactions de la plante face à des conditions de stress, tant biotique qu'abiotique.
- **Enregistrement continu du potentiel hydrique de la tige à l'aide de micro-tensiomètres :** installés sur le tronc des cultures ligneuses, ils permettent d'enregistrer en continu le potentiel hydrique de la tige. Cette mesure en temps réel offre une vision détaillée de l'état hydrique de la plante, c'est utile pour ajuster l'irrigation avec précision.

- **Capteurs de sol :**

Ces capteurs fournissent des données sur la disponibilité de l'eau dans le sol, sa salinité et sa température, ce qui est essentiel pour définir des stratégies d'irrigation et de fertirrigation.

- **Capteurs de teneur en eau :** ils mesurent le volume d'eau présent dans le sol. Les plus courants sont les sondes diélectriques, qui incluent les technologies capacitatives, RDT (Réflectométrie temporelle = *TDR Time Domain Reflectometry* en anglais) et RDF (réflectométrie dans le domaine fréquentiel = *FDR Frequency Domain Reflectometry*). Ces capteurs permettent de calculer le déficit hydrique et d'ajuster le débit d'irrigation en fonction de l'évolution de la teneur en eau.

- **Capteurs de potentiel matriciel** : ils déterminent la force avec laquelle l'eau est retenue dans le sol, ce qui aide à établir le moment optimal pour l'irrigation. On utilise des tensiomètres, des capteurs résistifs, et capacitifs dans les matériaux poreux, en particulier pour les cultures horticoles et ligneuses. Ces dispositifs offrent une lecture précise de l'état hydrique du sol, y compris dans le cas de stratégies d'irrigation déficitaire contrôlée.
 - **Capteurs résistifs et capacitifs dans les matériaux poreux** : ils appliquent le principe de la variation de la résistance électrique en fonction du degré d'humidité du sol. Ils conviennent aux cultures arborescentes et permettent d'atteindre des niveaux de potentiel hydrique allant jusqu'à -230 kPa, ce qui les rend utiles dans les pratiques d'irrigation adaptées aux conditions de stress hydrique.
 - **Capteurs de conductivité électrique du sol** : ils fournissent des informations sur la salinité et la teneur en nutriments, ce qui permet d'ajuster à la fois l'irrigation et la fertirrigation. Leur conception robuste et leur résistance aux conditions difficiles garantissent une longue durée de vie et une grande fiabilité sur le terrain.
- **Capteurs environnementaux** :
Ces capteurs collectent des données sur les conditions climatiques et d'autres facteurs externes qui influencent la gestion de l'irrigation. Ils sont équipés de systèmes de communication sans fil qui permettent d'envoyer des informations en temps réel vers des plateformes de gestion ou des appareils portables.

Parmi les systèmes les plus utilisés, on trouve :

- **SIAR** ([Système d'information agro-climatique pour l'irrigation](#)) : réseau de stations météorologiques espagnoles qui fournit des données climatiques pertinentes pour la programmation de l'irrigation.
- **SAGRA** ([Système agrométéorologique pour la gestion de l'irrigation en Alentejo](#)) : plateforme portugaise qui fournit des informations agrométéorologiques pour optimiser l'utilisation de l'eau dans les cultures.
- **XEMA** ([Réseau de stations météorologiques automatiques de Catalogne](#)) : réseau de stations météorologiques automatisées qui fournissent des informations sur des variables météorologiques permettent de connaître la situation météorologique en temps réel.

Ces systèmes permettent d'effectuer des ajustements dynamiques dans la programmation de l'irrigation en fonction de variables telles que la température, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la vitesse du vent et les précipitations.

- **Capteurs pour la surveillance du système d'irrigation** :
Outre les capteurs qui évaluent l'état de la plante et du sol, il existe des dispositifs qui permettent de contrôler le fonctionnement hydraulique du système d'irrigation, garantissant ainsi son efficacité et sa qualité.
- **Débitmètres** : ils mesurent le volume d'eau circulant dans le réseau d'irrigation. Ils peuvent être électromagnétiques, ultrasoniques ou mécaniques avec des émetteurs d'impulsions. Les utiliser permet de détecter les fuites, de vérifier le respect des doses programmées et d'optimiser la consommation d'eau.
- **Capteurs de pression** : ils enregistrent la pression de l'eau en différents points de l'installation hydraulique. Ces informations sont essentielles pour évaluer la distribution de l'eau, détecter les obstructions ou les pertes de charge, les pannes de l'installation et garantir un fonctionnement uniforme du système.

- **Capteurs de qualité de l'eau d'irrigation :**

Ces capteurs ont pour objectif de déterminer si l'eau utilisée est adaptée à la culture en question, notamment en ce qui concerne, le plus souvent, sa salinité. La mesure de la conductivité électrique de l'eau permet d'évaluer sa composition ionique et de prévenir les problèmes de toxicité ou d'accumulation de sels dans le sol, qui pourraient nuire au développement des plantes.

D. Systèmes de gestion et de prévision de l'irrigation.

Les solutions numériques appliquées à l'irrigation agricole ont évolué vers des systèmes intégrés qui combinent des données en temps réel, des modèles prédictifs et des plateformes de gestion pour optimiser l'utilisation de l'eau. Le **logiciel de gestion de l'irrigation** est un outil clé dans cet écosystème, car il permet de centraliser et d'analyser les informations provenant de capteurs, de stations météorologiques, d'images satellites et de bases de données agronomiques, facilitant ainsi la prise de décisions techniques et stratégiques.

Ce type de logiciel permet aux agriculteurs de gérer leurs systèmes d'irrigation à distance, depuis n'importe quel appareil connecté, en accédant à des tableaux de bord intuitifs qui affichent l'état hydrique des cultures, le fonctionnement des équipements hydrauliques et les prévisions météorologiques. Grâce à cette connectivité, il est possible d'effectuer des ajustements immédiats dans la programmation de l'irrigation, de réagir à des événements climatiques imprévus et d'appliquer des stratégies de fertirrigation plus précises.

L'une des fonctionnalités les plus avancées de ces systèmes est leur capacité prédictive, qui s'appuie sur des modèles agronomiques et météorologiques pour anticiper les besoins en eau des cultures dans le futur. Ces modèles prennent en compte des variables telles que l'évapotranspiration, le type de sol, la phase phénologique de la culture et les prévisions de pluie, ce qui permet de planifier l'irrigation plusieurs jours à l'avance. Cette planification proactive améliore non seulement l'efficacité d'utilisation de l'eau, mais elle réduit également le risque de stress hydrique et améliore la qualité de la production.

De plus, le logiciel peut s'intégrer/être couplé à des capteurs de terrain (sondes d'humidité, tensiomètres, débitmètres ou stations météorologiques) pour générer des alertes automatiques en cas d'anomalies, telles qu'une faible pression dans le réseau, un excès de salinité ou un déficit hydrique. Cette capacité de surveillance continue permet une gestion plus dynamique et adaptative, d'ajuster donc l'irrigation en fonction des conditions réelles de l'environnement et d'utiliser l'eau de manière plus efficace.

5. ANALYSE ET DIAGNOSTIC DES FACTEURS POUR LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION

Afin d'élaborer la stratégie de numérisation de l'irrigation, nous avons réalisé une analyse de l'état actuel des facteurs (obstacles et moteurs) susceptibles d'intervenir dans la mise en œuvre de cette stratégie. Pour notre analyse, nous nous sommes fondés sur des données issues de publications et de sites web existants, sur nos propres connaissances techniques des auteurs, ainsi que sur les enquêtes et les contributions des partenaires et associés au projet Sudoe Smart Green Water.

Compte tenu de ces données, nous avons employé deux méthodes couramment utilisées dans de nombreuses études et projets : l'**analyse PESTEL**¹ et l'**analyse SWOT**² (FOM ou AFOM).

5.1. Analyse PESTEL

La numérisation de l'irrigation ne se fait pas en vase clos, elle est au contraire profondément influencée par l'environnement dans lequel on la développe. Pour mieux comprendre ces facteurs externes, nous avons eu recours à l'analyse PESTEL, cet outil stratégique **permet d'examiner les facteurs politiques, économiques, sociaux, technologiques, environnementaux et légaux** (voir figure 9) susceptibles d'affecter directement ou indirectement la mise en œuvre de solutions numériques dans le secteur de l'irrigation.

Cette analyse aide à identifier les risques, à anticiper les obstacles et à détecter les opportunités susceptibles de conditionner la viabilité, la scalabilité et la durabilité de la stratégie de numérisation. Par exemple, le soutien institutionnel, par le biais de fonds européens tels que les projets PERTE (Projets stratégiques pour la relance et la transformation économiques) du Gouvernement espagnol, représente une opportunité clé sur le plan politique et économique ; tandis que la fracture numérique dans les zones rurales pose des défis sociaux qui doivent être dépassés afin de garantir une transition numérique inclusive, et qui réponde aux objectifs de la dernière réforme de la PAC 2023-2027 comme, par exemple, le renforcement du tissu socio-économique dans les zones rurales.

P		Politique	Les facteurs politiques sont le gouvernement, les politiques commerciales et fiscales, les problèmes politiques en général, les changements de leaders, la réglementation et les tendances politiques.
E		Économique	Les facteurs économiques peuvent inclure l'inflation, les taux d'intérêt, les taux de change, la croissance économique et le chômage
S		Social	Les facteurs sociaux sont les forces culturelles et les modèles en vigueur dans la société. On peut y inclure le mode de vie, la répartition par âge et le comportement des consommateurs
T		Technologique	Les facteurs technologiques sont, par exemple, les avancées et les développements technologiques, l'innovation et les progrès scientifiques
E		Environnemental	Les facteurs environnementaux comprennent le changement climatique, les réglementations environnementales, les politiques de gestion des déchets et les questions environnementales que se posent les consommateurs.
L		Légaux	Les facteurs légaux sont ceux découlant du Droit du travail, de la législation en matière de consommation, des réglementations d'import/export, ainsi que des politiques et directives en matière de santé et de sécurité.

Figure 9. Facteurs à prendre en compte dans une analyse PESTEL. Source : site Web PESTELAnalysis.com.

¹ Lee et Jepson, 2020 ; Fernandes et Cunha Marques, 2023.

² Mainali et al., 2011 ; Michailidis et al., 2015 ; Mesa-Perez et al., 2020 ; Starkl et al., 2013 ; Nagara et al., 2015.

Le tableau 2 présente une synthèse des principaux obstacles et moteurs de la numérisation de l'agriculture irriguée sur le territoire Sudoe, selon la méthode PESTEL.

Tableau 2. Identification des obstacles et des moteurs de la numérisation de l'agriculture irriguée sur le territoire Sudoe, selon la méthode PESTEL.

Aspect	Obstacles	Facteurs favorisants
Politique	- Inégalité territoriale. - Manque de coordination entre les administrations et les législations (UE-pays) - Manque de continuité dans les politiques publiques. - Stabilité politique.	- Soutien institutionnel résolu et prioritaire. - Aides publiques à la numérisation.
Économique	- Manque d'aide à la numérisation au niveau des parcelles, en particulier pour les agriculteurs non professionnels - Coût opérationnel (capteurs, communications, plateformes, etc.). - Rentabilité de certaines cultures à numériser. - Dépendance vis-à-vis des subventions. - Concurrence internationale. - Volatilité des prix agricoles.	- Aides disponibles pour les organismes de bassin et les Communautés d'irrigants. - Réduction des coûts d'exploitation grâce à l'efficacité hydrique et énergétique. - Incitations économiques liées à la durabilité de l'irrigation.
Social	- Manque de relève générationnelle dans le secteur primaire. - Manque de formation des techniciens et des irrigants. Fracture numérique. - Refus de réduire la consommation d'eau pour l'irrigation et de garantir la transparence dans l'utilisation de l'eau (réticence au changement).	- Amélioration des conditions de travail pour attirer les jeunes talents. - Reconnaissance sociale de l'utilisation des technologies pour une utilisation rationnelle de l'eau. - Formation et perfectionnement en matière de numérique.
Technologique	- Besoin d'une modernisation interdisciplinaire - Manque d'infrastructures préalables. - Méconnaissance des possibilités technologiques des différents outils numériques. - Évolution technologique constante. Obsolescence rapide. - Le contrôle accru du service entraîne un certain rejet. - Manque d'interopérabilité entre les outils et les plateformes. - Problèmes de cybersécurité. - Faible connectivité dans les zones rurales.	- Existence de technologies innovantes et matures. - Études quantifiant le retour sur investissement de la numérisation en fonction du coût de l'eau et des cultures, pour différentes zones. - Surveillance spatio-temporelle combinant différents types de capteurs. Surveillance en temps réel. - Cas pilotes réussis. - Plateformes de gestion des données interopérables
Environnement	- Penser qu'il n'y a pas de pénurie d'eau. - Il n'y a pas de prise de conscience du changement climatique.	- Augmentation de la fréquence/intensité des épisodes de sécheresse comme vecteur de sensibilisation. - Demande croissante en matière d'agriculture durable. - Réduction de l'impact environnemental grâce à des solutions numériques.

Tableau 2. Identification des obstacles et des moteurs de la numérisation de l'agriculture irriguée sur le territoire Sudoe, selon la méthode PESTEL. (suite)

Législation	• Délais et audits à respecter. • Absence de participation des parties prenantes à l'élaboration de la loi ou des projets pilotes • Réglementations complexes qui entravent l'innovation. • Décalage entre la législation et les nouvelles technologies. • Manque de clarté dans la réglementation et la gouvernance des données.	• Réglementations de l'UE et aides conditionnées à la comptabilité de l'eau, aux tarifs binomiaux, à la durabilité et à la numérisation. • Labels de qualité. • Progrès en matière de traçabilité et de standardisation. • Adaptation progressive du cadre juridique à l'innovation. • Conformité avec le RGPD (données collectées par les capteurs) • Contrats avec les fournisseurs (maintenance, mise à jour des logiciels)
-------------	---	---

5.2. Analyse SWOT

L'analyse **SWOT** (ou **FFOM**, ou **AFOM**) est une méthode qui consiste à classer des facteurs afin d'identifier les facteurs internes/externes et négatifs/positifs. Il s'agit donc **d'identifier les faiblesses, les menaces, les forces et les opportunités** (voir figure 10) liées à la numérisation de l'irrigation sur le territoire Sudoe. Cette analyse sert de base pour définir les axes stratégiques et les actions prioritaires.

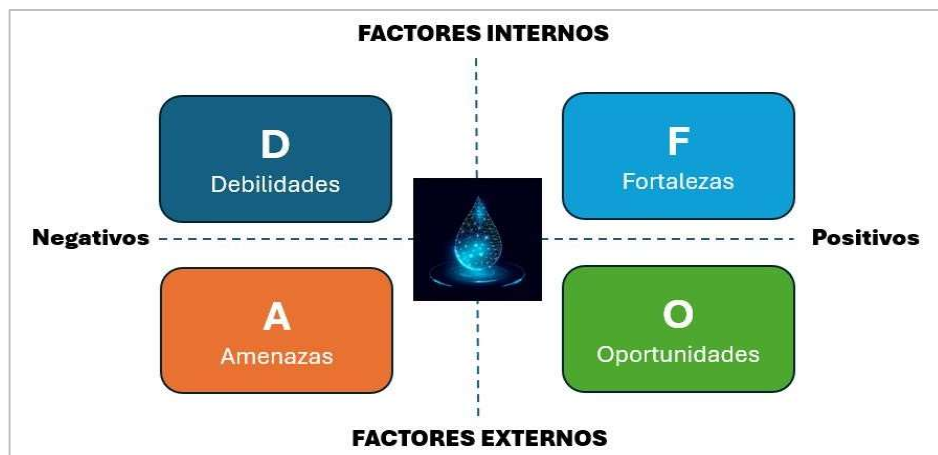


Figure 10. Facteurs de l'analyse FFOM/SWOT (DAFO en espagnol) pour la numérisation de l'irrigation sur le territoire Sudoe.

Faiblesses
Menaces

Forces
Opportunités

5.2.1. Faiblesses

Les faiblesses identifiées dans le secteur de l'irrigation reflètent des obstacles structurels, culturels et technologiques qui entravent l'adoption de solutions numériques. Le faible niveau de formation technologique des irrigants, en particulier dans les petites exploitations, et la rareté des services techniques d'accompagnement limitent les progrès vers une gestion plus efficace de l'eau. De plus, des facteurs tels que le manque d'interopérabilité entre les plateformes numériques et la faible sensibilisation à la gouvernance de l'eau mettent en évidence un besoin urgent de transformation.

1. Manque de technicisation multidisciplinaire au sein des communautés d'irrigants.
2. Faible niveau de formation technologique des irrigants, en particulier dans les petites exploitations ou les exploitations pratiquant des cultures à faible valeur ajoutée.
3. Manque de services techniques d'accompagnement.
4. Connectivité numérique inégale dans les zones rurales.
5. Coût d'installation et de maintenance des solutions numériques. Forte dépendance vis-à-vis des subventions publiques.
6. Inégalités territoriales en matière d'infrastructures d'irrigation et de communication.
7. Méconnaissance du coût de l'eau, qui peut présenter de grandes différences selon les cas (pompage important, utilisation d'eau recyclée ou dessalée)
8. Réticences culturelles au changement (difficulté de renouvellement générationnel et d'intégration des talents féminins au sein des conseils d'administration).
9. Fossé générationnel et technologique. Faible adoption par le secteur agricole traditionnel.
10. Manque d'interopérabilité entre les plateformes numériques (standardisation technologique).
11. Connaissance limitée du retour sur investissement (RSI, ou *ROI*), qui dépend du coût de l'eau, du type de cultures et des outils de numérisation que l'on souhaite utiliser. Dans certaines zones, il a été souligné que le manque de rentabilité compromet la viabilité économique, la relève générationnelle et l'adoption de solutions numériques.
12. Faible sensibilisation à la gouvernance participative de l'eau. De plus en plus de données sur ce bien public sont publiées en libre accès.
13. Dans les projets pilotes, il existe souvent un déséquilibre entre les entités qui doivent être les utilisatrices des technologies et celles qui en promeuvent l'utilisation. Pour faire progresser l'innovation, les usagers finaux doivent participer plus fréquemment.

5.2.2. Menaces

La numérisation de l'irrigation fait face à des risques dérivés de facteurs économiques, climatiques et réglementaires susceptibles de compromettre son développement. L'obsolescence technologique rapide et la prolifération de solutions non coordonnées génèrent de l'incertitude dans la prise de décision. De plus, l'exclusion numérique des exploitants sans formation ni connectivité aggrave les inégalités existantes, rendant difficile une transition équitable vers des modèles plus durables.

1. Prix des produits agricoles, en particulier des matières premières négociées sur les marchés financiers, pour lesquelles il n'y a généralement pas de valeur ajoutée. Les prix des produits agricoles doivent permettre à l'agriculture d'être durable (sur les plans économique, social et environnemental). À quelques exceptions près, les entreprises agricoles de production ne disposent généralement pas des capitaux nécessaires pour réaliser ce type d'investissements, qui ne leur permettront pas de produire davantage, mais de produire de manière plus durable.
2. Le fait que le changement climatique influence la production agricole (disponibilité en eau et autres phénomènes extrêmes). Lors des épisodes de sécheresse, la demande en eau d'irrigation augmente dans certaines zones pour sauver la production, si des réserves d'eau sont disponibles. On a également observé l'effet inverse dans d'autres zones.

3. Instabilité politique ou économique. Quelles aides seront disponibles pour la numérisation de l'irrigation, à la fin des fonds *Next-Generation*, aux trois niveaux de gestion de l'eau (administration, communautés d'utilisateurs et exploitations individuelles) ? La numérisation de l'agriculture irriguée doit être comprise comme une roue de grandes dimensions, qui a mis du temps à se mettre en mouvement et qui maintenant ne devrait plus s'arrêter. Il est essentiel qu'il y ait une continuité, tant au niveau des lignes d'aide que du projet Smart Green Water.
4. Saturation de solutions non coordonnées.
5. Cybersécurité et protection des données. Vulnérabilité des systèmes connectés.
6. Obsolescence technologique rapide.
7. Désinformation, fausses attentes ou projets qui ne sont actuellement pas opérationnels.
8. Tensions entre innovation et réglementation.
9. Exclusion numérique des exploitations sans connectivité.
10. Acceptabilité sociale : réticence des opérateurs à accepter le changement.
11. Variabilité réglementaire : évolution des normes relatives à l'eau et aux données.

5.2.3. Forces

Le processus de numérisation de l'irrigation dans la région Sudoe s'appuie sur une base institutionnelle et technique consolidée, ce qui facilite sa mise en œuvre et sa scalabilité. Disposer de technologies matures et de réseaux de recherche actifs permet d'avancer avec plus de sécurité vers des modèles plus durables et plus efficaces. De plus, son approche globale qui implique différents acteurs renforce la gouvernance et la capacité de transfert des connaissances.

1. Engagement des administrations en faveur de la numérisation comme outil pour améliorer la durabilité de la production agricole et l'efficacité de l'eau d'irrigation.
2. Expérience en matière de modernisation des systèmes d'irrigation et de gestion de l'eau, et disponibilité d'infrastructures collectives d'irrigation et numériques de base.
3. Approche globale (administrations, communautés d'irrigants, irrigants individuels).
4. Existence de technologies éprouvées et de projets pilotes déjà mis en œuvre.
5. Réseaux actifs de recherche et de collaboration transnationale.
6. Alignement sur la stratégie des territoires intelligents RIS3.
7. Capacité de transfert de connaissances.
8. Approche fondée sur les données (centrée sur les données).
9. Optimisation de l'utilisation des ressources
10. Optimisation du temps : gain de temps grâce à l'automatisation des tâches.
11. Traçabilité et conformité réglementaire.

5.2.4. Opportunités

Le contexte actuel offre un environnement favorable pour promouvoir la numérisation de l'irrigation en tant que moteur de transformation structurelle. L'accessibilité croissante des technologies et le développement d'indicateurs environnementaux permettent d'évoluer vers des modèles agricoles plus durables et innovants. De plus, la numérisation peut renforcer la gouvernance de l'eau et favoriser le

développement rural, en tirant parti des synergies avec d'autres secteurs et du potentiel de reproductibilité dans différents territoires.

1. Fonds européens spécifiques pour la numérisation agricole (PERTE *Next Generation*, Interreg Sudoe, FEADER...).
2. Le changement climatique comme catalyseur d'une agriculture efficace dans l'utilisation des intrants de production (eau, énergie, engrais, etc.)
3. Développement rural durable.
4. La numérisation comme levier pour améliorer la gouvernance de l'eau (attirer des leaders qui favorisent le changement).
5. Internationalisation et intégration dans des réseaux d'innovation et de coopération entre différents pays.
6. Progrès technologiques accessibles.
7. Augmentation de la demande en aliments durables.
8. Applications mobiles et plateformes accessibles.
9. Développement d'indicateurs et d'incitations environnementales, tels que les crédits-carbone ou les crédits-eau.
10. Synergies avec d'autres secteurs (énergie, *Big Data*, formation).
11. Potentiel de reproductibilité dans d'autres territoires.
12. Équilibre entre les acteurs du secteur technologique et les bénéficiaires de ces technologies dans le cadre de projets de coopération ou de journées technologiques.

6. FEUILLE DE ROUTE ET SCÉNARIOS POUR LA NUMÉRISATION DE L'IRRIGATION

6.1. Stratégie de numérisation en fonction des situations

Les communautés d'usagers d'eau d'irrigation (communautés d'irrigants ou communautés d'usagers d'eaux souterraines), ainsi que les exploitations individuelles, présentent une grande hétérogénéité en ce qui concerne différentes variables qui influent sur leur stratégie de numérisation. Il existe ainsi une grande variabilité dans des éléments tels que :

- **L'allocation d'eau.** Elle va de systèmes d'irrigation bénéficiant d'allocations d'eau soutenues par d'importants pompages de 1000m³/ha par an jusqu'à des communautés d'irrigants situées à l'embouchure des fleuves, qui irriguent à un débit de 20 000 m³/ha par an.
- **Taille et niveau technique de la communauté d'irrigants/des exploitations.** Il y a des communautés d'irrigants avec peu de membres, mais aussi des Communauté Générales qui réunissent plusieurs communautés d'irrigants et qui s'étendent sur plus de 100 000 ha. Au niveau des exploitations, la fourchette va des petites exploitations, souvent sans relève générationnelle, à des sociétés qui gèrent d'importantes surfaces. Le niveau de technicité utilisé varie dans chacun de ces cas.
- **Infrastructures d'irrigation.** Le pourcentage de surface irriguée de manière traditionnelle en Espagne est inférieur à 20 %. Dans certaines régions, il peut y avoir un manque d'infrastructures d'irrigation, ce qui conditionne le développement de la numérisation tant au niveau des communautés d'irrigants qu'au niveau des exploitations.
- **Combinaison des cultures.** Le dosage de l'irrigation, mais surtout le coût de l'eau, conditionne la combinaison des cultures d'une exploitation donnée et, donc, d'une communauté d'irrigants. La rentabilité des différentes cultures conditionne de manière très directe la numérisation qui peut être mise en œuvre au niveau de l'exploitation.
- **Récurrence des épisodes de sécheresse.** En 2023 et 2024, une grave sécheresse a touché l'ensemble de la péninsule ibérique et l'Occitanie. Dans les provinces de la côte méditerranéenne espagnole, on observe un déficit hydrique structurel qui se répète assez fréquemment. L'existence de ces épisodes détermine le degré de sensibilisation à l'optimisation de la ressource en eau.
- **Coût de l'eau.** La principale différence réside dans le fait que le tarif peut dépendre de la surface de la parcelle (tarif forfaitaire) ou dépendre également de l'utilisation de l'eau (tarif variable). Les premiers sont généralement associés à l'irrigation traditionnelle, tandis que les tarifs binomiaux sont généralement appliqués lorsque le réseau d'irrigation est sous pression et qu'il y a des coûts de pompage. Le coût de l'eau peut varier de 0,01 à 0,02 €/m³ à 0,30 à 0,60 €/m³ pour les pompes importants ou les ressources en eau non conventionnelle.
- **Ressources en eau non conventionnelles.** Certaines régions confrontées à un déficit hydrique important, doivent recourir à des ressources en eau de substitution (eau recyclée ou eau dessalée) dans des proportions croissantes. Cette eau a un coût bien supérieur à celui de l'eau de surface, d'où l'importance cruciale d'une utilisation efficace de cette ressource.

Caractériser toutes ces variables doit nous aider à définir le scénario de départ dans lequel se trouve chaque communauté d'irrigants. Les communautés d'irrigants sont très hétérogènes, c'est pourquoi chaque territoire doit se fixer des objectifs stratégiques pour chacun des scénarios.

La combinaison de toutes ces variables pourrait donner lieu à un grand nombre de scénarios possibles, mais nous les avons résumés en quatre. Le degré de caractérisation de ces scénarios, ainsi que les défis à relever dans chacun d'eux, devront être définis avec précision lors de la rédaction des plans d'action de chaque région.

Le tableau 3 et la figure 11 présentent donc quatre scénarios possibles, ainsi que les principaux défis à relever pour numériser de l'irrigation.

Tableau 3. Scénarios sur la voie de la numérisation de l'irrigation (Source : Élaboration propre)

Scénario	Communauté d'utilisateurs (eau collective)	Exploitation (irrigant individuel)	Principaux défis de la numérisation de l'irrigation
0	Irrigation traditionnelle Tarif d'irrigation par unité de surface.	Cultures <i>commodities</i> (matières premières) Exploitations sans relève générationnelle.	- Prendre l'initiative pour susciter le changement. - Accroître la modernisation. - Optimiser et garantir la reprise des exploitations. - Ressources économiques pour entreprendre des travaux d'irrigation et de télécommunications.
1	Modernisation de l'irrigation traditionnelle Mise en place de tarifs d'irrigation binomiaux.	Intensification des cultures <i>commodities</i> (doubles cultures).	- Garantir le respect des délais des travaux de modernisation. - Accompagnement technique des communautés d'irrigants et des exploitations. - Au niveau des communautés d'irrigants optimiser le coût eau/énergie. - Au niveau des exploitations, optimiser les secteurs et doses d'irrigation.
2	Numérisation du système d'irrigation modernisé Saisie des données. Tarif d'irrigation binomial.	Intensification des <i>inputs</i> de l'exploitation (cultures fruitières, fruits secs, maraîchères, etc.). Exploitations technicisées.	- Disposer d'informations pour une conception et une exécution optimales du projet. - Aide au projet. - Accompagnement numérique pour les communautés d'irrigants et les exploitations. - Sensibilisation à la gestion efficace des ressources (durabilité économique et environnementale).
3	Irrigation modernisée et numérisée Exploitation des données Tarifs d'irrigation binomiaux, souvent avec des prix élevés pour de l'eau dessalée ou recyclée.	Cultures à forte valeur ajoutée. Exploitations hautement technicisées.	- Tirer parti des données (24 h/24, 7 j/7). - Améliorer l'efficacité, la durabilité et la transparence.



Figure 11. Différents scénarios dans le cadre de la feuille de route pour la numérisation de l'irrigation.

6.2. Étapes de la numérisation de l'irrigation

Pour la numérisation d'une région donnée, d'une communauté d'irrigants ou même d'une exploitation individuelle, on distingue trois grandes étapes qui devront être franchies. On évoque souvent la pyramide de Maslow appliquée aux projets de numérisation de la gestion de l'eau, et l'on explique **qu'il ne faut pas passer à l'étape suivante tant que la précédente n'est pas consolidée**. Ceci est particulièrement important lorsqu'on souhaite passer de la première à la deuxième étape.

Ces trois étapes sont les suivantes :

1. Promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée.
2. Projet de numérisation.
3. Numérisation ou gestion de l'eau basée sur les données (*datadriven*).

6.2.1. Promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée

Au cours de cette phase, il faut mettre en place le plus grand nombre possible de facteurs qui vont favoriser la numérisation de l'irrigation et réduire l'impact des menaces ou des obstacles potentiels. Ces facteurs, tant internes qu'externes, contribueront à la numérisation. Le tableau suivant (tableau 4) présente ces facteurs et leur incidence tant au niveau de la communauté des irrigants qu'au niveau des exploitations individuelles.

Tableau 4. Liste des facteurs susceptibles d'influencer la phase de promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée en fonction du type d'irrigants.

Éléments pour la promotion de la numérisation	Communautés d'irrigants (CCRR)	Exploitations individuelles
1. Des leaders qui communiquent pour susciter le changement.	Comités de direction/Conseils d'administration	Responsables d'exploitation et propriétaires
2. Modifications législatives favorisant le changement	Subventions subordonnées à la comptabilité de l'eau ou à l'application de tarifs binomiaux dans les communautés d'usagers.	Modifications qui touchent spécifiquement les exploitations. Plus liées aux certifications ou aux labels de bonne gestion de l'eau.
3. Techniciens dotés d'une formation interdisciplinaire	Techniciens internes ou solutions pour disposer de techniciens interdisciplinaires (partage de talents avec CCRR ou des organismes de gestion)	Techniciens de la propre exploitation ou conseillers.
4. Relève générationnelle et fidélisation des talents	Garantir la présence de talents dans les zones rurales.	Les exploitations technicisées sont plus compétitives et durables.
5. Journées de démonstration sur la technologie numérique disponible	Organisation de journées pour d'autres CCRR et pour nos propres irrigants	Participation à des journées de démonstration.
6. Connaissance des caractéristiques des différents outils technologiques	Formation technique sur les capteurs et la télégestion, les plateformes de gestion ou les modèles prédictifs.	Accès à une formation pratique sur des outils numériques adaptés à l'échelle de l'exploitation.

Tableau 4. Liste des facteurs susceptibles d'influencer la phase de promotion de la numérisation de l'agriculture irriguée en fonction du type d'irrigants. (suite)

7. Informations numérisées et structurées	Infrastructure hydraulique de la communauté et connaissance de sa variabilité (communications, cultures, sols, exploitations, etc.)	Variabilité intra/inter-parcelles pour pouvoir placer les capteurs au bon endroit et adapter les dosages d'irrigation.
8. Sensibilisation à la nécessité d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau	Campagnes de sensibilisation et de comparaison (<i>benchmarking</i>) entre les communautés d'irrigants.	Incitations économiques auxquelles ils peuvent prétendre et démonstrations des économies réalisées grâce à la numérisation.
9. Mise en place des infrastructures du cycle de l'eau et des télécommunications préalables au développement du projet	Infrastructure d'irrigation. Communications à large couverture territoriale (NB-IoT, GPRS)	Sectorisation correcte. L'irrigation de précision commence dès la conception du système d'irrigation qui sera installé. Communications couvrant un territoire plus restreint (LoRaWAN ou NB-IoT, GPRS, satellite)
10. Aides ou financements	Aide pour les CCRR.	Aide aux exploitations.

Source : Élaboration propre.

À titre d'exemple, en ce qui concerne le point 3 du tableau ci-dessus, il est rare que les petites communautés d'irrigants disposent de la technicisation interdisciplinaire nécessaire pour numériser l'irrigation. Pour améliorer cette situation, différentes propositions sont envisagées afin de mettre en place des équipes techniques multidisciplinaires au sein des communautés d'irrigants ; la proposition choisie dépendra des caractéristiques de chaque territoire.

- **Équipes interdisciplinaires de numérisation au sein des Communautés générales d'irrigants (CG)** pour aider à la numérisation des différentes communautés d'irrigants. Il est plus judicieux de disposer d'une équipe multidisciplinaire au sein des CG que de créer une équipe interdisciplinaire pour chacune des communautés de base.
- **Regroupement de différentes communautés d'irrigants d'un même territoire** afin qu'elles mettent en commun certaines ressources, pour tirer parti des économies d'échelle. Ce regroupement peut concerner des communautés d'irrigants relevant d'une même Communauté générale, ou des communautés d'irrigants d'un même territoire. Elles peuvent se regrouper au sein de communautés d'utilisateurs ou de fédérations de communautés d'irrigants.
- **Tirer parti du savoir-faire des entreprises de services de gestion intégrale des communautés d'irrigants** (modèle public à León ou modèle privé dans d'autres territoires). Ces entreprises disposent de spécialistes pour chacune des technologies existantes, qui peuvent participer de manière intégrale ou partielle à certains projets.

Il est important d'adapter et de mettre à jour en permanence les programmes de formation des ingénieurs agronomes afin d'inclure les connaissances actuelles aux profils professionnels pour favoriser la numérisation de l'agriculture irriguée. À titre d'exemple, le point 11.4 « Annexe IV. Adaptation et mise à jour des programmes » comprend des informations sur deux programmes d'études existants dans ce domaine.

6.2.2. Projet de numérisation

Pour définir un bon projet de numérisation, la phase précédente de promotion de la numérisation de l'irrigation doit être achevée. Si l'on met directement en œuvre un projet de modernisation, qui inclut la numérisation, la première phase reste toujours la promotion de la numérisation. Si certains des points identifiés comme des faiblesses/menaces dans l'analyse SWOT (absence de dirigeants responsables des instances dirigeantes ou de techniciens pour soutenir le projet de numérisation, les gens ne valorisent pas ce qu'apporte la numérisation, absence de programmes d'aide, etc.) ne sont pas résolus, il ne servira à rien d'avancer dans le projet de numérisation car, même si les travaux peuvent être réalisés et que des données sont générées, aucune valeur ne pourra être tirée des données générées et le projet risque d'être rapidement abandonné.

Les trois phases principales sont la rédaction du projet de numérisation, l'appel d'offres ou la demande de propositions, et l'exécution du projet. Souvent, différentes entités élaborent **des plans stratégiques**, dans lesquels elles détaillent la stratégie de numérisation de chaque entité.

Lors de la rédaction du projet, il faut déterminer quelles sont les caractéristiques techniques que doivent avoir les capteurs pour résoudre les principaux problèmes de la communauté d'irrigants, il faut choisir la technologie de communication qui sera utilisée, ainsi que les actifs ou plateformes numériques qui serviront à visualiser et analyser les données. **La définition du projet de numérisation doit répondre à des critères techniques** ; dans certaines communautés d'irrigants, on a constaté que les décisions du Conseil d'administration ou de l'assemblée ne sont pas alignées sur ces critères techniques.

- **Capteurs.** Définir les caractéristiques techniques du capteur (marque/modèle, emplacement, résolution temporelle, etc.), ils doivent être adaptés aux besoins de chaque cas particulier. Cela s'applique aussi bien aux capteurs de proximité qu'aux capteurs utilisés en télédétection. Pour identifier d'éventuelles fuites d'eau, une image haute résolution prise par drone peut s'avérer utile, tandis que pour le suivi des cultures, la télédétection par satellite est beaucoup plus adaptée car elle effectue des passages à intervalles réguliers. La connaissance qu'a la communauté d'irrigants ou l'exploitation de son territoire permettra de placer les capteurs aux endroits les plus représentatifs.
- **Stockage et communications.** Une fois les données générées, celles-ci doivent être stockées jusqu'à leur transmission ultérieure au serveur. Il est important de définir correctement la fréquence de communication/transmission, car cela affecte directement la durée de vie des batteries, ce qui est particulièrement important dans le cas des compteurs.
Il est possible qu'une zone irrigable ou qu'une exploitation dispose déjà d'un réseau mobile donné, mais il se peut que dans une autre cette couverture doive être fournie ou que, même en cas de couverture existante, l'on souhaite disposer de communications redondantes, en particulier dans la gestion d'infrastructures critiques.
- **Logiciel ou plateforme pour visualiser/gérer les données.** Il faut déterminer quelle plateforme nous aidera à visualiser et à gérer les données parvenues au serveur. Dans les exploitations plus technicisées, il est possible de réaliser la prescription autonome des doses d'irrigation, en combinant les informations provenant de différents types de capteurs, afin de fournir aux programmeurs d'irrigation des prescriptions mises à jour quotidiennement.

Le développement d'un projet de numérisation de l'irrigation doit tenir compte des différentes raisons (absence d'informations numérisées, de compétences numériques et/ou techniques, campagnes d'irrigation préétablies, etc.) qui rendent les progrès plus lents en irrigation que dans d'autres secteurs.

Les projets doivent être rédigés, soumis à appel d'offres et mis en œuvre. Il est important que, tout au long du processus de projet, les critères T (temps), C (coût) et Q (qualité) soient garantis.

Financement

Les **projets du PERTE** (Projets stratégiques pour la relance et la transformation économiques, Gouvernement espagnol) du cycle de l'eau, tant urbain que d'irrigation, ont accordé d'importantes aides à la numérisation provenant des fonds Next-Generation. Le PERTE pour l'irrigation s'articule autour de sept solutions numériques, qui combinent des actifs numériques avec des capteurs, à condition que **ces solutions soient maintenues pendant au moins 5 ans**. Garantir une formation interdisciplinaire aidera à ce que les solutions numériques soient utilisées de manière pérenne.

En France, il existe également des aides pour la numérisation de l'irrigation (via FranceAgriMer, la PAC par l'intermédiaire des organisations de producteurs, le FEADER régional, France 2030, etc.). Ces aides couvrent la mise en place d'équipements technologiques tels que des capteurs ou des sondes, des logiciels de contrôle ou d'autres types de solutions numériques innovantes. Elles couvrent entre 30% et 70% du budget du projet, en fonction du programme et du type de bénéficiaire.

La figure 12 montre la répartition des aides des deux appels à projets du PERTE sur l'irrigation dans les communautés autonomes espagnoles qui disposent de la plus grande surface irrigable. On constate une augmentation généralisée des aides entre le premier et le deuxième appel à projets. Après avoir réussi à motiver le secteur primaire, en faveur de la gestion collective de l'eau, il conviendrait d'analyser comment mettre en place de nouveaux appels à projets pour des aides similaires.

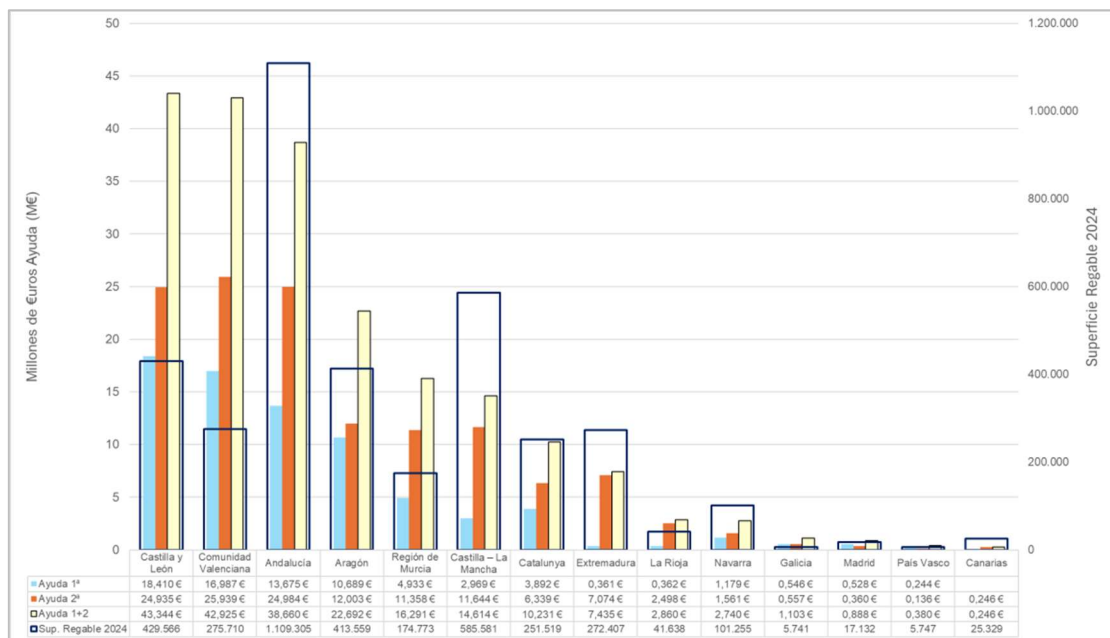


Figure 12. Répartition des aides des deux appels à projets du PERTE de numérisation de l'irrigation par Communauté autonome, et leur rapport avec la surface irrigable par Communauté autonome. Source : Élaboration propre.

La figure 13 présente la répartition des 100 millions d’euros d’aides du deuxième appel à projets du PERTE sur la numérisation de l’irrigation par province (selon les données de la décision provisoire publiée le 17 octobre 2025). On y voit que les communautés d’irrigants de la région de Murcie arrivent en tête de la liste des bénéficiaires, avec un total de 8,76 millions d’euros d’aides, suivies des provinces de León (7 millions d’euros), d’Alicante (6,42 millions d’euros), de Huesca (5,61 millions d’euros) et de Tolède (5,57 millions d’euros). La communauté autonome de Catalogne a bénéficié d’une aide de 4,87 millions d’euros.

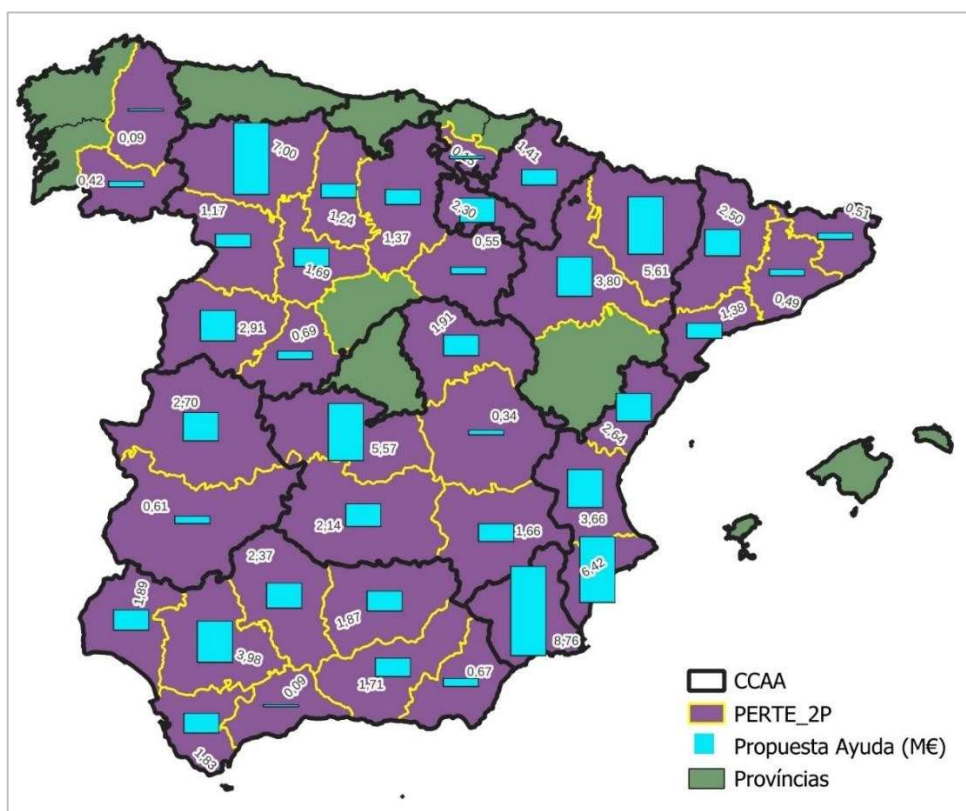


Figure 13. Répartition des aides du deuxième appel à projets du PERTE pour la numérisation de l'irrigation (décision provisoire du 17/10/2025). Source : Élaboration propre.

Outre le bon fonctionnement, il est important de garder à l'esprit la cybersécurité, tant pour les communautés d'irrigants que pour les exploitations. En Espagne, l'*ENS* (Schéma national de sécurité) s'applique à l'ensemble du secteur public, ainsi qu'aux fournisseurs qui collaborent avec l'administration. Il faut protéger les données à caractère personnel, et tout particulièrement les infrastructures critiques liées à l'utilisation de l'eau. En effet, certaines communautés d'irrigants assurent l'approvisionnement urbain via leurs infrastructures.

6.2.3. Numérisation ou gestion de l'eau basée sur les données (*datadriven*)

Une fois le projet de numérisation achevé et la phase d'exploitation lancée, les données commencent à être générées en continu. Il faut alors veiller à la bonne maintenance des capteurs pour qu'ils fournissent des données de qualité, que les calculs qu'elles serviront à produire soient corrects et l'exploitation des

données devra être l'adéquate afin de prendre les meilleures décisions ou d'appliquer les prescriptions, et que celles-ci soient mises en œuvre.

Le coût que suppose le développement du projet, ainsi que le coût de la maintenance des capteurs et des communications, devront être compensés par le fait de disposer en continu de données à différents endroits. Avoir deux données par campagne ou disposer d'une donnée toutes les heures sont deux façons de travailler totalement différentes. On dit que la transformation numérique est à 80 % une transformation et à 20 % numérique. Dans tout processus de numérisation, il faut garder à l'esprit **la gestion du changement chez les personnes**.

Quelques recommandations concernant la phase d'exploitation des données :

- Il est nécessaire de former les techniciens et d'accompagner les agriculteurs dans l'utilisation des outils numériques, ainsi que sur les questions liées à l'agriculture irriguée.
- Les décisions sont prises sur la base des données. Il faut s'assurer que les capteurs produisent des données de qualité et qu'elles soient représentatives de la variable qu'ils surveillent.
- La numérisation n'est pas une fin en soi, mais un moyen d'assurer une amélioration continue des processus. L'objectif n'est pas de produire des données, mais de s'assurer que celles-ci nous permettent de prendre les meilleures décisions pour être plus efficaces dans l'utilisation des différentes ressources (eau, énergie, engrais, produits phytosanitaires). Il est important d'identifier des indicateurs qui permettent de surveiller les variables sur les tableaux de bord.
- Capacité à combiner ses propres données avec d'autres données ouvertes ou issues d'espaces de données. Nous devons passer de la donnée à l'information, puis de l'information à la connaissance.
 - Les administrations publient de plus en plus de données en libre accès et de meilleure qualité sur chacune des campagnes d'irrigation.
 - Le Plan de relance, de transformation et de résilience (*PRTR*) espagnol encourage la numérisation du cycle de l'eau et l'utilisation d'espaces ouverts dans chacun des secteurs verticaux.
- L'exploitation des données doit améliorer la transparence en matière de gestion de l'eau.

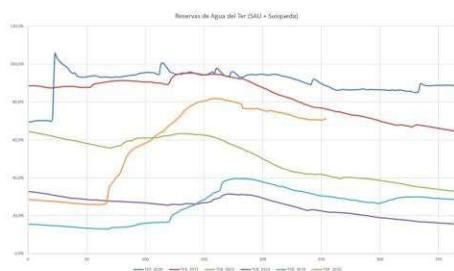
6.3. Exemples de réussites et d'apprentissage

6.3.1. Exemple de réussite. La zone irriguée du Baix Ter (Catalogne)

La zone du Baix Ter présente une série de caractéristiques (voir figure 14) qui en font un exemple de réussite à partager avec d'autres zones qui souhaitent se transformer pour améliorer la gestion de l'eau à l'aide de la numérisation.

- **Épisode récent de déficit hydrique.** Le bassin du Ter a connu, en 2023 et en 2024, la sécheresse la plus importante des 100 dernières années en Catalogne, cela a fortement conditionné les deux campagnes d'irrigation. Alors que d'autres années les réserves des barrages du bassin du Ter étaient, en été, supérieures à 80 %, ces deux années, elles étaient inférieures à 40 %. Cette situation peut s'expliquer par le changement climatique, mais aussi par des changements dans l'utilisation des sols (augmentation de la superficie forestière, ce qui réduit les apports), l'augmentation de la population, permanente (résidentielle) ou occasionnelle (touristique), ou encore par de nouvelles demandes (centres de données, hydrogène, usages récréatifs, etc.). Le fait d'enregistrer un épisode de sécheresse extrême devrait contribuer à sensibiliser le secteur au fait que l'eau est une ressource qui peut devenir de plus en plus rare.

- **Réalisation des travaux de modernisation.** Dans le cadre du Plan de modernisation des systèmes d'irrigation du ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, actuellement mis en œuvre par la SEIASA, une centaine de projets sont en cours dans toute l'Espagne. Il est indispensable que l'Assemblée générale des Communautés décide de faire avancer le projet de modernisation, grâce à des leaders qui encouragent le changement. Suite à l'épisode de sécheresse, les communautés d'irrigants du barrage de Colomers et du Molí de Pals ont entrepris leur modernisation.
- **PERTE Ensemble du Conseil central des usagers du Baix Ter.** Ce Conseil central des usagers regroupe, entre autres, les quatre communautés d'irrigants du Baix Ter, qui ont présenté une candidature commune lors du premier appel à projets du PERTE et dont le dossier a été l'un des mieux notés. L'un des défis à relever est la modernisation multidisciplinaire. Le fait que les 4 communautés d'irrigants se soient regroupées, tirant ainsi parti des économies d'échelle, leur a permis d'accéder aux aides à la numérisation.
- **Modernisation et numérisation différenciées selon la culture.** Dans ces communautés d'irrigants, il y a deux types de cultures distincts. Les parcelles de l'appellation d'origine protégée *Manzana de Girona* (pommes de Gérone) sont dotées de systèmes d'irrigation modernisés et numérisés, tandis que les cultures extensives de luzerne ou de maïs ont des systèmes d'irrigation traditionnels. C'est l'un des exemples les plus clairs de la manière dont la rentabilité des cultures conditionne le degré de modernisation et de numérisation au niveau de la parcelle.
- **Mas Badia, centre de recherche du Baix Ter dédié à l'amélioration de la gestion de l'eau.** Pour favoriser l'innovation, il est très utile que les agriculteurs puissent observer les projets pilotes sur des parcelles et dans des situations qu'ils connaissent, cela crée une proximité entre les agriculteurs et les chercheurs des projets pilotes. Le centre Mas Badia se situe dans le Baix Ter, c'est ici qu'a été mené le projet pilote du Jumeau numérique pour l'irrigation des pommiers. C'est un des huit exemples que l'IRTA (*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries*) souhaite intégrer dans les Agrolabs numériques.



Sequia Registrada 2023-2024 (CC + C Usos suelo)

MEMORIA TÉCNICA PARA LA CONCURRENCIA COMPETITIVA PARA LAS AYUDAS PERTE DE DIGITALIZACIÓN DEL CICLO DEL AGUA. ORDEN TED/918/2023. JUNTA CENTRAL D'USUARIS D'AIGÜES DEL BAIX TER (JCUABT)



PERTE conjunto 4 CCRR (Tecnificación)

El MAPA ejecuta obras por valor de 43,3 millones de euros para ahorrar agua en regadíos de Girona



• Las comunidades de regantes de Presa de Colomers y del Bosc del Molí de Pals contarán con un sistema digitalizado de riego para mejorar la eficiencia hídrica.
• Las actuaciones beneficiarán a 1.274 familias que cultivan 5.492 hectáreas.

Modernización CCRR



Digitalización diferencial (Valor cultivo)



Centro de investigación IRTA

Figure 14. Synthèse graphique de cinq caractéristiques de la zone irrigable du Baix Ter.

6.3.2. Exemple de réussite. Projet A3P (Anticipation, Planification et Pilotage des Prélèvements d'eau pour l'agriculture) de l'INRAE, en Nouvelle-Aquitaine, France.

L'objectif de ce projet était d'adapter au changement climatique les systèmes agricoles d'irrigation de zones pilotes, situées dans les Pays de la Loire et en Nouvelle-Aquitaine, grâce à un service numérique d'aide à la décision. Pour ce faire, on a eu recours à la modélisation agronomique et hydrologique, à l'intelligence artificielle et à l'imagerie satellite. Cela permet d'anticiper les changements dans les ressources en eau et d'ajuster les stratégies collectives d'irrigation en temps réel.

L'impact attendu de ce projet s'articule autour de trois points clés :

- L'optimisation des prélèvements d'eau.
- La réduction des conflits liés à l'utilisation de l'eau.
- L'amélioration de la durabilité des systèmes d'irrigation.

Budget : 4,5 millions d'euros sur 5 ans (France 2030, géré par Bpifrance).

6.3.3. Exemple de réussite. Intervention pour l'effic de l'eau (IEA) au Portugal

Au Portugal, une mesure agro-environnementale a été mise en place dans le cadre du Plan de développement rural (2015-2022) et du Plan stratégique de la PAC (2023-2027) afin de soutenir et d'encourager l'utilisation efficace de l'eau dans l'irrigation des cultures.

En résumé, cette mesure agro-environnementale accordait une aide financière annuelle, calculée en fonction de la surface, du type d'irrigation et des groupes de cultures irriguées, moyennant quoi l'agriculteur s'engageait à respecter certaines exigences, à savoir : utiliser des compteurs, élaborer des programmes d'irrigation, utiliser des capteurs pour surveiller l'état hydrique du sol et des plantes, et utiliser des images *NDVI* et des audits des systèmes d'irrigation.

Les irrigants qui ont souscrit à cet engagement ont réduit l'allocation d'irrigation par culture d'au moins 7,5 % par rapport à la situation de référence définie dans les tableaux d'allocation d'irrigation de la Direction générale de l'agriculture et du développement rural (*DGADR*).

Cet ensemble d'exigences a favorisé la numérisation des activités de gestion de l'irrigation des cultures, avec pour objectif principal d'obtenir des avantages environnementaux directs grâce à une meilleure gestion des ressources en eau, cela leur a permis de réaliser des économies substantielles en matière de consommation d'eau d'irrigation, en améliorant l'efficacité de l'irrigation, en encourageant à réutiliser l'eau (*ApR*), comme source d'eau alternative, cela a contribué à améliorer la qualité de l'eau grâce à une gestion plus rationnelle des engrais et cela a renforcé la résilience des systèmes agricoles face à la pénurie d'eau et au changement climatique.

6.3.4. Cas d'apprentissage. La numérisation produit des données 24 heures sur 24, 7 jours sur 7

Nous tenions à partager un exemple de réussite qui a aussi été un cas d'apprentissage pour nous permettre d'avancer sans répéter les mêmes erreurs dans d'autres zones irriguées.

On a observé dans certaines communautés d'irrigants que, bien qu'elles soient modernisées et numérisées et bien qu'elles puissent disposer de données horaires/quotidiennes, elles se limitent à consulter, à l'aide d'une photo du compteur, uniquement les relevés de début et de fin de campagne, afin de déterminer le volume à facturer.

L'un des principaux avantages de la numérisation est que l'ensemble des capteurs produit des données 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Le fait de disposer de ces informations permet d'ajuster les doses d'irrigation, d'optimiser les périodes d'irrigation, d'identifier les fuites d'eau, etc.

La condition nécessaire pour que les projets de numérisation puissent aller de l'avant et que les données dégagent de la valeur est que, tant les communautés d'irrigants que les exploitations, **aient le niveau de technicisation adapté à chacun de leurs besoins.**

7. PLANS D'ACTION

Inspirés par la stratégie Smart Green Water, les territoires qui encouragent la numérisation de leurs systèmes d'irrigation devront définir et déployer des plans d'action spécifiques. Ces plans doivent s'adapter aux caractéristiques et aux besoins de chaque territoire, et s'articuler progressivement en quatre phases : la mise à jour du diagnostic territorial en premier lieu, la définition des actions en fonction des objectifs stratégiques en deuxième lieu, la formation aux technologies numériques en troisième lieu, et enfin, la diffusion et l'adoption des technologies numériques dans le secteur de l'irrigation.

7.1. Phase 1. Actualiser le diagnostic territorial

Une fois la stratégie de numérisation Smart Green Water définie de manière générale pour l'ensemble du territoire Sudoe, il convient de mettre à jour/d'élargir/de préciser le diagnostic territorial pour une région donnée. Les régions sont les principales destinataires de cette stratégie.

Il faut identifier l'intensité de chacun des facteurs, obstacles et moteurs, qui auront été définis à partir des analyses SWOT et PESTEL, pour le cas particulier de chaque région pour laquelle on entend définir un plan d'action.

Une fois qu'on a identifié les lacunes et les points forts en matière de numérisation de l'irrigation, il faut évaluer et hiérarchiser **les objectifs généraux et spécifiques** de travail en vue de promouvoir la numérisation de l'irrigation.

Le tableau suivant (tableau 5) présente quelques éléments qui, à titre d'exemple, peuvent aider à caractériser la phase de promotion de la numérisation et, par conséquent, à définir les objectifs généraux.

Tableau 5. Proposition d'objectifs et d'indicateurs pour la phase de promotion de la numérisation de l'irrigation.

Objectifs de promotion de la numérisation	Indicateurs pour la promotion de la numérisation
1. Des leaders qui encouragent le changement	Enquête d'opinion qualitative
2. Modifications législatives qui favorisent le changement	Textes législatifs en faveur de la numérisation
3. Aides ou financements	Appels à projets d'aides la numérisation Mesures de financement de la numérisation
4. Techniciens ayant une formation interdisciplinaire	Diplômés ayant un lien direct avec l'irrigation Programmes d'études supérieures adaptés
5. Relève générationnelle et fidélisation des talents	Âge moyen des exploitants Mise en place de programmes spécifiques
6. Journées de démonstration sur les technologies numériques disponibles	Répartition territoriale Nombre de journées Profil des participants
7. Connaissance des caractéristiques des différents outils technologiques	Nombre de plateformes de diffusion Nombre d'événements de diffusion

Tableau 5. Proposition d'objectifs et d'indicateurs pour la phase de promotion de la numérisation de l'irrigation. (suite)

8. Informations numérisées et structurées	Coût de l'eau d'irrigation (€/m³) Utilisation de la télégestion dans l'irrigation (ha et % du total) Utilisation de tarifs binomiaux (ha et % du total) Utilisation d'eau recyclée/dessalée (Hm³ et % du total)
9. Sensibilisation au fait qu'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau est nécessaire	Enquête d'opinion qualitative Degré d'intensification des cultures
10. Mise en œuvre d'infrastructures de modernisation	Modernisation des systèmes d'irrigation existants (ha) Nouveaux systèmes d'irrigation (ha)
11. Systèmes de communication au service de l'irrigation (systèmes et réseaux de données, interopérabilité...)	Couverture des surfaces irrigables par GPRS (%) Couverture des surfaces irrigables par NB-IoT/5G (%)

Il convient de définir, pour chaque territoire, les indicateurs qui permettront de suivre l'évolution de la numérisation de l'irrigation. Ces indicateurs doivent être définis de manière à permettre d'interpréter le degré de réalisation de l'objectif visé, tout en étant faciles à compiler, quantifiables dans le temps et par rapport aux objectifs.

7.2. Phase 2. Définition des actions par objectifs

Une fois que l'on a défini et hiérarchisé les **objectifs généraux et spécifiques** pour la promotion de la numérisation de l'irrigation, il faut définir les **actions** concrètes nécessaires pour atteindre ces objectifs. L'expérience en matière de numérisation du cycle de l'eau montre que **ce processus doit être abordé de manière progressive, en donnant la priorité aux phases de promotion et de préparation avant de lancer les projets de numérisation.**

Ces actions devront s'adapter aux caractéristiques et aux besoins spécifiques de chaque région du territoire Sudoe et elles devront permettre de, progressivement, mettre en œuvre la stratégie Smart Green Water à l'échelle régionale.

Les actions pour chacun des objectifs doivent être hiérarchisées, budgétisées et réparties géographiquement en fonction de chaque territoire. Pour chaque action, nous aurons besoin des informations suivantes :

- Description de l'information.
- Mesures à mettre en œuvre.
- Type d'action.
- Gouvernance. Entité compétente et entités impliquées.
- Budget prévu par an, pour la période d'exécution.
- Financement.
- Période d'exécution.

Évaluer ce que la numérisation apporte à l'agriculture irriguée de chaque zone doit aider à hiérarchiser les actions. En règle générale, il convient de commencer par les communautés d'utilisateurs qui supportent un coût de l'eau plus élevé, que ce soit en raison des pompes nécessaires ou parce qu'elles doivent traiter au préalable. Il est également important de cibler les zones où se trouvent des cultures à plus forte valeur ajoutée (cultures maraîchères, arboricoles, raisin destiné à la production de vin de qualité, etc.).

En matière de transformation numérique, plus que les aspects technologiques, les enjeux les plus importants sont ceux liés aux personnes, principalement sous deux angles : leur disposition au changement et leur formation interdisciplinaire.

Le tableau suivant (Tableau 6) présente les principaux objectifs de la stratégie visant à promouvoir les compétences numériques dans la gestion de l'irrigation agricole sur le territoire Sudoe. Ce sont les objectifs définis dans le IIIe Plan d'action pour la numérisation (2024-2026) du ministère espagnol de l'Agriculture, que l'on a adapté aux besoins spécifiques de l'agriculture irriguée.

Tableau 6. Structure de définition des objectifs pour classer les différentes actions, adaptée du IIIe Plan d'action pour la numérisation (2024-2026) du MAPA.

01. Gestion du changement (Transformation).	1. Sensibiliser à la nécessité d'utiliser l'eau de manière efficace.
	2. Informer des avantages de la numérisation.
	3. Favoriser le leadership pour promouvoir le changement et la communication.
	4. Introduire des changements législatifs et des modifications dans l'attribution des aides
02. Observatoire de la numérisation de l'irrigation.	1. Inventaire des besoins en infrastructures d'irrigation et de télécommunications.
	2. Approfondir la connaissance du secteur pour identifier les meilleures initiatives : prix de l'eau, tarifs binomiaux, intensification des cultures, morcellement des parcelles, etc.
	3. Suivre l'évolution de la numérisation à l'aide d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs.
03. Réduire la fracture numérique.	1. Formation interdisciplinaire et recrutement de talents.
	2. Centres de recherche et projets pilotes dans les zones d'irrigation.
	3. Journées de transfert de technologies.
	4. Amélioration de la connectivité.
	5. Communication multicanal.
04. Développement de projets de numérisation.	1. Disposer d'informations numérisées et mises à jour.
	2. Faire connaître les solutions numériques.
	3. Conseil en matière de projet de transformation numérique
	4. Ressources pour la numérisation destinées à l'administration, aux CCRR et aux exploitations.
05. Encourager à utiliser des données pour l'agriculture irriguée. Numérisation	1. Accompagnement pour apprendre à tirer parti des données.
	2. Interopérabilité.
	3. Qualité et quantité des données ouvertes.
	4. Espaces de données.
	5. Garantir la cybersécurité.

Lorsqu'on définit les actions des projets pilotes, il convient de donner la priorité à celles qui ont le plus d'impact, soit la communauté qui communique vers ses membres, ou bien la communauté qui communique vers l'ensemble de la société.

Dans certains territoires, il y a un fossé important entre le niveau technologique des projets de recherche et les pratiques courantes des administrations, des communautés d'utilisateurs ou des exploitations individuelles. L'un des principaux défis consiste à promouvoir le changement afin de réduire cet écart pour pouvoir passer de la recherche à l'innovation.

Les Services administratifs d'agriculture des différents territoires mettent à disposition de tous des données relatives au secteur. De nombreuses données sont publiées, mais il nous faut identifier les variables qui ont un lien direct avec le suivi de la modernisation de l'irrigation, et plus particulièrement avec sa numérisation.

Le plan d'action devra aborder la mise en œuvre de programmes de formation destinés aux différents profils d'utilisateurs liés à la gestion de l'eau en agriculture, depuis les personnels administratifs et les membres des communautés d'utilisateurs jusqu'aux responsables des exploitations individuelles. Nous présentons en annexe les programmes de formation adaptés aux besoins de l'agriculture irriguée.

L'un des défis pour les communautés d'utilisateurs est de savoir comment disposer de ces compétences interdisciplinaires dans les zones rurales, à un coût abordable pour ces acteurs.

Au niveau de l'irrigant individuel, il convient également de garantir cette formation/cet accompagnement afin qu'il puisse choisir les capteurs/plateformes les mieux adaptés à ses besoins, et passer de la simple collecte de données à la possession d'informations qui lui permettent de prendre les meilleures décisions.

Il faut, de plus, garantir une maintenance adéquate, tant des actifs numériques que des capteurs qui nous fournissent les données.

7.3. Phase 3 : Suivi et évaluation des résultats

Le suivi et l'évaluation garantissent que le plan d'action pour la numérisation de l'irrigation progresse de manière efficace et en accord avec les objectifs stratégiques et spécifiques. Ce processus permet de mesurer les progrès, de détecter les écarts et d'ajuster les actions en fonction des besoins réels de chaque territoire.

7.3.1. Système de suivi

Le système de **suivi des résultats du Plan d'action** doit se baser sur :

1. Des indicateurs spécifiques, définis lors de la phase de diagnostic. Les indicateurs doivent être mesurables, comparables dans le temps, faciles à obtenir et interprétables.
2. Une compilation périodique de données provenant des administrations, des communautés d'irrigants et des systèmes numériques, etc.
3. Des révisions périodiques des données et des indicateurs afin de détecter les écarts, les difficultés à atteindre les objectifs fixés, etc.
4. Évaluer la réalisation des objectifs définis et orienter la prise de décision (proposer des corrections et des adaptations des actions qui avaient été proposées au départ).

7.3.2. Indicateurs clés

Ci-après, nous proposons une liste **d'indicateurs clés** possibles **pour le suivi d'un Plan d'action** visant à la numérisation de l'irrigation dans une région spécifique. Cette proposition est formulée en termes généraux ; chaque région devra donc les évaluer et les valider afin que, sur la base des informations

disponibles et des possibilités de collecte de données, ils deviennent des indicateurs efficaces pour le suivi du plan d'action.

Ainsi, à titre indicatif, nous avons répertorié divers indicateurs clés et les avons regroupés en catégories :

1. Gestion du changement et gouvernance

- % de communautés d'irrigants disposant de plans de numérisation approuvés
- Nombre de leaders, ou de personnes de référence, formés à la gestion du changement
- Nombre de réglementations ou de modifications législatives approuvées qui favorisent la numérisation
- Degré d'acceptation du changement (enquêtes qualitatives annuelles)
- Nombre de campagnes de communication menées sur l'efficacité et la numérisation

2. Formation et réduction de la fracture numérique

- Nombre de techniciens formés, dotés de compétences numériques appliquées à l'irrigation
- % du personnel technique ayant suivi une formation interdisciplinaire homologuée
- Nombre de journées de démonstration organisées, et nombre de participants
- Nombre de centres de recherche ou de sites pilotes actifs sur le territoire
- % d'exploitations ayant bénéficié d'un accompagnement technique pour l'adoption des technologies

3. Numérisation des infrastructures et des données

- % de la surface irrigable équipée de systèmes de télégestion opérationnels
- Nombre de capteurs installés et en fonctionnement (humidité, débit, pression, climat...)
- % de communautés d'irrigants disposant d'informations numérisées et actualisées
- % d'exploitations utilisant des plateformes numériques de gestion de l'irrigation
- Volume de données générées et stockées (Go/an)
- % de données interopérables entre administrations, communautés et exploitations

4. Connectivité et systèmes de communication

- Couverture GPRS, NB-IoT et 5G sur les surfaces irriguées (%)
- Nombre d'incidents de connectivité enregistrés par trimestre
- % de capteurs connectés en temps réel
- Temps moyen de transmission des données du terrain vers la plateforme

5. Efficacité hydrique et énergétique

- Réduction de la consommation d'eau par hectare (m^3/ha)
- Réduction de la consommation d'énergie liée à l'irrigation (kWh/ha)
- % d'exploitations pratiquant l'irrigation basée sur les données
- Augmentation de l'utilisation d'eau recyclée ou dessalée (%)
- % des collectivités qui appliquent des tarifs binomiaux ou « intelligents »

6. Impact économique et productif

- Réduction du coût de l'eau pour l'utilisateur final ($€/m^3$)
- Augmentation de la valeur ajoutée des cultures dans les zones numérisées
- Retour sur investissement (RSI/ROI) des projets pilotes
- % d'exploitations qui ont constaté une amélioration de leur productivité grâce à la numérisation

7. Adoption technologique et maturité numérique

- Indice de maturité numérique de l'irrigation (échelle de 1 à 5)

- % des communautés d'irrigants qui utilisent des plateformes interoperables
- % d'exploitations qui intègrent les données des capteurs dans leur prise de décision
- Nombre de solutions numériques validées et adoptées sur le territoire

8. Maintenance et durabilité du système

- % de capteurs opérationnels par rapport au nombre total installé
- Délai moyen de résolution des incidents techniques
- Nombre de mises à jour ou de renouvellements des actifs numériques par an
- % du budget consacré à la maintenance préventive

9. Observatoire de la numérisation de l'irrigation

- Nombre d'indicateurs actualisés chaque année
- Nombre de rapports publiés par l'observatoire
- Nombre de *data sets*/ensembles de données disponibles en libre accès
- % de données validées et auditées

7.3.3. Évaluation des résultats

La procédure de suivi et d'évaluation des indicateurs du Plan d'action doit être régulière. En fonction de la capacité de production et de collecte des données, il convient de définir la périodicité des tâches de suivi du Plan d'action, qui peuvent être les suivantes :

- i. Un suivi opérationnel (trimestriel/semestriel) : mise à jour des indicateurs, contrôle de l'exécution et maintenance des actifs numériques.
- ii. Suivi stratégique (annuel) : évaluation globale du Plan, révision des objectifs et publication d'un rapport annuel.
- iii. Évaluation finale : analyse de l'impact réel du Plan à la fin de la période programmée et recommandations pour les cycles futurs.

8. LA STRATÉGIE RIS3 POUR LA DIFFUSION DES TECHNOLOGIES

Afin étendre l'utilisation des nouvelles technologies, on s'est d'abord fondés sur les systèmes d'innovation de la « triple hélice » : tout d'abord, l'université, qui se charge de la recherche fondamentale ; puis, l'entreprise, qui produit les biens et les services en vue de son montage et de son développement ; et enfin, l'administration, les services et les pouvoirs publics, en charge de la réglementation/normes, du financement et de la coordination-planification stratégique, entre autres. Mais ensuite, une quatrième « hélice » a été ajoutée, pour y intégrer la société civile : les citoyens en tant qu'usagers finaux et bénéficiaires, les canaux de communication, la sensibilisation, l'éducation, la transparence, etc.

D'autre part, si l'on tient compte du fait que les communautés d'irrigants sont des organismes rattachés aux organismes de bassin, elles pourraient être considérées comme l'une des trois « hélices » de départ. Ce qui importe réellement, c'est que la numérisation de l'irrigation se fasse en tenant compte des communautés d'irrigants et des exploitations individuelles, car elles sont les usagers finaux de la technologie. Les irrigants représentent un faible pourcentage de la société et se concentrent dans les zones rurales ; il est donc crucial d'analyser par quels canaux de communication nous pouvons atteindre ces citoyens.

Il est également essentiel de définir, sur chaque territoire, quels sont les principaux canaux de communication, les créateurs de contenu ou les personnes de référence pour faire connaître les avantages de la numérisation de l'utilisation de l'eau en agriculture. Il faut organiser des journées et diffuser des articles techniques, mais surtout des articles de vulgarisation qui permettent de passer de la recherche à l'innovation.

Dans les projets de coopération et lors des journées, comme indiqué dans l'analyse *SWOT*, il doit y avoir un équilibre entre les participants du domaine technologique et les bénéficiaires de ces technologies.



Figure 15. Catégorisation des partenaires et associés au projet Smart Green Water.

La **stratégie RIS3** (Stratégies de recherche et d'innovation pour la spécialisation intelligente) est une feuille de route régionale visant à stimuler le développement économique et la compétitivité par la recherche, l'innovation et l'entrepreneuriat, en incluant les acteurs de l'écosystème régional selon l'approche de la quadruple « hélice » (administrations publiques, entreprises, universités et société civile). L'Union européenne est à l'origine de ces documents stratégiques à échelle régionale, l'objectif étant que les investissements en recherche et innovation financés par des fonds communautaires soient cohérents et maximisent leur impact sur le développement économique et social des territoires.

Les stratégies *RIS3* sont conçues et mises en œuvre par les régions, qui définissent les priorités de « spécialisation intelligente » et les défis stratégiques de leur territoire. Parmi ces défis, l'amélioration de l'efficacité dans l'utilisation de l'eau, la transition écologique et la numérisation des secteurs productifs occupent généralement une place prépondérante.

Dans ce contexte, les territoires de l'espace Sudoe pourront adapter et aligner leurs plans d'action pour la numérisation de l'irrigation sur leurs stratégies *RIS3* respectives, de manière à ce que les actions proposées s'intègrent dans les priorités régionales en matière d'innovation, de spécialisation intelligente et de développement durable, favorisant ainsi la coopération interrégionale et la mobilisation des principaux acteurs du secteur (administration, université, centres de recherche et entreprises du secteur).

Il est jugé d'intérêt stratégique que les projets pilotes développés dans le cadre de ce projet, ou d'autres liés à la numérisation de l'irrigation, servent pour que les usagers finaux de l'irrigation de chacune des régions puissent les voir fonctionner sur des parcelles proches de chez eux.

9. ÉQUIPE DE RÉDACTION

Le présent document a été rédigé par deux ingénieurs agronomes, tous deux dotés d'une solide formation technique et d'un parcours professionnel lié à l'étude, au développement, à la modernisation et à la numérisation du secteur de l'irrigation agricole. La combinaison de leurs compétences apporte une vision globale et complémentaire, qui enrichit l'analyse et les propositions contenues dans ce document.

Ignasi Servià Goixart possède une vaste expérience dans le domaine de l'irrigation, ayant participé pendant des années à des projets de transformation et d'amélioration des infrastructures hydrauliques de Catalogne, ainsi qu'à des initiatives de numérisation visant à optimiser la gestion de l'eau et les ressources agricoles. Sa connaissance approfondie du secteur, tant d'un point de vue technique qu'institutionnel, a été essentielle pour contextualiser de manière adéquate les défis actuels et les opportunités d'innovation.

Fernando López Mariño apporte une perspective davantage axée sur le conseil stratégique, fort de son expérience dans la conception et la mise en œuvre de solutions technologiques appliquées au secteur agricole. Sa participation a permis d'intégrer des approches en phase avec les tendances actuelles en matière de transformation numérique.

La rédaction du présent document a été réalisée sous la direction technique de **Ricard Poch Masegú**, technicien de la Direction générale de l'irrigation et des espaces agricoles du Département de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de l'alimentation de la Generalitat de Catalogne.

La collaboration entre divers techniciens du secteur de l'irrigation a garanti une approche rigoureuse, équilibrée et axée sur les résultats, dans le but d'offrir un document utile à la prise de décision et à la planification d'actions futures dans le domaine de l'irrigation.

Traduction de l'espagnol au français : Cathy Arnaud de la Coopérative Koinós d'interprètes et de traducteurs.

10. DOCUMENTS CONSULTÉS

- **Stratégie RIS3.**

- [Stratégies de spécialisation intelligente de l'Espagne 2021-2027.](#)
- [Stratégie d'innovation de l'Andalousie 2020. RIS3 Andalousie.](#)
- [Stratégie de recherche et d'innovation pour la gestion intelligente de l'Estrémadure 2021-2027.](#)
- [Stratégie de recherche pour une spécialisation intelligente \(RIS3\) de Castille-et-León \(2021-2027\).](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente de Castille-La Manche. 2021-2027.](#)
- [Stratégie pour la spécialisation intelligente de la Catalogne 2030.](#)
- [Stratégie régionale d'innovation pour les Îles Baléares. RIS-3. Îles Baléares 2021-2027.](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente transfrontalière de l'Eurorégion Galice-Nord du Portugal. RIS3T. 2021-2027.](#)
- [Stratégie S3 Aragon. 2021-2027.](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente de la Navarre. Mise à jour 2021-2027](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente de la Communauté valencienne. S3-CV 2021-2027.](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente S3. 2021-2027. Madrid.](#)
- [Stratégie de recherche et d'innovation pour la spécialisation intelligente et durable de la région de Murcie 2021-2027.](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente \(S3\) de La Rioja 2021-2027.](#)
- [Stratégie de spécialisation intelligente des Canaries. RIS 3 élargie.](#)
- [Plan pour la science, la technologie et l'innovation du Pays basque 2030.](#)
- [Tableau de bord régional de l'innovation 2023. Commission européenne.](#)

- **Ministère espagnol de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.**

- Observatoire de la durabilité de l'irrigation. [Superficie irriguée et régions agricoles. Carte générale.](#) 2023.
- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. [Analyse de l'état d'avancement de la modernisation du secteur agroalimentaire espagnol.](#) Accord MAPA-Groupe coopératif Cajamar. Mai 2023.
- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. [Analyse de l'état d'avancement de la modernisation du secteur agroalimentaire espagnol.](#) Accord MAPA-Groupe coopératif Cajamar. Juin 2024.
- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. Article. [La transformation numérique dans l'agriculture espagnole.](#) Décembre 2024.
- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. Secteur Agrifood Tech. [Technologies, produits et services pour la transformation numérique du secteur agroalimentaire espagnol.](#) Décembre 2023.
- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. [Analyse des besoins et des opportunités liés à la numérisation du secteur agroalimentaire espagnol.](#) Décembre 2023.

- Observatoire pour la numérisation du secteur agroalimentaire. [Diagnostic et analyse de la situation de départ](#). Avril 2022.
- [Stratégie de numérisation](#). Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- [Ier Plan d'action 2019-2020](#). Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- [Rapport de suivi et d'évaluation du 1er plan d'action 2019-2020](#) du ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- [Ile Plan d'action 2021-2023](#) Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- [Rapport de suivi et d'évaluation du Ile Plan d'action 2021-2023](#) Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- [IIle Plan d'action 2024-2026](#) Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- **Ministère espagnol de la Transition écologique et du Défi démographique**
 - Arrêté [TED/918/2023](#), du 21 juillet, fixant les règles régissant l'octroi d'aides par mise en concurrence pour l'élaboration de projets de numérisation des communautés d'utilisateurs d'eau d'irrigation dans le cadre du Plan de relance, de transformation et de résilience (PERTE numérisation du cycle de l'eau), et approuvant l'appel à projets de l'année 2023
 - Arrêté [TED/1148/2024](#), du 18 octobre, fixant les règles régissant l'octroi d'aides sur concours pour l'élaboration de projets de numérisation des communautés d'utilisateurs d'eau d'irrigation dans le cadre du Plan de relance, de transformation et de résilience (PERTE numérisation du cycle de l'eau), et approuvant l'appel à projets de l'année 2023 ; et par laquelle est approuvé le deuxième appel à subventions (2024).
- **Projets Sudoe.**
 - I-ReWater : Gestion durable des ressources en eau dans l'agriculture irriguée dans l'espace Sudoe. E 1.4.1. *Analysis of Strategies/Policies for the Use of Reclaimed Water - Sudoe Technical Report April 2025*
 - Smart Green Water. Synthèse des besoins des agriculteurs en matière de gestion numérisée de l'eau. E 1.2.1.
 - Smart Green Water. Diffusion de solutions innovantes et développement des capacités pour l'irrigation intelligente. E 1.2.2.
 - Smart Green Water. Plan de communication du projet. E 1.6.1.
 - Smart Green Water. Site web du projet. E 1.6.2.
 - Smart Green Water. Vidéo de présentation du projet SGW. E 1.6.4.
 - Smart Green Water. Newsletter du projet SGW. E 1.6.5.
 - Smart Green Water. Recommandations aux usagers (irrigants et communautés d'irrigants). E 2.5.3
 - Smart Green Water. Recommandations aux créateurs de solutions et aux prestataires de services liés à la numérisation de l'eau dans l'irrigation. E 2.5.4
- **Autres.**
 - [Site web PESTLE Analysis](#)

11. ANNEXES À LA STRATÉGIE

11.1. Annexe I. Antécédents

- Le 24 octobre 2024, le cabinet technique du Département d'agriculture, élevage, pêche et alimentation (*DARPA*) de la Generalitat de Catalogne a attribué à NTT DATA le dossier AG-2024-1609, Assistance technique pour l'élaboration du prototype de la stratégie transnationale *Smart Green Water* visant à promouvoir les compétences numériques dans la gestion des ressources en eau agricoles sur le territoire Sudoe (sud-ouest de la France et péninsule ibérique), dans le cadre du projet Interreg-Sudoe « *Smart Green Water* : diffusion de solutions innovantes et développement de capacités pour l'irrigation intelligente » (s1/1.4/f0080), cofinancé par le Fonds européen de développement régional (FEDER), dont la date d'exécution finale était le 31 décembre 2024.
- Par la suite, en avril 2025, le cabinet technique du Département d'agriculture, élevage, pêche et alimentation de la Generalitat a attribué à NTT DATA le dossier AG-2025-29, « Service d'assistance technique au personnel du *DARPA* pour l'élaboration de la stratégie transnationale *Smart Green Water* » et d'un plan d'action 2025-2030 pour la mise en œuvre de cette stratégie en Catalogne dans le cadre du projet INTERREG-Sudoe « *Smart Green Water* : Diffusion de solutions innovantes et développement de capacités pour l'irrigation intelligente ».

11.2. Annexe II. Projets Interreg Sudoe liés à l'eau

Le programme de coopération Interreg Sudoe met actuellement en œuvre 10 projets liés à l'eau pour cette période. La stratégie des différents projets liés à l'eau doit aller dans le même sens. Ces informations ont été publiées dans un article sur iAgua.

- <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/10-34-proyectos-cooperacion-acti-vos-interreg-sudoe-son-agua>
 - **ALERT-PFAS** : Stratégie transnationale pour détecter et prévenir la contamination par les PFAS.
 - **AQUAPRED** : Système de contrôle pour prévenir les risques de contamination des eaux minérales et thermales grâce à l'IA.
 - **GestEAUr** : Gestion durable et numérisée de l'eau dans les zones rurales de l'espace Sudoe.
 - **I-ReWater** : Gestion durable des ressources en eau dans l'agriculture irriguée dans l'espace Sudoe (Réutilisation des eaux usées).
 - **Phos4Cycle** : Surveillance des phosphates dans les activités agro-pastorales pour une utilisation durable des sols et de l'eau.
 - **RURAL TRANSITION LABS** : Une approche innovante et systémique d'adaptation au changement climatique.
 - **SMART GREEN WATER** : Diffusion de solutions innovantes et renforcement des capacités pour une irrigation intelligente.
 - **SOLLAGUA** : Solutions fondées sur la nature (SBN) et « laboratoires vivants » pour la réutilisation de l'eau en milieu rural

- **TARGET** : Stratégie territoriale pour gérer la pénurie d'eau
- **ThermEcoWat** : Renforcer la résilience des écosystèmes liés aux eaux thermales

Trois articles ont également été publiés sur le site web d'iagua afin de contribuer à la diffusion, auprès des acteurs du secteur de l'irrigation et de sa transformation numérique, de différentes idées du projet Smart Green Water, dans le but de les inciter à remplir un questionnaire sur les solutions numériques.

- Présentation des partenaires et associés du projet Smart Green Water.
 - <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/proyecto-smart-green-water-y-otras-relaciones-internacionales-gestion>
- Étude de caractérisation des outils numériques d'aide à l'irrigation, dans le but d'accroître la participation à l'enquête.
 - <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/sgw-botella-mar-digitalizacion-agri-cultura-regadio>

11.3. Annexe III. Mise à jour des surfaces irrigables et irriguées, d'après Eurostat (26/09/2025)

Au 26 septembre 2025, Eurostat a publié les superficies irrigables et irriguées des différents pays. Le tableau suivant présente les données pour les 3 pays de la zone Sudoe.

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ef_fsi_irri/default/table?lang=en

Quelques conclusions pouvant être tirées du tableau.

- En ce qui concerne les surfaces irrigables, aucune donnée n'est disponible pour la France, et dans le cas de l'Espagne, on constate une perte de 175 050 ha de surfaces irrigables.
- Pour ce qu'il en est de la superficie réellement irriguée, on ne dispose pas de données pour la France et, pour l'Espagne, on enregistre une perte de superficie irriguée en 2023 par rapport à 2016 de 335 250 ha, tandis que le Portugal enregistre une augmentation de 111 240 ha irrigués.
- La proportion de la superficie irriguée par rapport à la superficie irrigable se situe en Espagne entre 85% et 90% tandis qu'en France, la superficie réellement irriguée au cours des deux dernières années, pour lesquelles des données sont disponibles, avoisine les 50 %.

Tableau 11. Série chronologique des surfaces irrigables et irriguées des différents pays du territoire Sudoe
(Eurostat, 26/09/2025).

PÉRIODE	2005	2007	2010	2013	2016	2020	2023
Superficie agricole utile irriguée							
Union européenne - 27 pays (à partir de 2020)		14 980 680	14 702 960	15 345 590	15 175 550	16 159 870	
Espagne	3 765 130	3 671 340	3 617 920	3 542 780	3 597 080	3 689 050	3 514 000
France	2 706 480	2 670 340	2 341 200	2 811 440	2 690 690	2 881 700	
Portugal	616 970	583 740	540 880	551 760	548 250	614 120	637 340

Tableau 12. Série chronologique des surfaces irrigables et irriguées des différents pays du Sudoe
(Eurostat 26/09/2025) (suite)

TIME	2005	2007	2010	2013	2016	2020	2023
Superficie agricole utilisée irriguée							
Union européenne - 27 pays (à partir de 2020)		10 215 720	10 030 130	10 184 080	10 130 450		
Espagne	3 364 530	3 266 330	3 045 220	2 898 970	3 074 570		2 739 320
France	1 696 370	1 511 730	1 583 610	1 423 640	1 366 510		
Portugal	453 540	421 520	466 330	477 160	474 110		585 350

TIME	2005	2007	2010	2013	2016	2020	2023
% de terres irriguées par rapport aux terres irrigables							
Union européenne - 27 pays (à partir de 2020)		68 %	68 %	66 %	67 %		
Espagne	89 %	89 %	84 %	82 %	85 %		78 %
France	63 %	57 %	68 %	51 %	51 %		
Portugal	74 %	72 %	86 %	86 %	86 %		92 %

11.4. Annexe IV. Adaptation et mise à jour des programmes

Il est important d'adapter et de mettre à jour en permanence les programmes d'étude des ingénieurs agronomes et des autres diplômés concernés par la numérisation de l'agriculture irriguée. À titre d'exemple, voici les programmes de deux formations qui les concerne :

- La Sous-direction générale de l'irrigation, des chemins naturels et des infrastructures rurales a organisé en 2025 le Ve cours international sur la conception, la gestion et l'innovation en matière d'irrigation. Les modules de cette formation sont les suivants :
 - Module 1. Agronomie de l'irrigation. (Besoins en eau et principes fondamentaux de la fertirrigation)
 - Module 2. Principes fondamentaux de l'hydrologie et de l'hydraulique.
 - Module 3. Conception et projets de systèmes d'irrigation.
 - Module 4. Ingénierie de l'irrigation. Réseaux de distribution et bassines.
 - Module 5. Innovation en matière d'irrigation (optimisation énergétique, systèmes d'automatisation et de télécommande, télédétection, irrigation à partir de sources non conventionnelles).
 - Module 6. Évaluation environnementale des projets d'irrigation, études de sécurité et de santé, et nouvelles technologies (drones, Big Data, BIM).
- L'université de Cordoue propose un master en transformation numérique du secteur agroalimentaire et forestier (<https://digitalagri.es/>) avec les matières suivantes :
 - Matière 1. Concepts, techniques et outils pour l'analyse des données (I)
 - Matière 2. Concepts, techniques et outils pour l'analyse des données (II)
 - Matière 3. Architecture *Big Data* et *cloud computing*
 - Matière 4. Analyse du *Big Data* et super-calcul.
 - Matière 5. Systèmes *IoT* (Internet des objets) et plateformes de données
 - Matière 6. Stratégies de capteurs à distance.
 - Matière 7. Stratégies de capteurs de proximité.
 - Matière 8. Agriculture de précision.
 - Matière 9. Intelligence artificielle appliquée aux séries chronologiques

- Matière 10. Traçabilité et systèmes d'aide à la décision dans la chaîne agroalimentaire
- Matière 11. Stages en entreprise.
- Matière 12. Mémoire de fin de master.

Dans le cas des exploitations individuelles, il a également été constaté qu'un accompagnement des responsables techniques de ces exploitations était nécessaire. Plusieurs entretiens ont fait ressortir qu'il fallait rétablir les services de vulgarisation agricole qui assurent un accompagnement technique.

11.5. Annexe V. Tableau des indicateurs d'innovation régionale de l'UE (2025)

L'Union européenne dispose d'un [tableau de bord de l'innovation régionale](#) qui offre une évaluation comparative des performances en matière de recherche et d'innovation des États membres de l'UE et d'autres pays européens, à niveau régional entre 2018 et 2025. Ce tableau d'indicateurs a pour objectif d'aider les décideurs politiques à évaluer les forces et les faiblesses relatives de leurs systèmes d'innovation régionaux ou nationaux et à identifier les défis à relever. Tous les scores du RIS sont indexés sur les performances de l'UE en 2018.

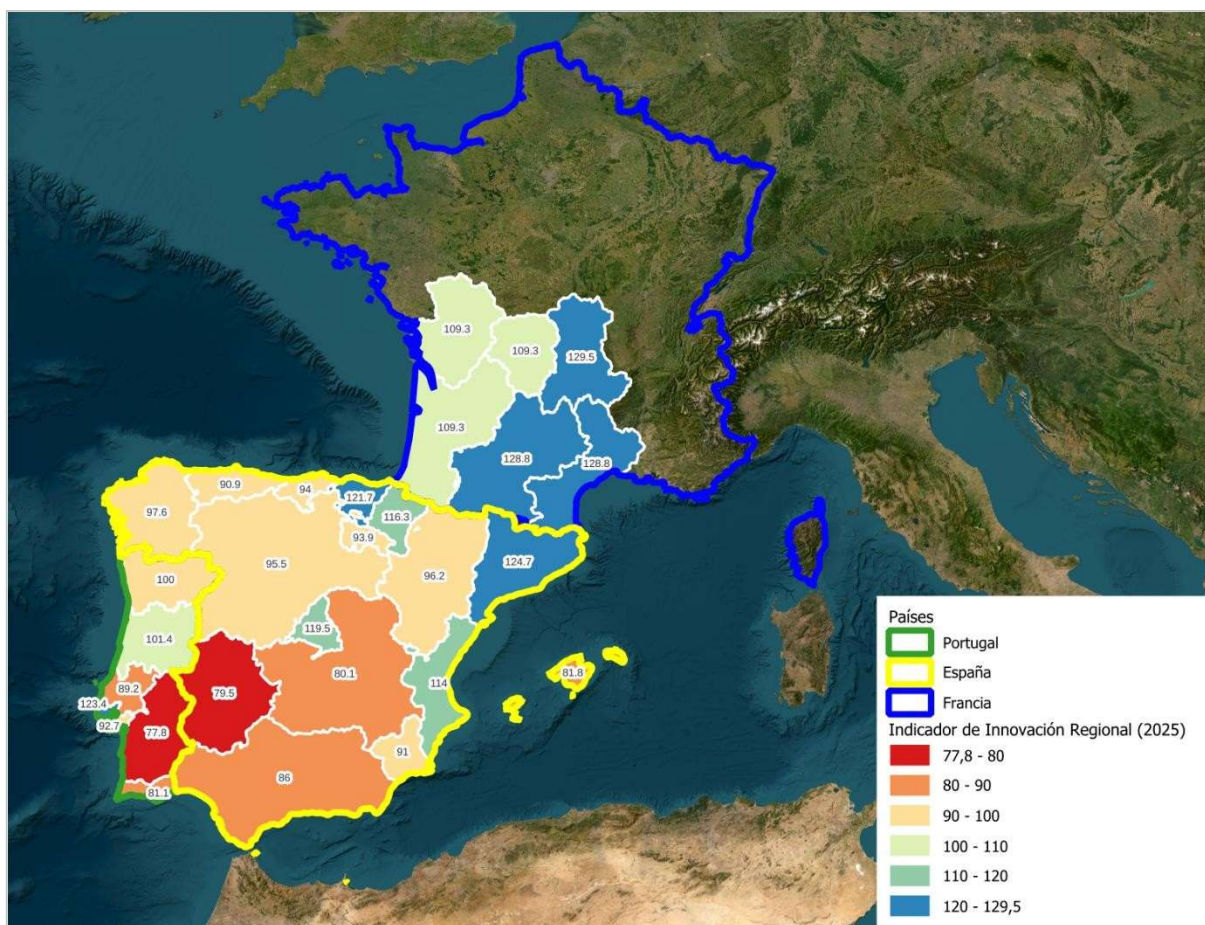


Figure 16. Tableau de bord des indicateurs d'innovation régionale du territoire Sudoe pour l'année 2025.

Ces indicateurs d'innovation régionale font référence à l'ensemble des différents secteurs économiques, qui présentent souvent des différences importantes par rapport à l'innovation mise en œuvre dans la numérisation de l'irrigation.