

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur Agronome de l'Institut
Agro Montpellier

Spécialité AgroTIC – Technologies de l'Information et de la Communication

Développement d'une application web pour mettre à
disposition les données climatiques de l'observatoire
ORACLE

par Sarah Legrand

2025

Organisme d'accueil : Chambre
Régionale d'Agriculture d'Occitanie

Maître de stage : Marine Le Moigne

Tuteur : Martin Pount



Master thesis

Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of l'Institut Agro
Montpellier

AgroTIC – Information and Communication Technologies

Development of a web application to provide access to
climate data from the ORACLE observatory

Sarah Legrand

2025

Host organization : Chambre Régionale
d'Agriculture d'Occitanie

Internship supervisors : Marine Le Moigne

School tutor : Martin Pount

Résumé

Le changement climatique impacte fortement l'agriculture en Occitanie. En effet, la température a augmenté de +1,8°C et la surface moyenne concernée par la sécheresse a triplé ces dernières années, entraînant une diminution des rendements, une pression importante sur la ressource en eau et une fragilisation des systèmes agricoles. Pour suivre ces évolutions, la Chambre Régionale d'Agriculture a mis en place l'Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE (ORACLE), qui présente des indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts agricoles depuis 2019. Dans cette nouvelle version 2025, une application web est développée, afin de faciliter l'accès aux données pour les conseillers, agriculteurs, enseignants et chercheurs.

Ce mémoire présente les étapes de conception de cette application : collecte et traitement des données climatiques, élaboration d'un dictionnaire d'indicateurs par filière, puis développement d'une interface web interactive. Cet outil intuitif permet de visualiser l'évolution du climat en Occitanie et aide les conseillers à adapter leurs recommandations aux agriculteurs en lien avec le changement climatique.

Mots clés :

Application web – Changement climatique – Données climatiques – Occitanie

Abstract

Climate change is having a significant impact on agriculture in Occitanie. In fact, temperatures have risen by +1.8°C and the average area affected by drought has tripled in recent years, leading to lower yields, significant pressure on water resources, and the weakening of agricultural systems. To monitor these developments, the Regional Chamber of Agriculture has set up the Regional Observatory on Agriculture and Climate Change (ORACLE) observatory, which presents climate, agro-climate, and agricultural impact indicators since 2019. In the 2025 version, a web application tool is planned to facilitate access to data for advisors, farmers, teachers, and researchers.

This report presents the design stages of this application: collection and processing of climate data, development of a dictionary of indicators by sector, and development of an interactive web interface. This intuitive tool allows users to visualize climate change in Occitanie and helps advisors adapt their recommendations to farmers in relation to climate change.

Key words:

Web application – Climate change – Climate data – Occitanie

Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont accompagnée et soutenue dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie sincèrement Marine Le Moigne, mon encadrante de stage, pour son accompagnement bienveillant, ses conseils avisés et le cadrage méthodologique qu'elle m'a apporté tout au long de ce travail. Son investissement et sa disponibilité ont grandement contribué à l'avancement et à la réalisation de ce mémoire.

J'adresse également mes chaleureux remerciements au service Agroécologie, Eau et Climat de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie pour leur accueil, leur intégration et leur soutien constant durant ces mois de stage. Plus largement, je remercie l'ensemble des salariés de la Chambre d'Agriculture pour leur disponibilité, leur bonne humeur et les nombreux échanges qui ont enrichi mon expérience.

Je souhaite aussi remercier tout particulièrement les conseillers avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger dans le cadre de l'analyse des besoins. Leurs retours et leur expertise m'ont grandement aidé pour la conception du dictionnaire d'indicateur et de l'application.

Je remercie également Martin Pount, mon tuteur, pour ses précieux conseils et son rôle déterminant dans la construction de ce mémoire. Son écoute, sa rigueur et ses encouragements ont été d'un grand soutien tout au long de mon travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers l'équipe pédagogique d'AgroTIC, pour la qualité de la formation dispensée, qui m'a donnée les outils nécessaires pour mener à bien ce projet.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis, pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce parcours. Leur présence a été une source précieuse de motivation et de réconfort.

Table des matières

Résumé	3
Remerciements.....	4
Table des illustrations.....	7
Table des tableaux.....	8
Table des annexes	9
Sigles et acronymes	10
Glossaire	11
Introduction	12
I. Contexte du projet.....	13
A. Présentation de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie.....	13
B. Implication de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie dans l'adaptation au changement climatique.....	13
C. Besoin des filières face au changement climatique en Occitanie	15
1. Une agriculture diversifiée en Occitanie	15
2. Les mécanismes d'adaptation des filières agricoles face au changement climatique.....	16
D. Les applications web disponibles sur le climat en agriculture.....	17
E. ORACLE : une analyse de l'évolution des indicateurs climatiques et agro-climatiques	18
II. Objectifs du projet ORACLE 2025.....	22
A. Contexte de la convention ADEME 2024/2026	22
B. Retours enquête utilisateurs 2024	22
C. Objectifs du projet ingénieur	23
1. Base de données climatiques et d'impacts par filière agricole	23
2. Dictionnaire d'indicateurs par filière et par usage	23
3. Une application web pour rendre accessible les données aux utilisateurs	24
III. Méthode	25
A. Méthodologie générale	25
B. Construction de la base de données climatiques pour ORACLE	25
1. Constitution des séries de données homogénéisées	25
2. Sélection des stations climatiques et météorologiques	27
3. Choix de la technologie pour la gestion de la base de données	28
C. Dictionnaire des indicateurs	29
1. Indicateurs climatiques	29
2. Indicateurs agro-climatiques.....	31
3. Indicateurs d'impact.....	33
4. Traitement statistique pour l'étude du changement climatique.....	34
D. Conception de l'application web ORACLE 2025.....	34

1.	Fonctionnalités de l'application.....	34
2.	Choix technologique pour l'application	35
3.	Organisation du développement et des retours utilisateurs	36
4.	Hébergement sur un serveur et maintenance	37
IV.	Résultats	38
A.	Une base de données climatique robuste.....	38
1.	Les stations climatiques et météorologiques retenues.....	38
2.	Organisation de la base de données climatique	38
B.	Un dictionnaire d'indicateurs par filière.....	40
1.	Indicateurs climatiques	40
2.	Indicateurs agro-climatiques.....	40
3.	Indicateurs d'impacts	43
C.	Une application web intuitive pour les conseillers	44
1.	Technologie sélectionnée.....	44
2.	Architecture de l'application web ORACLE 2025	45
3.	Fonctionnement général de l'application	46
4.	Détails de l'application par onglet.....	47
5.	Gestion de la programmation et du retour des utilisateurs.....	53
V.	Bilan et perspectives	56
A.	Bilan : les avancées du projet	56
B.	Perspectives : améliorations possibles	57
1.	Parties à approfondir : indicateurs et organisation du développement.....	57
2.	Améliorations de la base de données	58
3.	Maintenance et évolution de l'application	59
4.	Montée en compétence des conseillers sur le climat et intégration de l'outil dans les projets climat.....	60
5.	Reproductibilité dans d'autres régions du réseau Chambre d'Agriculture	60
	Conclusion	62
	Bibliographie.....	63
	Annexes.....	66

Table des illustrations

Figure 1 : Répartition des surfaces culturales des exploitations agricoles d'Occitanie selon les filières (Dubosc, 2023).....	15
Figure 2 : Répartition des utilisateurs d'ORACLE en 2024 (Le Moigne, 2025).....	23
Figure 3 : Schéma présentant la méthodologie générale du projet	25
Figure 4 : Explication du calcul des vagues de chaleur (Météo France, s. d.-a).....	30
Figure 5 : Maquette du livret d'indicateurs	33
Figure 6 : Couleurs de la charte graphique de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie	35
Figure 7 : Carte présentant les stations sélectionnées pour ORACLE 2025	38
Figure 8 : Structure de la base de données	39
Figure 9 : Carte mentale présentant la liste des indicateurs climatiques retenus pour ORACLE 2025	40
Figure 10 : Carte mentale détaillant les usages et les indicateurs d'arboriculture	42
Figure 11 : Extrait du livret d'indicateurs pour la viticulture.....	43
Figure 12 : Carte mentale présentant les indicateurs d'impacts retenus pour ORACLE 2025	44
Figure 13 : Schéma représentant l'architecture globale de l'application.....	45
Figure 14 : Schéma détaillant le fonctionnement global de l'application, avec pour exemple l'onglet « Agro-climatique »	46
Figure 15 : Extrait de l'onglet « Accueil ».....	48
Figure 16 : Choix du type d'indicateur climatique.....	48
Figure 17 : Exemple de graphique pour la température : Vagues de chaleur	49
Figures 18, 19 et 20 : Choix de la filière, du cépage, des usages, des indicateurs et de la période pour le nombre de jours de gel	50
Figure 21 : Exemple de graphique en viticulture : Nombre de jours de gel	51
Figures 22 et 23 : Choix du département, de la station et de l'indicateur	51
Figure 24 : Exemple de graphique pour la viticulture : Rendement annuel	52
Figure 25 : Extrait de l'onglet « FAQ »	53
Figure 26 : Structure de la base de données optimisée	59

Table des tableaux

Tableau 1 : Tableau comparatif des applications web disponibles pour décrire le climat en agriculture	18
Tableau 2 : Liste des indicateurs présents dans ORACLE 2023 triés par filière	20
Tableau 3 : Récapitulatif des différentes variables disponibles selon les sources de données	27
Tableau 4 : Nombre de stations par département selon le type de données	28
Tableau 5 : Comparatif de PowerBi et de RShiny (Microsoft, s. d.; Rshiny, s. d.).....	35
Tableau 6 : Planning de l'organisation du développement et des retours utilisateurs.....	36
Tableau 7 : Répartition des usages et nombre d'indicateurs par filière	41
Tableau 8 : Organisation de la programmation et du retour des utilisateurs réellement suivie	54

Table des annexes

Annexe 1 :	<i>Extraits d'ORACLE 2023</i>	66
Annexe 2 :	<i>Guide des entretiens semi-directifs</i>	67
Annexe 3 :	<i>Extraits de la maquette de l'application</i>	68
Annexe 4 :	<i>Extrait du planning de développement détaillé</i>	70
Annexe 5 :	<i>Détails des usages et des indicateurs par filière</i>	71

Sigles et acronymes

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AOP : Appellation d'Origine Protégée

AREC : Agence Régionale Energie Climat

COTECH : Comité Technique

CRAO : Chambre Régionale de l'Agriculture d'Occitanie

CRIEL : Centre Régional Interprofessionnel de l'Economie laitière

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

DRIAS : Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement

ETP : EvapoTranspiration Potentielle

FAQ : Foire Aux Questions

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GMQ : Gain Moyen Quotidien

IFV : Institut Français de la Vigne et du vin

IGP : Indication Géographique Protégée

Innovation R&D : Innovation Recherche & Développement

IVSO : Interprofession des Vins du Sud-Ouest

LSH : Longues Séries Homogénéisées

ORACLE : Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

ORCEO : Observatoire Régional Climat Energie en Occitanie

PEP : Pôle Economie et Prospective

PRAAC : Plan Régional d'Adaptation de l'Agriculture au Changement climatique

RMT : Réseau Mixte Technologique

SAFRAN : Système d'analyse fournissant des renseignements atmosphériques à la neige

SIQO : Signes d'Identification de la Qualité et de l'Origine

SQR : Séries Quotidiennes de Référence

THI : Indice de stress Thermique

TRACC : Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'adaptation au Changement Climatique

Glossaire

ADAPT'EAU : projet de la CRAO qui vise à évaluer les impacts du changement climatique sur les exploitations agricoles, en adaptant notamment un diagnostic de vulnérabilité initialement développé dans le Gard. Il sensibilise les irrigants aux évolutions climatiques et hydriques, et les accompagne dans la co-construction de stratégies agroécologiques pour renforcer leur résilience.

CASDAR BATCOOL (Compte d'Affectation Spécial « Développement Agricole et Rural » et Bâtiments Adaptés aux Températures élevées pour les Caprins Ovins viande et Ovins Lait) : projet auquel la CRAO participe avec la Chambre d'agriculture de l'Aveyron et l'Institut de l'élevage a pour objectif d'identifier et d'évaluer différents moyens de lutte contre le stress thermique des petits ruminants en bâtiment.

ClimaTerra : projet de la CRAO qui propose un accompagnement global de 144 exploitations agricoles en Occitanie, combinant diagnostic de vulnérabilité, propositions de solutions opérationnelles et appui personnalisé par un conseiller.

SO'ADAPT : projet mené avec l'Institut Français de la Vigne et du vin (IFV), l'Interprofession des Vins du Sud-Ouest (IVSO) et les chambres d'agriculture partenaires des vignobles du Sud-Ouest, et qui vise à identifier les zones viticoles les plus vulnérables en fonction des modes de production Appellation d'Origine protégée (AOP) ou Indication Géographique Protégée (IGP), et à définir des solutions réalistes et adaptées aux enjeux futurs.

GESTE – Reflex : projet qui développe des outils d'aide à la décision pour la gestion de l'eau à l'horizon 2050, s'appuyant sur les données climatiques du portail DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement).

Spongeworks : projet mené avec les chambres d'agriculture de l'Ariège et de la Haute-Garonne, explore la capacité des sols à retenir l'eau dans le bassin versant de la Lèze, et identifie les pratiques agricoles qui favorisent cette fonction.

ResilGame Occitanie : adaptation d'un jeu sérieux développé dans les Pays de la Loire, qui permet d'expérimenter des stratégies d'adaptation sur des exploitations fictives, représentatives des systèmes régionaux.

Introduction

Le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) 2023 confirme que le réchauffement climatique atteindra +1,5 °C en 2030 si des réductions rapides, profondes et durables des émissions de gaz à effet de serre ne sont pas mises en œuvre immédiatement (GIEC, s. d.). La hausse des températures est devenue inévitable, et s'accompagne d'impacts concrets sur les écosystèmes, les ressources naturelles et les systèmes agricoles, avec une intensification des phénomènes extrêmes tels que les sécheresses, les vagues de chaleur ou les précipitations intenses. Dans ce contexte, il devient impératif de repenser nos pratiques et nos systèmes de production, non seulement pour atténuer les émissions futures, mais surtout pour adapter nos modes de vie et nos économies aux évolutions climatiques déjà en cours (Schleussner et al., 2021).

L'agriculture étant directement dépendante des conditions climatiques, elle est fortement sensible aux variations de température, de précipitations et aux aléas extrêmes. Depuis les années 1960, la proportion de surfaces agricoles affectées par la sécheresse a significativement augmenté à l'échelle mondiale, passant de 5-10 % à environ 15-25 %, selon l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (Srivastav et al., 2021). Ainsi, si aucune adaptation n'est faite, tous ces impacts peuvent provoquer des baisses de rendement agricoles. Il est donc nécessaire d'adapter les pratiques agricoles en anticipant les événements climatiques à venir. Cela implique de développer des pratiques agricoles résilientes au climat, de repenser la gestion de l'eau, et de recourir à des outils capables d'accompagner les agriculteurs dans leurs décisions. Pour anticiper au mieux l'évolution du climat, il est nécessaire d'observer les tendances des années passées afin d'évaluer l'ampleur de ces changements et l'impact sur l'activité agricole.

En 2019, la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie (CRAO) met en place, avec le soutien de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), la construction d'un Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE (ORACLE). Ce projet, renouvelé tous les 2 ans, prend la forme d'un livret décrivant l'évolution d'indicateurs climatiques et agro-climatiques de plusieurs départements de la région à travers des graphiques et des analyses statistiques. Ainsi, cette analyse de l'évolution des indicateurs climatiques et agro-climatiques permet de construire une prise de conscience du monde agricole et ainsi d'aboutir à l'élaboration de stratégies afin de développer des systèmes agricoles résilients et adaptés. Pour la version de 2025, le déploiement d'ORACLE est souhaité à travers une application web avec des stations supplémentaires pour un maillage optimisé ainsi que de nouveaux indicateurs climatiques et agro-climatiques. Cette application permettrait de rendre compte de l'évolution du climat et de son impact sur l'agriculture de manière plus complète et plus accessible pour les utilisateurs que les précédents ORACLE.

Ce mémoire porte sur la conception de l'application web ORACLE 2025, qui met à disposition l'évolution d'indicateurs climatiques et agro-climatiques à travers toute l'Occitanie. Dans un premier temps, une explication du contexte et des objectifs du projet permettra d'introduire la problématique du sujet. Ensuite, les méthodes suivies pour la réalisation du projet seront décrites et les résultats seront détaillés et analysés. Pour finir, la méthode et les résultats seront discutés et des améliorations seront proposées.

I. Contexte du projet

A. Présentation de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie

La **CRAO** a été créée en 2016, à la suite de la réforme territoriale de 2015 qui a redéfini la carte des régions françaises, passant de 22 à 13 régions métropolitaines. En effet, cette réorganisation a abouti à la fusion des anciennes régions **Languedoc-Roussillon** et **Midi-Pyrénées**, donnant naissance à la nouvelle région **Occitanie**. Dans ce contexte, les chambres d'agriculture des deux territoires ont également été regroupées pour constituer la CRAO. Les deux sites historiques ont été conservés : **le siège d'Auzeville-Tolosane**, anciennement rattaché à Midi-Pyrénées, et **le site de Lattes**, issu de Languedoc-Roussillon. Ces deux antennes travaillent en étroite collaboration, ce qui permet d'assurer une cohérence à l'échelle régionale tout en gardant une présence sur l'ensemble du territoire.

La CRAO joue un rôle essentiel pour l'agriculture régionale. Elle agit comme **interface entre le monde agricole et les institutions publiques**, en apportant son expertise, en facilitant les échanges et en accompagnant les politiques publiques. Elle se divise en différents services : Economie et Politiques Publiques, Valorisation et promotion des produits, Elevage et Pastoralisme, Agroécologie-Eau-Climat, Productions végétales et biologiques, Innovation-R&D, développement et conseil.

La Chambre Régionale travaille sur de nombreux projets, qui reposent sur des partenariats avec d'autres organismes comme les Chambres départementales, les instituts publics (l'Agence de l'eau Adour-Garonne, ADEME etc.), les instituts techniques (ARVALIS, l'Institut Français de la Vigne et du vin (IFV) etc.) ou encore les services de l'État. **Ainsi, ces collaborations permettent de développer des actions concrètes sur des sujets majeurs comme l'adaptation au changement climatique, la transition agroécologique, la gestion de la ressource en eau ou le soutien aux filières agricoles en difficulté.**

B. Implication de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie dans l'adaptation au changement climatique

En Occitanie, le réchauffement climatique a augmenté de **+1,8°C** entre 1900 et 2020, et la **surface moyenne concernée par la sécheresse a triplé** (Réseau Action Climat, s. d.). Ainsi, la CRAO s'est fortement mobilisée au cours des dernières années pour accompagner les agriculteurs dans leurs démarches **d'atténuation** et **d'adaptation**. En effet, en 2021, la CRAO a élaboré un Plan Régional d'Adaptation de l'Agriculture au Changement climatique (**PRAAC**) dans le cadre de la coordination régionale des travaux issus du **Varenne agricole de l'eau**. Ainsi, des études de cas ciblées, à l'échelle de filières et de territoires, ont été conduites afin d'enrichir le diagnostic régional et de proposer des leviers adaptés.

La CRAO participe à plusieurs projets qui soulignent son implication dans l'adaptation au changement climatique :

- Le projet **ADAPT'EAU** (2022-2024) qui vise à évaluer les impacts du changement climatique sur les exploitations agricoles, en adaptant notamment un diagnostic de vulnérabilité initialement développé dans le Gard. Il sensibilise les irrigants aux évolutions climatiques et hydriques, et les accompagne dans la co-construction de stratégies agroécologiques pour renforcer leur résilience.

- Le projet **CASDAR BATCOOL** (Compte d'Affectation Spécial « Développement Agricole et Rural ») (2021-2025) auquel la CRAO participe avec la Chambre d'agriculture de l'Aveyron et l'Institut de l'élevage a pour objectif d'identifier et d'évaluer différents moyens de lutte contre le stress thermique des petits ruminants en bâtiment.
- Le projet **ClimaTerra** (2023-2025) qui propose un accompagnement global de 144 exploitations agricoles en Occitanie, combinant diagnostic de vulnérabilité, propositions de solutions opérationnelles et appui personnalisé par un conseiller.
- Le projet **SO'ADAPT** (2022-2025) est mené avec l'IFV, l'Interprofession des Vins du Sud-Ouest (IVSO) et les chambres d'agriculture partenaires des vignobles du Sud-Ouest, et qui vise à identifier les zones viticoles les plus vulnérables en fonction des modes de production (Appellation d'Origine protégée (AOP) ou Indication Géographique Protégée (IGP)), et à définir des solutions réalistes et adaptées aux enjeux futurs.
- Le projet **GESTE – Reflex** (2024-2026) développe des outils d'aide à la décision pour la gestion de l'eau à l'horizon 2050, s'appuyant sur les données climatiques du portail DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement).
- Le projet **Spongeworks** (2024-2028), mené avec les chambres d'agriculture de l'Ariège et de la Haute-Garonne, explore la capacité des sols à retenir l'eau dans le bassin versant de la Lèze, et identifie les pratiques agricoles qui favorisent cette fonction.
- **ResilGame Occitanie** est une adaptation d'un jeu sérieux développé dans les Pays de la Loire, qui permet d'expérimenter des stratégies d'adaptation sur des exploitations fictives, représentatives des systèmes régionaux.
- Un **recensement des leviers d'adaptation** testés par les chambres départementales est en cours, dans le cadre d'une convention avec l'ADEME Occitanie. Ce travail vise à mutualiser les retours d'expérience et en déduire les pratiques efficaces mises en œuvre sur le terrain.

Enfin, la CRAO a également exprimé sa volonté de renouveler son intégration au **Réseau Mixte Technologique (RMT) ClimA**, qui rassemble des acteurs de la recherche, du développement et du conseil autour de la question de l'adaptation au changement climatique. Sa candidature pour la période 2026-2030 témoigne d'une volonté de poursuivre la valorisation des actions menées en Occitanie, mais aussi de bénéficier des projets existants dans d'autres régions. L'intégration à ce réseau permettrait de partager les résultats du recensement régional des leviers d'adaptation, d'échanger autour de l'élaboration de narratifs climatiques territorialisés, et de contribuer aux réflexions méthodologiques sur les diagnostics de vulnérabilité (CRAO, 2025).

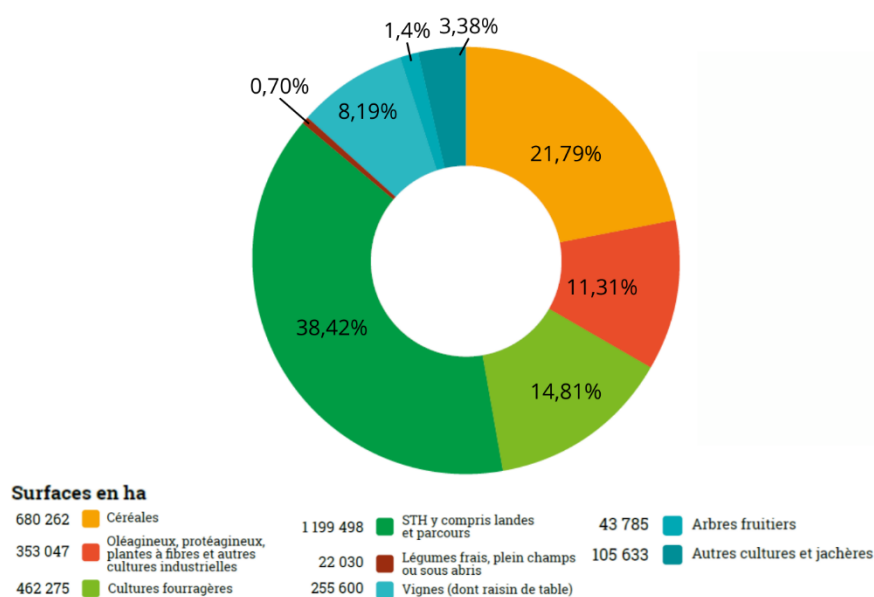
L'investissement de la CRAO dans le **changement climatique**, illustré par ces nombreux projets, témoigne des **besoins croissants de chaque filière** face aux nouvelles problématiques environnementales.

C. Besoin des filières face au changement climatique en Occitanie

1. Une agriculture diversifiée en Occitanie

Avec une superficie de 72 724 km², l'Occitanie est la **deuxième plus vaste région** de France métropolitaine. Elle se distingue par une grande **diversité** géographique, marquée par la présence des Pyrénées au sud, du Massif Central au nord, et d'une large zone de plaines entre les deux. Ce relief particulier génère une grande variété de paysages ainsi qu'un climat contrasté, influencé par la Méditerranée. Cette diversité géographique est à l'origine d'une grande diversité de productions agricoles. En contrepartie, depuis ces dernières décennies, les aléas climatiques (sécheresses, inondations, gel, vents violents, etc.) sont plus fréquents par rapport aux régions voisines.

Les secteurs agricoles et agroalimentaires occupent une place importante en Occitanie puisqu'ils représentent le **2^{ème} poste d'exportation régionale** et participent fortement à la dynamique économique locale, avec **plus de 165 000 emplois en 2020**. Avec **plus de 64 000 exploitations agricoles en 2020**, l'Occitanie est la **1^{ère} région agricole française** en nombre d'exploitations. Cette richesse est une force pour la résilience régionale, mais elle implique aussi un besoin **très hétérogène en matière d'adaptation** selon les filières et les territoires. La variabilité des productions agricoles est présentée en Figure 1: Répartition des surfaces



culturelles des exploitations agricoles d'Occitanie selon les filières (Dubosc, 2023)

Figure 1: Répartition des surfaces culturelles des exploitations agricoles d'Occitanie selon les filières (Dubosc, 2023)

Le **relief** joue un rôle structurant : les zones de montagne et de causses (Lozère et Aveyron) sont historiquement orientées vers l'**élevage herbivore**, notamment ovin viande. Les **plaines et coteaux** du Centre-Ouest (Tarn-et-Garonne, Gers, etc.) accueillent des **grandes cultures** (blé, maïs, tournesol), parfois associées à des **cultures pérennes** (arbres fruitiers,

vigne) le long des cours d'eau. Le **littoral méditerranéen**, avec son climat chaud et sec, est dominé par la **viticulture**.

Ces dernières années, **des mutations sur les orientations de production** des exploitations ont été observées. En effet, les effectifs des élevages ovins viande et ceux des exploitations en grandes cultures et maraîchage se maintiennent ou baissent nettement moins vite que les effectifs des systèmes les plus emblématiques de la région (viticulture, grandes cultures, élevages bovins et ovins lait). Cela est lié à plusieurs raisons comme le **changement climatique**, l'évolution des **modes de consommation**, les **crises sanitaires** de filières, les **politiques publiques** et les **accords commerciaux internationaux** (Dubosc, 2023).

Ainsi, si la diversité agricole de l'Occitanie constitue une force majeure pour la région, elle la rend aussi particulièrement sensible aux aléas climatiques, ce qui pose la question de l'adaptation des filières agricoles face au changement climatique.

2. Les mécanismes d'adaptation des filières agricoles face au changement climatique

En Occitanie, l'ensemble des filières agricoles (élevage, viticulture, arboriculture, maraîchage et grandes cultures) fait face à des **défis majeurs liés au changement climatique**. En effet, la fréquence croissante des sécheresses estivales, des épisodes caniculaires et des événements climatiques intenses (fortes pluies, épisodes de grêles intenses, vagues de chaleur) peut perturber différemment chaque filière. Pour l'élevage, ce sont les **systèmes fourragers** et le **bien-être animal** qui sont touchés. En viticulture, les **cycles de la vigne**, la **qualité** des raisins et le **calendrier des vendanges** sont perturbés (CRAO, 2024a). L'arboriculture et le maraîchage subissent des **irrégularités de production**, une **baisse de qualité** et une **rentabilité** compromise. En grandes cultures, les risques accrus de **stress hydrique**, **d'échaudage**, de **pression parasitaire** et de **dégradation des sols** fragilisent les rendements (Albert, 2023).

Face à ces défis, une **adaptation des modes de production** est nécessaire, autant à l'échelle des producteurs qu'à l'échelle des filières. Par exemple, pour l'élevage, cette adaptation peut se traduire par une possibilité de dessaisonnement ou une révision des cahiers des charges des Signes d'Identification de la Qualité et de l'Origine (SIQO). Cela passe également par des actions en faveur de la recherche de nouvelles ressources, de nouvelles techniques de valorisation. Des outils de gestion de crise vont être mobilisés en cas de grosses sécheresses ou d'épisodes cévenol. Enfin, la gestion de l'eau est devenue un enjeu central puisque les fortes chaleurs impliquent des besoins hydriques importants (Dubosc, 2023).

En résumé, les filières ont des objectifs prioritaires pour l'adaptation au changement climatique :

- **Adapter les bâtiments et les systèmes de production** au changement climatique pour l'élevage : face aux épisodes de forte chaleur, les bâtiments d'élevage doivent être repensés pour limiter le stress thermique des animaux, améliorer leur confort et maintenir leurs performances. Cela peut passer par une meilleure isolation, la ventilation naturelle, ou encore l'ombrage des parcours.
- **Optimiser les ressources fourragères et alimentaires** afin de pallier aux sécheresses estivales pour l'élevage : cela permet de sécuriser l'alimentation

des troupeaux face aux sécheresses estivales récurrentes. Cela implique de renforcer l'autonomie fourragère des exploitations, par l'introduction de nouvelles espèces et mélanges fourragers plus résistants à la sécheresse, le développement du pâturage tournant dynamique, ou encore le recours au pastoralisme, lorsque cela est possible (CRAO, 2024b).

- Utiliser l'**amélioration génétique** animale et végétale pour une meilleure adaptation au changement climatique : l'amélioration génétique, tant animale que végétale, constitue un levier d'adaptation important. Certaines races locales ou rustiques présentent une meilleure tolérance aux conditions climatiques extrêmes, et peuvent contribuer à la résilience des élevages. De même, le développement de variétés plus résistantes et productives en conditions sèches est essentiel.
- Un objectif de **neutralité carbone**, qui s'appuie sur plusieurs leviers : réduction des consommations d'énergie et des intrants, transition vers des énergies renouvelables dans les exploitations, optimisation logistique, valorisation des sous-produits de la vinification, mais aussi séquestration du carbone dans les sols grâce aux couverts végétaux.
- **Adapter les calendriers et les itinéraires techniques** : La précocité croissante des cultures et la variabilité interannuelle impliquent de repenser les cycles de production, les périodes de plantation et de récolte, et les systèmes de rotation, ce qui permettrait d'éviter les périodes à forte concurrence sur les marchés.
- **Anticiper et gérer les nouveaux risques agro-climatiques** en surveillant l'évolution des ravageurs, des maladies et des adventices, dont la dynamique est modifiée par le réchauffement climatique.
- Développer la **Smart Agriculture**, en mettant notamment en place des solutions basées sur l'intelligence artificielle pour appuyer la prise de décision face au changement climatique. Cela inclut aussi l'utilisation de capteurs connectés, de modélisations climatiques et de télédétection.
- **L'adaptation aux contraintes hydriques** qui passe par l'accès à la ressource en eau, la recharge hivernale des sols, l'augmentation de la matière organique des sols. Ainsi, il faudrait valoriser plus efficacement l'eau, moderniser les réseaux et augmenter les équipements des parcelles pour améliorer le pilotage de l'irrigation (Mazaleyrat, 2021).

Pour résumer, en Occitanie, les filières font toutes **face aux enjeux climatiques** et ressentent de plus en plus la **nécessité de s'adapter**, notamment en suivant l'évolution du climat afin d'adapter les pratiques agricoles.

D. Les applications web disponibles sur le climat en agriculture

Plusieurs applications web existent pour visualiser les évolutions climatiques passées et futures :

- **Climadiag** par Solagro : cet outil permet de calculer localement l'évolution **à venir** du climat, estimée à partir de la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'adaptation au Changement Climatique (TRACC), mise en place par le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. Le maillage utilisé est une grille SAFRAN (Système d'analyse fournissant des renseignements atmosphériques à la neige). C'est un système d'analyse de variables

atmosphériques à 300 m d'altitude et interpolées sur une grille de calcul régulière de 8 x 8 km (Quintana-Segui, 2008). Climadiag est un outil simple, interactif, qui propose une analyse valable pour l'élevage, les grandes cultures, le maraîchage et la viticulture. Il s'adresse aux acteurs agricoles de toute la **France** (Solagro, s. d.).

- **Agriclim** par la Chambre d'Agriculture de Bretagne : ce second outil, réalisé avec **PowerBi**, propose l'évolution **passée et à venir** d'indicateurs agro-climatiques pour toutes les filières au point de grille SAFRAN. Agriclim utilise les données du portail « DRIAS – les futurs du climat ». Cette application est valable pour **le Pays de Loire et la Bretagne** (Chambre d'Agriculture de Bretagne, s. d.).
- **Zodiac** par la Chambre d'Agriculture d'Isère : Ce dernier outil, codé avec **Rshiny**, donne accès à l'évolution **passée et à venir** d'indicateurs agro-climatiques pour le blé, le maïs et les prairies. Il est valable uniquement pour **l'Isère** (Chambre d'Agriculture d'Isère, s. d.).

Critères	Climadiag (Solagro)	Agriclim (Chambre d'Agriculture de Bretagne)	Zodiac (Chambre d'Isère)
Territoire couvert	France entière	Bretagne et Pays de Loire	Isère uniquement
Filières concernées	Élevage, grandes cultures, maraîchage, viticulture	Toutes filières agricoles	Blé, maïs, prairies
Données utilisées	TRACC	Données DRIAS (« futurs du climat »)	Données climatiques locales + projections
Maillage	Grille SAFRAN 8x8 km	Grille SAFRAN 8x8 km	
Avantages	Couverture nationale Simple et interactif Donne accès aux projections climatiques (TRACC)	Large éventail de filières Utilisation d'un outil visuel (PowerBI) Accès aux données passées et futures	Application RShiny (interactive)
Limites	Analyse assez générale, pas toujours adaptée à des besoins locaux très précis	Limité géographiquement à deux régions Dépendance à PowerBI (moins flexible qu'un développement sur mesure)	Très limité géographiquement Peu de filières couvertes (3 seulement)

Tableau 1 : Tableau comparatif des applications web disponibles pour décrire le climat en agriculture

En résumé, ces trois outils gratuits permettent une **visualisation des tendances climatiques**, passées et projetées. Néanmoins, deux de ces outils ne traitent pas de toutes les filières. De plus, Climadiag et Agriclim présentent des graphiques pour toute la France mais ne proposent **pas de spécificités régionales** pour les calculs. En effet, selon les régions, les indicateurs proposés ne s'ajustent pas aux particularités locales (variétés, seuils, pratiques). Agriclim reste à une échelle départementale **sans précision locale**. Enfin, ces trois outils présentent uniquement des **données modélisées passées et futures**, et non **des données observées** sur le terrain qui permettraient aux agriculteurs de visualiser des situations qu'ils ont vécues.

Ces limites soulignent la **nécessité de concevoir un nouvel outil, plus localisé, plus complet et mieux adapté aux spécificités agro-climatiques de l'Occitanie**. Celui-ci intégrera également des données d'impacts climatiques réellement observées. Néanmoins, les trois applications existantes pourront **servir de base et d'appui pour sa conception**. À ce jour, un **livret retraçant l'évolution des indicateurs climatiques** en Occitanie est déjà disponible.

E. ORACLE : une analyse de l'évolution des indicateurs climatiques et agro-climatiques

Afin d'observer et d'étudier le changement climatique, les chambres régionales ont créé l'Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE (ORACLE). Cet

observatoire a été mis en place pour la première fois en Nouvelle-Aquitaine en 2012, et depuis s'est étendu à d'autres régions : Normandie, Pays de la Loire, Grand Est, Centre-Val de Loire, et Occitanie.

En Occitanie, une première version de l'observatoire a été publiée en 2019, et depuis une mise à jour est réalisée tous les 2 ans. Cet observatoire s'appuie sur un ensemble d'indicateurs répartis en 5 thématiques :

- **Indicateurs climatiques** : permettent d'objectiver la réalité du changement climatique, au-delà des simples perceptions.
- **Indicateurs agro-climatiques** : mettent en lien les évolutions climatiques avec les enjeux propres à l'agriculture.
- **Indicateurs d'impacts** : cherchent à détecter si des effets du changement climatique sont déjà observables sur les productions agricoles régionales.
- **Indicateurs d'adaptation** : évaluent dans quelle mesure les agriculteurs ou les filières ont déjà engagé des changements de pratiques face aux évolutions du climat.
- **Indicateurs d'atténuation** : mesurent le potentiel de l'agriculture régionale à réduire ses émissions de gaz à effet de serre ou à augmenter le stockage de carbone.

Le dernier rapport ORACLE en Occitanie, publié en 2023, comprend au total **7 indicateurs climatiques, 21 indicateurs agro-climatiques, 9 indicateurs d'impacts, 2 indicateurs d'adaptation et 3 indicateurs d'atténuation**, détaillés dans le Tableau 2 :

Filière	Indicateurs climatiques	Indicateurs agro-climatiques	Indicateurs d'impacts	Indicateurs d'adaptations	Indicateurs d'atténuations
Toutes	Température moyenne annuelle	Rechargement hivernal	Evolution des aléas climatiques		
	Température moyenne saisonnière	Nombre maximal de jours secs consécutifs d'avril à octobre			
	Nombre de jours estivaux par an	Stress hydrique estival			
	Nombre de jours de gel par an				
	Cumul annuel des précipitations				
	Cumul saisonnier des précipitations				
Viticulture		Indice de fraîcheur des nuits du 1er août au 30 septembre	Date de franchissement des 14 degrés alcooliques sur le	Irrigation de la vigne	
		Nombre de jours de gel en avril impactant la vigne	Evolution de la date des vendanges		
		Cumul de chaleur pour la vigne du 1er avril au 30 septembre	Caractéristiques des vins rouges du Languedoc-Roussillon		
		Nombre de jours échaudants pour la vigne (entre mars et septembre)			
		Stress hydrique pour la vigne			
Arboriculture		Nombre de jours de gel en mars impactant l'arboriculture			
		Nombre de jours échaudants estivaux pour la pomme			
Grandes cultures		Nombre de jours échaudants au printemps	Rendement du blé tendre	Irrigation du tournesol	Surfaces en légumineuses
		Nombre de jours échaudants pour les céréales à paille	Rendement du blé dur		Surfaces en oléagineux
		Nombre de jours échaudants estivaux pour le maïs grain	Rendement du maïs grain		
		Nombre de jours échaudants estivaux pour le maïs semence			
		Nombre de jours inférieurs à 10°C pour le potentiel de lever du maïs			
		Disponibilité thermique du maïs semence			
		Cumul de chaleur pour les cultures dérobées			
Elevage		Cumul des pluies estivales du 1er juillet au 30 septembre			
			Rendement des fourrages		Méthanisation agricole

Tableau 2 : Liste des indicateurs présents dans ORACLE 2023 triés par filière

Ainsi, ORACLE 2023 propose un ensemble diversifié d'indicateurs, couvrant des filières variées telles que la viticulture, l'arboriculture, les grandes cultures ou encore l'élevage, mais sans inclure le maraîchage. Ces indicateurs permettent de **suivre l'évolution du climat et ses impacts concrets**, et de **mieux comprendre les réponses engagées par le monde agricole**, qu'elles soient en termes d'adaptation ou de réduction des émissions. C'est donc un outil stratégique d'aide à la décision, aussi bien pour les acteurs de terrain que pour les institutions, qui favorise une vision globale, dynamique et territorialisée de l'agriculture face au défi climatique (Bodeau, 2023). Des extraits du rapport sont présentés en 0.

Pour répondre aux besoins des utilisateurs, ORACLE est régulièrement mis à jour avec **des versions plus pratiques et plus complètes**, afin d'appréhender au mieux le changement climatique. Une version d'ORACLE sous forme d'application web permettrait de gagner en accessibilité et en praticité par rapport au livret.

En conclusion, le changement climatique impacte fortement les filières agricoles en Occitanie, et une adaptation est devenue nécessaire. Celle-ci passe par l'observation de l'évolution du climat régional. Pour cela, un livret contenant de nombreux indicateurs climatiques et agro-climatiques est conçu tous les deux ans depuis 2019 par la CRAO. L'édition de 2025, prévue sous forme d'application web, doit répondre à de nombreux critères et attentes, ce qui en définit les objectifs principaux.

Les éléments clés du contexte

- ➔ La CRAO mène de nombreuses actions en matière d'adaptation au changement climatique, en collaboration avec ses partenaires.
- ➔ La grande diversité des territoires en Occitanie accentue leur sensibilité face aux évolutions climatiques.
- ➔ Chaque filière agricole définit ses propres priorités pour faire face au changement climatique.
- ➔ Le suivi de l'évolution du climat constitue l'une des solutions privilégiées. Plusieurs applications web le permettant existent déjà, mais elles ne concernent pas spécifiquement l'Occitanie ou bien n'apportent pas une analyse locale.
- ➔ En Occitanie, ce suivi repose actuellement sur un livret d'indicateurs, mais à partir de 2025, il sera accessible par une application web.

II. Objectifs du projet ORACLE 2025

A. Contexte de la convention ADEME 2024/2026

Le projet ORACLE 2025 est régi par une convention avec l'**ADEME**, qui couvre les actions de 2024 à 2026. Depuis 2020, l'ADEME soutient la Chambre d'agriculture dans la construction d'ORACLE. Cette dynamique s'est renforcée en 2021 avec un partenariat entre la CRAO et l'Agence Régionale Energie Climat (AREC), qui a pour objectif de diffuser les données ORACLE aux territoires par l'Observatoire Régional Climat Energie en Occitanie (ORCEO) à travers des fiches profils Climat. Ensuite, à partir de 2023, un effort de communication a été engagé afin de rendre les données plus accessibles aux utilisateurs, avec l'élaboration de fiches techniques régionales par filière. La convention 2024-2026 poursuit ces objectifs avec 4 actions (CRAO, 2024c):

- Action 1 : **Mise à jour des indicateurs** de l'observatoire ORACLE en 2025.
- Action 2 : Intégration des données ORACLE dans la **formation** des conseillers, des agriculteurs ou d'un autre public en 2025 et 2026.
- Action 3 : Poursuivre l'élaboration des **fiches techniques** à l'échelle régionale en 2025-2026, développer un **outil en ligne sur le site de la CRAO** en 2025 et poursuivre la présentation de cet observatoire lors d'évènements sur les 3 ans.
- Action 4 : Renouveler le **partenariat avec l'ORCEO** sur le transfert de données climat à destination des collectivités pour la réalisation de fiches climat en 2025 et 2026.

En 2024, plusieurs avancées répondant aux actions 1 et 3 ont été réalisées dans ce projet. D'abord, concernant l'action 1, **l'ouverture du portail Open Data de Météo France** début 2024 permet d'accéder plus facilement aux données climatiques puisqu'il est libre et gratuit. Ensuite, pour l'action 3, trois présentations majeures ont permis de valoriser ORACLE : **une intervention au sein du Groupement d'Intérêt Economique (GIE)** qui a porté sur les impacts et perspectives pour les filières élevage face au changement climatique, **une présentation des impacts du changement climatique** sur les principales filières agricoles lors du **RMT ClimA**, et une présentation des données aux conseillers du projet **GESTE**.

Enfin, dans le cadre de cette convention, il a également été établi qu'un **questionnaire de retours utilisateurs** doit être envoyé aux personnes ayant téléchargé le livret ORACLE tous les ans (CRAO, 2024c).

B. Retours enquête utilisateurs 2024

Afin de comprendre davantage **les profils et les besoins** des utilisateurs, un questionnaire de retour d'utilisateurs a été envoyé à toutes les personnes ayant téléchargé le livret ORACLE 2023. Ainsi, en 2024, **113 personnes** ont téléchargé le livret sur une période de 8 mois.

39 utilisateurs ont répondu au questionnaire, qui a apporté de nombreuses informations sur leurs profils. Ainsi, les utilisateurs d'ORACLE sont principalement des **agents des chambres d'agriculture**, des **conseillers**, des **membres d'associations ou de syndicats**, ainsi que des **chercheurs** et des **enseignants**.

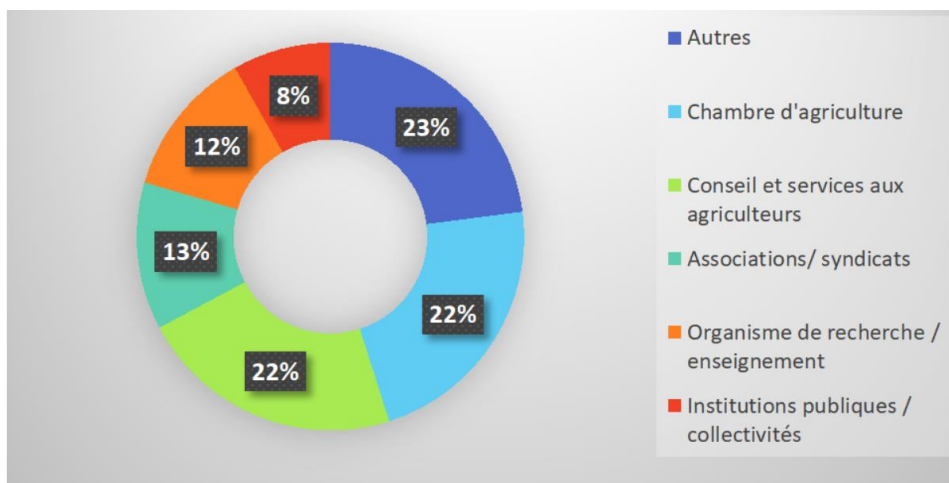


Figure 2 : Répartition des utilisateurs d'ORACLE en 2024 (Le Moigne, 2025)

Ensuite, le livret est en grande partie utilisé afin de faire des **veilles**, de la **bibliographie**, des **actions de sensibilisation** et des **études territoriales**. Enfin, parmi les suggestions d'améliorations, les personnes interrogées ont exprimé leur envie d'avoir de **nouveaux indicateurs** climatiques, agro-climatiques et d'impacts et aussi d'avoir des **fiches récapitulatives** par département ou filière. Un autre besoin exprimé est celui d'avoir une **interface web** pour visualiser les données (Le Moigne, 2025).

Cette enquête a permis de **cerner les besoins** concernant ORACLE 2025, et donc de préciser les objectifs pour sa conception.

C. Objectifs du projet ingénieur

Le développement de l'application web d'ORACLE a été jalonné par **trois objectifs principaux**, qui ont aidé à l'organisation du projet.

1. Base de données climatiques et d'impacts par filière agricole

Le premier objectif du projet ingénieur est de mettre en place **une base de données climatique et d'impacts**.

D'abord, pour la base de données climatique, les données météorologiques doivent être récupérées **sur le site de Météo-France**. De nombreuses stations météorologiques sont présentes en Occitanie, mais elles se différencient par **leur ancienneté**, par **la fiabilité** de leurs données et par la **fréquence de captation des données** (quotidienne ou mensuelle). Ainsi, pour élaborer la base de données, il faut choisir les stations utilisables, garder les données intéressantes et les rendre exploitables.

Les données d'impacts doivent être récupérées sur le site de **l'Agreste**, le service statistique du ministère de l'Agriculture. Il faut ensuite pouvoir les trier pour garder uniquement celles qui sont intéressantes, et les organiser pour pouvoir les utiliser par la suite.

Les données climatiques et d'impacts seront conservées sur un outil de gestion de données qu'il faudra choisir. Celui-ci sera très important, puisqu'il conservera des données essentielles pour caractériser les indicateurs climatiques et agro-climatiques lesquels seront définis et organisés dans un dictionnaire par filière et par usage.

2. Dictionnaire d'indicateurs par filière et par usage

Le deuxième objectif est la **réalisation du dictionnaire d'indicateurs climatiques et agro-climatiques**.

Dans un premier temps, il faut **recenser** les indicateurs climatiques et agro-climatiques, **les faire valider auprès de conseillers**, puis vérifier si les données climatiques préalablement récupérées permettent leur **calcul**.

Dans un second temps, **un livret d'indicateurs** doit être réalisé. Celui-ci permet d'avoir un support sur lequel les indicateurs sont expliqués de manière **claire et synthétique**. Pour faciliter la compréhension, les indicateurs seront **classés par filière et par usage**.

La réalisation de la base de données climatiques et d'impacts, ainsi que du dictionnaire d'indicateurs est indispensable pour la réalisation de l'application web.

3. Une application web pour rendre accessible les données aux utilisateurs

Le dernier objectif est le **développement de l'application web** qui permettra de **visualiser les données climatiques**. Cette étape nécessite d'abord le **choix d'une technologie adaptée** pour la conception de l'outil, puis le **développement de l'application** en intégrant les données climatiques et les indicateurs préalablement collectés.

L'application vise à **améliorer l'accessibilité des données en les structurant par filière et par usage**. Dans les versions précédentes d'ORACLE, les indicateurs étaient présentés de manière peu lisible et sans hiérarchisation, ce qui compliquait leur appropriation. Pour ORACLE 2025, une attention particulière sera portée à **l'organisation et à la lisibilité** des indicateurs, afin de les rendre facilement **exploitables**.

Par ailleurs, l'application offrira la possibilité de **télécharger directement les données et les graphiques**. En effet, l'application étant destinée principalement aux conseillers, aux agriculteurs, aux enseignants et aux chercheurs, il est important qu'ils puissent récupérer les données afin de se les approprier et de les réutiliser.

En résumé, ce projet vise à **actualiser l'outil ORACLE sous la forme d'une application web, en facilitant l'accès, la lecture et l'exploitation des données grâce à un système de filtrage des indicateurs par thématique**. Ainsi, la problématique de ce projet d'ingénieur est la suivante :

Comment rendre accessible de manière pratique et intuitive les données climatiques de l'observatoire ORACLE aux utilisateurs ?

Pour répondre à cette problématique, une méthodologie précise et structurée a été suivie reposant sur la construction de la base de données, le recensement des indicateurs et la conception de l'application web ORACLE 2025.

Les éléments clés des objectifs

- ➔ L'application web ORACLE 2025 est développée dans le cadre d'une convention avec l'ADEME, dont l'objectif est de mettre à jour les indicateurs et de former les conseillers.
- ➔ Une enquête utilisateurs réalisée en 2024 a souligné le besoin d'intégrer de nouveaux indicateurs et de disposer d'une version web.
- ➔ Le projet repose sur trois grands objectifs :
 - La construction d'une base de données climatique.
 - La structuration d'indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts.
 - Le développement de l'application web.

III. Méthode

A. Méthodologie générale

La conception de ce projet s'est déroulée en trois étapes, menées en parallèle et détaillées ci-dessous :

1. La construction de la base de données climatique
2. Le recensement des indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impact
3. La conception de l'application web ORACLE

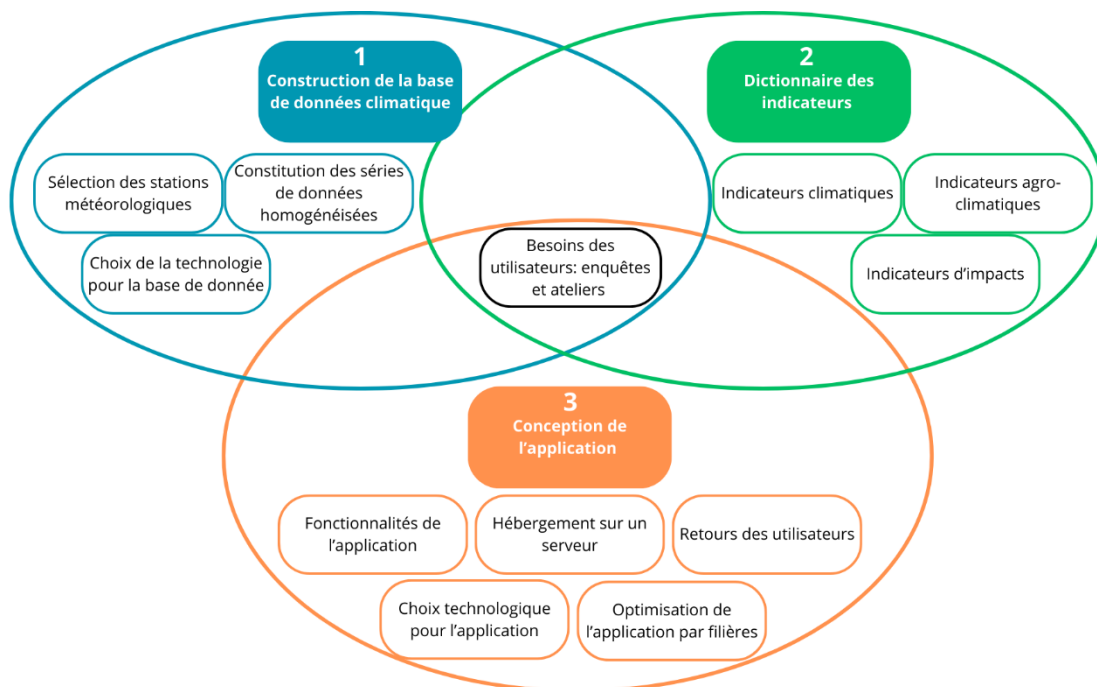


Figure 3 : Schéma présentant la méthodologie générale du projet

B. Construction de la base de données climatiques pour ORACLE

Dans les versions précédentes d'ORACLE, Météo France, partenaire de ce projet, **fournissait les données ponctuellement** par indicateur sous format Excel. Aucune base de données climatique n'avait été constituée. Dans le cadre du développement de l'application web ORACLE, il est prioritaire de **créer cette base de données climatique** pour permettre un stockage **sécurisé**, la **centralisation** des données et leur **pérennité**, pour réaliser des requêtes **rapides et flexibles** et pour les **valoriser**.

1. Constitution des séries de données homogénéisées

a) Les données de précipitations et de température

Pour étudier le changement climatique, les séries de données climatiques sont homogénéisées par Météo France. En effet, plusieurs causes peuvent affecter leur homogénéité (DRIAS, 2020): changements de l'**emplacement** du site de mesure, changements de **capteurs**, modifications de l'**environnement** du capteur ou changements du **mode de calcul**. Ces perturbations peuvent entraîner des ruptures **du même ordre de grandeur que le signal climatique que l'on cherche à caractériser**. Ainsi, prendre les séries sans les contrôler ou les corriger peut conduire à **des conclusions erronées pour l'étude du climat à long terme**.

Pour remédier à ce problème, il existe des **méthodes d'homogénéisation des données climatiques** permettant de corriger les ruptures. Deux types de séries de mesures homogénéisées existent :

- **Les Longues Séries Homogénéisées (LSH)**, qui apparaissent comme les données les plus aptes pour caractériser les évolutions climatiques. Ces séries de données **mensuelles** ont une profondeur **supérieure à 50 ans** et contiennent la **température minimale, la température maximale et les précipitations**.
- **Les Séries Quotidiennes de Références (SQR)**, qui sont utilisées pour l'étude des extrêmes à un pas de temps **quotidien**. À ce pas, l'influence des types de temps est trop forte, et les coefficients correcteurs de l'homogénéisation de la série mensuelle ne peuvent pas être appliqués aux données quotidiennes. On utilise donc le travail réalisé pour la constitution des longues séries de données homogénéisées (agrégation de postes, contrôle, homogénéisation) pour retenir les meilleures séries de données quotidiennes. La sélection est basée sur les critères suivants :
 - Le taux de données quotidiennes manquantes entre la date de fin et la date en cours.
 - L'amplitude de la plus grosse rupture (en valeur absolue) de la série mensuelle entre la date en cours et la fin de la période.
 - Le déplacement horizontal du point de mesure entre la date en cours et les dernières mesures (en km).
 - Le déplacement en altitude (en m).
 - Le code qualité en fonction du poste de mesure.

Comme les LSH, les SQR ont les données de **précipitations et de températures (minimale et maximale)**.

Enfin, de nombreuses **stations météorologiques** ont des **données quotidiennes non homogénéisées** et ne peuvent donc pas être utilisées pour une étude du changement climatique (Nouvel, 2022). Néanmoins, ces stations ont l'avantage d'avoir plus d'indicateurs, avec notamment l'humidité, le vent ou l'enneigement, et peuvent donc permettre aux conseillers des chambres d'agriculture de **décrire l'année en cours** à travers des bulletins irrigation, suivi des cultures, etc.

L'ensemble de ces données sont **disponibles sur le portail de Météo France** depuis janvier 2024. Il offre **un accès libre et gratuit** à toutes les données publiques météorologiques de Météo-France. Les données quotidiennes non homogénéisées, les LSH et les SQR sont disponibles par département sous forme de **fichier csv**. Ainsi, il est possible de récupérer toutes les données disponibles depuis 1950 pour l'ensemble des stations météorologiques d'Occitanie (Météo France, s. d.-b).

b) Les données d'EvapoTranspiration Potentielle

Les données d'**EvapoTranspiration Potentielle (ETP)** sont des données spatialisées depuis 1993 interpolées au **point de grille SAFRAN**. Ainsi, les données d'ETP sont homogénéisées et ne proviennent pas directement de stations spécifiques, mais il est possible de leur associer une station en calculant le point de grille le plus proche. L'ETP est calculé selon la méthode **Penman-Monteith**. Les données d'ETP au point de grille sont disponibles sur le portail de Météo France (Météo France, s. d.-c).

Les différentes variables disponibles selon les sources de données sont récapitulées ci-dessousci-dessusci-dessus.

Variables	LSH (mensuelle)	SQR (quotidienne)	Stations quotidiennes non homogénéisées (quotidienne)	ETP au point de grille SAFRAN (quotidienne)
Température (minimale et maximale)	Oui	Oui	Oui	Non
Pluie	Oui	Oui	Oui	Non
Vent	Non	Non	Oui	Non
Humidité (minimale et maximale)	Non	Non	Oui	Non
ETP	Non	Non	Oui	Oui

Tableau 3 : Récapitulatif des différentes variables disponibles selon les sources de données

Une fois les séries de données homogénéisées établies, il devient possible d'identifier les stations météorologiques les plus adaptées à l'étude en fonction des besoins des conseillers agricoles des chambres départementales d'agriculture. Cette sélection constitue une étape essentielle pour garantir la qualité et la fiabilité des analyses climatiques à réaliser.

2. Sélection des stations climatiques et météorologiques

a) Critères de sélection des stations climatiques

Dans le cadre de l'étude du changement climatique, il n'est pas nécessaire de disposer d'un grand nombre de stations, puisque l'objectif n'est pas de décrire le climat à une échelle locale mais **d'identifier les grandes tendances climatiques**. L'important est que chaque département soit représenté par au moins une station afin d'assurer une couverture complète du territoire pour analyser les tendances par filière agricole. Néanmoins, plus le nombre de stations est élevé, plus l'analyse gagne en précision et en fiabilité.

Les stations sélectionnées en priorité sont celles qui ont des données LSH. En Occitanie, **26 stations ont des données LSH**. Néanmoins, ces stations ne peuvent pas être utilisées pour les indicateurs nécessitant un calcul de nombre de jours puisque les données sont mensuelles. Ainsi, il est nécessaire de compléter avec les stations ayant des données SQR. **25 stations ont des données SQR**, mais certaines de ces stations ont seulement un ou deux indicateurs parmi la température maximale, la température minimale et les précipitations, ce qui empêche le calcul de certains indicateurs climatiques. Par exemple, si la température minimale est manquante, il n'est plus possible de calculer le nombre de jours de gel, puisque cet indicateur repose sur le décompte des jours où la température minimale est inférieure à 0 °C.

La répartition des stations ayant des données LSH et SQR est assez **hétérogène** selon les départements, et la Lozère n'est pas représentée. Pour remédier à ce problème, il est possible de compléter avec les **stations météorologiques quotidiennes non homogénéisées**, mais elles ne seront **pas utilisables pour une étude du changement climatique**. Le nombre de stations par types de données présentes et par département est résumé dans le Tableau 4:

Département	SQR : pas de temps quotidien	LSH : pas de temps mensuel	Données quotidiennes non homogénéisées
Ariege	2	2	141
Aude	3	3	124
Aveyron	1	1	109
Gard	7	7	153
Haute-Garonne	3	3	90
Gers	1	1	80
Herault	2	2	153
Lot	1	1	80
Lozere	0	0	104
Hautes-Pyrenees	1	1	106
Pyrenees-Orientales	2	2	124
Tarn	1	2	91
Tarn-et-Garonne	1	1	80
TOTAL	25	26	1435

Tableau 4 : Nombre de stations par département selon le type de données

Au total, il y a **25 stations SQR, 26 stations LSH et 1435 stations météorologiques quotidiennes non homogénéisées**. L'utilisation de ces dernières nécessite un tri puisque beaucoup d'entre elles ont fermé ou ont peu d'années complètes avec des données. L'étude de l'évolution du climat nécessite au minimum une suite de 30 années complètes (DRIAS, 2020).

b) Besoins des conseillers pour les stations météorologiques quotidiennes non homogénéisées

Les stations météorologiques disponibles sur le portail de Météo France présentent des **données quotidiennes non homogénéisées**. Elles ne peuvent donc pas être utilisées pour une étude du climat sur le long terme, mais ont l'avantage d'être nombreuses : 1435 stations en Occitanie, et donc de **couvrir de manière plus importante le territoire**. Elles sont destinées **aux conseillers et aux agriculteurs** qui ont des besoins à plus **court terme** et à une **échelle plus locale** pour réaliser par exemple des bulletins fourrages, irrigation, grandes cultures ou encore des diagnostics d'exploitations chez des agriculteurs.

Même si l'observatoire ORACLE vise l'étude du changement climatique, ces stations météorologiques ont été jugées intéressantes par les conseillers des chambres départementales d'Occitanie puisqu'elles leur permettraient d'avoir accès aux indicateurs pour faire des bulletins irrigations ou des analyses d'exploitations. Afin de réduire le nombre de stations, un tableau Excel contenant le nom de chaque station ayant plus de 30 années complètes consécutives a été envoyé à 13 conseillers (un par département) afin qu'ils puissent sélectionner celles qui leur paraissaient les plus pertinentes pour leur territoire.

Après avoir identifié et sélectionné les stations les plus pertinentes pour garantir l'homogénéité des données et répondre aux besoins des utilisateurs, il est nécessaire de disposer d'un outil capable de **centraliser, organiser et rendre accessible** ces données climatiques et météorologiques.

3. Choix de la technologie pour la gestion de la base de données

L'outil de gestion de base de données doit être capable de stocker un volume important d'informations, avec une capacité **d'au moins 10 Go**, tout en assurant leur **centralisation** et leur **sécurisation**. Il doit également être **facilement mobilisable** pour l'application web. Enfin, cet outil doit pouvoir permettre **l'évolution et la mutualisation** des données. Par exemple, une mutualisation avec la base de données du **PEP** (Pôle Economie et Prospective) de la CRAO pourrait être envisageable. En effet, le PEP travaille en partie sur la gestion de

données et l'analyse de données, comme des analyses statistiques ou des cartographies (CRAO, s. d.). Ainsi, une mutualisation avec le PEP permettrait de **partager plus facilement les données** entre les deux structures, **d'éviter les redondances** et de **limiter la quantité de données stockées**.

Dans ce contexte, le choix de **PgAdmin** s'est imposé naturellement, puisqu'il s'agit de l'une des seules solutions **accessibles, gratuites et qui répond à ces exigences**. En effet, PgAdmin constitue l'interface de gestion la plus couramment utilisée pour **PostgreSQL**, un système de base de données robuste, fiable et capable de traiter de grands volumes d'informations. Il permet d'effectuer facilement des requêtes, de visualiser et de manipuler les données, et de s'intégrer efficacement dans une **application web** (PgAdmin, s. d.).

Après avoir **sélectionné les données, identifié les stations** les plus pertinentes et choisi **l'outil de gestion** de la base de données, la prochaine étape consiste à définir précisément les **indicateurs climatiques et agro-climatiques** qui seront exploités dans l'application par les utilisateurs.

C. Dictionnaire des indicateurs

Comme ORACLE 2023, la version 2025 portera sur les **indicateurs climatiques, les indicateurs agro-climatiques et les indicateurs d'impacts**. Les indicateurs d'adaptation et d'atténuation ne seront pas abordés dans la mise à jour par faute de temps.

1. Indicateurs climatiques

Un indicateur climatique permet de **caractériser le climat** et d'illustrer les **effets du changement climatique**. Les indicateurs climatiques permettent d'étudier l'impact du changement climatique sur les précipitations, les températures, le gel et l'ETP. La version d'ORACLE 2023 décrit **7 indicateurs climatiques**.

Pour les indicateurs climatiques présents sur l'application web, il a été décidé de reprendre ceux présents dans ORACLE 2023 :

- **Température** moyenne annuelle et saisonnière.
- Nombre de **jours estivaux** par an : Nombre de jours avec une température maximale supérieure ou égale à 25°C.
- Nombre de **jours de gel** par an : Nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0°C.
- Cumul annuel et saisonnier des **précipitations**.
- Cumul annuel et saisonnier de **l'ETP** moyen.

Trois nouveaux indicateurs vont être ajoutés pour caractériser des événements extrêmes :

- Les phénomènes de **pluie extrêmes**, qui sont de plus en plus nombreux, en particulier sur le pourtour méditerranéen. En agriculture, ces épisodes peuvent entraîner des risques importants, tels que l'érosion des sols, le ruissellement, l'asphyxie des cultures ou encore le retard dans les interventions culturales (Liang, 2022). Ce phénomène est estimé en calculant le nombre de jours avec un cumul de pluie supérieur à 200mm. Ce seuil est paramétrable par l'utilisateur afin qu'il l'adapte à son territoire. Il permet également de calculer le volume d'eau potentiellement stockable (Météo France, s. d.-a).
- Les **vagues de chaleur**, qui sont également de plus en plus fréquentes et longues depuis les années 2000. Elles peuvent entraîner des pertes de rendement importantes, notamment dans les régions arides et semi-arides, où elles constituent, après les sécheresses, la deuxième source de risque pour les cultures.

Leur intensification prévue dans les scénarios climatiques futurs accentuera les impacts agricoles et socio-économiques (Birthal et al., 2021). Les vagues de chaleur sont détectées à partir de trois seuils de température :

- Le centile 99,5 % (seuil de déclenchement)
- Le centile 97,5 % (seuil de maintien ou seuil S)
- Le centile 95 % (seuil d'arrêt)

Un épisode de vague de chaleur commence dès qu'un jour atteint ou dépasse le seuil de déclenchement. L'épisode se poursuit tant que les jours suivants ne descendent pas en dessous du seuil de maintien, et ne comptent pas plus de 3 jours consécutifs sous le seuil d'arrêt. Un épisode est retenu s'il dure au moins 4 jours consécutifs. La sévérité de la vague de chaleur correspond au cumul des écarts de la température au-dessus du centile 97,5 % (Météo France, s. d.-d, s. d.-a).

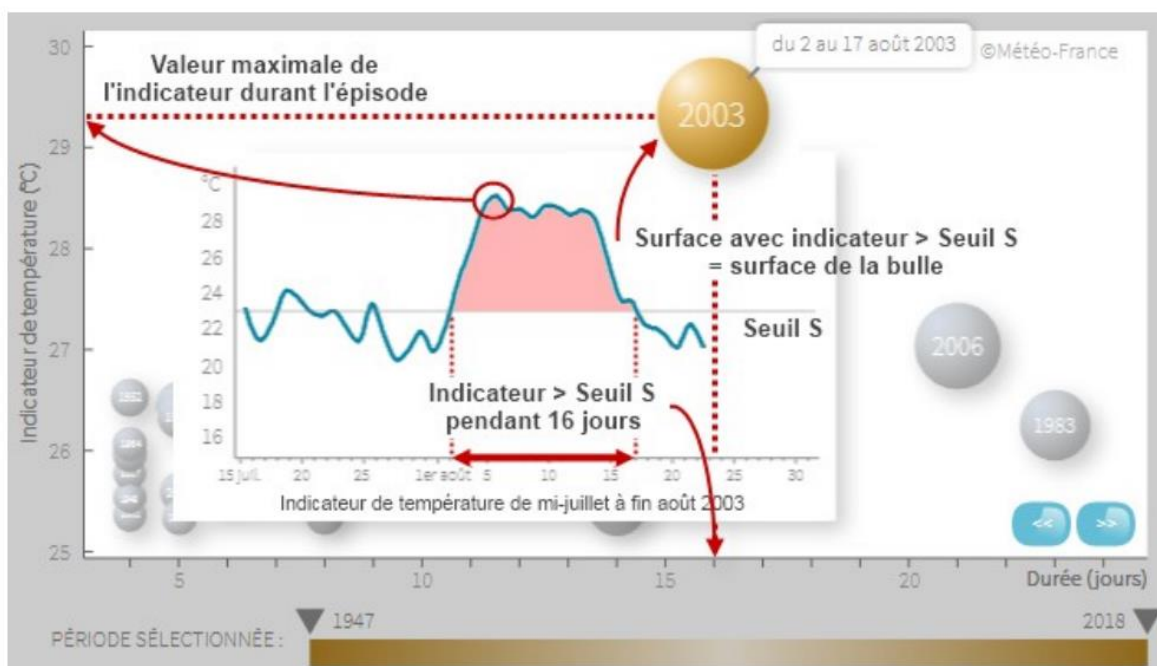


Figure 4 : Explication du calcul des vagues de chaleur (Météo France, s. d.-a)

- Les **vagues de froid**, sont moins nombreuses. Néanmoins, elles peuvent avoir des impacts importants sur l'agriculture, notamment lorsqu'elles surviennent de manière tardive au printemps. Elles exposent les cultures sensibles et les jeunes stades végétatifs à des stress thermiques pouvant entraîner des pertes de rendement. Ces épisodes perturbent également les cycles phénologiques et réduisent la disponibilité des insectes pollinisateurs ou auxiliaires, essentiels à certaines cultures (Balabukh et al., 2024). Le calcul permettant de détecter une vague de froid est le même que celui des vagues de chaleur, mais avec les seuils suivants : le centile 0,5 % (seuil de déclenchement), le centile 2,5 % (seuil de maintien) et le centile 5 % (seuil d'arrêt) (Météo France, s. d.-a).

Ainsi, les indicateurs climatiques fournissent une vision globale de l'évolution du climat en Occitanie. L'ajout d'indicateurs agro-climatiques permet de spécifier l'analyse par filière agricole.

2. Indicateurs agro-climatiques

Un indicateur agro-climatique décrit le changement climatique en lien avec les **enjeux propres à l'agriculture** sur des périodes définies selon les cultures étudiées avec des seuils de température ou de pluie définis selon la littérature scientifique. La version d'ORACLE 2023 détaille **21 indicateurs agro-climatiques**, répartis sur **toutes les filières sauf le maraîchage**.

a) Analyse des besoins par filière agricole

Dans un premier temps, afin de comprendre les besoins des conseillers des chambres d'agriculture d'Occitanie concernant les indicateurs agro-climatiques d'ORACLE, **30 conseillers** des chambres départementales d'Occitanie et des instituts techniques ont été contactés.

Parmi ces conseillers, 7 sont spécialisés en élevage, 8 en maraîchage, 8 en arboriculture, 3 en grandes cultures et 2 en viticulture. 24 conseillers viennent de Chambre d'Agricultures départementales d'Occitanie, 2 de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, un de l'IFV, un de Terres Innovia, un d'Arvalis et un de l'Institut de l'Élevage. Finalement, **12 d'entre eux ont accepté de réaliser l'entretien** (4 en élevage, 2 en maraîchage, 3 en arboriculture, 2 en viticulture et 3 en grandes cultures).

Ces entretiens **semi-directifs** ont duré environ une heure. Ils se déroulaient à distance et un seul conseiller était interrogé à la fois. Les informations étaient prises en note. Chaque entretien débutait avec une **présentation générale** du projet. Les conseillers ont ensuite été interrogés sur **leur avis concernant ORACLE 2023**, notamment concernant les indicateurs s'y trouvant. Puis, **une analyse détaillée des indicateurs agro-climatiques** envisagés pour ORACLE 2025 a été menée. Les conseillers ont été invités à donner leur avis sur les indicateurs proposés, en particulier sur les périodes et les seuils retenus, et **à suggérer de nouveaux indicateurs** afin d'enrichir le dictionnaire. Les questions sont détaillées en Annexe 2 :

Ainsi, cette analyse des besoins a d'abord permis de confirmer les besoins de **changer de format** pour le livret et **d'ajouter des indicateurs**, qui ont été évoqués par 9 conseillers. En effet, le livret d'indicateurs ORACLE 2023 n'étant classé ni par filière ni par usage, il est difficile d'y retrouver rapidement un indicateur précis et son utilisation demande un temps d'adaptation. **Le faible nombre d'indicateurs présents dans le livret, le manque de la filière maraîchage**, ainsi que la **couverture limitée en stations météorologiques** ont également été évoqués. Les entretiens ont permis de **définir plus précisément les usages** pour toutes les filières, de **sélectionner les espèces ou les cépages** et de préciser les **indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impact**. Globalement, les conseillers se sont montrés **très intéressés par la création d'ORACLE 2025**, considérant l'outil comme un support pertinent pour le conseil ainsi que pour la sensibilisation au changement climatique. Ils se sont également montrés **enthousiastes** à l'idée d'avoir un outil mettant à disposition un grand nombre d'indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts.

b) Recensement des indicateurs et structuration du dictionnaire

Le recensement des indicateurs agro-climatiques a été réalisé à partir de cinq sources différentes :

- **ORACLE 2023**
- **Climadiag**, outil de Solagro qui permet de calculer localement l'évolution à venir du climat, estimée à partir de la TRACC.

- **Agriclim** de la Chambre d'Agriculture de Bretagne, qui propose l'évolution passée et à venir d'indicateurs agro-climatiques pour toutes les filières à l'échelle départementale.
- **Entretiens semi-directifs** avec les conseillers.
- **Ateliers** lors de réunions : des ateliers interactifs ont été organisés dans le but de recenser les indicateurs agro-climatiques et d'impact. En effet, un Comité technique (**COTECH**) a été organisé le 13 mai et a regroupé des conseillers de chambre d'agricultures départementales d'Occitanie, ainsi que des conseillers de Terres Innovia, de l'IFV et de l'Institut de l'Elevage. Une réunion du **groupe métier climat** regroupant des conseillers de chambre d'agricultures départementales d'Occitanie a eu lieu deux semaines plus tard. Chaque réunion a débuté par une présentation d'ORACLE 2025 et des avancées déjà réalisées, suivie d'un atelier : le dictionnaire d'indicateurs, présenté sous forme de carte mentale, servait de support pour des discussions par filière afin de proposer des ajouts ou modifications. Un temps de restitution collective a ensuite permis de synthétiser les propositions. Ces deux réunions ont contribué à enrichir le dictionnaire d'indicateurs et à confirmer les besoins identifiés lors des entretiens.

Les indicateurs sélectionnés sont **triés par filière**, puis regroupés **par usage** au sein de chaque filière. Ces **usages** sont des applications concrètes des indicateurs pour les agriculteurs, comme la gestion du semis, la gestion du gel, la gestion de la récolte, etc. Cette organisation offre à l'utilisateur une structure claire, qui lui permet d'accéder rapidement et de manière intuitive à l'indicateur qu'il souhaite.

L'ensemble des indicateurs sélectionnés est présenté dans un livret organisé par filière pour les utilisateurs. Chaque filière sera introduite par une présentation du cycle de l'espèce concernée, avec une mise en correspondance des indicateurs et des étapes clés du cycle. Ensuite, chaque indicateur fera l'objet d'une fiche dédiée, construite selon une structure commune :

- Nom de la filière, de l'usage et de l'indicateur
- Clé de lecture de l'indicateur : explication simple de l'indicateur et de l'intérêt de son étude
- Calcul de l'indicateur : détail de la méthode de calcul utilisée pour analyser son évolution dans l'application
- Seuils paramétrables : explication des seuils qui pourront être modifiables par l'utilisateur dans l'application
- Exemple de graphique présent dans l'application



Figure 5 : Maquette du livret d'indicateurs

Ainsi, les indicateurs agro-climatiques donnent une vision modélisée de l'évolution du climat. L'ajout d'indicateurs d'impact permettrait de connaître l'évolution du climat constatée sur le terrain.

3. Indicateurs d'impact

Les indicateurs d'impacts permettent **une vision plus concrète du changement climatique** puisqu'ils décrivent des évolutions réellement observées et non modélisées comme le font les indicateurs climatiques et agro-climatiques. Ils cherchent à identifier si l'agriculture régionale subit déjà des effets perceptibles du changement climatique.

Les sources des indicateurs d'impacts sont issues des données d'**Agreste**. Les données disponibles sont les **rendements, entre 2010 et 2023**, pour plusieurs espèces ou cultures, selon les filières et à l'échelle départementale et régionale. Pour l'élevage, les **productions de lait** entre 2010 et 2023 sont disponibles pour plusieurs espèces (Agreste, s. d.).

Par ailleurs, en viticulture, l'IFV et la Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales ont fourni des données de **stades phénologiques**. L'IFV a transmis les dates de débourrement, de floraison, de véraison et de récolte du cépage Colombard du château de Mons dans le Gers. La Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales a donné, quant à elle, les dates de débourrement observées dans le département pour dix cépages différents.

En conclusion, les indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts permettent une description complète de l'évolution du climat, et de son impact sur les filières agricoles.

Afin de mieux comprendre ces évolutions et d'identifier les tendances de long terme, un traitement statistique a ensuite été réalisé.

4. Traitement statistique pour l'étude du changement climatique

Afin d'étudier l'effet du changement climatique sur les différents indicateurs, une étude statistique a été réalisée. Dans un premier temps, une **moyenne glissante sur 11 ans** est calculée pour lisser les variations interannuelles. Pour chaque année considérée, la moyenne des valeurs observées au cours des cinq années précédentes et des cinq années suivantes est prise en compte. Lorsque la fenêtre n'est pas complète, en début ou en fin de série, la moyenne est calculée avec les données disponibles, afin d'éviter une rupture de la moyenne glissante. Cette approche met en valeur une tendance générale sur le long terme. Dans un second temps, la significativité de cette tendance est calculée avec un test de **Mann-Kendall**. Celui-ci permet de détecter une tendance monotone dans une série temporelle sans supposer une distribution particulière. Contrairement au test de Student utilisé dans ORACLE 2023, ce test non paramétrique ne repose pas sur des hypothèses de normalité, d'indépendance ou d'homoscédasticité des résidus, qui sont souvent difficiles à vérifier sur des séries temporelles climatiques. Il permet ainsi de détecter de manière robuste l'existence d'une tendance monotone dans les données, sans imposer un modèle prédéfini (linéaire ou polynomiale). Ce choix méthodologique sécurise l'interprétation statistique, notamment dans le cas où la structure des résidus ne permettrait pas de valider les conditions nécessaires à l'application d'un test de Student. La tendance est considérée comme significative lorsque la p-valeur du test est inférieure à 0,05. Toutefois, ce test ne fournit pas d'information sur l'ampleur de la tendance, mais uniquement sur son existence (Güçlü, 2018).

Pour conclure, le dictionnaire d'indicateurs, combinant **indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts**, fournit une **base complète pour analyser l'évolution du climat et ses effets sur les filières agricoles**. Ces éléments constituent la base essentielle sur laquelle s'appuie le **développement de l'application web**, permettant de rendre les informations accessibles, interactives et directement mobilisables pour les conseillers agricoles.

D. Conception de l'application web ORACLE 2025

1. Fonctionnalités de l'application

L'application web doit répondre à plusieurs problématiques qui ont été décrites par **8 conseillers** lors des entretiens réalisés dans le cadre de l'analyse des besoins réalisée pour les indicateurs.

D'abord, l'application doit être **simple** et **ergonomique**, afin que les utilisateurs **comprennent rapidement son fonctionnement** et accèdent aux indicateurs en **un minimum de clics**. L'utilisateur doit pouvoir **choisir la station climatique ou météorologique** qu'il désire étudier à l'aide d'un menu déroulant, mais également à l'aide d'une **carte interactive** qui facilitera la navigation. L'application doit aussi être bien **organisée**, pour que l'utilisateur comprenne facilement la localisation de l'indicateur qu'il recherche. Il doit notamment pouvoir sélectionner son indicateur en fonction du **type** (climatique, agro-climatique ou impact), de la **filière** concernée et de l'**usage** associé.

Ensuite, les indicateurs agro-climatiques doivent être **personnalisables** avec des **seuils paramétrables** et mis en valeur dans l'application.

Enfin, il sera également possible **d'exporter les données** et les graphiques.

La **charte graphique** de la CRAO doit impérativement être respectée. La police de l'application doit être **Verdana**, et les couleurs doivent être les suivantes :



Figure 6 : Couleurs de la charte graphique de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie

Afin de synthétiser l'ensemble des besoins exprimés, une **maquette** de l'application a été réalisée avec l'outil **Figma**. Elle sert avant tout de **support pour le développement** de l'application en facilitant la réflexion sur **l'organisation générale de l'interface**, notamment concernant la place de la carte, l'agencement des paramètres et la navigation entre les différents onglets. Des extraits de la maquette sont disponibles en Annexe 2 :.

Cette étape a permis de décrire clairement les différentes caractéristiques auxquelles doit répondre l'application web. À partir de cela, il est donc possible de sélectionner la technologie de développement qui pourra répondre à ces besoins.

2. Choix technologique pour l'application

L'outil recherché pour développer l'application doit avant tout être **adapté à l'intégration d'un grand nombre de graphiques**, et donc être performant en matière de traitement statistique et pouvoir proposer de recalculer des indicateurs avec des seuils personnalisables. Ces critères ont permis de restreindre le choix à deux solutions : **PowerBi** ou **RShiny**. Chacun de ces deux outils possède des avantages ou des inconvénients décrits dans le Tableau 5 :

Critères	PowerBi	RShiny
Facilité de prise en main	Interface facile et intuitive	Nécessite des compétences en R et en programmation
Interactivité	Très interactif, possibilité de faire des filtres et des graphiques dynamiques	Très interactif et personnalisable
Connection à une base de donnée PostgreSQL	Oui	Oui
Personnalisation des visualisations	Limitée par l'interface graphique de PowerBi	Très poussée avec les différentes librairies R
Performance	Limitée pour des volumes de données importants	Excellente
Capacité de calcul avancée	Limitée	Excellente
Création de modèles agro-climatiques	Limitée	Excellente
Coût	Gratuit mais le partage à l'extérieur coûte 12€ par mois	Gratuit
Serveur et maintenance	Nécessite un serveur pour l'hébergement web si déploiement public (payant)	Nécessite un serveur pour l'hébergement web si déploiement public (payant)

Tableau 5 : Comparatif de PowerBi et de RShiny (Microsoft, s. d.; Rshiny, s. d.)

PowerBi est un **outil de visualisation de données développé par Microsoft**, conçu pour créer des tableaux de bord interactifs et des rapports analytiques. Son interface intuitive facilite la **création de graphiques** et de rapports sans nécessiter de compétences en

programmation. Néanmoins, la **personnalisation des visualisations est assez limitée** car elle dépend principalement des options offertes par l'interface graphique de PowerBi. Les **capacités de calcul et la performance sont également un frein** pour des jeux de données très volumineux ou des analyses complexes. De plus, PowerBi n'est pas optimal pour la création de modèles agro-climatiques avancés, et son utilisation implique des coûts liés à l'acquisition des licences ainsi qu'à la maintenance et aux mises à jour de la plateforme. PowerBi est souvent utilisé pour faire des applications pour l'agriculture, comme l'outil Agriclim de la Chambre d'Agriculture de Bretagne.

RShiny permet de développer des applications web **interactives** en R. Il est particulièrement adapté aux **analyses statistiques**, aux **visualisations avancées** et aux **modèles prédictifs**. Néanmoins, son utilisation nécessite **de bonnes compétences en R et en programmation**. RShiny a déjà été utilisé pour des applications en agriculture, avec par exemple l'application Zodiac par la Chambre d'Agriculture d'Isère.

Cette comparaison entre PowerBi et RShiny permet donc de mettre en évidence leurs forces et leurs limites respectives. Ces éléments constituent une base de réflexion pour orienter le choix technologique, qui sera présenté dans la partie IV.C.1. Dans la continuité, il est maintenant nécessaire de préciser l'organisation du développement de l'application et la manière dont les retours utilisateurs seront intégrés.

3. Organisation du développement et des retours utilisateurs

Le développement de l'application est prévu **entre mai et août**, en commençant par **les indicateurs climatiques**, développés sur les deux premières semaines.

Pour la suite, l'organisation se fait **par filière**, avec pour chaque filière une phase de **deux semaines de développement** suivie d'une phase de **deux semaines de retour** des conseillers. Lors de cette phase de retour, les conseillers sont sollicités avec un mail contenant le lien vers l'application. Ils sont invités à formuler leurs remarques par retour de mail. Un entretien peut être également proposé s'ils le souhaitent. La prise en compte des retours se fait au fur et à mesure, en parallèle du développement.

En résumé, l'organisation suit la logique suivante :

	1-15 mai	16-31 mai	1-16 juin	15-30 juin	1-16 juillet	15-31 juillet	1-15 août	16-31 août
Indicateurs climatiques								
Viticulture (agro-climatique et impact)								
Retour viticulture et indicateurs climatiques								
Elevage (agro-climatique et impact)								
Retour élevage								
Grandes cultures (agro-climatique et impact)								
Retours grandes cultures								
Arboriculture (agro-climatique et impact)								
Retour arboriculture								
Maraîchage (agro-climatique et impact)								
Retour maraîchage								
Prise en compte des retours								

Tableau 6 : Planning de l'organisation du développement et des retours utilisateurs

Un planning de développement plus détaillé, avec le nom exact des tâches ainsi que le suivi précis de leur avancement, a également été réalisé. Un extrait est présenté en Annexe 4 :

La phase de développement de l'application est essentielle, mais elle nécessite un hébergement sur serveur pour que l'application soit accessible aux utilisateurs et que les données puissent être centralisées et exploitées.

4. Hébergement sur un serveur et maintenance

Afin de permettre un **accès rapide à l'application** par les utilisateurs et de **démarrer au plus tôt la phase de tests et de retours**, le choix a été de faire appel à un **prestataire externe** dès le début du développement. L'entreprise **Donneo** a été chargée de l'hébergement de l'application, pour un coût de **3 693 €**. Elle a réservé le nom de domaine www.oracle-crao.fr et **assuré le déploiement de l'application** sur un serveur mutualisé **OVH**. Une fois la mise en ligne effectuée, Donneo a également fourni un tutoriel détaillé permettant de mettre à jour l'application de manière autonome et sécurisée.

Après avoir été déployée, l'application doit pouvoir être **maintenue dans le long terme**. Pour cela, il est nécessaire de réfléchir à la **transmission de l'application**. La rédaction d'une notice qui explique la gestion de la base de données et la structure du code est nécessaire, puisqu'elle favoriserait la **continuité du projet**. De même, la maintenance pourrait être facilitée par la **mutualisation de la base de données avec celle du PEP**, qui permettrait la **mise à jour régulière des données**.

En conclusion, la méthode suivie lors du projet ingénieur est structurée par étape. Elle a débuté par la constitution d'une base de données fiable, suivie de la sélection des stations pertinentes et de la définition d'indicateurs climatiques et agro-climatiques adaptés. Enfin, le développement de l'application web a été réalisé en s'appuyant sur ces étapes préalables. La mise en œuvre de ce projet a permis d'obtenir des résultats concrets et exploitables.

Les éléments clés de la méthodologie

- ➔ La construction de la base de données climatique commence par l'identification des stations climatiques et météorologiques, puis aboutit à la création d'une base permettant de centraliser et stocker l'ensemble des données.
- ➔ Le dictionnaire d'indicateurs est conçu à partir d'un recensement initial, complété par une analyse des besoins des conseillers. Il prend la forme d'un livret détaillant pour chaque indicateur ses objectifs, ses méthodes de calcul et ses seuils paramétrables.
- ➔ Le développement de l'application web nécessite d'abord le choix de l'outil adapté (PowerBi ou RShiny) afin de répondre aux fonctionnalités attendues. Il doit ensuite suivre un calendrier précis pour garantir que l'ensemble du code soit produit dans les délais.

IV. Résultats

A. Une base de données climatique robuste

1. Les stations climatiques et météorologiques retenues

Les stations sélectionnées pour l'application sont les **stations climatiques ayant des données LSH et SQR (26 stations)**, auxquelles s'ajoutent les **stations météorologiques quotidiennes non homogénéisées sélectionnées par les conseillers (216 stations)**. La répartition des stations est montrée dans la carte ci-dessous.

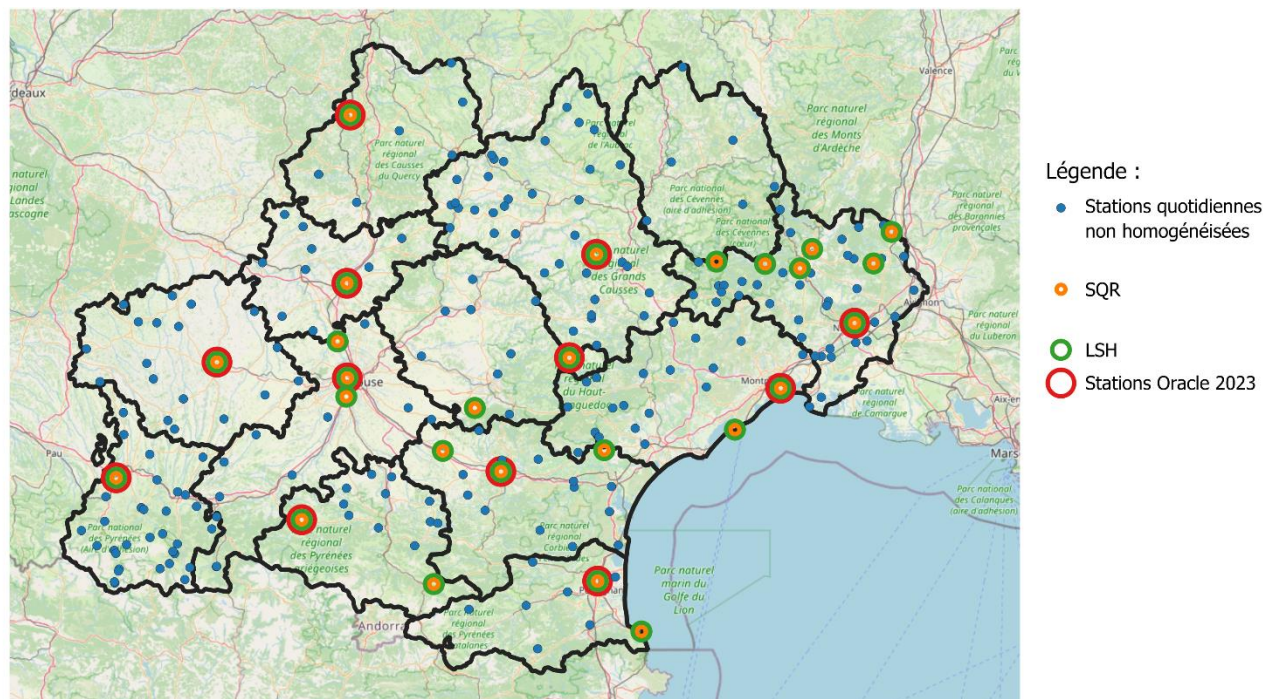


Figure 7 : Carte présentant les stations sélectionnées pour ORACLE 2025

L'**hétérogénéité** du nombre de stations selon les départements est particulièrement marquée, notamment pour les **stations quotidiennes non homogénéisées**. Cette répartition inégale est simplement liée aux **différences du nombre de stations demandées par les conseillers des chambres départementales** : certains ont sélectionné un grand nombre de stations, ne sachant pas lesquelles choisir. Par ailleurs, le nombre de stations a fortement augmenté entre ORACLE 2023 et ORACLE 2025 : il a été **multiplié par deux** en ne considérant que les stations climatiques SQR et LSH, et **par dix-huit** en incluant l'ensemble des stations climatiques et météorologiques. Ainsi, en présentant d'avantage de stations, ORACLE 2025 permet une vision plus précise de l'évolution du climat que précédemment.

Cette sélection de stations a impliqué l'acquisition d'un volume conséquent de données, qu'il a donc fallu organiser au sein d'une base de données qui n'existait pas préalablement.

2. Organisation de la base de données climatique

La base de données climatique, stockée sur PgAdmin, comprend **11 tables** réparties ainsi :

- Une table qui contient la **liste des stations** (« liste_stations »), avec le numéro de poste (« num_poste »), sa localisation précise (« latitude » et « longitude »), ainsi

que des booléens qui indiquent la disponibilité de chaque variable (précipitations (« `sqr_rr` » et « `lsh_rr` »), température maximale (« `sqr_tx` » et « `lsh_tx` »), température minimale (« `sqr_tn` » et « `lsh_tn` »)), certaines stations SQR ou LSH ne disposant pas de l'ensemble de ces données. Un booléen indique si la station est une station quotidienne non homogénéisée ou non (« `station_clim` »).

- 4 tables contiennent les **données climatiques**, une pour les données SQR, une pour les données LSH, une pour les données d'ETP et une pour les données des stations quotidiennes non homogénéisées. Ces dernières stations ont, en plus de la pluie et des températures, les données d'humidité, utiles pour certains indicateurs. Dans toutes ces tables, « `rr` » désigne la pluie, « `tn` » la température minimale, « `tx` » la température maximale, « `etp_grille` » l'évapotranspiration au point de grille, « `un` » l'humidité minimale et « `ux` » l'humidité maximale.
- 6 tables contiennent les données d'**impacts**, avec le département, l'année et les données (surface, rendement ou production). Il y a une table par filière, sauf pour la viticulture, qui en plus du rendement a aussi des données de stades phénologiques de Colombard (dates et durée du débourrement, de la floraison, de la véraison et de la récolte), observées au château de Mons dans le Gers ainsi que des données des stades phénologiques observées à côté de Perpignan. Ces deux jeux de données ont été fournis par des chambres d'agriculture régionales. Par manque de temps, le maraîchage n'a pas été traité.

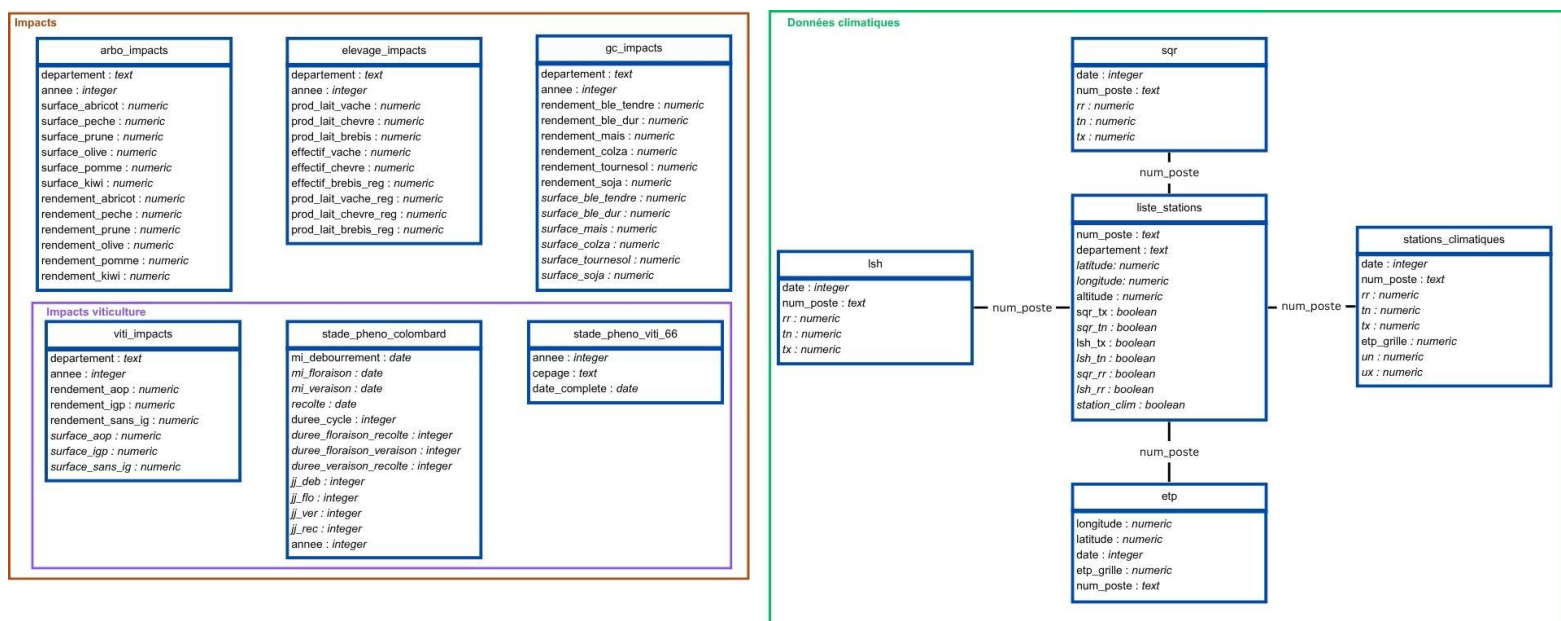


Figure 8 : Structure de la base de données

La base de données ainsi constituée a un volume de **166 175 Ko**, ce qui est bien en dessous des 10 Go estimés lors du choix de la technologie, ce qui laisse donc **une marge suffisante pour l'ajout de nouvelles données** chaque fin d'année. En effet, la base de données pourra facilement être mise à jour pour la **maintenance de l'application**. Les modifications pourront se faire directement sur le **serveur PostgreSQL**, accessible par **PgAdmin**, ce qui garantit une **centralisation des données** et un **accès en temps réel** pour les utilisateurs autorisés. Cette organisation permet également **d'actualiser les données**, **d'intégrer de nouveaux indicateurs**, de **corriger d'éventuelles erreurs** ou **d'adapter l'application aux évolutions futures**, tout en garantissant la **cohérence** et la **fiabilité** des informations disponibles.

Une fois créée et structurée, la base de données climatique est **facilement exploitable** pour **décrire les indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts** nécessaires à l'étude du changement climatique en agriculture en Occitanie.

B. Un dictionnaire d'indicateurs par filière

1. Indicateurs climatiques

Les indicateurs climatiques décrivent l'évolution du climat en Occitanie de manière générale. Ils sont répartis par type de variables : température, pluie, gel et ETP. Au total, il y a **13 indicateurs climatiques** : 4 dans la catégorie « température », 5 dans la catégorie « pluie », 2 dans « gel » et 2 dans « ETP », détaillés en Figure 9 :

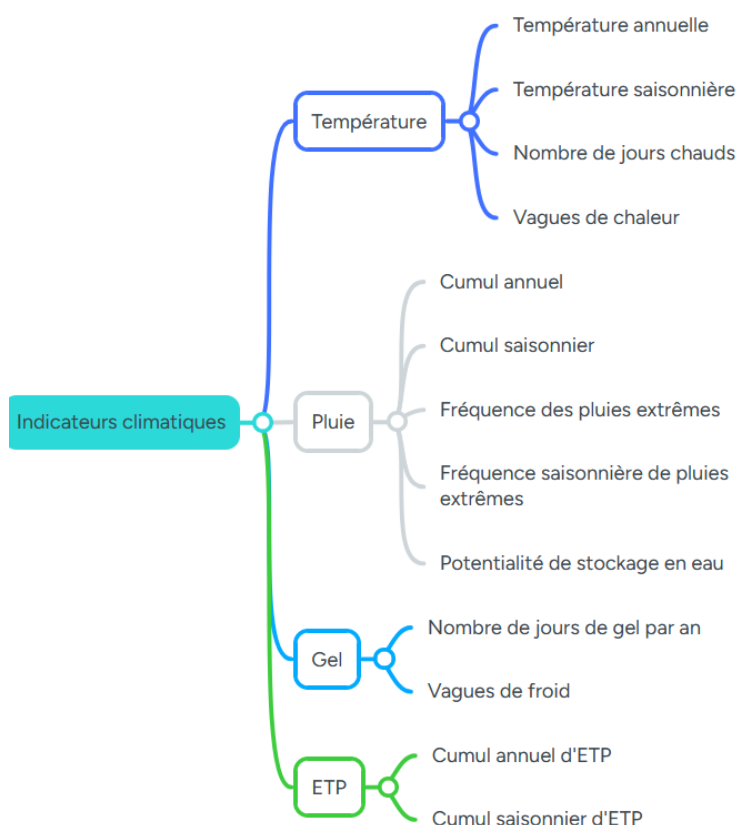


Figure 9 : Carte mentale présentant la liste des indicateurs climatiques retenus pour ORACLE 2025

Ainsi, les 13 indicateurs climatiques permettent un aperçu de l'évolution de la température, de la pluie, du gel et de l'ETP. 5 indicateurs climatiques sont rajoutés par rapport à la version ORACLE 2023 : les vagues de chaleur, les vagues de froid, la potentialité de stockage en eau, la fréquence des pluies extrêmes annuelles et saisonnières. D'autres indicateurs agro-climatiques doivent être ajoutés pour décrire l'évolution des pratiques agricoles.

2. Indicateurs agro-climatiques

Les indicateurs agro-climatiques sont organisés par filière et sont classés par usage au sein de chaque filière. **Les 120 indicateurs** sont répartis comme suit :

- En **arboriculture**, il y a **13 indicateurs** répartis en **5 usages**. 4 indicateurs en arboriculture étaient dans la précédente version d'ORACLE. Certains indicateurs ne sont pas valables pour toutes les espèces.

- En **élevage**, il y a 1 usage et 2 indicateurs pour les animaux puis 3 usages et 19 indicateurs pour les prairies. 4 des indicateurs des prairies étaient dans ORACLE 2023. Au total, il y a donc **21 indicateurs** pour **4 usages**.
- En **grandes cultures**, les espèces sont traitées séparément. Ainsi, pour le blé, il y a 8 usages et 30 indicateurs (4 proviennent d'ORACLE 2023), pour le colza, il y a 5 usages et 14 indicateurs (2 proviennent d'ORACLE 2023), pour le maïs, il y a 4 usages et 13 indicateurs (5 proviennent d'ORACLE 2023), et pour le tournesol, il y a 4 usages et 11 indicateurs (2 proviennent d'ORACLE 2023). Au total, pour les grandes cultures, **68 indicateurs** sont répartis en **21 usages**.
- En **maraîchage**, il y a **5 usages** et **19 indicateurs**. Aucune distinction d'espèce n'a été faite, puisqu'il y aurait eu que peu de modifications selon les espèces, et que l'utilisateur pourrait modifier les seuils pour s'adapter à l'espèce qui l'intéresse.
- En **viticulture**, **18 indicateurs** sont répartis en **4 usages**. 7 de ces indicateurs étaient dans ORACLE 2023.

Les usages et le nombre d'indicateurs agro-climatiques sont explicités dans le tableau Tableau 7 : Répartition des usages et nombre d'indicateurs par filière ci-dessous :

Filières	Usages	Nombres d'indicateurs
Arboriculture	Gestion du gel	2
	Condition de floraison	2
	Gestion de l'itinéraire technique	5
	Gestion de la récolte	4
	TOTAL	13
Elevage	Gestion du stress thermique des animaux	2
	Semis	5
	Pâturage	9
	Récolte	5
	TOTAL	21
Blé	Faisabilité d'entrée dans les parcelles	2
	Gestion du semis	5
	Gestion de la fertilisation	5
	Gestion des maladies et des ravageurs	4
	Gestion de l'irrigation	2
	Gestion de la récolte	9
	Couverts	2
	Gestion du gel	1
	TOTAL	30
	TOTAL GRANDES CULTURES	68
Colza	Gestion du semis	3
	Gestion de la fertilisation	3
	Gestion de la floraison	2
	Gestion de la récolte	3
	Gestion des dérobées et des couverts	3
Maïs	TOTAL	14
	Gestion du semis	3
	Gestion des maladies et des ravageurs	1
	Gestion de l'irrigation	2
	Gestion de la récolte	7
Tournesol	TOTAL	13
	Gestion du semis	2
	Gestion de la floraison	3
	Gestion de l'irrigation	2
	Gestion de la récolte	4
Maraîchage	TOTAL	11
	Gestion du semis	3
	Gestion du gel	4
	Condition de floraison	5
	Gestion de l'itinéraire technique	5
Viticulture	Gestion des maladies et des ravageurs	2
	TOTAL	19
	Gestion du gel	2
	Gestion des maladies et des ravageurs	3
	Gestion de l'itinéraire technique	7
	Maturation	6
	TOTAL	18

Tableau 7 : Répartition des usages et nombre d'indicateurs par filière

Par exemple, en arboriculture, les usages sont : gestion du gel, condition de floraison, gestion de l'itinéraire technique, gestion des maladies et des ravageurs et gestion de la récolte. La carte mentale illustrant les indicateurs agro-climatiques retenus en arboriculture se trouve en Figure 10.

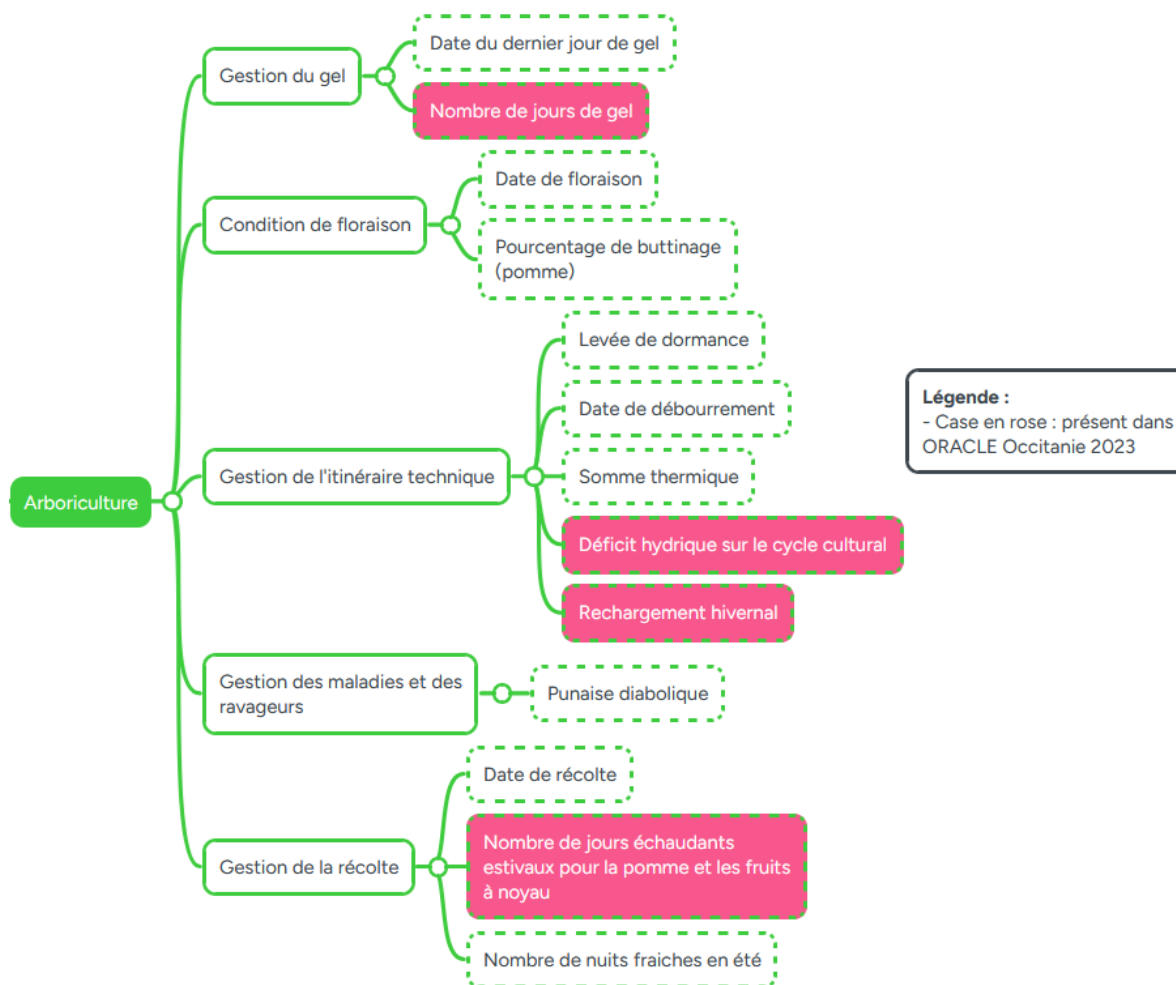


Figure 10 : Carte mentale détaillant les usages et les indicateurs d'arboriculture

Chaque usage est défini par les indicateurs qu'il regroupe. Ainsi, la gestion du gel en arboriculture est illustrée avec la date du dernier jour de gel (qui permet de suivre l'évolution du gel printanier) et le nombre de jours de gel (qui indique le risque d'exposition des jeunes organes floraux aux gelées printanières).

Toutes filières confondues, il y a **120 indicateurs** répartis en **38 usages**. En comparaison, il y avait 21 indicateurs agro-climatiques dans ORACLE 2023. Les usages ainsi que les indicateurs d'ORACLE 2025 de toutes les filières sont détaillés en Annexe 5 :.

Enfin, les indicateurs agro-climatiques sont rassemblés dans un livret qui précise, pour chacun d'eux, la filière concernée, son usage, son objectif, son mode de calcul, les seuils paramétrables par l'utilisateur ainsi qu'un exemple de graphique. Un extrait de ce livret est présenté en Figure 11.

Viticulture

Gestion du gel

1.b

Nombre de jours de gel



Clé de lecture



Calcul



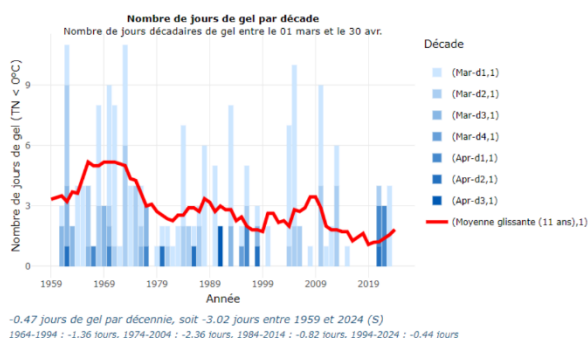
Dates

Paramètres
modifiables
par l'utilisateur

Sur la vigne, le gel printanier peut causer des dégâts si le stade de débourrement a été dépassé. Le gel tardif arrive lorsque la vigne a repris son cycle végétatif, elle est donc plus vulnérable avec des dégâts allant du brunissement et le dessèchement des bourgeons et des rameaux, à la destruction totale de la végétation.

Nombre de jours décennaires avec $T_{min} < 0$ entre le 1er mars et le 30 avril

Exemple pour la station de Toulouse-Francas (Syrah) :



Source

Données : Météo France
Indicateur : Catalogue AgriClim



Figure 11 : Extrait du livret d'indicateurs pour la viticulture

Les 120 indicateurs agro-climatiques permettent donc une description précise des évolutions qui concerneront les filières agricoles. Néanmoins, ces indicateurs proviennent de modélisation. Il est donc nécessaire d'ajouter des indicateurs élaborés à partir des impacts du changement climatique observés sur le terrain.

3. Indicateurs d'impacts

Les indicateurs d'impacts sont également classés **par filière**, et sont détaillés dans la Figure 12 : Carte mentale présentant les indicateurs d'impacts retenus pour ORACLE 2025

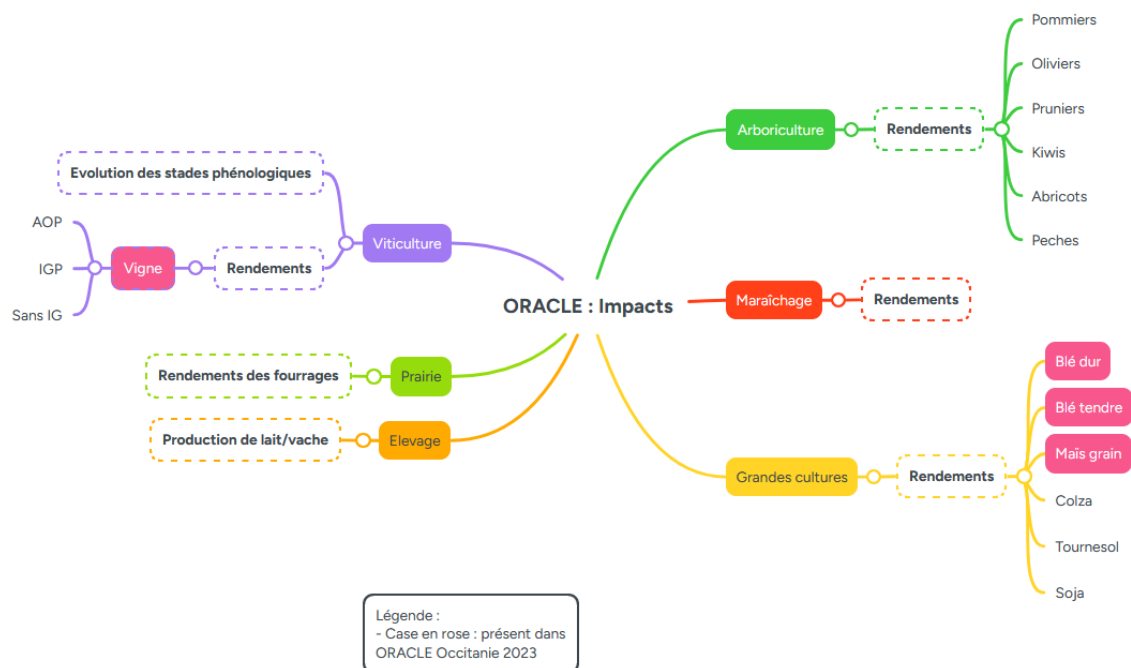


Figure 12 : Carte mentale présentant les indicateurs d'impacts retenus pour ORACLE 2025

Ainsi, pour l'arboriculture et les grandes cultures, les indicateurs sont les **rendements** observés pour 6 espèces. En viticulture, l'analyse porte non seulement sur les **rendements**, mais aussi sur **l'évolution des stades phénologiques**, notamment pour le Colombard du château de Mons dans le Gers, ainsi que pour plusieurs cépages situés dans la région de Perpignan. Les impacts du maraîchage n'ont pas pu être étudiés par manque de temps. Au total, il y a **19 indicateurs d'impacts**.

Le dictionnaire d'indicateurs d'impacts reste encore peu fourni, et peut être enrichi **avec de nouvelles données**. Des **discussions** sont en cours avec le **GIE** et le Centre Régional Interprofessionnel de l'Economie laitière (**CRIEL**) en élevage, le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (**CTIFL**) en arboriculture, avec **ARVALIS** en grandes cultures, et avec l'équipe **AgroTIC** en viticulture. L'intégration de ces nouvelles données permettra de compléter le dictionnaire et d'améliorer la pertinence des indicateurs proposés. Néanmoins, la récupération de ces données peut parfois prendre du temps en raison des conventions parfois nécessaires.

Ce dictionnaire propose **152 indicateurs** au total qui permettent de décrire **l'évolution du changement climatique** en Occitanie. Il s'agit d'une première version, qui constitue une base solide mais qui nécessite un **approfondissement** et une **poursuite du travail** engagé, notamment pour compléter certaines filières et affiner certains seuils. Pour rendre ces indicateurs accessibles et facilement consultables, il est nécessaire de les intégrer dans un **support interactif**, qui prend la forme d'une **application web**.

C. Une application web intuitive pour les conseillers

1. Technologie sélectionnée

L'outil de développement choisi pour créer l'application doit avant tout être très **performant** en raison du **volume important de données** et du **nombre conséquent d'indicateurs** à intégrer en fonction des demandes des futurs utilisateurs. De plus, il doit

permettre l'exécution de calculs complexes, notamment pour la génération personnalisée d'indicateurs agro-climatiques, et offrir un haut niveau de personnalisation.

Pour toutes ces raisons, et au vue de l'étude effectuée dans le III.D.2, l'outil retenu est RShiny. Après avoir effectué ce choix, le développement de l'application peut débuter.

2. Architecture de l'application web ORACLE 2025

L'application web ORACLE 2025 est composée de **5 onglets**, « Accueil », « Climatique », « Agro-climatique », « Impacts », et « FAQ (Foire Aux Questions) », qui mènent tous à des fonctionnalités différentes.

Les onglets « Accueil » et « FAQ » permettent **d'améliorer la compréhension du fonctionnement** de l'application. Les quatre autres onglets permettent **l'affichage des indicateurs**, et ont une partie, située à gauche, qui permet à l'utilisateur de faire des choix modifiant le contenu des graphiques. L'architecture globale de l'application est décrite dans la Figure 13.

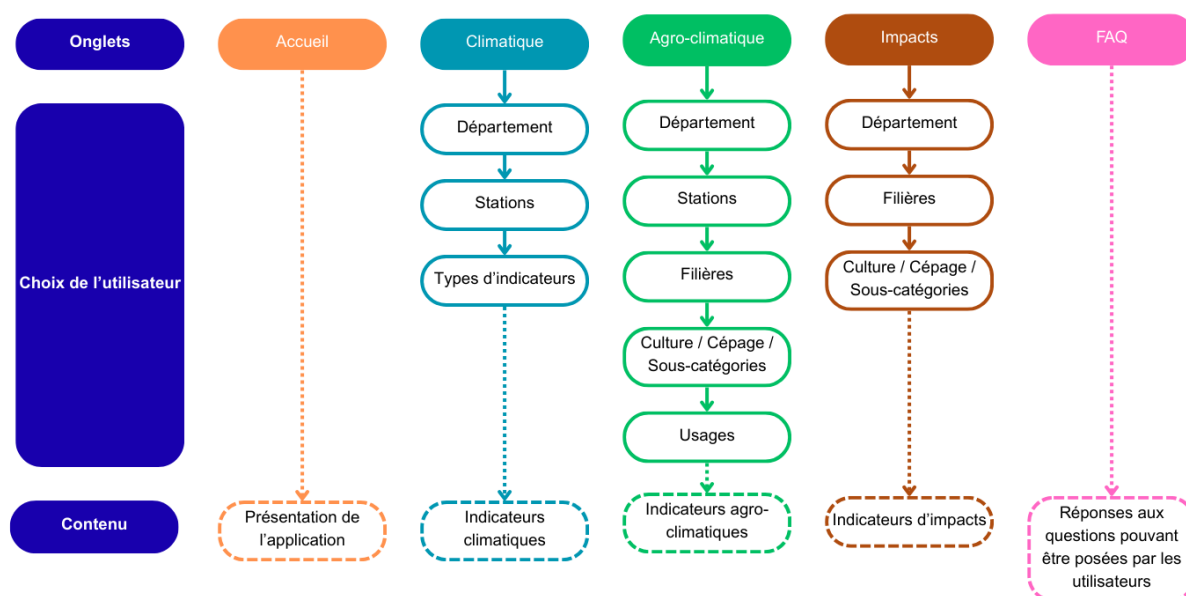


Figure 13 : Schéma représentant l'architecture globale de l'application

L'onglet « **Accueil** » présente le **fonctionnement général de l'application**. Il est composé de trois parties : « Qu'est-ce qu'ORACLE ? », « ORACLE Occitanie 2025 » et « Fonctionnement de l'application ».

Dans les **onglets indicateurs**, l'utilisateur doit sélectionner un **département** et une **station** (uniquement le département pour l'onglet « Impacts »). En fonction des choix effectués, l'utilisateur doit **affiner sa sélection** à l'aide de paramètres spécifiques, qui permettront d'afficher l'évolution d'un ou plusieurs indicateurs. Les paramètres sont remplis par défaut afin que des résultats s'affichent même si l'utilisateur n'a pas encore effectué ses propres choix.

L'onglet « **FAQ** » apporte des **éléments de réponse aux questions que pourraient avoir les utilisateurs**. Ces explications sont réparties en plusieurs catégories : « Données utilisées », « Définitions et sigles utilisés », « Explication des calculs et des seuils », « Utilisation des indicateurs » et « Manipulation des graphiques ».

Cette architecture optimise l'utilisation et assure une navigation efficace et intuitive. De plus, l'application a un fonctionnement simple et uniforme entre tous les onglets.

3. Fonctionnement général de l'application

Les onglets présentant les indicateurs « Climatique », « Agro-climatique » et « Impacts » sont organisés **de manière similaire**, ce qui permet une **facilité d'utilisation** pour les conseillers (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

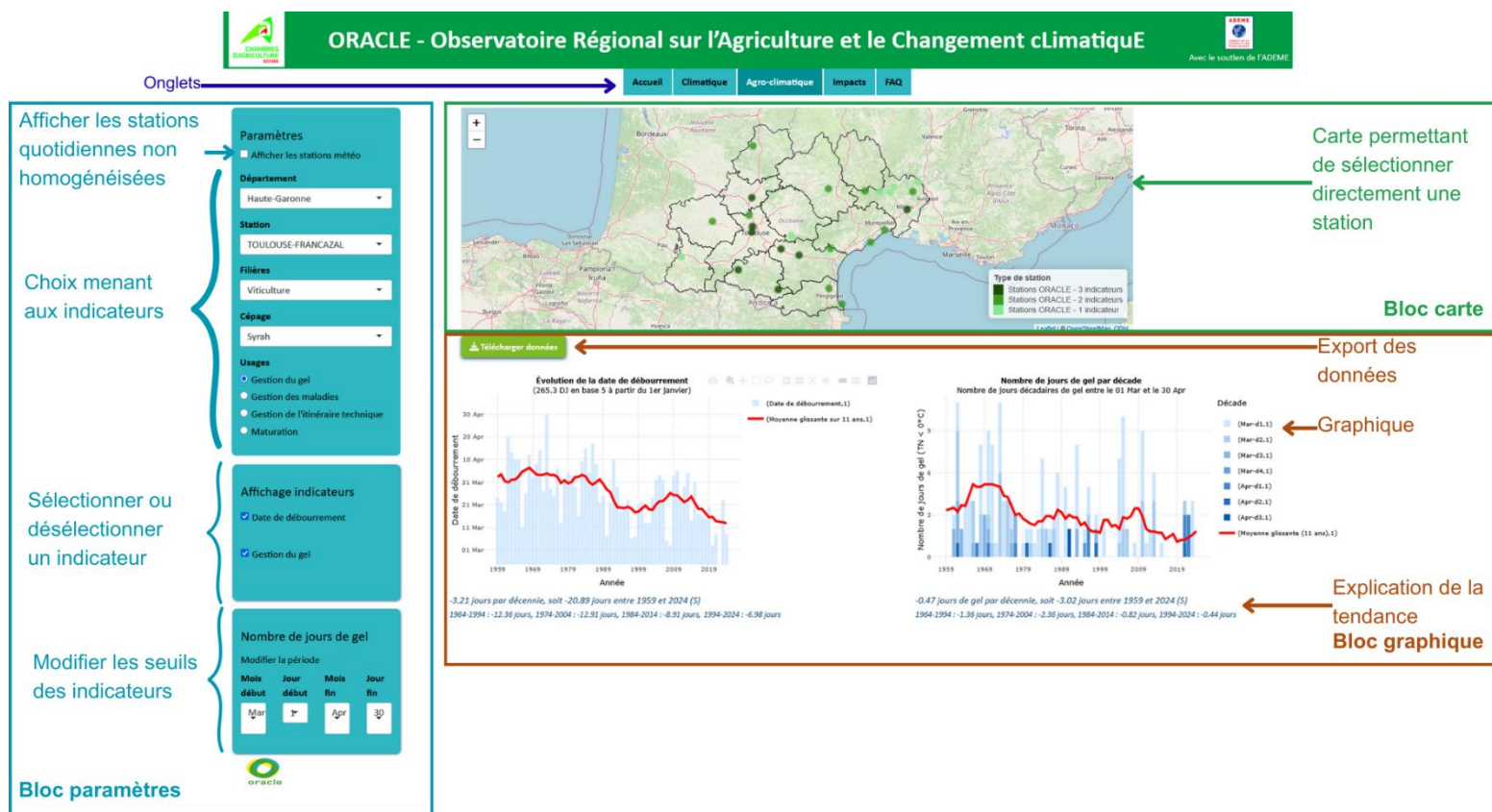


Figure 14 : Schéma détaillant le fonctionnement global de l'application, avec pour exemple l'onglet « Agro-climatique »

Trois blocs distincts sont présents dans ces onglets :

- Le **bloc paramètres** : composé de trois parties au maximum, il permet à l'utilisateur d'affiner sa recherche, et de modifier les graphiques. Dans un premier temps, l'utilisateur choisit le département et la station qu'il désire étudier. Une case à cocher permet d'afficher ou non les stations météorologiques quotidiennes non homogénéisées. L'utilisateur affine ensuite ses choix. Dans l'exemple pris en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, il a sélectionné « Viticulture », « Syrah » et « Gestion du gel ». Ensuite, une case à cocher par graphique permet son affichage ou non. Enfin, la dernière partie permet de modifier la période ou les seuils (de degrés-jours, de température ou de pluie) que traitera le graphique. Ici, pour le graphique « Nombre de jours de gel », l'utilisateur a sélectionné du 1^{er} mars au 30 avril. Cette option permet à l'utilisateur d'adapter l'indicateur précisément à ses besoins.
- Le **bloc carte** : composé d'une carte, qui affiche toutes les stations disponibles. La coche « Afficher les stations météo » présente dans les paramètres permet également

d'afficher ou non les stations quotidiennes non homogénéisées sur la carte (points bleus). La carte permet à l'utilisateur de **voir la répartition des stations**, mais aussi de **sélectionner directement celle qu'il désire étudier**, sans devoir passer par les paramètres. Les points représentant les stations ont des **couleurs différentes selon le nombre de variables** qu'ils ont (température minimale, maximale et précipitation). Lorsque l'utilisateur passe sa souris sur un point, le nom de la station ainsi que le nom des variables qui y sont disponibles s'affichent (ex : « Auch ; indicateurs : Tmin, Tmax »). Dans l'onglet « Impacts », les données n'étant pas par station mais par département, **seuls les départements apparaissent sur la carte**, mais la sélection peut toujours s'effectuer directement via celle-ci.

- **Le bloc graphique** : Ce bloc est composé de trois types d'éléments différents. D'abord, un bouton « Télécharger données » permet **d'exporter les données brutes** de la station sélectionnée en format csv. Ensuite, les graphiques présentent **l'évolution de l'indicateur** ainsi qu'une **moyenne glissante sur 11 ans**. Les indicateurs d'impacts n'ont pas de moyenne glissante, puisqu'ils concernent une période plus courte. Enfin, **deux courtes phrases décrivent l'évolution** de l'indicateur sur l'ensemble de la période, ainsi que sur des sous-périodes de 30 ans. Cette évolution est calculée en appliquant **une régression linéaire à la moyenne glissante**. Entre parenthèses, il est précisé si l'évolution est significative (S) ou non significative (NS). Certains graphiques plus complexes sont aussi accompagnés d'une **courte explication**. En effet, ces indicateurs peuvent avoir une interprétation difficile.

[Ce fonctionnement commun entre les onglets assure une compréhension de l'outil par les utilisateurs. Néanmoins, il existe des spécificités selon les onglets.](#)

4. Détails de l'application par onglet

a) Accueil

L'onglet « Accueil » présente les **objectifs de l'observatoire ORACLE**, le **financeur**, les **apports et les limites** de la version de 2025 puis **le fonctionnement de l'application**. Il est le premier onglet visible par l'utilisateur et lui permet de comprendre le principe et l'usage de l'outil. Cet onglet permet à l'utilisateur de **comprendre le contexte et le principe de l'application** avant même qu'il l'explore. Sa présence est importante car elle facilite l'utilisation et la navigation. De plus, des mises en garde permettent d'éviter les erreurs possibles d'interprétation des indicateurs. En effet, certains indicateurs ne sont pas liés uniquement au changement climatique. Par exemple, dans les indicateurs d'impacts de l'élevage, pour la production de lait, de nombreux autres facteurs peuvent influencer les résultats, tels que la nutrition ou la santé des animaux. Une variation de la production n'est donc pas nécessairement liée à une variation du climat. Ces mises en garde permettent à l'utilisateur d'explorer l'application avec un regard critique et informé.

Un exemple des explications de cet onglet est présenté ci-dessous.

Qu'est-ce qu'ORACLE ?

L'Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique (ORACLE) a été créé par différentes chambres régionales d'agriculture afin d'observer et d'étudier le changement climatique.

Cet observatoire a été mis en place pour la première fois en Nouvelle-Aquitaine en 2012, et depuis s'est étendu à d'autres régions : Normandie, Pays de la Loire, Grand Est, Centre-Val de Loire, et Occitanie. En Occitanie, une première version de l'observatoire a été publiée en 2019, et depuis une mise à jour est réalisée tous les 2 ans.

ORACLE Occitanie 2025

Financé par l'ADEME, ORACLE Occitanie 2025 est la première version disponible en application web.

Le format application web permet de faciliter l'accès aux données en les structurant par filière et par usage. Il permet également de télécharger directement les données et les graphiques.

Figure 15 : Extrait de l'onglet « Accueil »

b) Onglet climatique

L'onglet « Climatique » présente les indicateurs climatiques. Ils **sont organisés par type de variable** : température, pluie, gel ou ETP. Après avoir sélectionné une station, l'utilisateur peut **sélectionner la catégorie** qu'il désire étudier avec les paramètres montrés ci-dessous.

The screenshot shows a teal sidebar with the following elements:

- A checkbox labeled "Afficher les stations météo" which is currently unchecked.
- A section titled "Département" with a dropdown menu showing "Haute-Garonne".
- A section titled "Station" with a dropdown menu showing "TOULOUSE-FRANCAZAL".
- A section titled "Indicateurs climatiques" containing a sub-section "Indicateur climatique" with four radio button options: "Température" (selected), "Pluie", "Gel", and "ETP".

Figure 16 : Choix du type d'indicateur climatique

Ensuite, les graphiques liés à la catégorie sélectionnée s'affichent. Par exemple, pour la température, il y a l'évolution de la température annuelle, l'évolution de la température saisonnière, le nombre de jours chauds, et les vagues de chaleur. Chaque graphique est suivi d'une explication statistique, et certains sont suivis d'une courte explication. Un exemple de graphique pour la station de Toulouse-Francazal est présenté ci-dessous.

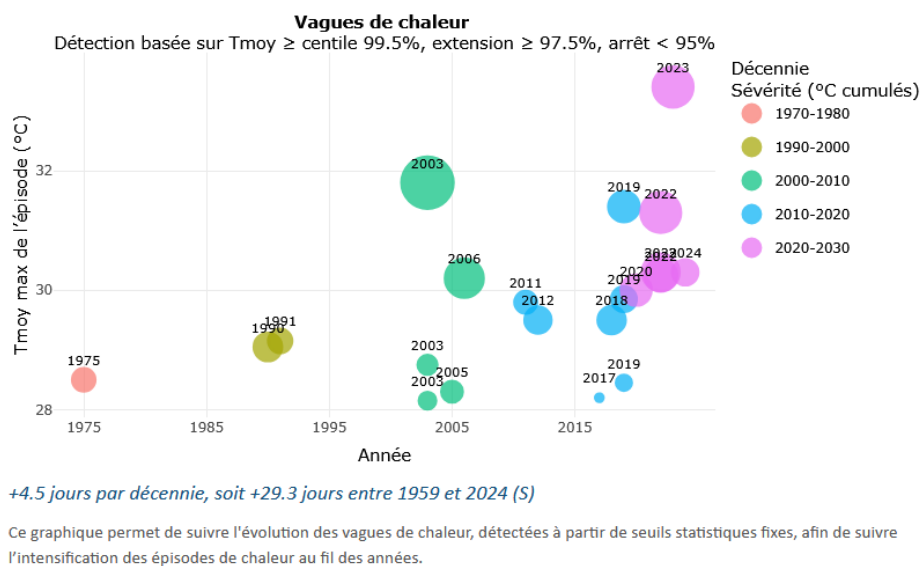


Figure 17 : Exemple de graphique pour la température : Vagues de chaleur

Ainsi, le graphique vague de chaleur est accompagné d'une phrase explicative puisque cet indicateur est différent des autres et peut donc être plus difficile à interpréter. Cette précision permet à la fois de clarifier le mode de calcul et d'explicitier l'objectif du graphique. Il est notable ici qu'à Toulouse, l'évolution des vagues de chaleur entre 1959 et 2024 augmente de manière significative. En moyenne, leur durée progresse de +4,5 jours par décennie, ce qui correspond à environ +29,3 jours supplémentaires en 65 ans. Jusqu'aux années 1990, les vagues de chaleur demeuraient rares et peu intenses. L'année 2003 marque un tournant avec un épisode d'une sévérité exceptionnelle, caractérisé par une température moyenne supérieure à 30 °C et une durée particulièrement longue. Depuis les années 2010, leur fréquence a augmenté fortement avec une succession d'événements notables en 2011, 2012, 2015, 2017, 2019, 2020, 2022 et 2023. Les dernières années confirment cette tendance, avec des vagues de chaleur très intenses et rapprochées en 2022 et 2023, illustrant l'intensification progressive des extrêmes climatiques.

c) Onglet agro-climatique

Dans l'onglet « Agro-climatique », après avoir choisi une station, il est possible de choisir la filière, puis l'espèce ou le cépage et enfin l'usage. Des cases à cocher permettent d'afficher ou non les indicateurs. Certains graphiques peuvent être **modifiés par l'utilisateur** en ajustant des **périodes ou des seuils**. Ces options sont illustrées ci-dessous.

☐ Afficher les stations météo

Département
Haute-Garonne

Station
TOULOUSE-FRANCAZAL

Filières
Viticulture

Cépage
Syrah

Usages
☒ Gestion du gel
☐ Gestion des maladies
☐ Gestion de l'itinéraire technique
☐ Maturation

Affichage indicateurs
☒ Date de débourrement
☒ Gestion du gel

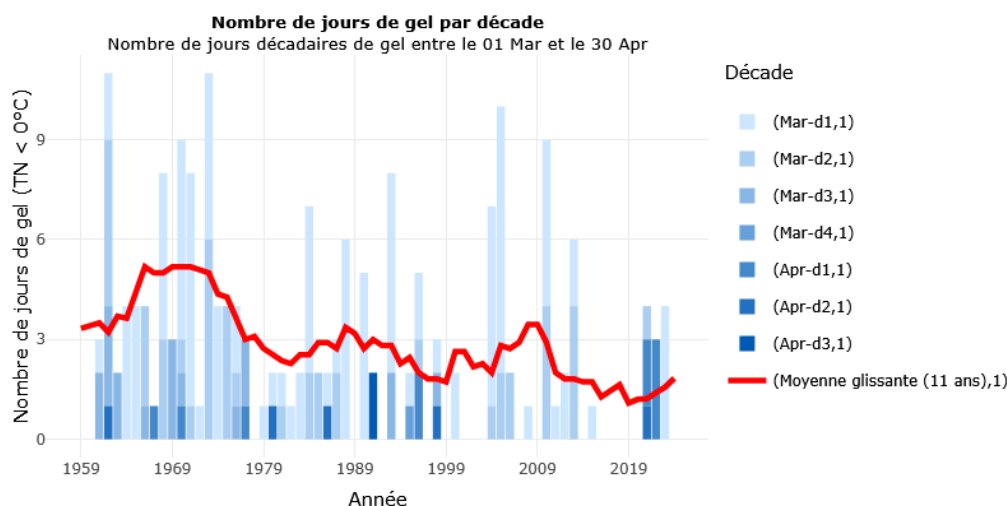
Nombre de jours de gel
Modifier la période

Mois début	Jour début	Mois fin	Jour fin
Mar	1	Apr	30

Figures 18, 19 et 20 : Choix de la filière, du cépage, des usages, des indicateurs et de la période pour le nombre de jours de gel

Ici, l'utilisateur a choisi d'observer les indicateurs liés à la gestion du gel en viticulture pour la station de Toulouse-Francazal. Le cépage sélectionné est le Syrah. Pour le nombre de jours de gel, il a la possibilité de modifier la période étudiée. Ainsi, si la période mise par défaut ne correspond pas à ses besoins, l'utilisateur peut l'ajuster pour pouvoir faire l'analyse qu'il désire.

Comme pour l'onglet « Climatique », chaque graphique est suivi d'une analyse statistique. Celle-ci met en évidence la tendance générale de l'indicateur au fil des années et en illustre l'évolution à l'aide de valeurs chiffrées. L'analyse précise également la significativité de l'évolution et permet d'affiner l'interprétation. L'évolution est à la fois décrite sur l'ensemble de la période, et sur des séquences de 30 ans, afin de mieux caractériser les évolutions au cours du temps. ci-dessous est présenté un exemple de graphique de l'usage « Gestion du gel » pour la station de Toulouse-Francazal.



-0.47 jours de gel par décennie, soit -3.02 jours entre 1959 et 2024 (S)
 1964-1994 : -1.36 jours, 1974-2004 : -2.36 jours, 1984-2014 : -0.82 jours, 1994-2024 : -0.44 jours

Figure 21 : Exemple de graphique en viticulture : Nombre de jours de gel

Sur ce graphique, il apparaît qu'à Toulouse, l'évolution du nombre de jours de gel printanier (mars-avril) entre 1959 et 2024 montre une tendance significative à la baisse, estimée à -0,47 jour par décennie, soit environ -3 jours sur 65 ans. La moyenne glissante (11 ans) met en évidence une fréquence plus élevée de jours de gel dans les années 1960 et 1970, suivie d'une diminution progressive jusqu'aux années 2000, puis une relative stabilité récente. Ces résultats montrent que la fréquence des jours de gel au printemps a reculé à Toulouse au cours des six dernières décennies, avec une baisse statistiquement significative (p -value < 0,05). Ainsi, malgré la diminution du nombre de jours de gel printanier à Toulouse, les épisodes de gel ponctuels restent un risque pour la viticulture, car les bourgeons précoces peuvent encore être fortement endommagés, compromettant la floraison et la production.

d) Onglet impacts

Dans l'onglet « Impacts », l'utilisateur choisit le département puisque les données ne sont pas par station. Après cela, il peut sélectionner la filière qu'il décide d'étudier, puis afficher ou non certains indicateurs, comme le montrent les Figures 22 et 23.

Figures 22 et 23 : Choix du département, de la station et de l'indicateur

Pour les indicateurs d'impacts, il est possible d'afficher les graphiques à l'échelle de la région afin de donner une vision plus globale et d'observer si les tendances départementales se retrouvent à l'échelle de la région.

La Figure 24 montre un exemple de graphique d'impact (rendement annuel en viticulture). Comme précédemment, les graphiques sont suivis d'une analyse statistique

décrivant de manière chiffrée la tendance de l'indicateur. Les indicateurs d'impacts sont disponibles uniquement pour une période maximale de 14 ans, il n'y a donc pas de description par séquences de 30 ans comme pour les indicateurs climatiques et agro-climatiques.

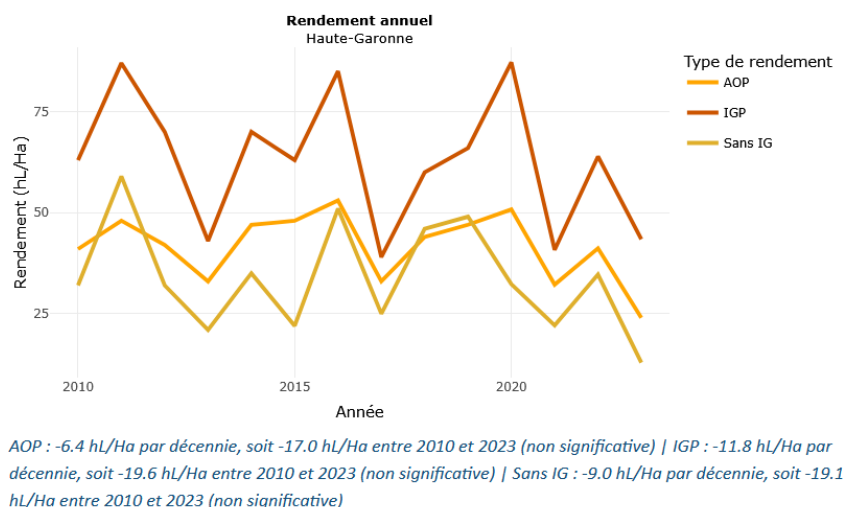


Figure 24 : Exemple de graphique pour la viticulture : Rendement annuel

Ce graphique montre donc qu'entre 2010 et 2023, les rendements viticoles du département montrent une tendance générale à la baisse, bien que non significative sur le plan statistique. Les AOP enregistrent une diminution estimée à $-6,4$ hL/ha par décennie (soit -17 hL/ha sur la période), les IGP à $-11,8$ hL/ha par décennie ($-19,6$ hL/ha), et les vignes sans IG à $-9,0$ hL/ha par décennie ($-19,1$ hL/ha). Le graphique met en évidence une forte variabilité interannuelle, avec des années très productives comme 2011, 2017 et 2020, suivies de chutes marquées en 2013, 2016 ou 2021. Cette irrégularité reflète l'exposition croissante de la vigne aux aléas climatiques récents, qu'il s'agisse de gelées printanières, de sécheresses ou d'épisodes de chaleur estivale. L'alternance de bonnes et mauvaises récoltes souligne la vulnérabilité de la production face aux conditions météorologiques.

e) FAQ

L'onglet « FAQ » détaille **toutes les questions que pourraient se poser les utilisateurs** lors de leur visite sur l'application web. Certaines des questions ont réellement été posées par des conseillers. Il apporte ainsi **des éléments de réponses et des explications** du fonctionnement de l'application. Les questions sont classées dans plusieurs catégories : données utilisées, définitions et sigles utilisés, explication des calculs et des seuils, utilisations des indicateurs et manipulation des graphiques. Un exemple de questions et de réponses présents dans la FAQ est montré ci-dessous.

Données utilisées

D'où viennent les données météorologiques utilisées ?

Les indicateurs proviennent d'une base de données en libre accès sur le site de Météo France.

Différents types de données ont été sélectionnées :

1. **Longues Séries Homogènes (LSH)** : données mensuelles sur >50 ans (pluie, température)
2. **Séries Quotidiennes de Référence (SQR)** : données quotidiennes (pluie, température)
3. **Données climatologiques quotidiennes** : séries non homogénéisées avec plus de stations et d'indicateurs (vent, humidité...)
4. **ETP** : données spatialisées depuis 1993 interpolées au point de grille

Qu'apporte l'homogénéisation des stations ?

L'homogénéité permet d'éviter les biais dus à :

1. Changement du site de mesure
2. Remplacement du capteur
3. Modification de l'environnement
4. Évolution du mode de calcul

Ces éléments peuvent créer des ruptures artificielles dans les séries temporelles.

Quelles données sont disponibles dans les stations ORACLE ?

Les stations météorologiques fournissent quotidiennement :

- **Tmin** : température minimale journalière
- **Tmax** : température maximale journalière
- **RR** : précipitations journalières (hauteur de pluie)

Quelle est la différence entre les stations ORACLE et les stations climatiques ?

Les stations **ORACLE** sont celles qui sont homogénéisées, et regroupent les stations LSH et les stations SQR

Les stations **météos** sont des stations quotidiennes et non homogénéisées. Elles ont les caractéristiques suivantes :

- Elles ont **plus d'indicateurs** (notamment l'humidité)
- Elles sont **plus nombreuses** et permettent donc de couvrir un plus grand territoire
- Elles sont utilisables pour des conseils à **court terme** et non pour une étude du changement climatique

Figure 25 : Extrait de l'onglet « FAQ »

L'application a donc été pensée pour être intuitive, ergonomique et accessible pour tous les utilisateurs. Son développement a été minutieusement organisé, pour pouvoir être le plus efficace possible tout en répondant au mieux aux besoins des utilisateurs.

5. Gestion de la programmation et du retour des utilisateurs

Le **développement** de l'application s'est bien déroulé **par filière**, comme il était prévu. Néanmoins, la **filière grandes cultures a nécessité plus de temps**, puisqu'elle a plus d'indicateurs que les autres filières. En effet, les grandes cultures regroupent **68 indicateurs**, tandis que les autres filières en regroupent **18 en moyenne**. Cela est lié à la **répartition séparée des indicateurs selon les espèces** pour les grandes cultures. Un retard de **deux semaines** s'est accumulé dans le planning initialement prévu. De plus, l'application a été **mise en ligne début juillet**, et donc **peu de retours utilisateurs n'ont été possibles avant cette date**. Ainsi, l'ensemble des retours a dû être **traité simultanément, toutes filières confondues**. Pour cette raison, il a été décidé que le développement des indicateurs climatiques et agro-climatiques de **la filière maraîchage se ferait ultérieurement**.

Deux onglets ont été ajoutés après le début de la phase de développement : « **Accueil** » et « **FAQ** ». L'onglet « **FAQ** », a été développé à partir de **début juin** afin de clarifier certains termes. Il a ensuite été enrichi progressivement, au fil des retours utilisateurs et des questions soulevées. L'onglet « **Accueil** », quant-à-lui, a été développé **fin août**, et a été ajouté suite à des demandes d'utilisateurs. Le déroulement de la phase de développement et de prise en compte des retours est illustré ci-dessous.

	1-15 mai	16-31 mai	1-16 juin	15-30 juin	1-16 juillet	15-31 juillet	1-15 août	16-31 août
Indicateurs climatiques								
Viticulture (agro-climatique et impact)								
Retour viticulture et indicateurs climatiques								
Elevage (agro-climatique et impact)								
Retour élevage								
Grandes cultures (agro-climatique et impact)								
Retours grandes cultures								
Arboriculture (agro-climatique et impact)								
Retour arboriculture								
Maraîchage (agro-climatique et impact)								
Retour maraîchage								
FAQ								
Accueil								
Prise en compte des retours								

Mise en
ligne de
l'application

Tableau 8 : Organisation de la programmation et du retour des utilisateurs réellement suivie

Comme initialement prévu, un **mail a été envoyé à l'ensemble des personnes ayant été contactées** pour l'élaboration du dictionnaire d'indicateurs. Néanmoins, **peu de personnes ont répondu**, ce qui peut être expliqué par le fait que cette phase s'est déroulée pendant la **période estivale**. Ainsi, il y a eu un total de **7 retours** : 3 retours pour la viticulture, 3 retours en élevage et un en maraîchage. Pour le moment, l'application a connu 4 versions différentes :

- Une **V1 début juillet** avec les indicateurs climatiques, les indicateurs de viticulture et d'élevage et une partie de la FAQ.
- Une **V2 le 16 juillet**, qui avait en plus des grandes cultures ainsi que les retours traités à ce stade.
- Une **V3 le 31 juillet**, avec les indicateurs d'arboriculture et les retours traités.
- Une **V4 le 21 août**, qui corrige des bugs et traite de nouveaux retours.

Une 5^{ème} version contenant les indicateurs de maraîchage ainsi que le traitement de bugs et de retours est envisagée pour mi-septembre.

L'intégration des retours utilisateurs est donc bien avancée, mais reste incomplète, la partie maraîchage n'ayant pas encore été codée. La phase de développement sera donc prolongée à partir de septembre.

En résumé, l'application web est **ergonomique, accessible et intuitive**. Deux onglets ont été créés pour fournir **des explications** aux utilisateurs, facilitant ainsi la navigation. Trois autres onglets présentent les indicateurs, organisés de manière cohérente pour **simplifier leur consultation**.

Pour conclure, l'ensemble des travaux réalisés au cours du projet ingénieur a permis d'aboutir à une avancée majeure par rapport à ORACLE 2023, tant en termes de couverture géographique que de richesse des indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts, ainsi que d'accessibilité et de qualité de l'outil final. La constitution d'une base de données robuste, la définition précise d'un dictionnaire

d'indicateurs et le développement d'une application web intuitive offrent désormais aux conseillers agricoles un outil complet pour suivre l'évolution du climat et ses effets sur les filières. Toutefois, quelques obstacles ont été rencontrés au cours du projet, ouvrant ainsi la voie à de potentielles perspectives d'amélioration.

Les éléments clés des résultats

- ➔ Les données de l'application web ORACLE 2025 sont issues de 242 stations d'Occitanie : 26 stations climatiques et 216 stations météorologiques. Les données récupérées sont les températures, les précipitations, l'ETP et l'humidité. Celles-ci sont conservées sur une base de données PgAdmin.
- ➔ Le dictionnaire d'indicateurs est composé de 152 indicateurs : 13 indicateurs climatiques, 120 indicateurs agro-climatiques et 19 indicateurs d'impacts. Les indicateurs agro-climatiques sont détaillés par filière dans un livret expliquant leur objectif, leur méthode de calcul et leur seuil paramétrable.
- ➔ L'application compte 5 onglets : 2 onglets (« Accueil » et « FAQ ») explicitent son fonctionnement et facilitent la navigation, et les 3 autres onglets (« Agro-climatique », « Climatique » et « Impacts ») permettent de visualiser l'évolution des indicateurs. L'accès aux données est optimisé et les graphiques peuvent être personnalisés par l'utilisateur.

V. Bilan et perspectives

A. Bilan : les avancées du projet

Le projet ORACLE 2025 a permis d'avancer sur l'étude de l'évolution du climat, et de ses impacts en Occitanie. L'objectif principal, à savoir **structurer les données climatiques et agro-climatiques dans un format plus accessible** pour les utilisateurs, a été en grande partie atteint.

En effet, le projet a d'abord permis de construire **une base de données climatique structurée**, en regroupant des données issues de **242 stations** différentes, sélectionnées sur des critères de fiabilité, de représentativité territoriale et de continuité temporelle. Ces données proviennent du portail de Météo-France. Les 242 stations sont décomposées en **26 stations climatiques** homogénéisées pour l'étude du changement climatique et en **216 stations météorologiques** pour l'étude de phénomènes à court terme par les conseillers des chambres d'agriculture. Les données, hébergées dans une base **PgAdmin**, peuvent être facilement réutilisées et mises à jour pour assurer la maintenance de l'application.

Ensuite, un dictionnaire **d'indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts** a été réalisé. Celui-ci considère les besoins des utilisateurs et est représentatif de chaque filière. Ce dictionnaire permet de faciliter l'usage des indicateurs, en particulier pour le conseil ou la sensibilisation. Ainsi, il regroupe **152 indicateurs**, dont **13 indicateurs climatiques**, **120 agro-climatiques** et **19 d'impacts**. Dans les indicateurs agro-climatiques, il y a 13 indicateurs en arboriculture, 21 en élevage, 68 en grandes cultures, 19 en maraîchage et 18 en viticulture. Ces indicateurs sont tous répartis dans des usages adaptés aux filières, afin de faciliter leur compréhension et leur utilisation.

De même, **l'application web** développée permet de rendre les indicateurs **plus accessibles et facilement réutilisables**. Celle-ci a été développée avec **RShiny**, qui est un outil adapté aux analyses statistiques, aux visualisations avancées et aux modèles prédictifs. L'application permet de visualiser les données climatiques et agro-climatiques selon plusieurs critères (territoire, filière, usage), avec une **interface adaptée aux besoins** des conseillers. À ce stade, l'application présente l'évolution des indicateurs pour toutes les filières, sauf pour le maraîchage. L'hébergement de l'application a été confié à un prestataire externe, l'entreprise Donneo, afin de faciliter et accélérer la mise en ligne.

Enfin, le projet ORACLE 2025 **répond aux enjeux climatiques** qui touchent les filières agricoles. L'application web met à disposition des indicateurs tels que le stress thermique animal ou le nombre de jours secs consécutifs, ce qui contribue à **sensibiliser les conseillers et les agriculteurs** à certains besoins tels que l'adaptation des bâtiments ou des systèmes de production, ainsi qu'à l'optimisation des ressources fourragères et alimentaires. Elle fournit également des informations sur l'évolution de certains stades phénologiques, ce qui peut aider à **ajuster les calendriers et les itinéraires techniques**. Par exemple, pour le tournesol, l'application montre un avancement moyen de la date de récolte de 23 jours entre 1959 et 2024, ce qui peut constituer une aide à l'anticipation pour les années à venir. Par ailleurs, de nombreuses données sont également fournies concernant **l'anticipation et la gestion des risques agro-climatiques**, comme les dates de vols de ravageurs ou l'apparition de maladies, permettant ainsi une meilleure préparation face à ces aléas.

En résumé, ORACLE 2025 est un exemple de technologie permettant d'appuyer la prise de décision dans le but d'une adaptation au changement climatique, et pouvant être facilement utilisée par des conseillers, des chercheurs, des enseignants ou des agriculteurs. Néanmoins, il existe encore quelques améliorations envisageables pour l'application.

B. Perspectives : améliorations possibles

1. Parties à approfondir : indicateurs et organisation du développement

Le projet ORACLE 2025 n'est pas encore totalement finalisé sur plusieurs aspects, en particulier en ce qui concerne le dictionnaire d'indicateurs de la **filière maraîchage**. En effet, il manque des précisions concernant le choix des espèces représentées et la définition des seuils pertinents. Ce problème est lié au **faible nombre d'entretiens** réalisés avec des conseillers spécialisés en maraîchage, ainsi qu'au fait que ces échanges ont eu lieu tardivement dans le déroulement du projet. Il serait donc pertinent d'approfondir cette partie, en échangeant avec d'avantage de conseillers. Pour ce faire, il pourrait être possible de s'appuyer sur le travail d'**Amélie Lefèvre** de l'INRAE (UMR Agroécologie – Unité expérimentale sur les systèmes maraîchers agroécologiques), qui développe des références expérimentales et méthodologiques sur la conception et l'évaluation de systèmes maraîchers innovants, en particulier en lien avec l'adaptation aux aléas climatiques et aux transitions agroécologiques. En effet, les manques identifiés dans ORACLE 2025 pour la filière maraîchage pourraient être comblés par une intégration de ses protocoles et résultats dans la définition des seuils et indicateurs ainsi qu'une prise de contact avec son unité expérimentale, pour enrichir la base de connaissances (Lefèvre et al., 2024).

De même, en arboriculture, plusieurs espèces fruitières importantes comme le pêcher ou l'abricotier n'ont pas été encore traitées, par manque de réponses des conseillers spécialisés dans les fruits à noyau. Pour les grandes cultures, le maïs reste également à compléter, car, contrairement au blé, aucun retour spécialisé n'a été recueilli auprès d'Arvalis.

Un autre ajout envisageable est celui des données de la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'adaptation au Changement Climatique (**TRACC**), mise en place par le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, et qui permettrait de proposer aux utilisateurs des **prévisions climatiques jusqu'en 2100**, basées sur le scénario tendanciel du GIEC. Son ajout permettrait de **sensibiliser davantage les utilisateurs au changement climatique** mais aussi **d'affiner les conseils destinés aux agriculteurs pour adapter leurs pratiques**. En anticipant plus précisément les conditions climatiques futures, les conseillers pourraient ainsi proposer des solutions mieux adaptées aux besoins des exploitations (Ministère de la Transition Écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche, s. d.). L'ajout de la TRACC à l'application pourrait être planifié pour le mois d'octobre, une fois les autres modifications finalisées.

Enfin, des discussions sont en cours avec certaines structures afin de compléter la base de **données d'impact** :

- En **élevage** avec le **GIE et le CRIEL** pour récupérer des données sur le **Gain Moyen Quotidien** (GMQ) des animaux, indicateur du suivi de croissance, et le **taux de cellules dans le lait**, utilisé comme indicateur de santé des troupeaux et de qualité du lait.
- En **arboriculture**, avec **CTIFL**, afin de récupérer des données de **stades phénologiques** observées sur certaines espèces fruitières comme le cerisier ou le pommier.
- En **grandes cultures**, avec **ARVALIS**, pour récupérer des observations **des stades phénologiques** sur des parcelles de référence.
- En **viticulture**, l'équipe d'**AgroTIC** dans le cadre de l'application **ApeX-Vigne** qui suit la croissance des vignes en comptant les apex, pourraient fournir des indicateurs de

stress hydrique récupérés sur le terrain, principalement dans le **bassin Languedoc-Roussillon** (Pichon, s. d.).

L'échange de données entre structures est un processus long qui demande du temps et sera réalisé au fur et à mesure du déploiement de l'application web ORACLE.

Ensuite, la phase de développement a pris plus de temps que ce qui a été planifié, ce qui a engendré le **report du développement des indicateurs du maraîchage**. Ce retard s'explique en partie par une **planification initiale trop dense**, qui a laissé **peu de marge** pour la gestion des imprévus. De plus, la **phase de développement a débuté alors que le dictionnaire d'indicateur n'était pas complètement finalisé**, et certains échanges avec des conseillers sont intervenus après que les indicateurs de leur filière avaient déjà été développés. Cela a engendré d'importantes modifications qui ont été chronophages. Par exemple, la catégorie « Animaux » de la filière élevage était initialement composée des indicateurs « Nécessité de ventilation », « Jours caniculaires », « Jours chauds ovins » et « Jours chauds bovins-caprins », mais à la suite d'un échange avec des conseillers, ils ont tous été remplacés par « Risque de stress thermique » et « Nombre de jours selon l'indice de stress thermique (THI) ». Ces ajustements auraient été évités si la phase de développement avait débuté une fois que le dictionnaire d'indicateurs était totalement finalisé.

Enfin, la phase de retours a été perturbée car la **mise en ligne a été faite plus tardivement que prévu**. Cela n'a **pas permis le recueil des avis ciblés par filière**, comme cela avait été initialement envisagé. En conséquence, les retours ont été recueillis de manière **plus générale et moins structurée**, ce qui a entraîné une **charge de travail importante** concentrée sur une période assez courte. Les retours utilisateurs pourraient être améliorés en organisant des entretiens réunissant plusieurs conseillers d'une même filière, afin d'obtenir des retours concertés et plus détaillés.

À partir de **septembre**, la phase d'analyse des besoins en indicateurs agro-climatiques pour le maraîchage devrait reprendre, afin de compléter et préciser le dictionnaire d'indicateurs. Parallèlement, l'application sera finalisée et la phase de retours utilisateurs par filière sera menée à son terme. Cela permettrait à ORACLE 2025 d'être finalisé au plus vite.

Ainsi, malgré les avancées importantes réalisées, certaines étapes clés du projet nécessitent encore des ajustements, notamment pour le maraîchage et la collecte des retours utilisateurs. Ces améliorations ne concernent pas uniquement le contenu des indicateurs, mais également la structure et la qualité des données qui les alimentent.

2. Améliorations de la base de données

La base de données actuelle est fonctionnelle, mais reste peu optimisée car elle présente des **répétitions** et **certaines tables ne sont liées à aucune autre**. Une nouvelle architecture, plus optimisée, a donc été pensée après la mise en ligne de la V3 de l'application, mais elle n'a pas encore été implémentée. Celle-ci est composée de 10 tables, réparties comme suit :

- **3 tables** avec les **données climatiques**, regroupant la liste des stations, les données d'ETP, ainsi que les données LSH, SQR et les stations quotidiennes non homogénéisées regroupées en une seule table nommée « données climatiques ».
- **4 tables** avec les **données d'impacts** de viticulture, d'arboriculture, d'élevage et de grandes cultures.
- **3 tables** avec les **données des stades phénologiques** de la vigne.

La structure de la base de données optimisée est détaillée ci-dessous.

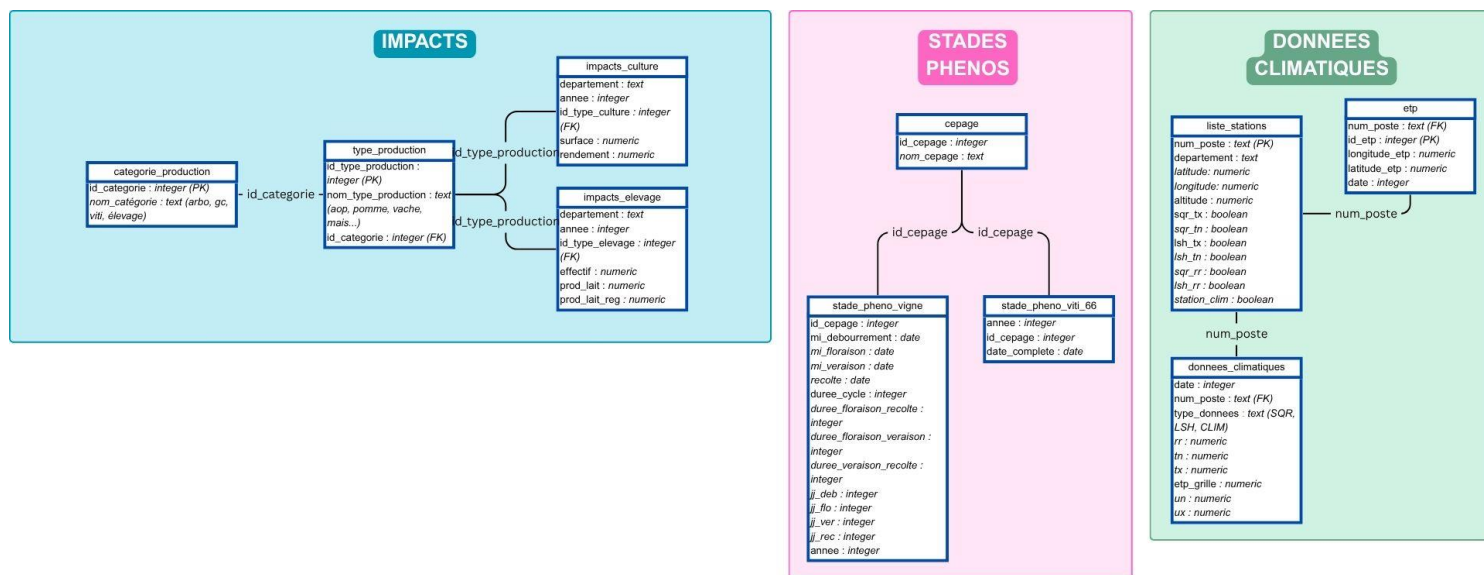


Figure 26 : Structure de la base de données optimisée

Cette architecture optimisée **faciliterait l'ajout de nouvelles tables** et de **nouvelles données**. En effet, en **évitant les redondances**, les mises à jour, suppressions ou ajouts se feront sans risque d'incohérences dans les données. Cependant, elle n'a pas encore été intégrée, faute de temps, puisque son déploiement nécessiterait de nombreuses modifications dans la base de données et dans le code de l'application. Sa mise en place est envisagée à partir de septembre et pourrait durer jusqu'à deux semaines.

La nouvelle structure de la base de données améliorera la performance et la flexibilité d'ORACLE 2025, mais sa mise en œuvre devra être accompagnée d'une maintenance régulière et d'un budget adapté pour garantir le bon fonctionnement de l'application.

3. Maintenance et évolution de l'application

Après son déploiement, l'application ORACLE 2025 nécessitera **un suivi régulier** sur le long terme, aussi bien pour **corriger d'éventuels bugs** que pour assurer ses mises à jour. En effet, les données climatiques doivent être ajoutées régulièrement à la base de données afin de garantir la pertinence de l'application sur le long terme. Ainsi, il est nécessaire de prévoir un **ajout annuel des données** de température, de précipitations, d'ETP et d'humidité dans la base de données.

D'autres perspectives d'évolution peuvent être envisagées pour l'application. D'un point de vue technique, une **optimisation des performances** serait envisageable, afin d'améliorer la fluidité d'utilisation et de réduire les temps de calcul et de chargement. Concernant le contenu, un **ajout de nouveaux indicateurs** permettrait d'enrichir davantage le dictionnaire sur le long terme.

Enfin, il est nécessaire de se pencher sur la **transmission du travail** réalisé au cours de ce projet ingénieur. La rédaction d'une **notice détaillée** expliquant la gestion de la base de données et la structure du code apparaît essentielle. Ce document permettrait de **faciliter la prise en main** de l'application par un nouveau développeur et de garantir la continuité du projet au-delà de son développement initial. Cette notice pourrait inclure des tutoriels simples pour les opérations courantes (ajout de nouveaux indicateurs climatiques, ajout de nouvelles stations, correction de bugs) et les schémas de la base de données. Ainsi, elle permettrait

d'assurer la **pérennité et l'évolutivité** de l'application. Par ailleurs, la transmission pourrait être renforcée par une **mutualisation des données avec la base du PEP**, permettant une mise à jour régulière et centralisée des informations.

ORACLE 2025 est donc un outil évolutif, capable de s'adapter aux besoins des conseillers sur le long terme, et constitue un support essentiel pour appuyer les projets liés au climat.

4. Montée en compétence des conseillers sur le climat et intégration de l'outil dans les projets climat

Sur le long terme, l'application pourrait contribuer à **renforcer les compétences des conseillers** sur les évolutions du climat et les leviers d'adaptation possibles. En effet, l'application apporte des **données globales et locales sur le changement climatique** et sur **son impact**, ce qui permettra de mieux **sensibiliser** les conseillers aux enjeux actuels, tout en leur donnant les moyens de **formuler des recommandations** précises et adaptées aux réalités de terrain. Ainsi, l'application pourra être utilisée autant comme un **outil d'aide à la décision** que comme un **outil de sensibilisation** aux enjeux climatiques.

Par ailleurs, ORACLE 2025 pourra être intégré dans les différents projets climat portés par la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie. Parmi ceux évoqués dans la partie I.B, certains d'entre eux peuvent être améliorés par les apports de l'application :

- Dans le cadre du projet **ADAPT'EAU**, la partie « Impacts » d'ORACLE 2025 pourrait donner une vision générale des impacts du changement climatique, ce qui aiderait l'avancée du projet et permettrait la sensibilisation des irrigants aux évolutions climatiques. De même, ORACLE 2025 pourrait être enrichi avec les données récoltées pour le projet ADAPT'EAU.
- Pour le projet **ClimaTerra**, l'application web pourrait servir de support aux conseillers pour l'accompagnement des exploitations agricoles, en leur donnant notamment des données concrètes à apporter aux exploitants.
- Le projet **GESTE – Reflex** pourrait, quant à lui, enrichir l'application web en apportant les données récupérées sur la gestion de l'eau. L'ajout d'un onglet « Eau » serait alors envisageable.

ORACLE 2025 constitue donc un appui majeur pour de nombreux projets climat à l'échelle de l'Occitanie. Dans ce contexte, il pourrait être intéressant d'élargir ce projet à une échelle nationale.

5. Reproductibilité dans d'autres régions du réseau Chambre d'Agriculture

Dans une perspective d'analyse du climat à l'**échelle nationale**, il serait intéressant de développer des versions de l'application web ORACLE pour chaque région du réseau Chambre d'Agriculture. Cela impliquerait la **création d'une base de données spécifique pour chaque région**, ainsi que l'**élaboration d'un dictionnaire d'indicateurs adapté**. En effet, les indicateurs agro-climatiques peuvent varier d'une région à l'autre, en fonction des cultures, des espèces présentes, mais aussi des seuils et des périodes. Le déploiement de l'application à d'autres territoires nécessiterait donc une **analyse préalable des besoins spécifiques à chaque région**. Ce projet pourra être porté par les chambres régionales de manière indépendante, mais une **mutualisation** serait préférable puisqu'elle faciliterait l'accès aux données et aux graphiques.

En conclusion, ORACLE 2025 constitue **un outil important** pour **l'analyse agro-climatique en Occitanie**, mais certaines étapes restent à finaliser, notamment le **dictionnaire d'indicateurs pour le maraîchage**. L'optimisation de la **base de données** et le **maintien régulier de l'application** garantiront la performance et la pérennité de l'application. Une **notice détaillée** facilitera la prise en main par de futurs développeurs.

À long terme, ORACLE 2025 pourra renforcer les compétences des conseillers sur le climat, être utilisé dans des projets climat et servir de modèle pour une réplication dans d'autres régions. L'application offre ainsi une base solide pour appuyer la prise de décision et l'adaptation au changement climatique à l'échelle territoriale, avec un potentiel d'élargissement national.

Les éléments clés du bilan et des perspectives

- ➔ ORACLE 2025 regroupe 152 indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts pour 242 stations climatiques et météorologiques d'Occitanie, dont les données sont stockées sur une base PgAdmin. Ces indicateurs sont accessibles via une application web développée avec RShiny, conçue pour être intuitive et facile à utiliser.
- ➔ Le travail reste à poursuivre pour les filières maraîchage, grandes cultures et arboriculture, avec le codage du maraîchage et l'ajout d'indicateurs spécifiques pour ces trois filières. Par ailleurs, la base de données pourrait être repensée afin de simplifier l'ajout de nouveaux indicateurs.
- ➔ Pour garantir la pérennité de l'outil, l'application doit être mise à jour chaque année.
- ➔ ORACLE 2025 contribue à renforcer les compétences des conseillers sur le climat, à faciliter la prise de décision et à sensibiliser les utilisateurs. À terme, un élargissement à l'échelle nationale pourrait permettre une analyse climatique plus globale et comparable.

Conclusion

Face aux changements climatiques de plus en plus visibles, le monde agricole a besoin **d'outils concrets pour suivre l'évolution du climat et adapter ses pratiques**. En Occitanie, région particulièrement touchée, la surface impactée par les sécheresses a triplé depuis 1990, soulignant l'importance de disposer d'informations fiables et exploitables pour les agriculteurs et les conseillers (Réseau Action Climat, s. d.). Dans ce contexte, le projet ORACLE 2025 a été porté avec le soutien financier de l'ADEME afin de **développer une application web interactive gratuite**. Celle-ci s'adresse principalement aux enseignants, aux chercheurs, aux conseillers et aux agriculteurs, et leur permet de visualiser l'évolution d'indicateurs climatiques, agro-climatiques et d'impacts en Occitanie au service des filières agricoles. Son objectif est donc de **rendre accessible les données climatiques** de l'observatoire ORACLE de manière **pratique et intuitive** aux utilisateurs.

Le projet a atteint ses objectifs initiaux en mettant à disposition une **application claire, complète et évolutive**. La construction d'une base de données robuste et structurée a permis de **centraliser les données climatiques** de stations couvrant l'ensemble de l'Occitanie, facilitant leur réutilisation pour de nouveaux projets et la maintenance de l'application. La création du dictionnaire d'indicateurs, réalisé à partir des échanges avec les conseillers et d'un recueil d'indicateurs, a permis de regrouper **un grand nombre d'indicateurs par filière et par usage**, simplifiant leur compréhension et leur exploitation pour le conseil et la sensibilisation. **L'application web**, quant à elle, offre une **interface ergonomique et intuitive** qui **facilite l'accès aux indicateurs** et permet leur visualisation de manière **interactive**.

Néanmoins, certaines limites persistent. Le **dictionnaire d'indicateurs reste incomplet** pour plusieurs filières : le maraîchage (choix des espèces et seuils), l'arboriculture (espèces fruitières à noyaux manquantes) et les grandes cultures (maïs à compléter), principalement en raison d'un manque de retours ou de données disponibles. De même, le dictionnaire d'indicateurs d'impacts reste à étoffer à l'aide d'indicateurs donnés par des structures externes. De plus, la partie maraîchage de l'application n'a **pas encore été finalisée**. Enfin, la maintenance et l'évolution de la plateforme nécessitent **un suivi régulier** pour intégrer les nouvelles données climatiques et améliorer les fonctionnalités selon les retours utilisateurs.

L'ensemble des réalisations a permis de **répondre concrètement aux besoins identifiés**. La base de données **centralisée et structurée** assure un accès fiable et sécurisé aux informations climatiques, ce qui facilite leur exploitation et leur réutilisation pour de futurs projets. Le dictionnaire d'indicateurs rend ces données **compréhensibles et exploitables**, en regroupant les informations par filière et par usage, ce qui **simplifie la prise de décision** pour les conseillers et les agriculteurs. Enfin, l'application web offre une **interface intuitive et interactive**, permettant aux utilisateurs d'accéder rapidement aux indicateurs et de visualiser l'évolution du climat et de ses impacts. Ensemble, ces éléments répondent efficacement au problème initial : fournir aux acteurs agricoles des outils pratiques pour interpréter les données climatiques.

ORACLE 2025 représente donc une première étape vers une **meilleure intégration des données climatiques** dans les démarches de conseil agricole en Occitanie, avec un potentiel de répliquabilité dans **d'autres régions**. Ce projet répond donc pleinement à l'objectif initial de mise en place d'une plateforme **claire, complète et évolutive**, et qui met à disposition une quantité importante de données sur le climat. Il met en évidence la faisabilité d'un outil capable de **transformer des données brutes en informations directement mobilisables** pour l'adaptation des pratiques agricoles.

Bibliographie

- Agreste. (s. d.). *Chiffres et analyses*. Consulté 29 juillet 2025, à l'adresse <https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/SAA/cda8b080-3e9e-4368-b41d-7a29c1da0be6/search/>
- Albert, M. (2023). *Déterminants de la capacité d'adaptation des agriculteurs et méthode d'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique, cas des exploitations maïsicoles en Occitanie* [Institut National Polytechnique de Toulouse]. <https://inria.hal.science/tel-04166368/>
- Balabukh, V. O., Malytska, L. V., Dovhal, H. P., Yahodynets, S. M., & Lavrynenko, O. M. (2024). Changes in the frequency of sharp cold snaps in spring during the XXI century in Ukraine and their impact on agricultural production. *Agricultural Science and Practice*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.03.003>
- Birthal, P. S., Hazrana, J., Negi, D. S., & Pandey, G. (2021). Benefits of irrigation against heat stress in agriculture : Evidence from wheat crop in India. *Agricultural Water Management*, 255, 106950. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106950>
- Bodeau, J. (2023). *Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique 2023* (No. 3; p. 214). Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie.
- Chambre d'Agriculture de Bretagne. (s. d.). *AgriClim—Chambre d'agriculture de Bretagne*. Consulté 28 juillet 2025, à l'adresse <https://bretagne.chambres-agriculture.fr/detail-projet-rd/agriclim-bzh>
- Chambre d'Agriculture d'Isère. (s. d.). *ZODIAC*. Consulté 28 juillet 2025, à l'adresse <https://ljk-codes.imag.fr/zodiac/>
- CRAO. (s. d.). *Le PEP - Chambre d'agriculture—Occitanie*. Consulté 27 août 2025, à l'adresse <https://occitanie.chambres-agriculture.fr/sinformer/lagriculture-en-occitanie/le-pep>
- CRAO. (2024a). *Contrat de filière Viticulture*. Conseil de Bassin Languedoc Roussillon.
- CRAO. (2024b). *Contrat de filières animales*.
- CRAO. (2024c). *Mobilités actives, partagées et solidaires : Accompagner le changement de comportements vers le passage à l'action* (p. 6) [Document technique]. ADEME.

- CRAO. (2025). *Lettre d'engagement de la CRAO pour une participation au RMT « adaptation des exploitations agricoles au changement climatique »*.
file:///C:/Users/legrands31r/Desktop/Stage/Dico%20indicateur/Bibliographie/RMT_ClimA_A
5_LETTRE_ENGAGEMENT_Occitanie.pdf
- DRIAS. (2020). *Aide à la sélection des modèles*. Météo France.
- Dubosc, N. (2023). *Agri'Scopie Occitanie*. CRAO.
- GIEC,. (s. d.). *Global warming of 1.5°C* (No. 6; p. 630). Intergovernmental Panel on Climate Change.
<https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>
- Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685-704. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>
- Le Moigne, M. (2025). *OBSERVATOIRE REGIONAL SUR L'AGRICULTURE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ORACLE Bilan 2024* (Annexe technique No. 1; p. 11). ADEME.
- Lefèvre, A., Salazar, P., Colnenne-David, C., Deytieux, V., Diman, J.-L., Durpoix, A., Farruggia, A., Novak, S., & Sylvaine, S. (2024). *Guide pratique pour formaliser des connaissances pour l'action issues d'expérimentations de systèmes de production agroécologiques*. 28.
<https://doi.org/10.17180/gm5q-k762>
- Liang, X.-Z. (2022). Extreme rainfall slows the global economy. *Nature*, 601(7892), 193-194.
<https://doi.org/10.1038/d41586-021-03783-x>
- Mazaleyrat, C. (2021). *Diagnostic territorial d'adaptation au changement climatique*. Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie.
- Météo France. (s. d.-a). *CLIMAT HD*. Consulté 29 juillet 2025, à l'adresse
<https://meteofrance.com/climathd>
- Météo France. (s. d.-b). *Données | meteo.data.gouv.fr*. Consulté 26 août 2025, à l'adresse
<https://meteo.data.gouv.fr/datasets?page=1&topic=6571f2db0273fc306408f265>
- Météo France. (s. d.-c). *Données ETP spatialisées quotidiennes*. Consulté 28 juillet 2025, à l'adresse
<https://meteo.data.gouv.fr/datasets/661d079b6357625e12013241>
- Météo France. (s. d.-d). *Évolution des vagues de chaleur Climat passé – Régions de France métropolitaine*.

- Microsoft. (s. d.). *Description du service Power BI - Service Descriptions*. Consulté 29 juillet 2025, à l'adresse <https://learn.microsoft.com/fr-fr/office365/servicedescriptions/power-bi-service-description>
- Ministère de la Transition Ecologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche. (s. d.). *TRACC*. Consulté 27 août 2025, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-changement-climatique-tracc>
- Nouvel, S. (2022). *Critères de qualité des séries de mesures*. COPIL, Météo France.
- PgAdmin. (s. d.). *FAQ*. Consulté 16 août 2025, à l'adresse <https://www.pgadmin.org/faq/>
- Pichon. (s. d.). *Nouvelle version de l'application ApeX-Vigne pour faciliter le suivi de la croissance des vignes et estimer la contrainte hydrique | L'Institut Agro Montpellier*. Consulté 28 août 2025, à l'adresse <https://www.institut-agro-montpellier.fr/actualites/application-apex-vigne>
- Quintana-Segui. (2008). Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables : Validation of the SAFRAN Analysis over France. *J. Appl. Meteor. Climatol*, 47, 92-107. <https://doi.org/10.1175/2007JAMC1636.1>
- Réseau Action Climat. (s. d.). La France face au changement climatique : Toutes les régions impactées. *Réseau Action Climat*. Consulté 28 juillet 2025, à l'adresse <https://reseauactionclimat.org/publications/la-france-face-au-changement-climatique-toutes-les-regions-impactees/>
- Rshiny. (s. d.). *Shiny—Welcome to Shiny*. Shiny. Consulté 29 juillet 2025, à l'adresse <https://shiny.posit.co/r/getstarted/shiny-basics/lesson1/>
- Schleussner, C.-F., Pfleiderer, P., Andrijevic, M., Vogel, M. M., Otto, F. E. L., & Seneviratne, S. I. (2021). Pathways of climate resilience over the 21st century. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054058. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abed79>
- Solagro. (s. d.). *Climadiag Agriculture*. Consulté 28 juillet 2025, à l'adresse <https://solagro.org/travaux-et-productions/outils/climadiag-agriculture>
- Srivastav, A. L., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41576-41595. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4>

Annexes

Annexe 1 :

Extraits d'ORACLE 2023



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Température moyenne annuelle

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

Indicateur

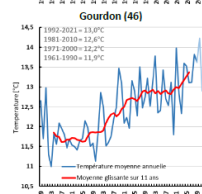
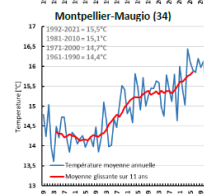
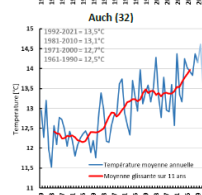
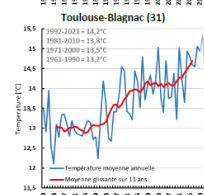
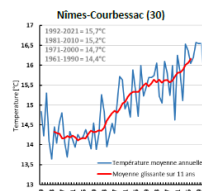
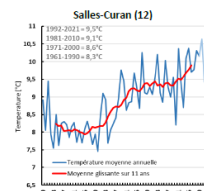
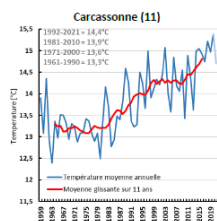
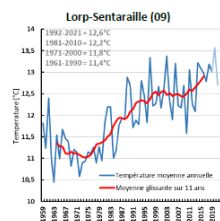
- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1959 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Gourdon (46) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Lacau (81) : 1961 à 2021
- Montauban (82) : 1959 à 2021

Calcul de l'indicateur

- Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières
- Moyenne trentenaire des températures moyennes annuelles : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

Évolution observée

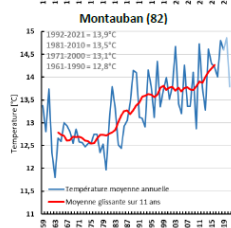
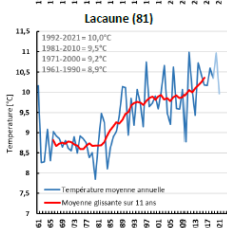
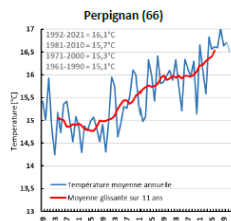
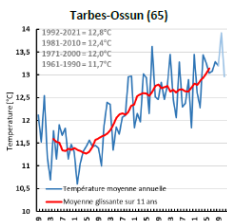
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Température moyenne en °C



12

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

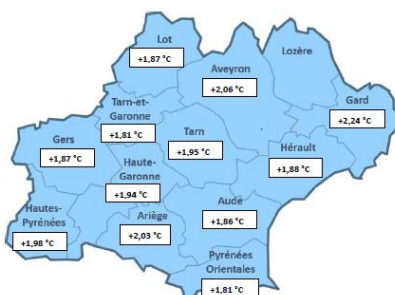


Analyse

L'évolution de la température moyenne observée en Région Occitanie depuis 1965 (1961 pour la station dans le Tarn) pour chaque station est significative, avec :

- + 0,34°C par décennie à Saint-Girons soit + 2,03°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Carcassonne soit + 1,86°C en 62 ans
- + 0,34°C par décennie à Salles-Curan soit + 2,06°C en 62 ans
- + 0,37°C par décennie à Nîmes-Courbessac soit + 2,24°C en 62 ans
- + 0,32°C par décennie à Toulouse-Blagnac soit + 1,94°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Auch soit + 1,87°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Montpellier-Maugio soit + 1,88°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Gourdon soit + 1,87°C en 62 ans
- + 0,33°C par décennie à Tarbes-Ossun soit + 1,98°C en 62 ans
- + 0,30°C par décennie à Perpignan soit + 1,81°C en 62 ans
- + 0,33°C par décennie à Lacau soit + 1,95°C en 60 ans
- + 0,30°C par décennie à Montauban soit + 1,81°C en 62 ans

Evolution de la température moyenne annuelle en 62 ans



13

14

Annexe 2 : Guide des entretiens semi-directifs

ORACLE 2023 :

- Êtes-vous satisfait du nombre d'indicateurs présents dans ORACLE 2023 ?
- Trouvez-vous que les indicateurs présents pour votre filière répondent à vos besoins ?
- Est-ce que le format livret vous paraît pratique ?

Indicateurs agro-climatiques sélectionnés :

- Est-ce que les usages sélectionnés vous paraissent corrects ?
- Est-ce que les indicateurs sélectionnés vous paraissent utiles ?
- Est-ce que les seuils des différents indicateurs sélectionnés vous paraissent corrects ?

Suggestions de nouveaux indicateurs :

Élevage :

- Existe-t-il des indicateurs pour estimer les risques d'incendie ?
- Comment estimer la hauteur de neige accumulée ?
- Existe-t-il des indicateurs de propagation de maladies ?
- Existe-t-il des indicateurs décrivant le bien-être animal ?
- Désirez-vous ajouter d'autres indicateurs dont nous n'avons pas parlé ?

Arboriculture, maraîchage et grandes cultures :

- Quelles sont les espèces représentatives de l'Occitanie ?

Viticulture :

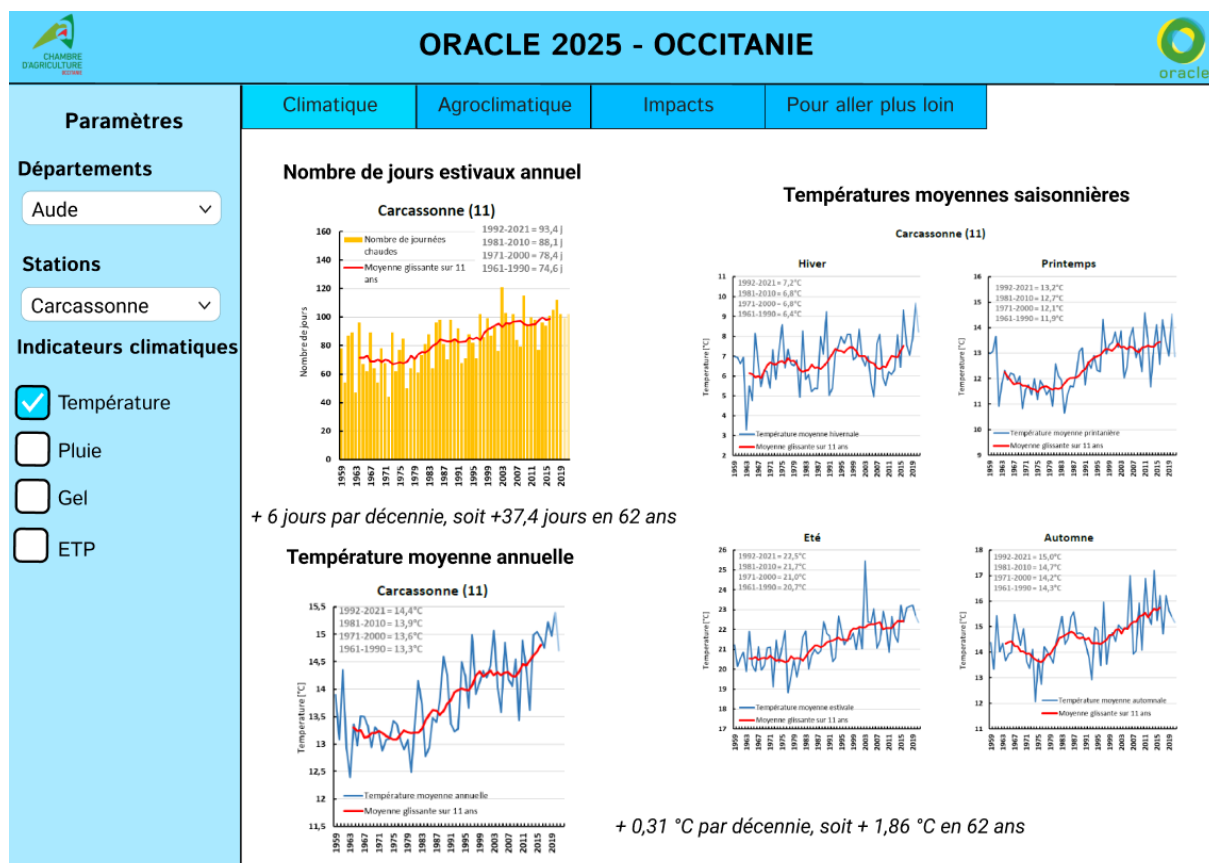
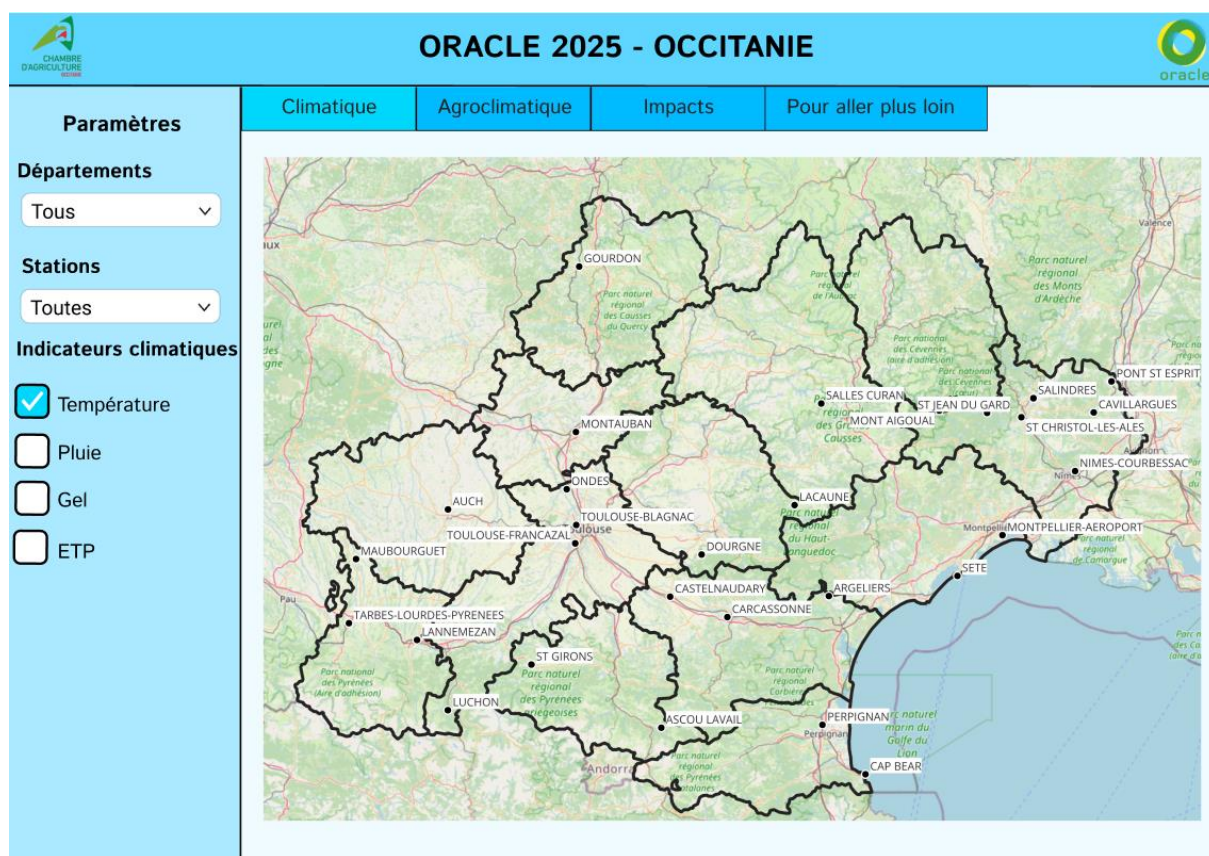
- Quels sont les cépages représentatifs de l'Occitanie ?

Clôture de l'entretien :

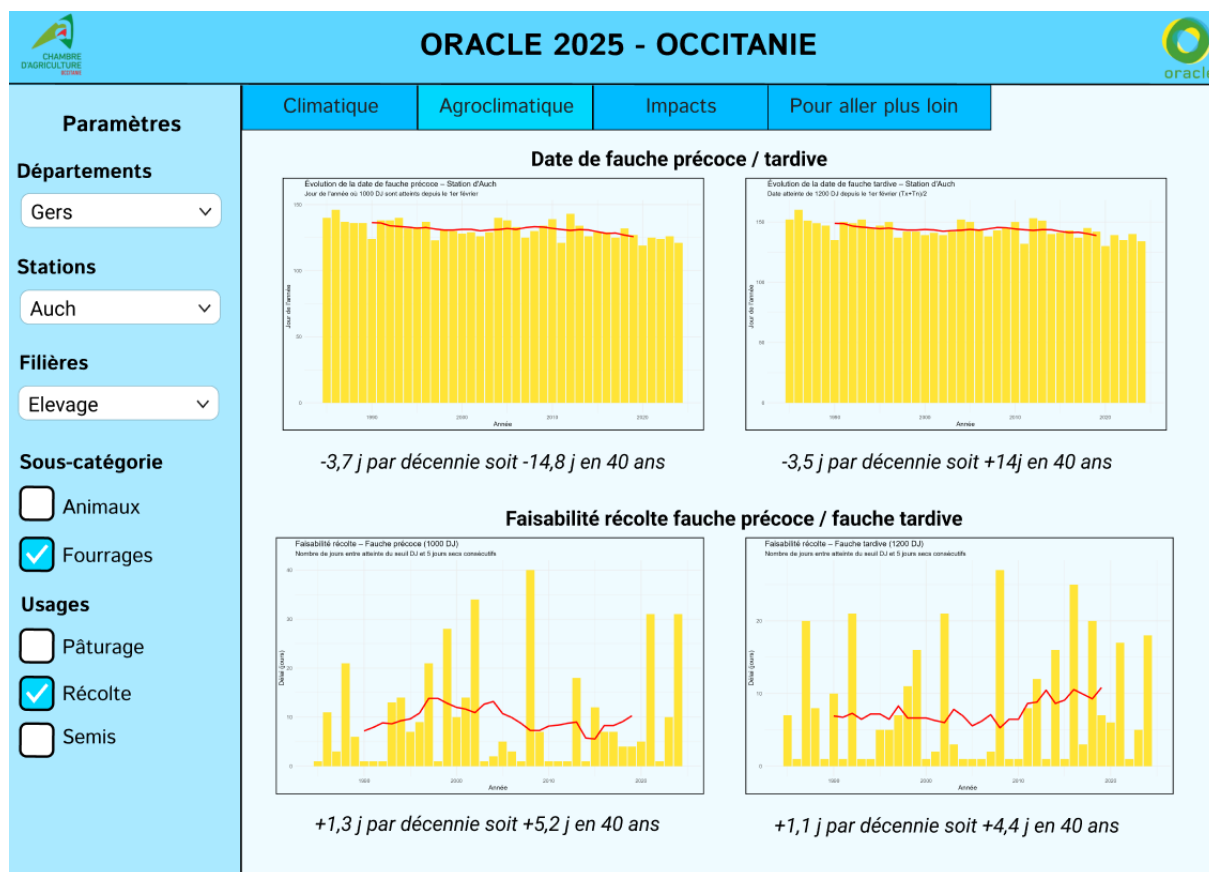
- Avez-vous des questions ? D'autres suggestions ?
- Connaissez-vous des conseillers de votre filière étant susceptibles d'accepter de participer à l'enquête ?

Annexe 3 : Extraits de la maquette de l'application

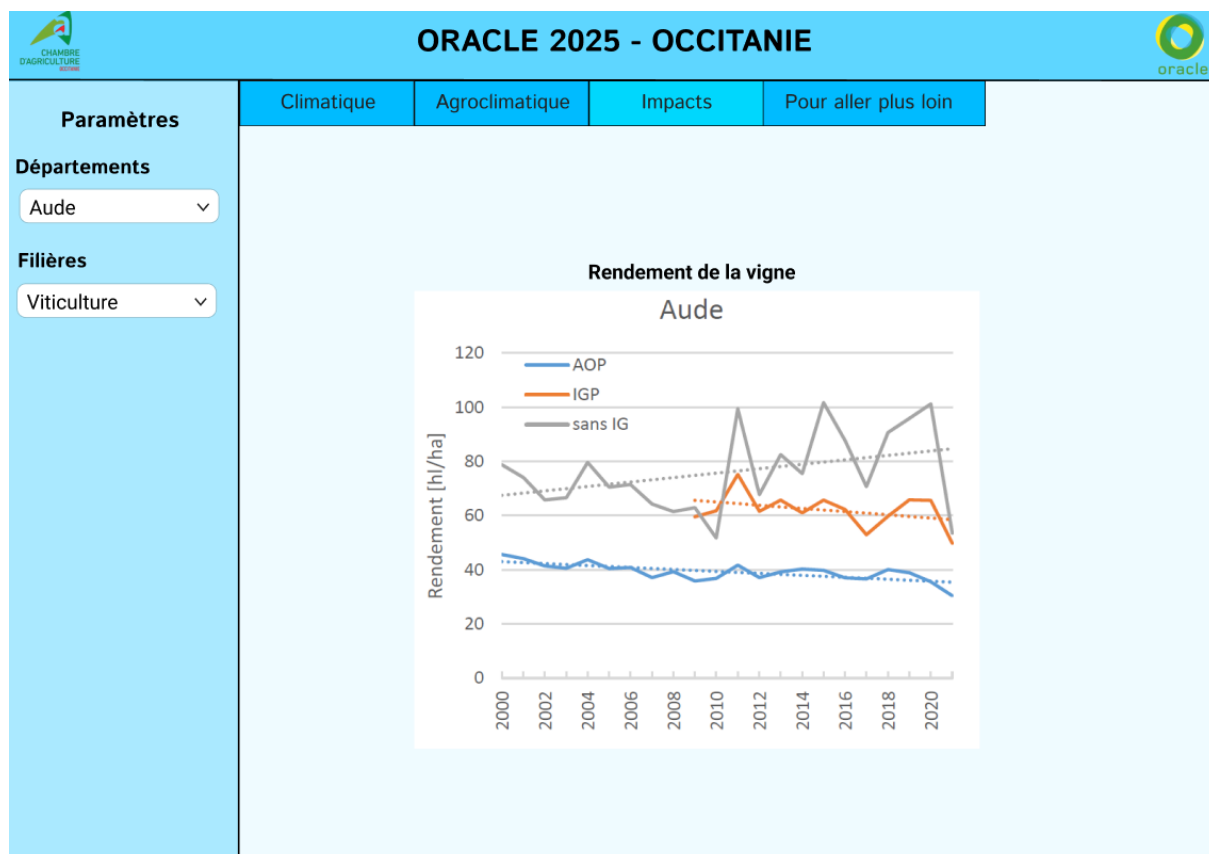
Indicateurs climatiques :



Indicateurs agro-climatiques :



Indicateurs d'impacts :

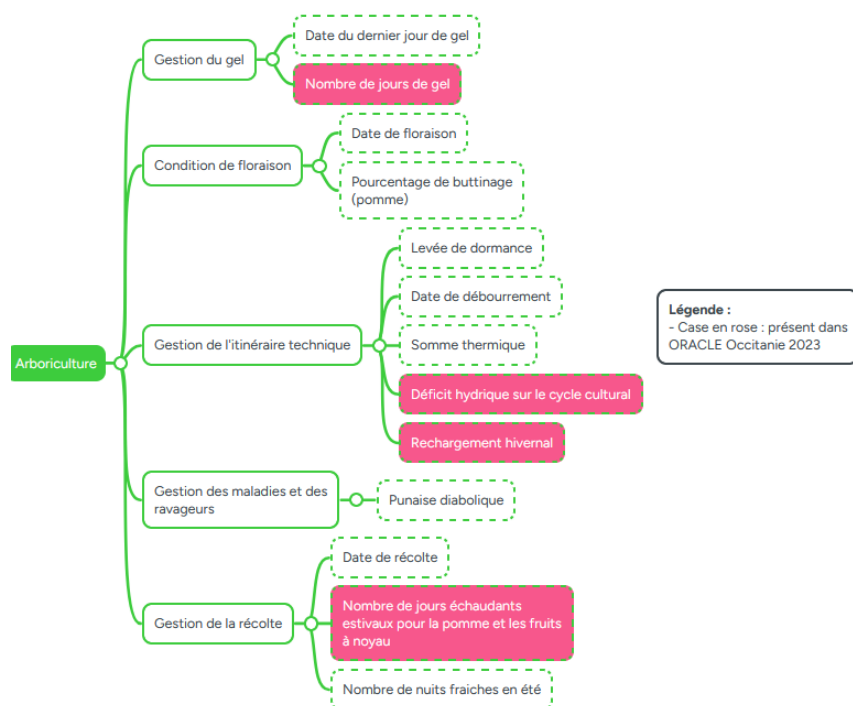


Annexe 4 : Extrait du planning de développement détaillé

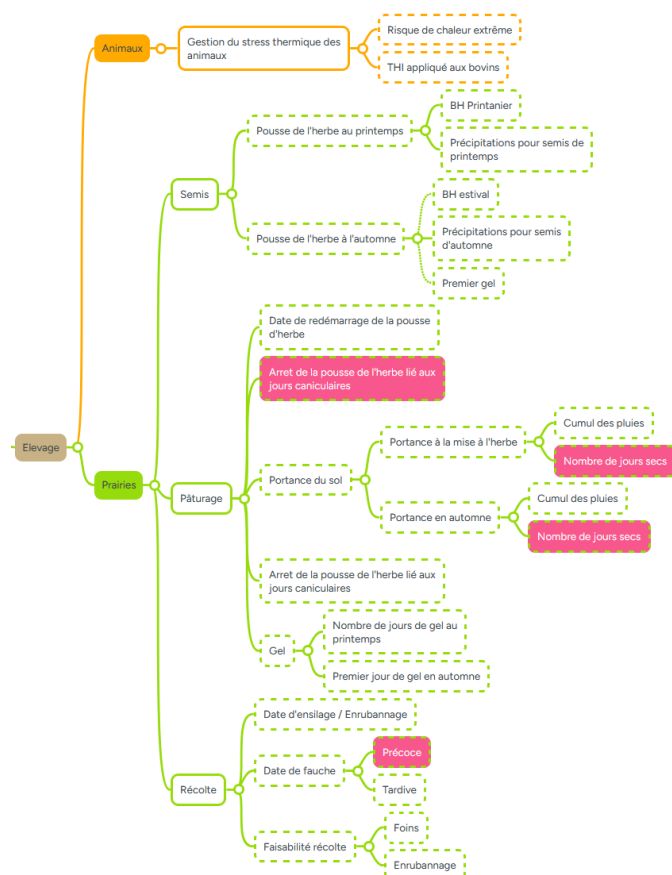
Code tâche	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Conseil code	Priorité	Difficulté	Temps estimé	Temps réel	14/05/2025 - 16/05/2025	19/05/2025 - 23/05/2025	26/05/2025 - 29/05/2025	02/06/2025 - 06/06/2025	10/06/2025 - 13/06/2025
ICPaIn	Indicateurs climatiques	Paramètres	Choix indicateurs	-		1	2	0:10:00	00:10:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICTe1	Indicateurs climatiques	Contenu	Température	Nombre de jours estivaux par an		1	2	0:15:00	01:15:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICTe2	Indicateurs climatiques	Contenu	Température	Température moyenne saisonnière		1	2	0:15:00	02:15:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICTe3	Indicateurs climatiques	Contenu	Température	Température moyenne saisonnière		1	2	0:15:00	01:15:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICP1	Indicateurs climatiques	Contenu	Pluie	Cumul annuel des précipitations		1	2	0:15:00	00:55:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICP12	Indicateurs climatiques	Contenu	Pluie	Cumul annuel des précipitations		1	2	0:15:00	00:45:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICETP1	Indicateurs climatiques	Contenu	ETP	Cumul annuel de l'ETP		1	2	0:15:00	00:45:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ICGe	Indicateurs climatiques	Contenu	ETP	Cumul saisonnier de l'ETP		1	2	0:15:00	00:30:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACPaDe	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix département	Nombre de jours de gel par		1	1	0:10:00	00:05:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACPst	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix stations	-		1	3	0:20:00	00:05:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACPst1	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix filiales	-		1	2	0:10:00	00:05:00	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACPst11	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix usages viticulture	-		1	3	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
IACPst12	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix usages arboriculture	-		1	3	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
IACPst13	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix usages maraîchage	-		1	3	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
IACPst14	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix usages grandes cultures	-		1	3	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
IACPst15	Indicateurs agro climatiques	Paramètres	Choix usages grandes cultures	-		1	3	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
IACV1	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Viticulture	Faisabilité d'entrée dans les parcelles		1	2	1:00:00	01:15:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACV2	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Viticulture	Gestion du gel		1	2	1:00:00	01:15:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
IACV3	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Viticulture	Gestion des maladies et des ravageurs		1	2	2:30:00	02:30:00	Pas commencé	En cours	Terminé	Terminé	Terminé
IACV4	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Viticulture	Gestion empiètement / enrouillage / irrigation		1	2	2:30:00	01:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé
IACV5	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Viticulture	Maturation		1	2	3:00:00	01:00:00	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé
IACE1	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Elevage	Gestion du stress thermique des animaux		1	2	1:30:00	02:00:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé
IACE2	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Elevage	Semis		1	2	2:30:00	02:15:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé
IACE3	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Elevage	Pâturage		1	2	6:00:00	02:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	En cours	Terminé
IACE4	Indicateurs agro climatiques	Contenu	Elevage	Récolte		1	2	2:30:00	02:00:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé
ILPaDe	Indicateurs d'impacts	Paramètres	Choix département	-		1	1	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ILCPa1	Indicateurs d'impacts	Paramètres	Choix filiales	-		1	1	0:10:00	00:05:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ILCE1	Indicateurs d'impacts	Contenu	Elevage	Surfaces des fourrages		1	2	1:00:00	00:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé
ILCE2	Indicateurs d'impacts	Contenu	Elevage	Production de BRT		1	2	1:00:00	00:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé
ILCV1	Indicateurs d'impacts	Contenu	Viticulture	Rendements		1	2	0:45:00	01:00:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ILCV2	Indicateurs d'impacts	Contenu	Viticulture	Surfaces		1	2	0:45:00	01:00:00	Pas commencé	Terminé	Terminé	Terminé	Terminé
ILCV4	Indicateurs d'impacts	Contenu	Viticulture	Evolution des stades phénologiques		1	2	2:00:00	04:00:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Terminé	Terminé
ILCA1	Indicateurs d'impacts	Contenu	Arboriculture	Rendements des fourrages		1	2	3:00:00	00:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILCA2	Indicateurs d'impacts	Contenu	Arboriculture	Surfaces		1	2	3:00:00	00:50:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGG1	Indicateurs d'impacts	Contenu	Grande culture	Blé		1	2	1:00:00	00:45:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGG2	Indicateurs d'impacts	Contenu	Grande culture	Cote		1	2	1:00:00	00:45:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGG3	Indicateurs d'impacts	Contenu	Grande culture	Grande culture		1	2	1:00:00	00:45:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGG4	Indicateurs d'impacts	Contenu	Grande culture	Grande culture		1	2	1:00:00	00:45:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGG5	Indicateurs d'impacts	Contenu	Grande culture	Tournesol		1	2	1:00:00	00:45:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGM1	Indicateurs d'impacts	Contenu	Maraîchage	Rendements		1	2	0:30:00	00:30:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
ILGM2	Indicateurs d'impacts	Contenu	Maraîchage	Surfaces		1	2	0:30:00	00:30:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé
FAQ	FAQ	Contenu	FAQ	FAQ		1	2	1:00:00	00:30:00	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé	Pas commencé

Annexe 5 : Détails des usages et des indicateurs par filière

Arboriculture :



Élevage :

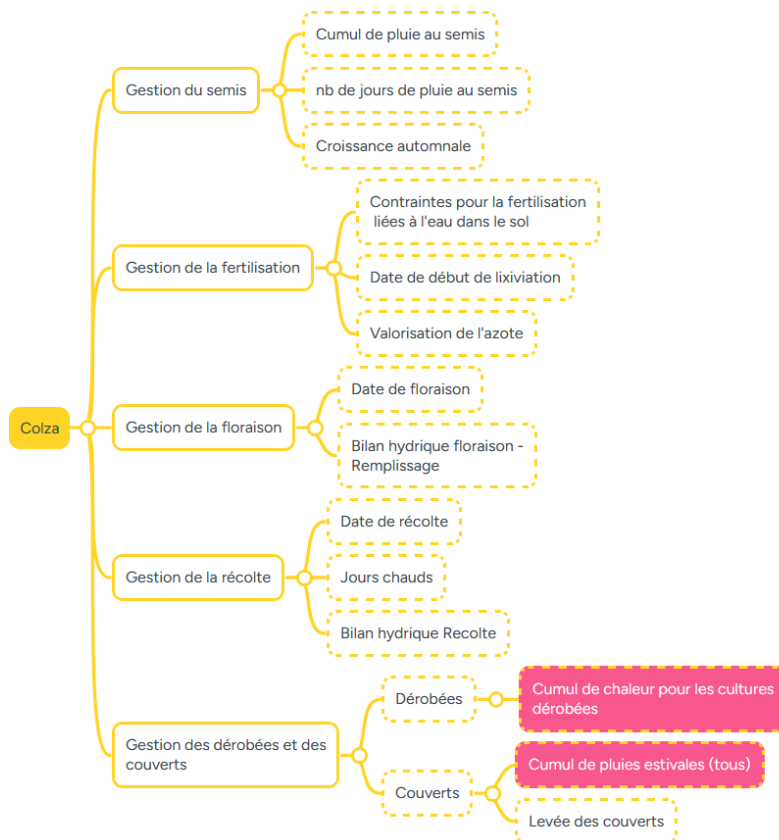


Grandes cultures :

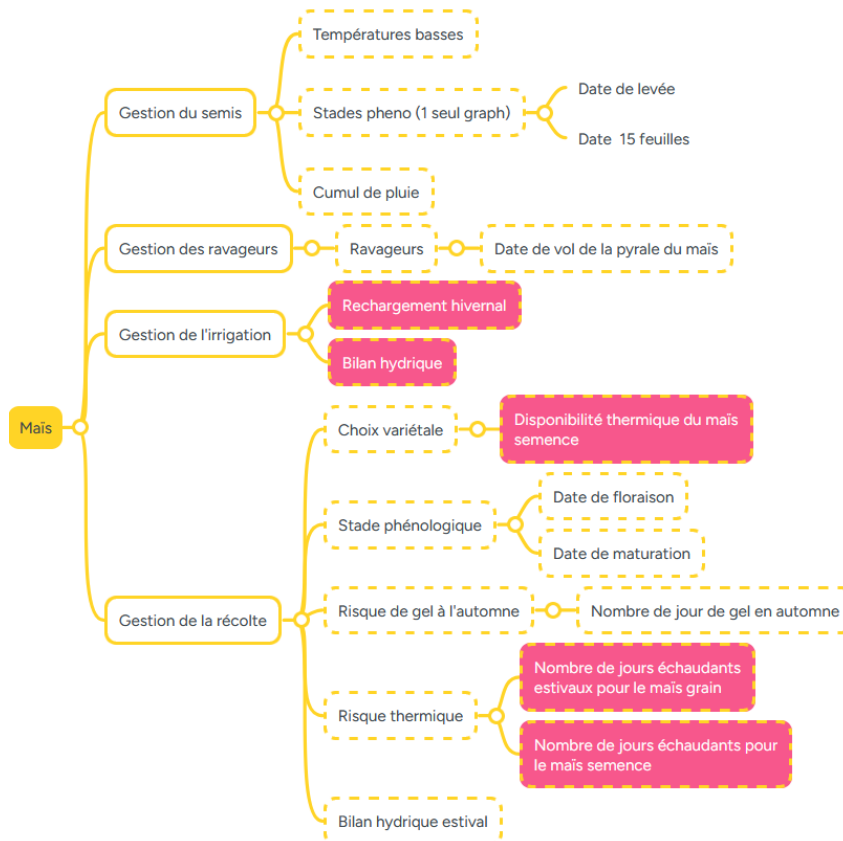
Blé :



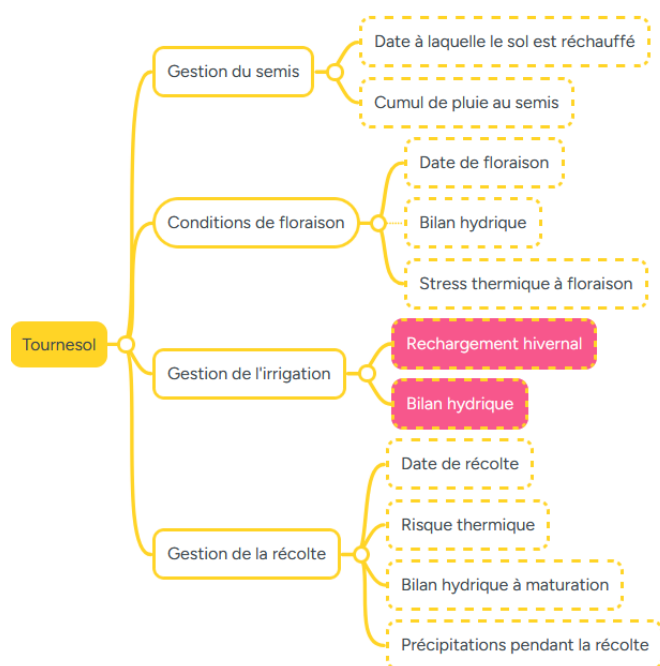
Colza :



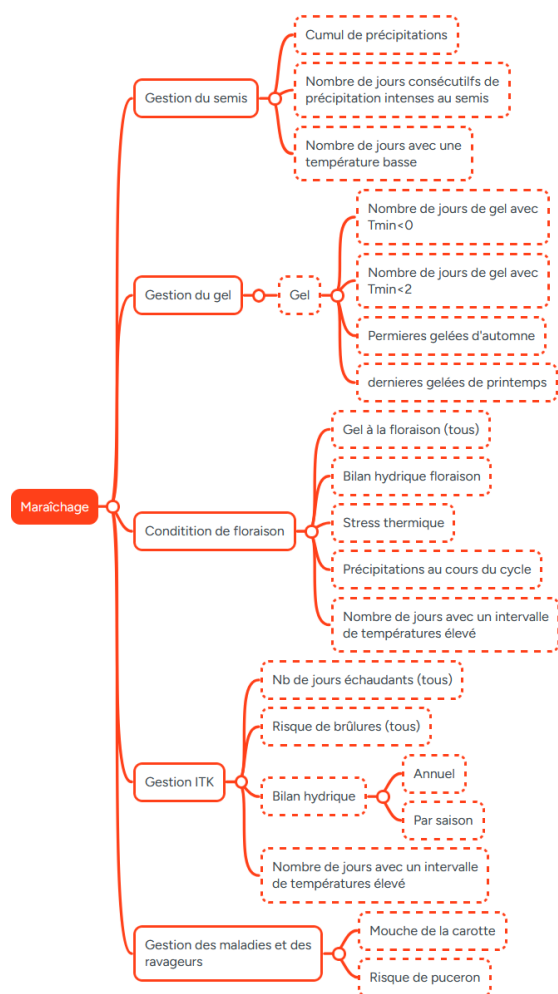
Maïs :



Tournesol :



Maraîchage :



Viticulture :

