

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis  
de Mostaganem



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et  
de la Vie



DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

N° \_\_\_\_\_ /AGRO/2023

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**Ahlem Chahinez SEKKEL**

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master Professionnel en Agronomie**

Spécialité : Technologies Avancées pour l'Agriculture de Précision

**THÈME**

**Conception d'une application mobile pour le suivi et le diagnostic  
des maladies des arbres fruitiers « ArboTech Expert »**

Soutenu publiquement le: 04/06/2023

Devant le JURY :

<b>Présidente</b>	M <sup>me</sup> BENOUDNINE Hadjira	Professeur	U. Mostaganem
<b>Examineur</b>	M <sup>r</sup> FARAH Tahar	M.A.A	U. Mostaganem
<b>Encadreur</b>	M <sup>r</sup> MAHIOUT Djamel	M.C.A	U. Mostaganem
<b>Co encadreur</b>	M <sup>r</sup> SEKKAL Ibrahim	Doctorant	U. Mostaganem

**Année universitaire: 2022 - 2023**

# Remercîments

**J**e tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme. Hadjira BENOUDNINE, Professeur à l'université de Mostaganem et coordinatrice du projet **CUPAGIS** ainsi que M. Djamel MAHIOUT responsables pédagogique du master de technologies avancées pour une agriculture de précision. La mise en place de cette formation de Cupagis témoigne de votre vision et de votre détermination à offrir aux étudiants une expérience d'apprentissage de qualité.

**J**e remercie Mme. BENOUDNINE d'avoir accepté de présider ce jury, et de m'avoir prodigué autant de conseils durant tout le cursus de mon Master Professionnel,

**J**e tiens à remercier Monsieur MAHIOUT Djamel qui a accepté de m'encadrer et pour avoir dirigé ce travail.

**J**e tiens également à exprimer mes remerciements profonds à **M. Ibrahim SEKKAL**. Je lui suis très reconnaissante de m'avoir confié un sujet aussi passionnant. Je le remercie aussi pour leur rôle crucial en tant que mon Co-encadreur. Son enthousiasme, son optimisme et sa bonne humeur m'ont beaucoup soutenu.

**J**e remercie particulièrement M. Tahar FERAH pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

**J**e remercie tous les professeurs de la spécialité pour leurs conseils et leurs encadrements, j'ai pu acquérir toutes les connaissances et les compétences nécessaires pour réussir ma formation.

**E**nfin, je remercie toute l'équipe d'ingénieur présente sur le terrain que j'ai consulté lors de ma préparation du mémoire pour leur aide et leur accompagnement durant toute la durée de ce travail.

# Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail à toutes nos familles et nos amis chacun par son nom, pour leurs aides et leurs soutiens moral.*

*Nous leurs dédions en témoignage de notre reconnaissance.*

## **Résumé**

Depuis l'an 2000, une nouvelle stratégie a été adoptée dans le secteur arboricole en Algérie. Elle vise à améliorer et encourager les agriculteurs à établir de nouveaux vergers. La non-maîtrise des techniques arboricoles et le manque de connaissances sur la présence des maladies et leur occurrence sur les arbres fruitiers causent une diminution importante et fréquente à la fois sur la quantité et la qualité de la production de fruits.

L'inspection visuelle des arbres est un aspect important quand on parle de la santé des plantes. Les tests de laboratoire n'étant pas un outil pratique pour un diagnostic au jour le jour, en raison des coûts et du temps de rotation. Les cultivateurs prennent leurs décisions sur la base des symptômes visibles sur les plantes mais souvent cette opération les laisse dans le doute car ils leur manquent de connaissance en diagnostic des stress des plantes et des outils de suivi des vergers.

Notre travail consiste à développer une application mobile qui s'inscrit dans le domaine de l'agriculture de précision. Grâce au logiciel Android Studio Electric Eel | 2022.1.1 Patch2, nous avons créé une plateforme technologique avancée qui vise à transformer la façon dont les agriculteurs gèrent leurs vergers.

La structure de l'application est divisée en trois parties expérimentales indépendantes travaillant en complémentarité. Elle est destinée au monde agricole car elle aide les agricultures et même les experts apprendre des décisions de gestion des vergers au moment propices.

La première partie vise à orienter l'utilisateur en lui offrant des itinéraires techniques mensuels à suivre, des identifications instantanées de maladies d'origine biotique et abiotique et des ravageurs. Cela est possible grâce à des images traitées, conçues avec le logiciel Photoshop. L'application fournit aux utilisateurs des conseils phytosanitaires.

La deuxième partie est instructive tant elle prodigue des connaissances générales sur la nutrition des plantes et les techniques de manipulation des pesticides.

La troisième partie est dédiée au système géo-informatique conçu d'une combinaison de deux logiciels Android studio version 2022 et Python version 3.10. Ce système permet d'avoir des informations précises sur la météo et les caractéristiques physicochimiques du sol des vergers arboricoles.

## **Mot Clés**

Agriculture de précision, Application mobiles, Météo de précision, Propriété physico-chimique du sol, Arbres fruitiers, Stress des plantes.

## **Abstract**

Since 2000, a new strategy has been adopted in Algeria's arboricultural sector. It aims to improve and encourage farmers to establish new orchards. The lack of mastery of arboricultural techniques and the lack of knowledge about the presence of diseases and their occurrence on fruit trees cause a significant and frequent decrease in both the quantity and quality of fruit production.

Visual inspection of trees is an important aspect of plant health. Laboratory tests are not a practical tool for day-to-day diagnosis, due to cost and turnaround time. Growers make their decisions on the basis of visible symptoms on plants, but this often leaves them in doubt as they lack knowledge of plant stress diagnosis and orchard monitoring tools.

Our work consists in developing a mobile application for precision agriculture. Using Android Studio Electric Eel | 2022.1.1 Patch2, we have created an advanced technological platform that aims to transform the way farmers manage their orchards.

The structure of the application is divided into three independent experimental parts working in complementarity. It is aimed at the agricultural world, helping farmers and even experts to learn orchard management decisions at the right time.

The first part aims to guide the user by offering monthly technical itineraries to follow, instant identification of diseases of biotic and abiotic origin, and pests. This is made possible by processed images designed with Photoshop software. The application also provides users with phytosanitary advice.

The second part is instructive, providing general knowledge on plant nutrition and pesticide handling techniques.

The third part is dedicated to the geo-informatics system based on a combination of two software packages, Android studio version 2022 and Python version 3.10. This system provides precise information on the weather and physicochemical characteristics of the soil in tree orchards.

## **Key words**

Precision agriculture, Mobile applications, Precision weather, Physico-chemical soil properties, Fruit trees, Plant stress.

## ملخص

منذ عام 2000 ، تم اعتماد استراتيجية جديدة في قطاع الأشجار في الجزائر. يهدف إلى تحسين وتشجيع المزارعين على إنشاء بساتين جديدة. يؤدي عدم اتقان تقنيات الزراعة ونقص المعرفة عن وجود الأمراض وحدوثها على أشجار الفاكهة إلى انخفاض كبير ومتكرر في كل من كمية ونوعية إنتاج الفاكهة

يعد الفحص البصري للأشجار جانبًا مهمًا عند الحديث عن صحة النبات. إذ أن اختبارات المختبر ليست أداة عملية للتشخيص اليومي موضع بسبب التكاليف والوقت المستغرق. يتخذ المزارعون قراراتهم استنادًا إلى الأعراض المرئية على النباتات ولكن غالبًا ما تركهم شك لأنهم يفتقرون إلى المعرفة في تشخيص ضغوط النباتات وأدوات متابعة البساتين .

مهمتنا هي تطوير تطبيق جوال يتناسب مع مجال الزراعة الدقيقة. بفضله برنامج أندرويد ستوديو، لقد أنشأنا منصة تقنية متقدمة تهدف إلى تغيير الطريقة التي يدير بها المزارعون بساتينهم

ينقسم هيكل التطبيق إلى ثلاثة أجزاء تجريبية مستقلة تعمل بالتكامل. وهو مخصص للعالم الزراعي لأنه يساعد المزارعين وحتى الخبراء على إتخاذ قرارات إدارة البساتين في الوقت المناسب

يهدف الجزء الأول إلى إرشاد المستخدم من خلال منحه مسارات تقنية شهرية لمتابعة والتعرف الفوري على الأمراض ذات الأصل الحيوي وغير الحيوي والآفات. هذا ممكن بفضل الصور المعالجة ببرنامج فوتوشوب . يوفر التطبيق نصائح حول الصحة النباتية للمستخدمين.

الجزء الثاني إرشادي حيث أنه يوفر معرفة عامة حول تقنيات تغذية النبات ومبيدات الآفات .

الجزء الثالث مخصص لنظام المعلوماتية الجغرافية المصمم من مزيج من برنامجين أندرويد ستوديو و بيثن 3.10 يوفر هذا النظام معلومات دقيقة عن الطقس والخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في بساتين الأشجار

## كلمات مفاتيح

الزراعة الدقيقة ، تطبيقات الهاتف المحمول ، الطقس ، خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية ، أشجار الفاكهة ، أمراض النبات

## Liste des abréviations :

**SAU** : Surface Agricole Utile

**PNDA** : Plan National de Développement Agricole

**FNRDA** : Fonds National de Développement Rural et Agricole

**NT** : Azote total

**CMV** : Cytomégalovirus

**OGM** : Organisme génétiquement modifié

**PGM**: plante génétiquement modifiée

**Web**: World Wide Web

**GPS**: Global Positioning System

**IoT**: Internet of Things

**AI** : l'intelligence artificielle

**PCR** : Polymerase Chain Reaction

**NDVI** : L'indice de végétation normalisé par différence

**NIR** : proche infrarouge

**XML** : Extensible Markup Language

**API** : application programming interface

**MVC** : Modèle-Vue-Contrôleur

## Table des matières

### Introduction generale

Temoinage	1
Introduction	2

### Chapitre I: Données bibliographiques sur l'arboriculture fruitière

I. Production fruitière arboricole en Algérie	4
II Les difficultés de l'arboriculture algérienne	7
III. Présentation de quelques indicateurs agronomiques importants en Arboriculture	8
III.1 Les caractéristiques physico chimique du sol	8

### Chapitre II : Agriculture de précision et ses applications d'aide à la décision

I.1 Le numérique et l'agriculture	13
I.2 L'agriculture de précision	14
I.3 L'agriculture connectée	15
II. Les applications mobiles pour l'agriculture de précision	16
II.1 Application mobile pour les maladies des plantes	17
II.1.1 Application mobile de détection des maladies	17
II.1.1.2 Méthodes de détection des maladies des plantes	17
II.1.1.3 Exemple de facteurs influençant les symptômes des maladies des plantes	19
II.1.2 Applications de référence pour les maladies des plantes	21
II.1.2.1 les bases de données pour l'application de référence	21
II.1.2.2 Type des bases de données pour les applications des maladies des plantes	21
II.2 Les Application mobile pour les propriétés de sols	22
II.2.1 Applications mobiles pour l'évaluation des propriétés du sol	22
II.3 Application mobile de météo pour l'agriculture	23
II.3.1 Applications mobiles dédiées à la météo agricole	23
II.3.2 Méthodes utilisées pour obtenir des prévisions météorologiques	24

### Chapitre III : Conception et implémentation

I. Présentations des outils de développement	26
I.1 Matériel	26
I.2 Logiciel et langage de programmation	26
I.2.1 Android studio	26
I.2.2 Le langage java	17
I.2.3 Le langage XML	27



I.2.4 Les bases de données internes (SQLite)	27
I.2.5 SQLite et Android studio	28
I.2.6 Python	28
I.2.7 Photoshop	29
II. Conception	30
II.1 Modèle MVC	30
II.2 L'avantage de l'architecture MVC	30
II.3 Le MVC de notre application	31
II.3.1 modèle	31
II.3.2 La vue	31
II.3.3 Le contrôleur	31
III Implémentation	32
III.1 Menu de navigation	32
III.2 Les parties de l'application	33
II.2.1 Expertise des arbres fruitiers	33
II.2.2 Informations Générales	36
II.2.3 Outils Géo-informatiques	42
IV. Présentations de l'application	46
Conclusion et perspectives	50

## Table des figures

Figure 1: Répartition des agrumes par variété en Algérie .....	6
Figure 2: Répartition de la production de vignoble en Algérie .....	6
Figure 3: Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale .....	9
Figure 4: la gestion numérique de l'agriculture .....	14
Figure 5: La pulvérisation agricole par drone.....	15
Figure 6: Irrigation automatique contrôlés via application mobile.....	16
Figure 7: Les méthodes de détection des maladies des plantes.....	18
Figure 8: Symptôme de la pourriture apicale.....	20
Figure 9: Logo d'Android studio. ....	26
Figure 10: Logo de java.....	27
Figure 11: Logo de page XML .....	27
Figure 12: Logo de SQLite.....	28
Figure 13: SQLite et Android studio .....	28
Figure 14: Logo de Python.....	29
Figure 15: Architecture de modèle MVC.....	29
Figure 16: Logo Adobe Photoshop 2022 .....	30
Figure 17: Contenu d'un modèle MVC.....	30
Figure 18: Page XML pour menu .....	32
Figure 19: Page XML pour la page principale de l'application .....	32
Figure 20: Expertise des agrumes .....	33
Figure 21: Programme Android studio java, pour crée une table SQLite pour les agrumes.....	34
Figure 22: XML pour le diagnostic des maladies par feuille/fruit/rameau ou tige/racine.....	34
Figure 23: XML pour les index des maladies des agrumes.....	35
Figure 24: Page XML pour programme de traitement Bayer pour les agrumes .....	35
Figure 25: Page XML pour l'« Informations générales » .....	36
Figure 26: Page XML pour la classification des arbres fruitiers.....	36
Figure 27: page XML pour les diffèrent partie de Nutrition des plantes .....	37
Figure 28: Page XML pour les éléments nutritifs .....	37
Figure 29: Page XML pour la physiologie de la plante .....	37
Figure 30: Page XML pour le diagnostic des carence au champ .....	38
Figure 31: Page XML pour Le pH adéquat pour une assimilation équilibrée de chaque élément nutritif .....	38

Figure 32: Page XML pour Le pH adéquat pour l'antagonisme et synergie des éléments nutritifs dans le sol..	39
Figure 33: Page XML pour énuméré les différents éléments nutritifs	39
Figure 34: Page XML pour les informations supplémentaires sur les éléments nutritifs	40
Figure 35: Page XML pour les régulateurs de croissance des plantes	40
Figure 36: Page XML pour cycle hormonal de la plante	41
Figure 37: Page XML pour les micro-organismes du sol et leurs principaux effets	41
Figure 38: Page XML pour les techniques de manipulation des pesticides	42
Figure 39: Page XML pour les fonctionnalités appliquer sur un a un verger	42
Figure 40: Bibliothèque Retrofit dans Android	43
Figure 41: Les date des derniers mis ajour des données	44
Figure 42: Logo de chaquopy	44
Figure 43: Page XML pour les propriétés physico-chimique de sol	45
Figure 44: Page XML pour les informations du sol	45
Figure 45: Les pages d'accueils	46
Figure 46: Les pages principales de notre application	46
Figure 47: Les pages d'Expertise des arbres fruitiers	47
Figure 48: Les pages d'Informations Générales	48
Figure 49: Les pages d'outils géo informatique	49

## Liste des tableaux

Tableau 1: Productions, superficies et rendements moyens de l'arboriculture fruitière enregistrés durant les campagnes 1995/1996 et 2004/2005 .....	5
Tableau 2: Echelle de salinité du sol. ....	10
Tableau 3: Applications mobiles pour l'évaluation des propriétés du sol .....	22
Tableau 4 : Applications mobiles dédiées à la météo agricole .....	23
Tableau 5 : Tableau SQLite de itinéraire technique des chaque arbre fruitiers.....	31
Tableau 6 : Tableau 6: Tableau SQLite pour un verger .....	31

**« Nous agrégeons les connaissances encyclopédiques des experts agronomes pour les mettre à disposition des professionnels et du grand public via le web et nos applications mobile »**

**Témoigne Dominique BLANCARD,**

**Chercheur en santé des plantes à INRAE.**

## Introduction

L'homme s'intéresse depuis longtemps à l'entretien de ses arbres fruitiers car le verger lui procurait de la nourriture (fruits, etc.), des loisirs et un lieu de détente. Cependant, avec le développement économique actuel, l'industrie fruitière a changé et joue désormais un rôle important dans les économies nationales.

Le développement actuels des superficies consacrer aux vergers plutôt que de petits vergers familiaux est actuellement la tendance de l'arboriculture une spéculation agricole cruciale qui est une véritable entreprise, hautement spécialisée et exigeante en investissements dans les technologies de l'agriculture de précision.

Depuis l'an 2000, une nouvelle stratégie a été adoptée dans le secteur arboricole en Algérie. Consciente de la valeur économique et industrielle de la production et des revenus, elle vise à améliorer et développer la productivité en encourageant les agriculteurs à établir de nouveaux vergers.

Les filières arboricoles ont bénéficié d'un montage financier adéquat dans le cadre du FNRDA. Cela a permis l'extension des superficies agricoles de l'arboriculture fruitière. D'ailleurs, sur le plan des rendements, des avancées majeures sont constatées. Les rendements dans l'agrumiculture sont quadruplés, au même titre que la production, passant de 48 Qx/ha en 2000 à 222 Qx en 2017. La viticulture a enregistré, à son tour, des rendements meilleurs, puisqu'ils passent de 34 Qx/ha à 81 Qx/ha entre 2000 et 2017 [1].

Enfin, pour les fruits à noyau et à pépins, globalement des résultats appréciables sont enregistrés passant de 41,8 Qx/ha en 2000 à 78,5 en 2017 [1], mais l'analyse des différentes espèces fait apparaître l'importance des pommiers et des poiriers, par rapport aux autres espèces.

Le développement des superficies a généré l'émergence de nouveaux problèmes, avec une intensité toujours grandissante, ce sont les problèmes causés aux vergers par les insectes ravageurs, les maladies d'origine cryptogamique, bactérienne et virale dont la gestion devient de plus en plus difficile sans l'utilisation de nouvelles technologies de l'agriculture de précision. A cela s'ajoute le problème de la méconnaissance de la fertilisation, qui se traduit par des excès et des déficits en éléments nutritifs importants sur divers arbres fruitiers. En plus d'autres problèmes comme la salinisation des sols et le déficit hydrique.

L'effet combiné de ces facteurs biotiques et abiotiques diminue à la fois la quantité et la qualité de la production de fruits. Les conséquences de cette situation se font sentir à la fois spécifiquement dans l'agriculture et dans l'économie en général.

Les produits basés sur des logiciels peuvent aider à la gestion des vergers car ils fournissent une précision supérieure à celle des experts humains. Par exemple, il existe une application basée sur une grande base de données pour diagnostiquer les maladies des plantes, cela est possible grâce à la grande avancée en matière de performances réalisées par l'Agriculture de précision. Citons l'exemple e-Phytia, ou encore Diagnopl@nt et Vigipl@nt de l'INRA de France, qui peuvent solutionner des problèmes relatifs aux maladies. En Algérie, des applications appartenant à des firmes internationales voient le jour ces dernières années.

D'autre part, l'existence de bases de données sur les caractéristiques physicochimique de sol et les API de Météo permet d'avantage la connaissance des sols et la prédiction des attaques de maladie.

La généralisation des téléphones mobiles intelligents ont permis de distribuer une solution à grande échelle. Les agriculteurs et les cultivateurs à domicile peuvent désormais avoir une expertise à portée de main.

L'objectif principal du présent travail est de développer une application mobile qui aide les exploitants arboricoles à mieux gérer la nutrition des arbres et mieux gérer les problèmes phytosanitaires de leurs vergers.

L'application permettra aussi à d'autres catégories de personnes, comme les étudiants agronomes, les exploitants agricoles et même un large public d'acquérir voulant acquérir un savoir-faire et de résoudre certaines problématiques.

Avez-vous observé des manifestations symptomatiques d'une maladie sur votre arbre au sein de votre verger et ressentez-vous une curiosité quant à l'origine de ces symptômes ? Notre application est conçue pour vous assister dans la découverte de cette cause en exploitant notre base de données d'images scientifiques détaillant les symptômes ainsi que leurs descriptions, enrichissant ainsi votre compréhension. De plus, l'application fournit des informations météorologiques et des données sur les propriétés du sol, contribuant à une prise de décision plus précise.

## Chapitre I: Données bibliographiques sur l'arboriculture fruitière

### I. Production fruitière arboricole en Algérie

En Algérie, l'arboriculture ne couvre que 6% de la surface agricole utile (SAU), alors que les céréales couvrent environ (33%), les fourrages (6%), les cultures maraîchères (3%). Les jachères occupent près de la moitié de la SAU. Malgré les potentialités considérables de l'agriculture algérienne, la production agricole nationale arrive à satisfaire à peine la demande en produits agricoles, ne dépassant guère les 32 % en céréales, 30 % en légumes secs, et 39 % en produits laitiers [2]

A partir des années 2000, en adoptant le plan national pour le développement de l'agriculture (PNDA), le pays a visé le développement de la filière "arboriculture fruitière" à travers l'accroissement du rythme de plantations, l'arrachage des vieilles plantations et l'augmentation des quantités de produits à l'exportation.

Cette politique agricole s'est traduite par l'augmentation des superficies et des productions. En effet, le secteur arboricole et viticole qui couvrait 432 660 ha en 1996, produisant 12 215 020 qx est passé en 2005 à une superficie fruitière de 640 930 ha, produisant 25 674 534 qx (tous fruits confondus). Quant aux rendements, même si on a assisté à une légère amélioration passant de 37,66 qx/ha comme rendement moyen en 1996 à 48,56 qx/ha en 2005. Cette amélioration reste insuffisante comparativement aux normes internationales [3].

L'augmentation des superficies et des productions est perceptible dans toutes les spéculations arboricoles ; ainsi les vergers agrumicoles qui ne représentaient que 40 280 ha en 1996 produisant 3 227 480 qx, dont 60 % des vergers, dépassent l'âge de 30 ans et leur potentiel productif est en déclin, ont atteint 43 995 ha en 2005 produisant 6 274 060 qx ; avec un rendement qui oscillait entre 80,1 en 1996 et 110,83 qx/ha en 2005 [3].

Concernant la production viticole, le vignoble occupait 56 580 ha en 1996, produisant 1 967 010 qx répartie en raisin de table et raisin de cuve, dont 90 % sont localisés à l'ouest du pays. Le vignoble est passé à 69 633ha en 2005 produisant 3340210qx ; avec un rendement qui s'est amélioré entre 1996 et 2005 passant de 34,8 qx/ha à 38,37 qx/ha [3].

En ce qui concerne la production des rosacées fruitières (pépins et noyaux), à la fin du 1996, le verger national en arbres fruitiers couvrait 88000 ha, produisant 2 859 340 qx, il est arrivé à 140 044 ha en 2005 produisant 7 732 440 qx ; avec un rendement qui oscillait entre 32,5 enregistré en 1996 et 43,5 qx/ha en 2005 [3].

La production oléicole, spéculation traditionnelle et familiale par excellence, couvrait 160780ha en 1996, produisant 1 309 640 qx (olive d'huile et olive de table). Ce verger est passé à 239 352 ha en 2005 produisant 3 164 890 qx avec un rendement qui oscillait entre 8,1 qx en 1996 et 13,84 qx/ha en 2005.



Pour ce qui a trait à la production phoenicicole, les superficies plantées en palmier dattier étaient de l'ordre de 87 020 ha en 1996, produisant 2 851 550 qx de dattes, et sont passées à 147 906 ha en 2005 produisant 5 162 934 qx ; avec un rendement qui oscillait entre 32,8 en 1996 et 36,37 qx/ha en 2005. Ceci place l'Algérie au quatrième rang mondial avec 10 % de la production mondiale (Anonyme, 2007) (Tableau 1).

**Tableau 1: Productions, superficies et rendements moyens de l'arboriculture fruitière enregistrés durant les campagnes 1995/1996 et 2004/2005.**

Fruits	Campagne 1995/ 1996			Campagne 2004/2005		
	Sup. (ha)	Prod. (Qx)	Rdt. (qx/ha)	Sup. (ha)	Prod. (Qx)	Rdt. (qx/ha)
Abricots	13040	412330	31,6	22888	1450965	63,4
Prunes	6520	253940	38,9	10002	462160	46,2
Pêches	8500	386540	45,5	13619	950590	69,8
Cerises	2510	52960	8	2385	30810	12,9
Amandes	24860	198690	21,1	35099	453785	12,9
Nèfles	1890	131290	69,5	2378	254125	106,9
Poires	9930	583560	58,8	17218	1581930	91,9
Pommes	11930	641400	53,8	24279	1997120	82,3
Grenades	2890	169540	58,7	6239	413540	66,3
Coings	/	/	/	1344	64220	47,8
Caroubes	1250	29090	23,3	1048	30030	28,7
<b>Noyaux et pépins</b>	<b>88000</b>	<b>2859340</b>	<b>32,5</b>	<b>140044</b>	<b>7732440</b>	<b>55,2</b>
<b>Olives</b>	<b>160780</b>	<b>1309640</b>	<b>8,1</b>	<b>239352</b>	<b>3164890</b>	<b>13,2</b>
<b>Agrumes</b>	<b>40280</b>	<b>3227480</b>	<b>80,1</b>	<b>43995</b>	<b>6274060</b>	<b>142,6</b>
<b>Dattes</b>	<b>87020</b>	<b>2851550</b>	<b>32,8</b>	<b>147906</b>	<b>5162934</b>	<b>34,9</b>
<b>Raisins</b>	<b>56580</b>	<b>1967010</b>	<b>34,8</b>	<b>69633</b>	<b>3340210</b>	<b>35</b>

Les données relatives à la production végétale pour la campagne agricole 2019/2020, ont été analysé par l'office National des Statistiques (La Direction des Systèmes d'Information, des Statistiques et de la Prospective du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2020). Selon ce rapport :

### a. Les agrumes

La filière des agrumes a enregistré au cours de la campagne 2019/2020 une production évaluée à 15,6 millions de quintaux contre 15,8 millions de quintaux en 2018/2019, soit une baisse timide de 1%.

Par variété, la production d'oranges qui constitue 75% de la production nationale est évaluée à 11,7 millions de quintaux, soit une baisse de 2%. La production de citrons a aussi baissé de 2% durant cette campagne. (Figure 1)

En revanche les variétés clémentines et mandarines ont vu leurs productions augmenté de 2% et 3% respectivement.

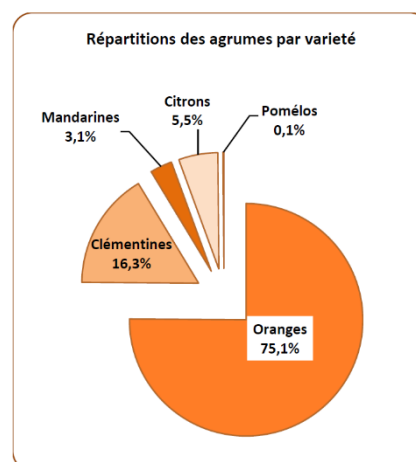


Figure 1: Répartition des agrumes par variété en Algérie

### b. Le vignoble

En termes de production de vignoble, la quantité totale produite durant la campagne 2019/2020 est estimée à 5,5 millions de quintaux, marquant ainsi une légère hausse de 1% par rapport à la campagne précédente.

Par variété, la production de raisins de table qui constitue 94% de la production de vignoble a affiché une hausse de 3%, soit 170 585 quintaux de plus par rapport à 2018/2019.

Par ailleurs, la production de la vigne de cuve a diminué de 28% en 2019/2020. Il y a lieu de souligner que cette tendance baissière est observée depuis la campagne 2013/2014. (Figure2)

Quant à la vigne de séchage, la production demeure toujours nulle et ceci depuis la campagne 2016/2017.

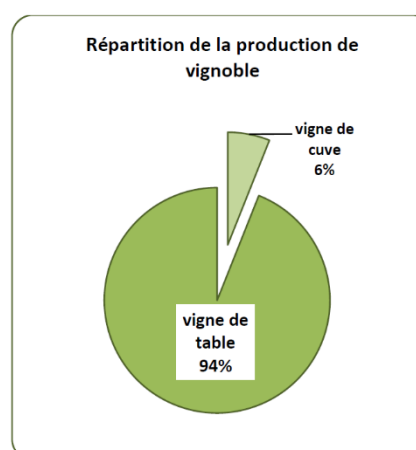


Figure 2 : Répartition de la production de vignoble en Algérie

### c. Les olives

En termes de production d'olives, la quantité totale produite au titre de la campagne 2019/2020 est évaluée à 10,8 millions de quintaux contre 8,7 millions de quintaux en 2018/2019 marquant ainsi une hausse considérable de 24%.

### d. Les cultures fruitières (Espèces à noyaux et /ou à pépins)

La production de l'ensemble des cultures fruitières est évaluée à 15,4 millions de quintaux durant la saison 2019/2020 contre 16,5 millions de quintaux en 2018/2019 marquant ainsi une baisse considérable de 7%.

Ce fléchissement a touché l'ensemble des espèces à l'exception des pommes et des grenades qui ont vu leurs productions légèrement augmenter de 1% chacun, et qui constituent respectivement 37% et 6% de la production nationale.

## II. Les difficultés de l'arboriculture algérienne

L'agriculture algérienne est confrontée à plusieurs difficultés qui entravent son développement et sa productivité.

- a. **Déficit hydrique** : L'Algérie est un pays caractérisé par un climat aride et semi-aride [4], avec une disponibilité limitée en eau [5].  
Le manque d'eau est une contrainte majeure pour l'agriculture, en particulier dans les régions du sud du pays, où les ressources en eau sont rares. Cela limite la superficie cultivée et rend difficile la mise en place de systèmes d'irrigation efficaces.
- b. **Fragmentation des terres** : L'agriculture en Algérie est confrontée à un problème de fragmentation des terres. Les exploitations agricoles sont souvent petites et dispersées [6], ce qui rend difficile l'adoption de techniques modernes de production et d'exploitation économique. La fragmentation des terres limite également l'accès aux infrastructures agricoles et aux services de soutien, tels que le crédit et l'assistance technique.
- c. **Dégradation des sols** : L'érosion des sols, la salinisation et la dégradation générale des terres agricoles sont des problèmes importants en Algérie [7]. Ces facteurs réduisent la fertilité des sols et affectent négativement les rendements agricoles.
- d. **Faible utilisation des techniques modernes** : De nombreuses exploitations agricoles en Algérie n'ont pas accès aux techniques modernes de production, comme l'utilisation de semences améliorées, de fertilisants et de pesticides appropriés. Cela limite la productivité et la qualité des récoltes.
- e. **Manque d'investissement et de financement** : L'agriculture en Algérie souffre d'un manque d'investissement adéquat dans les infrastructures agricoles, la recherche et le développement agricole, ainsi que dans les programmes de soutien aux agriculteurs. Le manque de financement et d'accès au crédit limite la capacité des agriculteurs à moderniser leurs exploitations et à investir dans de nouvelles technologies.
- f. **Faible diversification des cultures** : L'agriculture algérienne est souvent axée sur quelques cultures principales, telles que les céréales (blé, orge) et les légumes secs. Cette dépendance à l'égard de quelques cultures expose le secteur agricole à des risques tels que les aléas

climatiques, les maladies des plantes et les fluctuations des prix sur les marchés internationaux.

- g. Vieillessement de la population agricole :** Une autre difficulté importante est le vieillissement de la population agricole en Algérie. De nombreux agriculteurs sont âgés et il y a un manque de relève générationnelle dans le secteur. Cela peut entraîner une perte de connaissances et de compétences agricoles traditionnelles, ainsi qu'une résistance au changement et à l'adoption de nouvelles pratiques agricoles.
- h. Changement climatique :** Comme de nombreux autres pays, l'Algérie est confrontée aux effets néfastes du changement climatique, tels que les sécheresses plus fréquentes, les températures élevées et les précipitations imprévisibles. Ces changements climatiques affectent la disponibilité de l'eau, la fertilité des sols et la santé des cultures, entraînant des pertes de rendements.

### III. Présentation de quelques indicateurs agronomiques importants en Arboriculture

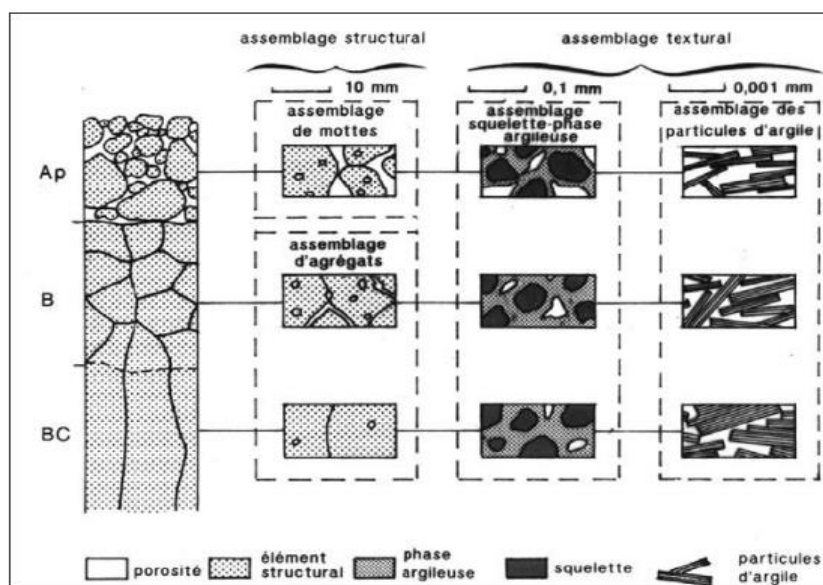
#### III.1 Les caractéristiques physico chimique du sol

**a. La texture du sol :** Selon [8], est défini comme un facteur déterminant de la fertilité des sols puisqu'elle influence les propriétés physiques (économie en eau et en air, structure, perméabilité, résistance à l'érosion ect ...) et chimiques (capacité des échanges) des sols. La texture d'un sol est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol (teneur en pourcentage de sables grossiers et fins, de limons, d'argile, d'humus et de calcaire), elle est déterminée par l'analyse granulométrique [9].

**b. La structure du sol :** La structure du sol joue un rôle déterminant dans le fonctionnement des sols, sa capacité à soutenir la vie et son impact sur la qualité de l'environnement, notamment à travers la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau [10]. Elle contribue de manière vitale à la production durable d'aliments et au bien-être de la société dans son ensemble. En réalité, la structure du sol peut être considérée comme un concept qualitatif ou un indicateur de qualité, faisant référence à une propriété intégrative du sol.

**c. La porosité du sol :** La porosité du sol se réfère à l'ensemble des espaces vides créés lors de la formation de la structure du sol [11]. Ces espaces vides ont un impact sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et sa capacité à le stocker. La porosité joue également un rôle dans le développement des racines des plantes et la circulation des organismes du sol [12] (figure3).

- **Porosité texturale** : La porosité texturale est directement liée à la texture du sol. Elle est le résultat de l'agencement des particules élémentaires. Contrairement à la porosité structurale, elle n'est pas modifiable.
- **Porosité structurale** : la porosité structurale du sol est essentielle pour le mouvement de l'eau, de l'air et des nutriments dans le sol, et elle peut être influencée par les pratiques de gestion du sol. Une porosité structurale élevée favorise un sol sain et fertile, tandis qu'une diminution de la porosité structurale peut entraîner des problèmes tels que l'accumulation d'eau, le lessivage des nutriments ou la réduction de l'aération du sol.



**Figure 3:** Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale (BRUAND et TESSIER, 1996).

**d. La densité** : La densité du sol fait référence à la quantité de masse présente dans un volume donné de sol. Elle est généralement exprimée en grammes par centimètre cube ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ou en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). La densité du sol est influencée par la composition des particules du sol, la compaction, l'humidité et d'autres facteurs.

La densité du sol est une mesure de la masse par unité de volume, tandis que la porosité du sol est une mesure du pourcentage de volume occupé par les espaces vides. Ces deux caractéristiques sont importantes pour comprendre la structure et le fonctionnement du sol.

**e. La conductivité électrique** : La conductivité électrique, également appelée salinité, est une mesure du niveau de salinité du sol étudié (tableau2).

**Tableau 2:** Echelle de salinité du sol (USSS, 1981).

Conductivité électrique (ms/cm)	
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salé

**f. Le pH du sol:** Le pH du sol reflète la réaction acide, neutre ou basique d'une substance en fonction de sa concentration en ions H<sup>+</sup> en solution. Au niveau du sol, le pH peut varier et cela affecte les propriétés du sol. Cependant, ces variations restent limitées, car dans le domaine de la chimie, le pH varie de 0 à 14 (7 étant la neutralité), tandis que le pH des sols a des valeurs extrêmes allant de 4,5 à 5 pour les sols acides et jusqu'à 8 pour les sols très basiques .

**g. Les anions**

- **Les nitrates :** Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont des ions qui se forment dans le cadre du cycle de l'azote. Ils sont très solubles dans l'eau et sont responsables de la pollution des eaux. La principale source d'azote provient de l'atmosphère, sous forme de diazote (N<sub>2</sub>), qui représente près de 80% de la composition de l'air.  
Les nitrates, également appelés azote nitrique, sont souvent la forme d'azote la plus présente dans les eaux naturelles. Ils constituent la principale composante de l'azote inorganique (N inorganique) ou minéral, qui est lui-même majoritairement inclus dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT), avec une autre composante, l'azote organique (N organique) .
- **Phosphore assimilable et le phosphore totale :** Le phosphore (P) est un élément nutritif essentiel pour la croissance des plantes, tout comme l'azote et le potassium. Cependant, il est considéré comme un élément nutritif critique en raison de sa faible concentration dans le sol (environ 600 ppm de P total en moyenne) et de sa faible solubilité (environ 0,05 mg de P par litre de solution de sol). Le phosphore se trouve dans le sol sous forme inorganique et organique. Les formes inorganiques sont liées à des composés amorphes ou cristallins d'aluminium et de fer dans les sols acides, et à des composés de calcium dans les sols alcalins. Les formes de phosphore organique sont liées à la matière organique du sol.

- **Les sulfates** : Les sulfates sont des composés formés par la combinaison de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) avec d'autres ions tels que l'ion magnésium, l'ion potassium ou l'ion cuivre, formant ainsi l'anion sulfate ( $SO_4^{2-}$ ). Les sulfates sont couramment présents dans les engrais.
- **Les chlorures** : Le chlorure de sodium naturel, également connu sous le nom de "sel gemme", est principalement trouvé dans des formations salines formées par l'évaporation de bassins marins près des continents ou de lacs salés. Il peut également être présent en très petites quantités suite à la condensation de vapeurs volcaniques ou à l'efflorescence dans les régions arides. Les chlorures font partie des éléments regroupés sous le terme de "sels solubles" dans les sols.

#### h. Les cations

- **Le Potassium** : Le potassium est un métal alcalin qui est étroitement lié au sodium, au point qu'il est rarement analysé en tant que constituant distinct dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins courante dans la nature.

La concentration de potassium dans les sols se situe généralement entre 0,3 et 3 %. Le potassium se trouve sous forme d'ions  $K^+$  dans la solution du sol. Dans la fraction échangeable, les ions potassium sont adsorbés à la surface chargée négativement du complexe argilo-humique (composé d'argiles et d'humus).

- **Le Calcium** : Le calcium est un élément dont la concentration dans l'eau peut varier en fonction du substrat géologique traversé, tout comme le magnésium. Dans le sol, le calcium se trouve sous trois formes principales :
  - Minéraux essentiellement carbonatés tels que la calcite et la dolomite, ainsi que des minéraux sulfatés tels que le gypse.
  - Adsorbé sur les particules argileuses et organiques grâce à la Capacité d'Echange Cationique (CEC). Même dans les sols acides, les ions calcium constituent la fraction prédominante des cations échangeables.
  - En solution dans le sol. La dissolution de la roche calcaire libère des ions calcium ( $Ca^{2+}$ ) qui sont abordés dans ce chapitre, ainsi que des ions carbonatés ( $CO_3^{2-}$ ) qui ont un effet basique traité dans la partie "Raisonnement la fertilisation".
- **Le Magnésium** : Le magnésium est un élément essentiel à la vie et joue un rôle important dans la respiration. Il provient de sources naturelles telles que la dissolution des roches magnésites, basaltes et argiles, ainsi que de sources industrielles. La dureté de l'eau due au magnésium représente généralement environ un tiers de la dureté totale de l'eau. Un excès de magnésium peut conférer à l'eau une saveur amère.

Dans le sol, le magnésium se présente sous trois formes principales :

Sous forme de minéraux silicatés, argileux et carbonatés.

Adsorbé sur les particules argileuses et organiques grâce à la Capacité d'Echange Cationique (CEC).

En solution dans le sol.

- **Le sodium** : Le sodium est considéré comme l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Sa présence peut être due à l'altération des roches et des sols, aux intrusions d'eau de mer, aux eaux traitées et aux systèmes d'irrigation.

Le sodium est un métal alcalin et peut avoir différentes origines :

- Naturelle : provient de la mer, des terrains salés, etc.
- Humaine : présence dans les urines (environ 10 à 15 g de NaCl par jour).
- Industrielle : liée à la production de potasse, à l'industrie pétrolière, etc.

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau peut avoir un impact sur la perméabilité des sols et entraîner des problèmes d'infiltration. Cela est dû au fait que le sodium, sous forme échangeable dans le sol, remplace les ions calcium et magnésium qui sont normalement adsorbés sur les argiles du sol. Cela provoque la dispersion des particules dans le sol. Par conséquent, si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol a tendance à être facilement cultivable, avec une structure perméable et granulaire.

- **La matière organique** : En moyenne, les sols cultivés contiennent entre 1 et 3 % de matière organique, ce qui équivaut à une quantité de 40 à 120 tonnes par hectare sur une profondeur de 30cm.

La teneur en matière organique d'un sol dépend de la nature du sol et du travail effectué.

- **Le calcaire totale (CaCo3t%) et calcaire actif** : Pour les plantes, ce qui importe est la "réactivité" du calcaire d'où l'importance du concept de "Calcaire Actif". Cette réactivité est mesurée par un test évaluant la capacité des carbonates à se dissoudre rapidement. Ce test n'est pas utilisé lorsque la quantité totale de calcaire est inférieure à 5 %.



## Chapitre II : Agriculture de précision et ses applications d'aide à la décision

L'agriculture a été marquée par trois grandes révolutions. La première s'est déroulée du XVIIe au XVIIIe siècle et a consisté en l'abandon progressif de la jachère au profit de la pratique de l'assolement. La deuxième révolution a eu lieu au milieu du XXe siècle et est connue sous le nom de révolution verte ou révolution industrielle. Elle a entraîné d'importants changements, tels que la mécanisation, la motorisation et l'utilisation généralisée de produits phytosanitaires. La dernière révolution est en cours et progresse rapidement grâce à l'émergence de nouvelles technologies.

La révolution actuelle dans le domaine agricole est numérique. L'agriculture entre dans une nouvelle ère grâce aux technologies numériques, ce que l'on appelle communément l'agriculture numérique. Les agriculteurs peuvent bénéficier de nombreuses solutions exploitables grâce à l'utilisation de technologies de communication telles que les capteurs, les logiciels, Internet, les objets connectés et le digital.

En utilisant ces technologies, les agriculteurs peuvent surveiller plus efficacement les conditions de croissance des cultures, optimiser l'utilisation des ressources, automatiser certaines tâches, collecter et analyser des données agricoles en temps réel, et prendre des décisions éclairées basées sur des informations précises. Cela permet d'améliorer la productivité, d'optimiser les rendements, de réduire les coûts des opérations, de minimiser l'impact sur l'environnement et de garantir une gestion plus durable des terres agricoles.

L'agriculture numérique ouvre également de nouvelles opportunités, telles que la création de marchés en ligne pour les produits agricoles, la traçabilité des aliments, la gestion intelligente des ressources en eau, la prévision des conditions météorologiques, et bien d'autres applications qui peuvent contribuer à une agriculture plus efficace et durable.

### I. 1 Le numérique et l'agriculture

L'actuelle révolution que connaît l'agriculture est la révolution numérique. Les agriculteurs s'équipent progressivement d'outils technologiques qui les assistent quotidiennement. La prise de décision est sans doute la clé de la réussite de l'agriculteur. Savoir bien choisir la culture, le suivi de croissance et bien faire sa récolte (figure4). Le numérique a un grand potentiel exploitable dans le monde de l'agriculture. L'association de l'agriculture et du numérique a donné naissance à un nouveau concept « l'agriculture numérique »



**Figure 4:** la gestion numérique de l'agriculture [39].

## I.2 L'agriculture de précision

L'agriculture de précision est une approche innovante qui vise à optimiser l'efficacité et la durabilité des pratiques agricoles grâce à l'utilisation de technologies avancées. Selon une étude publiée dans le *Journal of Agricultural Science* [13] cette approche repose sur la collecte et l'analyse de données en temps réel, ainsi que sur l'application de techniques de pointe telles que la télédétection, les capteurs, les systèmes d'information géographique (SIG) et l'intelligence artificielle.

Les outils de mesure comme les capteurs donnent des informations sur l'état du sol, l'humidité, sa teneur en NPK (N pour azote, P pour phosphore, K pour potassium), sa résistivité et sa conductivité électrique. Très rapidement l'agriculteur peut avoir une idée du type de sol auquel il a affaire et prendre les décisions qui s'imposent, enrichir le terrain ou choisir une culture qui sera compatible avec ce terrain. La teneur en NPK peut soit être obtenue soit par des capteurs numériques, soit par des tests de prélèvement d'échantillons du sol. C'est un paramètre très important car il concerne directement le développement de la plante

Les outils d'assistance et de suivi s'intègrent rapidement dans le domaine agricole. Ils permettent généralement d'éviter les erreurs et de faciliter la tâche à l'agriculteur en l'assistant en temps réel. Le premier outil le plus pratique est le Global Positioning System (GPS). Cet outil permet à l'agriculteur de sectionner son champ en parcelles virtuelles et d'avoir une idée sur la superficie de son champ, de mettre des marqueurs virtuels pour pouvoir se repérer plus facilement. Cela évite à l'agriculteur de répéter la même tâche dans une zone, c'est le cas notamment de la pulvérisation et de la fertilisation du terrain. Certains outils virtuels comme Google Earth donnent des images historiques du sol. L'agriculteur peut ainsi savoir comment le sol a évolué pendant les années précédentes et prendre des décisions en conséquence.

L'une des innovations les plus suivies de la planète est sans doute le drone. Les drones agricoles rendent un grand service à l'agriculture. Avec sa vitesse et son agilité le drone peut parcourir toute

l'exploitation en un temps record, ses applications sont nombreuses. Le drone est souvent équipé d'une caméra RGB ou multi ou hyperspectrale, et ainsi filmer en temps réel. Certains drones permettent de sonder le terrain car équipés de capteurs. Son application la plus pertinente est la pulvérisation (figure5). Le drone pulvérisateur préserve la santé de l'agriculteur, car l'agriculteur n'est plus en contact avec les produits chimiques. La rapidité du drone pulvérisateur permet de pulvériser le champ avec plus de précision en moins de temps .



**Figure 5:** La pulvérisation agricole par drone

Parmi les concepts actuellement en usage en agriculture de précision, l'agriculture connectée, cette dernière utilise les applications mobiles ou le web pour gérer ou contrôler les parcelles agricoles.

### **1.3 L'agriculture connectée**

L'avènement de l'agriculture connectée a été rendu possible grâce aux avancées des technologies de l'information et de la communication. L'Internet et le Web ont profondément modifié le mode de vie des individus.

Grâce aux appareils mobiles et au Web, les agriculteurs gèrent mieux leur temps de travail et coordonnent plus efficacement les activités de leurs équipes. Cette flexibilité leur offre la possibilité de s'engager dans d'autres occupations et réduit considérablement leur temps de travail sur le terrain.

Un exemple concret est l'utilisation de systèmes d'arrosage automatique contrôlés à distance via des appareils mobiles ou le Web (figure6).



**Figure 6:** Irrigation automatique contrôlée via application mobile

Les forums permettent d'échanger sur divers sujets liés aux défis rencontrés dans le métier d'agriculteur. La création de ces réseaux agricoles permet à la communauté de trouver rapidement des solutions aux problèmes grâce aux échanges que ça permet. Parmi les sujets fréquemment abordés figurent l'utilisation de matériel agricole, les techniques de travail et les besoins du marché actuel. En complément à ces réseaux spécialisés, des sites web offrent des informations sur des sujets tels que les nouvelles réglementations en vigueur, les innovations dans le domaine agricole et les prix des produits sur le marché.

L'essor des smartphones a donné lieu à de nombreuses applications mobiles qui aident les agriculteurs à prendre des décisions plus facilement et à travailler de manière plus simple. La météo est un élément essentiel de la vie quotidienne de l'agriculteur, car la pluviométrie, l'humidité et la température influencent l'activité biologique des plantes. Certaines applications permettent de détecter les maladies ou parasites qui peuvent affecter les cultures. En plus de la détection, ces applications fournissent des informations sur la manière de s'en débarrasser et indiquent le matériel nécessaire à cette opération.

D'autres applications fournissent des calculateurs et des images satellitaires pour aider les agriculteurs à mieux exploiter leurs champs. Ces outils permettent de calculer le nombre de plantes, la quantité d'engrais nécessaire et la segmentation du terrain grâce à la géolocalisation.

## **II. Les applications mobiles pour l'agriculture de précision**

Ces applications mobiles offrent une multitude de fonctionnalités, allant de la cartographie des sols à la gestion des cultures, en passant par la surveillance des conditions météorologiques, la gestion des ressources en eau et la gestion des intrants agricoles tels que les engrais et les pesticides, en fonction des besoins spécifiques de chaque zone de la parcelle. Selon une étude publiée dans le Journal of

Environmental Management [14] l'utilisation de technologies de précision dans l'agriculture, y compris les applications mobiles, peut réduire jusqu'à 40% l'utilisation d'engrais et de pesticides, ce qui contribue à minimiser l'impact environnemental tout en optimisant les rendements.

Les applications mobiles pour l'agriculture de précision permettent de collecter et d'analyser des données en temps réel sur les cultures, telles que la croissance des plantes, la fertilité du sol, les niveaux d'humidité, etc. Ces informations précieuses aident les agriculteurs à suivre de près le développement de leurs cultures et à prendre des mesures proactives pour éviter les pertes de rendement. Une recherche publiée dans le *Journal of Agricultural Science* par R. Gebbers et son groupe de recherche en 2017 souligne l'importance des applications mobiles pour l'agriculture de précision dans la gestion du rendement des cultures, en offrant une surveillance continue et une analyse des données pour une prise de décision plus efficace.

Les agriculteurs peuvent utiliser leurs smartphones ou leurs tablettes pour collecter des données sur le terrain, telles que des relevés de sol, des images satellitaires ou des relevés de rendement, puis les télécharger instantanément sur les applications. Ces données sont ensuite analysées pour fournir des informations précieuses, telles que des recommandations de fertilisation, des prévisions de rendement, des alertes de maladies, l'indice de végétation (NDVI), humidité et température de sol.

Une étude publiée dans le *European Journal of Agronomy* par Sogbedji et son groupe en 2018 met en évidence les avantages économiques des applications mobiles pour l'agriculture de précision, en réduisant les dépenses liées aux intrants, en améliorant l'efficacité des travaux sur le terrain et en optimisant la gestion des ressources.

## **II.1 Application mobile pour les maladies des plantes**

### **II.1.1 Application mobile de détection des maladies**

#### **II.1.1.2 Méthodes de détection des maladies des plantes**

Après avoir atténué les symptômes de la maladie végétale, il est essentiel de vérifier la présence de la maladie dans les plantes en utilisant des techniques de détection spécifiques. Actuellement, deux techniques de détection couramment utilisées sont l'essai immunoabsorption lié à des enzymes (ELISA) qui se base sur la détection de protéines produites par l'agent pathogène, et la réaction en chaîne de polymérase (PCR) qui se base sur l'amplification de séquences spécifiques d'acide nucléique désoxyribonucléique (ADN) de l'agent pathogène.

Les techniques de détection des maladies peuvent être classées en méthodes directes ou indirectes [22]. Les méthodes directes permettent la détection directe de l'agent pathogène ou de ses

composants dans les échantillons végétaux, tandis que les méthodes indirectes détectent les effets ou les marqueurs associés à la présence de la maladie dans les plantes (Figure7) [15].

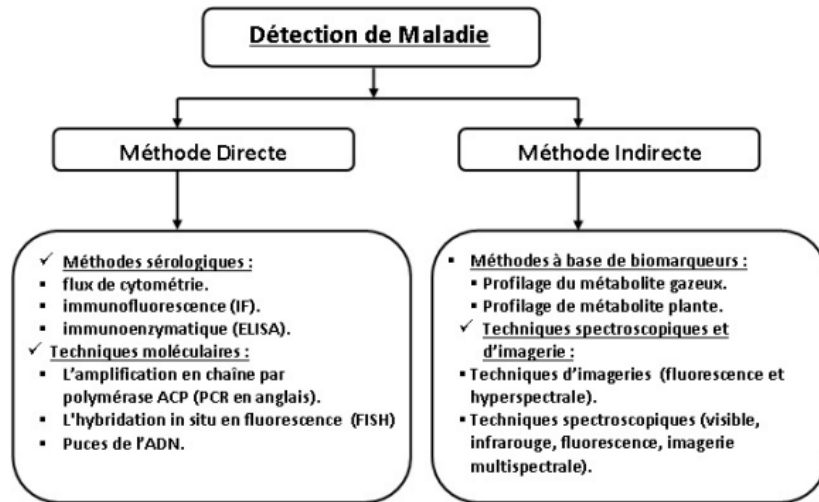


Figure 7: Les méthodes de détection des maladies des plantes

#### a. Méthode directe de détection des maladies des plantes

Les techniques moléculaires telles que l'ELISA et la PCR sont largement utilisées pour la détection des maladies végétales [16]. D'autres techniques moléculaires comprennent l'immunofluorescence (IF) [17], la cytométrie en flux, la fluorescence in situ (FISH) et les puces à ADN [18].

#### b. Méthode indirecte de détection des maladies des plantes

Les techniques spectroscopiques et d'imagerie sont des méthodes uniques de surveillance des maladies. Elles permettent de détecter ces dernières dès l'apparition des premiers symptômes sur les plantes [15]. Ces techniques utilisent des instruments tels que des spectromètres, des caméras thermiques, des scanners hyper spectraux [19] et des drones équipés de capteurs pour analyser les caractéristiques spectrales [20] ou visuelles des plantes et identifier les signes de maladies[21].

Le profilage des métabolites gazeux et le profilage des métabolites de la plante sont deux approches complémentaires utilisées pour la détection des maladies des plantes.

Le profilage des métabolites gazeux consiste à analyser les composés volatils émis par les plantes en réponse à une infection ou à un stress. Les plantes infectées ou soumises à un stress métabolique produisent des composés volatils spécifiques qui peuvent être détectés et analysés. Cette méthode offre l'avantage d'être non invasive et permet de surveiller plusieurs plantes simultanément. En

comparant les profils de métabolites gazeux des plantes saines et infectées, il est possible d'identifier des signatures chimiques spécifiques associées à des maladies particulières.

D'autre part, le profilage des métabolites de la plante implique l'analyse des métabolites présents à l'intérieur de la plante elle-même. Les métabolites sont des molécules organiques produites lors des processus métaboliques de la plante. Lorsqu'une plante est infectée par une maladie, ses processus métaboliques sont perturbés, ce qui entraîne des changements dans les profils de métabolites. En analysant ces métabolites, tels que les acides aminés, les sucres, les lipides, les hormones végétales, etc., il est possible de détecter des altérations métaboliques associées à des maladies spécifiques.

En combinant ces deux approches, le profilage des métabolites gazeux et le profilage des métabolites de la plante, on peut obtenir une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents aux maladies des plantes. Ces méthodes permettent de détecter précocement les maladies, d'établir des diagnostics plus précis et de prendre des mesures de gestion appropriées. Cependant, il est important de noter que ces techniques sont encore en développement et nécessitent des études approfondies pour établir des relations précises entre les profils métaboliques et les maladies spécifiques, ainsi que pour améliorer la sensibilité et la spécificité des analyses[22].

D'autre part, les techniques spectroscopiques et d'imagerie offrent la possibilité de suivre en temps réel et de manière non invasive l'évolution des maladies végétales.

### **II.1.1.3 Exemple de facteurs influençant les symptômes des maladies des plantes**

Les nutriments pourraient influencer la tolérance ou la résistance des plantes aux pathogènes [23] et ils ont un impact les symptômes de la maladie.

Les nutriments minéraux sont importants pour la croissance et le développement des plantes et des microorganismes, et ils jouent un rôle crucial dans les interactions entre les plantes et les maladies. La façon dont chaque nutriment affecte la réponse d'une plante à une maladie est unique à chaque combinaison plante-maladie, et en général, les interactions entre nutriments et agents pathogènes ne sont pas bien comprises. Les nutriments des plantes peuvent influencer la susceptibilité aux maladies en provoquant des changements métaboliques dans les plantes, créant ainsi un environnement plus favorable au développement des maladies. Par exemple, une carence en calcium peut entraîner une fuite de sucre, d'acides aminés et d'autres composés de faible poids moléculaire, qui deviennent ensuite disponibles pour les pathogènes. De nombreux éléments nutritifs présents à des concentrations élevées ont des propriétés antibactériennes étendues, de sorte que les pathogènes qui réduisent directement ou indirectement ces nutriments des plantes peuvent avoir un avantage. On sait encore peu de choses sur les changements dans la nutrition des plantes associés à la maladie du

dragon jaune malgré le fait que les symptômes sur les feuilles soient souvent qualifiés de "carences nutritionnelles". Des analyses récentes comparant des feuilles symptomatiques (tachetées) et asymptomatiques d'arbres infectés par la maladie du dragon jaune, ainsi que des feuilles d'arbres sains, ont montré que la maladie du dragon jaune entraîne une augmentation du potassium (K) tandis que le magnésium (Mg), le calcium (Ca) et le bore (B) diminuent. Il reste à voir si l'application de pulvérisations foliaires de ces nutriments ou d'autres peut atténuer les effets de la maladie du dragon jaune [24].

Prenons l'exemple de la pourriture apicale de la tomate (Blossom end rot en anglais), une maladie courante qui affecte les tomates. La pourriture apicale se caractérise par l'apparition de taches brunes et déprimées à l'extrémité inférieure des fruits (Figure 8). Cela est généralement dû à un manque de calcium dans les tissus des fruits [25].



**Figure 8 :** Symptôme de la pourriture apicale

Une plante de tomate souffre également d'une carence en magnésium, les symptômes de la maladie peuvent changer. Les tomates peuvent présenter des symptômes de couleur jaune ou décolorée sur les feuilles. De plus, les feuilles peuvent se recroqueviller ou montrer des signes de brûlure sur les bords.

La carence combinée en calcium et en magnésium affecte la capacité de la plante à transporter et à utiliser ces nutriments essentiels, ce qui entraîne des symptômes différents de la maladie. En fournissant à la plante un apport adéquat en calcium et en magnésium, les symptômes de la pourriture apicale peuvent être corrigés, et les tomates peuvent développer des fruits sains sans taches brunes et avec des feuilles vertes et non décolorées.

Un exemple de maladie des plantes qui peut être difficile à détecter avec une base de données et l'intelligence artificielle est la maladie de Pierce, causée par une bactérie appelée *Xylella fastidiosa* et qui affecte principalement les vignes. Les symptômes initiaux de la maladie sont subtils et peuvent être confondus avec d'autres problèmes, tels que le stress hydrique ou les carences nutritionnelles. Les symptômes peuvent inclure un flétrissement des feuilles, un jaunissement ou un brunissement des



feuilles, et une mort progressive des rameaux. La difficulté de détecter la maladie de Pierce réside dans le fait que les symptômes peuvent varier en fonction de la variété de vigne, des conditions environnementales et de la souche de la bactérie.

Cependant, en raison de la variabilité des symptômes et des nombreux facteurs qui influencent la manifestation de la maladie, il peut être difficile pour l'intelligence artificielle de fournir une détection précise et fiable de la maladie de Pierce. Dans de tels cas, il est souvent recommandé de faire appel à des experts en pathologie végétale ou à des laboratoires spécialisés pour effectuer des tests diagnostics plus spécifiques, tels que des analyses moléculaires, pour confirmer la présence de la bactérie *Xylella fastidiosa* et la maladie de Pierce.

### II.1.2 Applications de référence pour les maladies des plantes

Grâce à des bases de données exhaustives, complètes, ces applications offrent des descriptions détaillées et des images représentatives des symptômes caractéristiques de chaque maladie végétale comme l'application INRAE [26]. Les utilisateurs peuvent effectuer des recherches ciblées sur des symptômes spécifiques tels que des taches sur les feuilles, des déformations, des nécroses ou des anomalies de croissance, et obtenir des informations précises sur les maladies potentielles correspondantes. Grâce à des informations scientifiquement validées et facilement accessibles, ces applications contribuent à l'éducation et à l'autonomie des utilisateurs dans la gestion des maladies végétales.

#### II.1.2.1 les bases de données pour l'application de référence

Les bases de données sont des gestionnaires de données. Elles sont utilisées pour stocker, organiser et analyser les données. Elles sont stockées sous forme de fichiers ou d'ensemble de fichiers sur des supports de stockage comme le disque dur ou le serveur. Les types de bases de données majoritairement connus sont : les bases de données hiérarchiques, réseau, orientées texte, distribuées, Cloud, SQL Structured Query Language (langage de requêtes structurées), NoSQL Not Only SQL (SQL non-relationnel), NewSQL, orientées graph, orientées objets [27].

Ces bases de données regroupent une vaste quantité d'informations sur les maladies des plantes, telles que les symptômes, les agents pathogènes, les méthodes de prévention et de traitement [28].

#### II.1.2.2 Type des bases de données pour les applications des maladies des plantes

- a. **Bases de données d'images** : Ces bases de données contiennent des images de plantes infectées par différentes maladies. Elles sont utilisées pour surveiller la santé des plantes.

- b. **Bases de données de symptômes** : Ces bases de données enregistrent les descriptions de symptômes spécifiques observés. Elles sont utilisées pour identifier les maladies en fonction des symptômes visibles.

## II.2 Les Application mobile pour les propriétés de sols

Le sol joue un rôle crucial au sein des écosystèmes en raison de divers phénomènes qui y prennent place. Ces phénomènes, qui sont souvent irréversibles, contribuent à la fonction environnementale et écologique du sol [29].

Le sol peut être défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre constituée d'un mélange complexe de matière minérale, organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants. Il se forme par l'interaction des facteurs physiques, chimiques et biologiques sur une période de temps considérable [30].

### II.2.1 Applications mobiles pour l'évaluation des propriétés du sol

Il existe différentes applications mobiles ou site web pour l'évaluation des propriétés des sols (tableau 3).

**Tableau 3:** Applications mobiles pour l'évaluation des propriétés du sol

Application mobile	Description de l'application
SoilWeb	Cette application fournit des informations sur les types de sol, les profils de sol, la classification des sols, les caractéristiques physiques et chimiques des sols, ainsi que des cartes interactives basées sur la géolocalisation. Disponible sur Android et iOS [31].
SoilGrids	Cette application utilise des données satellites pour cartographier les propriétés du sol, notamment la texture, la matière organique, le pH, la capacité de rétention d'eau, etc. Elle fournit des informations détaillées sur les propriétés du sol à l'échelle mondiale. Disponible sur Android et iOS [32].
Soil Testing Pro	Cette application permet de collecter et d'analyser des échantillons de sol en utilisant des

	protocoles d'analyse standard. Elle fournit des recommandations pour la fertilisation en fonction des résultats des tests de sol. Disponible sur Android.
Soil Moisture Meter	Cette application utilise les capteurs de l'appareil mobile pour mesurer l'humidité du sol. Elle fournit des informations en temps réel sur l'humidité du sol, ce qui peut être utile pour l'irrigation et la gestion de l'eau. Disponible sur Android.

### II.3 Application mobile de météo pour l'agriculture

#### II.3.1 Applications mobiles dédiées à la météo agricole

Plusieurs applications fournissent des informations en temps réel sur les conditions climatiques (Tableau 4). Elles utilisent différentes méthodes sont souvent combinées et utilisées en synergie pour fournir des informations météorologiques précises et fiables.

**Tableau 4:** Applications mobiles dédiées à la météo agricole

Application	Description
AgroMétéo	Fournit des prévisions météorologiques spécifiques à l'agriculture, y compris les heures de semis, les périodes de pulvérisation et les alertes météo [33].
FarmRise	Offre des prévisions météorologiques précises, des conseils agricoles personnalisés et des alertes pour aider les agriculteurs à planifier leurs activités agricoles.
WeatherPro for Agriculture	Propose des prévisions météorologiques détaillées, des données de précipitations, de température, de vent, ainsi que des conseils pour l'irrigation, la gestion des cultures et la protection contre les maladies.

MeteoGrains	Fournit des prévisions météorologiques pour les agriculteurs, en se concentrant particulièrement sur les périodes de semis, de récolte et d'épandage, ainsi que des alertes spécifiques aux cultures.
Weather Underground	Offre des prévisions météorologiques précises, des données historiques, des cartes radar et des alertes météo personnalisées pour les agriculteurs.

### II.3.2 Méthodes utilisées pour obtenir des prévisions météorologiques

- a. **Observations météorologiques** : Les stations météorologiques, équipées d'instruments de mesure tels que des thermomètres, des baromètres, des anémomètres, etc., effectuent des observations régulières des conditions météorologiques telles que la température, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, l'humidité, etc. Ces observations fournissent des données en temps réel sur l'état de l'atmosphère.
- b. **Satellites météorologiques** : Les satellites en orbite autour de la Terre capturent des images et des données sur les nuages, les systèmes météorologiques et d'autres caractéristiques atmosphériques. Ces données sont utilisées pour suivre les mouvements des systèmes météorologiques, surveiller les conditions océaniques et fournir des images en temps réel de la surface terrestre [34].
- c. **Radars météorologiques** : Les radars météorologiques sont utilisés pour détecter les précipitations, les orages et d'autres phénomènes météorologiques à courte portée. Ils émettent des ondes radio et mesurent le retour des échos provenant des gouttelettes d'eau ou des particules présentes dans l'atmosphère. Ces données aident à suivre les mouvements des précipitations et à détecter les zones de fortes précipitations ou de temps violent [35].
- d. **Modèles numériques de prévision** : Les modèles informatiques utilisent des équations mathématiques complexes pour simuler l'évolution de l'atmosphère. Ils prennent en compte les observations météorologiques, les conditions initiales et les interactions entre les différents composants du système atmosphérique. Les modèles génèrent des prévisions météorologiques à court et à long terme en utilisant ces simulations [36].
- e. **Prévisions climatiques** : Les prévisions climatiques se basent sur l'analyse des données climatologiques historiques et des tendances à long terme. Les scientifiques étudient les

variations du climat sur de plus longues périodes pour prévoir les changements climatiques futurs [37].

- f. **Réseaux de capteurs météorologiques** : Les capteurs météorologiques installés sur des drones, des bouées océaniques, des ballons sondes et d'autres plateformes fournissent des données météorologiques supplémentaires et permettent de combler les lacunes dans la couverture des observations [38].

## Chapitre III : Conception et implémentation

Dans ce chapitre nous présentons la conception de l'application que nous avons mise en œuvre en utilisant les langages suivants : Java Androïde studio, Java script, SQLite, Python et aussi des API et des protocoles de communication http. De plus nous avons servi de Photoshop pour le flat design et l'assemblage des photos des symptômes.

### I. Présentations des outils de développement

#### I.1 Matériel

Un ordinateur personnel ASUS VivoBook 17 doté de 20,0 Go de RAM et fonctionnant sous Intel Core i7, 8<sup>ème</sup> génération avec une vitesse de processeur de 1.99 GHz, un système d'exploitation de 64 bits avec mémoire de stockage 256 SSD, 1 TB HDD.

#### I.2 Logiciel et langage de programmation

##### I.2.1 Android studio

Android Studio est un environnement de développement pour développer des applications mobiles Android (figure9). Il est basé sur IntelliJ IDEA et utilise le moteur de production Gradle. Il peut être téléchargé sous les systèmes d'exploitation Windows, MacOS, Chrome OS et Linux.

Android Studio permet principalement d'éditer les fichiers Java/Kotlin et les fichiers de configuration XML d'une application Android.



Figure 9: Logo d'Android studio

Il intègre par ailleurs un émulateur permettant de faire tourner un système Android virtuel sur un ordinateur.

L'Android studio utilisé pour la programmation de cette application est : Android Studio Electric Eel | 2022.1.1 Patch 2

La majorité de notre travail était conçu avec ce logiciel.

### I.2.2 Le langage java

Le Java est un langage de programmation orienté objet qui a été développé par Sun Microsystems dans les années 90. C'est l'un des langages de programmation les plus populaires. Il est devenu un standard chez les programmes d'entreprise, dans les contenus et jeux Web ou encore les applications mobiles. C'est également le langage de programmation utilisé pour le système d'exploitation mobile Android (figure10).



Figure 10: Logo de java

### I.2.3 Le langage XML

Langage à balises extensibles, est en quelque sorte un langage HTML amélioré permettant de définir de nouvelles balises. Il s'agit effectivement d'un langage permettant de mettre en forme des documents grâce à des balises contrairement à HTML, qui est à considérer comme un langage défini et figé (avec un nombre de balises limité).

La force de XML réside dans sa capacité à pouvoir décrire n'importe quel domaine de données grâce à son extensibilité. Il va permettre de structurer et poser le vocabulaire et la syntaxe des données qu'il va contenir (figure 11).



Figure 11 : Logo de page XML

### I.2.4 Les bases de données internes (SQLite)

SQLite est un système de base de données légère qui a la particularité de fonctionner sans serveur, on dit aussi "base de données embarquée" (figure12).

Cette bibliothèque écrite en C est directement intégrée au programme. On peut l'utiliser avec beaucoup de langages de programmation. On peut accéder à les données grâce à des requêtes SQL.



Figure 12: Logo de SQLite

### I.2.5 SQLite et Android studio

Android propose plusieurs méthodes pour stocker les données des utilisateurs et des applications. SQLite est l'un des moyens de stocker les données de l'application localement sur l'appareil. Il prend en charge toutes les fonctionnalités d'une base de données relationnelle, couramment utilisées dans les bases de données Oracle ou Microsoft SQL Server. Pour accéder à cette base de données, il est nécessaire d'utiliser l'API fournie par Android, disponible dans le package `android.database.sqlite` (figure13).

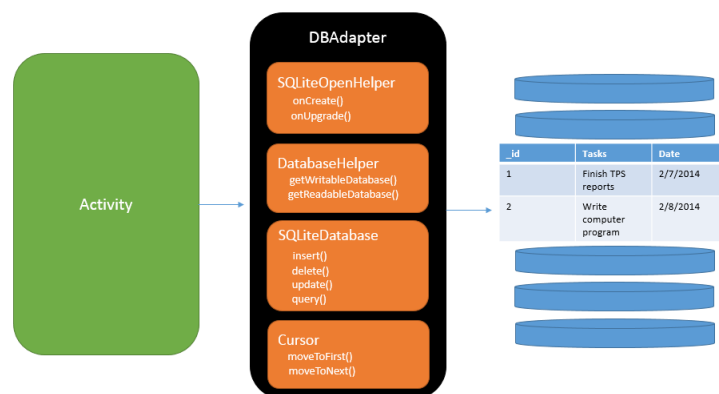


Figure 13: SQLite et Android studio

### I.2.6 Python

Python est langage de programmation interprété, de haut niveau et polyvalent. Créée par Guido van Rossum et publiée pour la première fois en 1991 (figure14).

Python est un langage de programmation puissant et élégant qui est facile à lire et à comprendre. Il démontre la plupart de ces fonctionnalités communes à de nombreux autres langages et est utile pour des applications du monde réel.

- Vous pouvez utiliser ce langage pour développer des applications de bureau et de Web.
- En outre, Vous pouvez utiliser ce langage pour développer des applications de scientifique et numérique complexe.



- Python est conçu avec des fonctionnalités facilitant l'analyse et la visualisation des données.



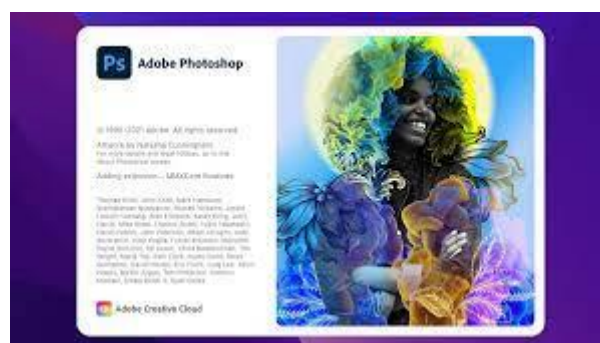
**Figure 14:** Logo de Python

- Python utiliser pour la programmation de cette application est : python version 3.10

### I.2.7 Photoshop

Photoshop est une application logicielle populaire développée par Adobe Systems, largement utilisée pour l'édition et la manipulation d'images numériques et de photographies. Il offre un ensemble complet d'outils et de fonctionnalités permettant aux utilisateurs d'améliorer, de retoucher et de modifier des images pour obtenir différents effets artistiques et professionnels.

Avec Photoshop, les utilisateurs peuvent ajuster les couleurs, appliquer des filtres et des effets, supprimer des éléments indésirables, recadrer et redimensionner des images, composer plusieurs images, créer des peintures et des illustrations numériques, et bien plus encore. Il offre des capacités d'édition avancées, notamment des calques, des masques et des modes de fusion, qui offrent aux utilisateurs un contrôle précis sur le processus d'édition (figure15).



**Figure 15 :** Logo Adobe Photoshop 2022

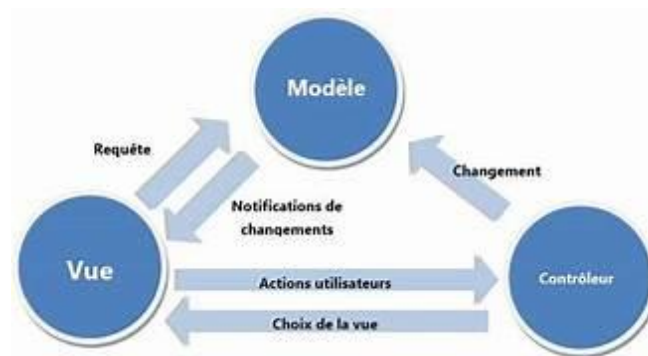
Photoshop utiliser pour la programmation de cette application est : Adobe Photoshop 2022

## II. Conception

**II.1 Modèle MVC (Modèle-Vue-Contrôleur)** : Le modèle Modèle-Vue-Contrôleur (MVC) est un motif de conception largement utilisé dans le développement logiciel/application mobile. Il permet de séparer les différentes responsabilités d'une application en trois composants principaux : le modèle, la vue et le contrôleur.

- ❖ **Le modèle** représente les données et la logique métier de l'application. Il gère la manipulation et la gestion des données, ainsi que les opérations et les règles qui s'appliquent à ces données. Le modèle est indépendant de l'interface utilisateur et peut être réutilisé dans différents contextes.
- ❖ **La vue** est responsable de l'affichage des informations à l'utilisateur. Elle récupère les données du modèle et les présente de manière appropriée. La vue n'a pas de logique métier complexe, elle se concentre uniquement sur la présentation des données.
- ❖ **Le contrôleur** agit comme un intermédiaire entre le modèle et la vue. Il reçoit les entrées de l'utilisateur (par exemple, des actions de souris ou de clavier) et interagit avec le modèle en conséquence. Il met à jour le modèle en fonction des actions de l'utilisateur et rafraîchit la vue pour refléter les changements.

**II.2 L'avantage de l'architecture MVC** : est la séparation claire des responsabilités, ce qui facilite la maintenance, la réutilisation du code et la collaboration entre les développeurs. Chaque composant peut être développé indépendamment, ce qui permet de modifier ou de remplacer un composant sans affecter les autres. Cela favorise également une meilleure structuration du code et une plus grande extensibilité de l'application. Le modèle Modèle-Vue-Contrôleur (MVC) sépare la modélisation du domaine, la présentation et les actions basées sur les entrées de l'utilisateur en trois classes distinctes (figure16)



**Figure 16:** Architecture de modèle MVC

### II.3 Le MVC de notre application (figure17)

**II.3.1 modèle** : On a utilisé deux types des données :

- Une base de données SQLITE :

Voici quelques exemples des tableaux SQLite utilisé dans notre application :

**Tableau 5:** Tableau SQLite de itinéraire technique des chaque arbre fruitiers

Nom de l'attribut	Type
Id	integer primary key
Mois	Text
Technique	Text

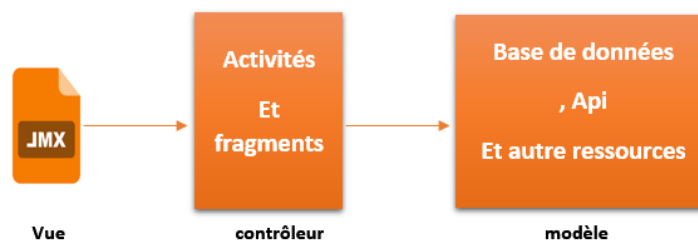
**Tableau 6:** Tableau SQLite pour un verger

Nom de l'attribut	Type
Id_verger	integer primary key
Nom_verger	Text
area	Double
Polygone_point	Text

- Un ensemble des ressources : Les textes sont stockés dans le fichier "string", les images dans fichier « drawable »
- API :L'Api utilisé comme « OpenWeatherMap » pour extraire les données métrologiques

**II.3.2 La vue:** Les fichiers XML : « layout »

**II.3.3 Le contrôleur:** Les fichiers .java tel que les activités et les fragments



**Figure 17 :** Contenu d'un modèle MVC

### III Implémentation

**III.1 Menu de navigation** : Nous avons opté pour la création d'un menu afin de faciliter la navigation entre les différentes parties de l'application. Ce menu est présent en tant que composant principal de la page d'accueil de l'application et d'autres principales pages (figure18).

Le menu est conçu pour offrir une expérience utilisateur intuitive en permettant aux utilisateurs de choisir facilement la section de l'application qu'ils souhaitent explorer. En cliquant sur les différentes options du menu, les utilisateurs sont dirigés vers les pages correspondantes, où ils peuvent accéder aux fonctionnalités spécifiques de chaque partie de l'application.

Cette approche de menu facilite la navigation globale de l'application, offrant une structure claire et organisée pour les utilisateurs. Ils peuvent ainsi passer d'une section à une autre de manière fluide, sans avoir à parcourir toutes les pages de l'application. Cela améliore l'expérience utilisateur et permet une utilisation plus efficace de l'application dans son ensemble.

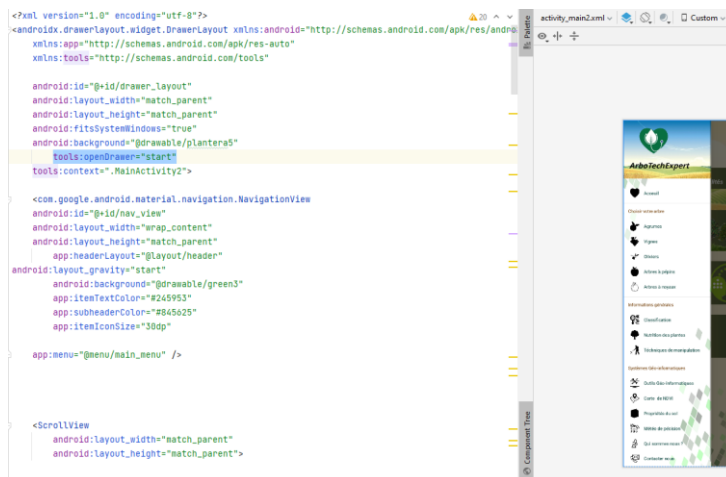


Figure 18: Page XML pour menu

**II.2 Les parties de l'application**

Notre application est constituée en 3 principales parties : Expertise des arbres fruitiers, informations générales et outils géo informatique (figure19) :

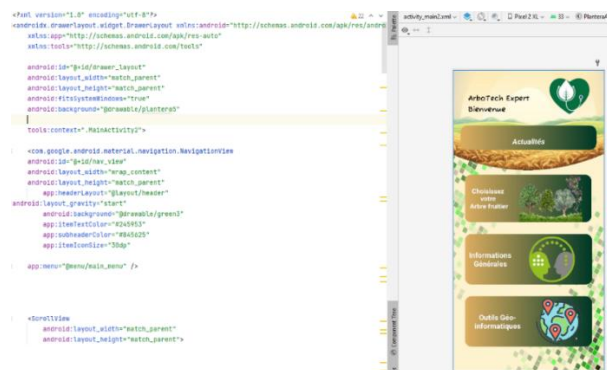


Figure 19: Page XML pour la page principale de l'application

## II.2.1 Expertise des arbres fruitiers

Expertise des arbres fruitiers est compose de 3 parties (figure20) :

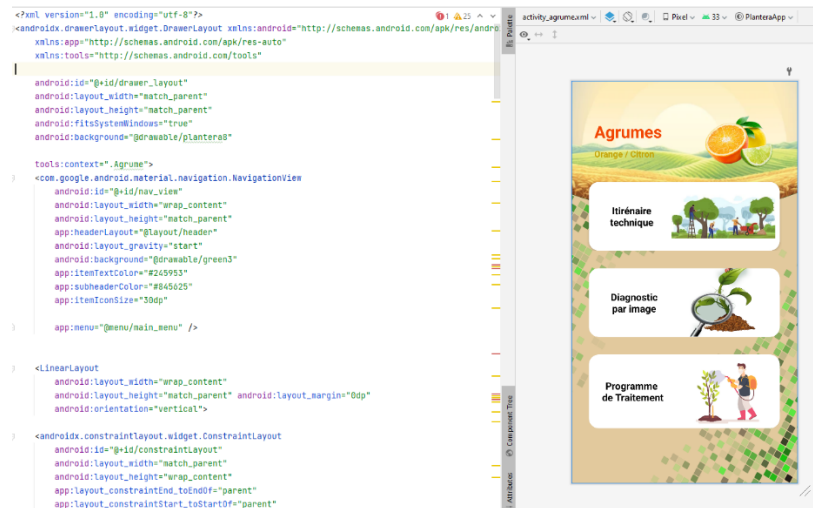


Figure 20: Expertise des agrumes

### a. Itinéraire technique

Les itinéraires techniques mensuels de chaque espèce d'arbre fruitier mentionné dans l'application ont été apportés depuis l'institut technique des arbres fruitier, Algérie.

L'accompagnement technique rassemble tous les travaux essentiels dans le verger sur toute l'année pour chaque arbre fruitier, à savoir, la plantation, la taille, l'irrigation, la fertilisation, la vigilance, et la récolte. Tout ça est dans le but de l'encadrement de l'arboriculteur.

Les données ont été enregistrées dans la base de données SQLite, où chaque arbre est représenté par un tableau contenant des attributs tels que son identifiant, le mois correspondant, ainsi que les différents travaux essentiels à effectuer pour chaque mois (figure21).

```
import ...

1 usage
public class AGRUMEDbHelper extends SQLiteOpenHelper {
    1 usage
    public static final int DATABASE_VERSION = 1;
    1 usage
    public static final String DATABASE_NAME = "bdp.db";
    1 usage
    public static final String TABLE_NAME = "agrume";
    1 usage
    public static final String COLUMN_ID = "id";
    2 usages
    public static final String COLUMN_Mois = "mois";
    1 usage
    public static final String COLUMN_technique = "technique";

    public AGRUMEDbHelper(Context context) {
        super(context, DATABASE_NAME, factory: null, DATABASE_VERSION);
    }

    @Override
    public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
        String createTableQuery = "CREATE TABLE " + TABLE_NAME + " (" +
            COLUMN_ID + " INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, " +
            COLUMN_Mois + " TEXT, " +
            COLUMN_technique + " TEXT)";
        db.execSQL(createTableQuery);
    }

    @Override
    public void onUpgrade(SQLiteDatabase db, int oldVersion, int newVersion) {
    }
}
```

Figure 21: Programme Android studio java, pour crée une table SQLite pour les agrumes

Ensuite, les données sont extraites dans Android Studio afin de les afficher dans une interface graphique, en respectant les critères d'ergonomie tels que l'utilisabilité et la facilité d'utilisation.

**b. Diagnostique des maladies**

- ❖ L'identification des maladies sur Feuille, fruit, fleur ou rameau est instantanée par image grâce à une base de données collectés depuis des sites d'internet référencés telque Ephytia, INRAE et des documentations comme les protections phytosanitaires des arbres fruitiers et de la vigne (Bennai et al, 2012).

L'ensemble des informations rassemblés ont été préalablement vérifiés et confirmés par des experts agronomes en protections des végétaux avant d'être insérer dans l'application.

Pour chaque maladies, ses images ont été assemblées et traitées avec Photoshop puis enregistrer dans une base de donnée SQLite pour pouvoir être ensuit consulter par les utilisateurs de l'application, en respectant les critères d'ergonomie tels que l'utilisabilité et la facilité d'utilisation (figure22).



Figure 22 : XML pour le diagnostic des maladies par feuille/fruit/rameau ou tige/racine

- ❖ Nous avons compilé un index exhaustif de toutes les maladies mentionnées dans l'application. Cet index regroupe les différentes pathologies qui peuvent affecter les plantes, en fournissant des informations détaillées sur chaque maladie, notamment sa cause, ses symptômes, ses méthodes de lutte (figure 23).

Cet index permet aux utilisateurs de l'application d'accéder rapidement et efficacement à des connaissances approfondies sur les maladies spécifiques auxquelles leurs cultures peuvent être confrontées.

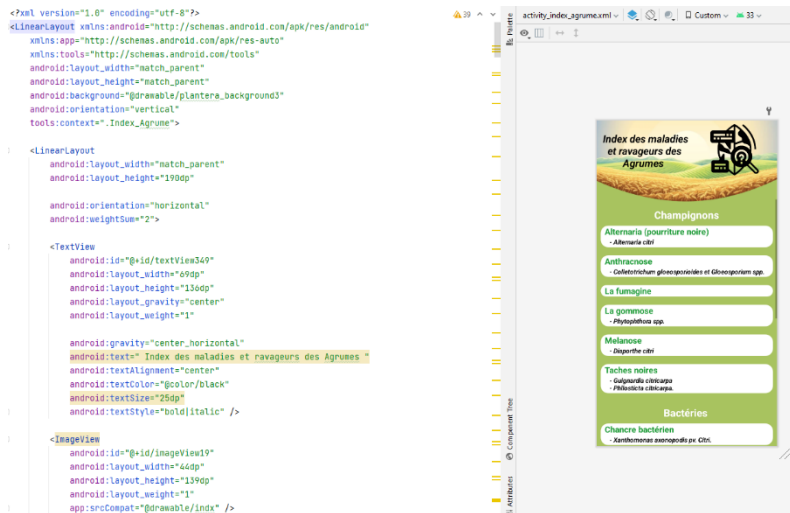


Figure 23 : XML pour les index des maladies des agrumes

**c. Programme de traitement**

Les programmes de traitement pour chaque arbre fruitier ont été basés surtout sur des produits phytosanitaire de BAYER et /ou BASF conçus dans des tableaux réalisés par le fournisseur lui-même (figure 24).

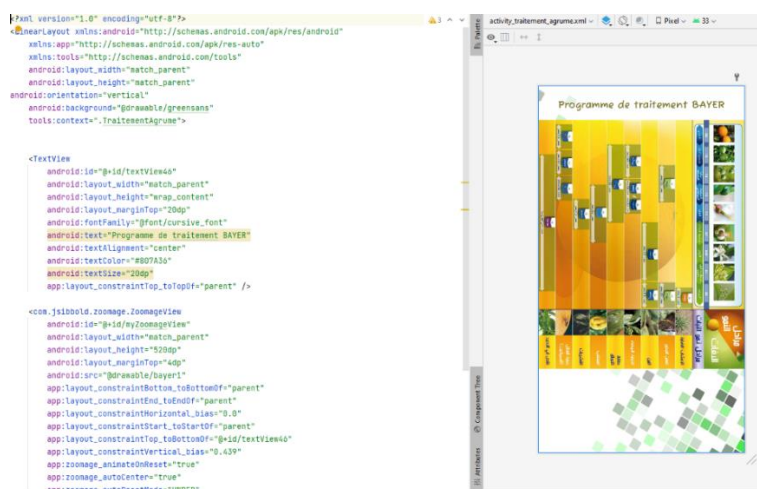


Figure 24 : Page XML pour programme de traitement Bayer pour les agrumes

## II.2.2 Informations Générales

Informations Générales contient 3 parties essentielles (figure 25)

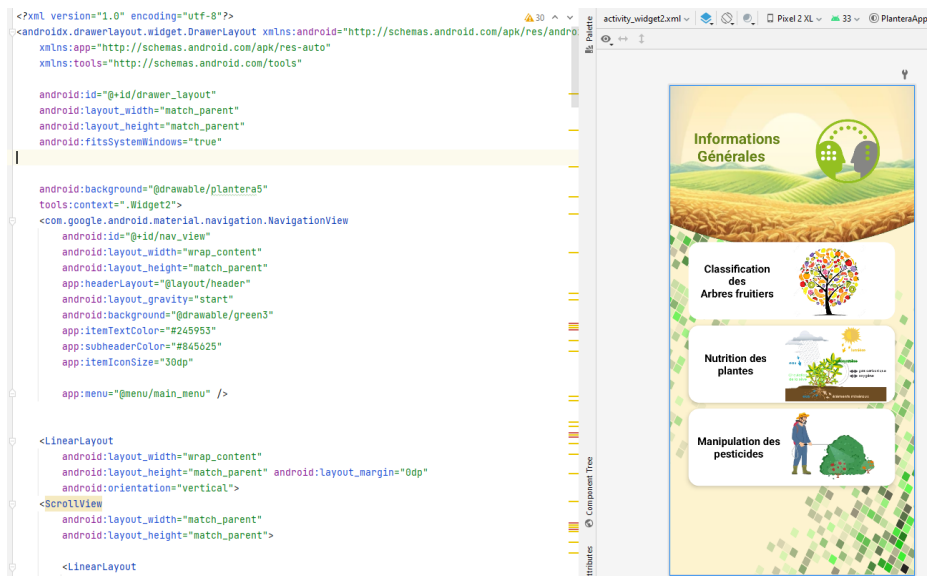


Figure 25 : Page XML pour l « Informations générales »

### a. Classification des arbres fruitiers

Parmi 146 espèces existant dans le monde 85 se trouvent dans les régions tropicales et subtropicales et 60 dans les régions tempérés.

Une partie de l’application a été dédiée à présenter les différents familles et espèces cultivées en l’Algérie (figure 26).

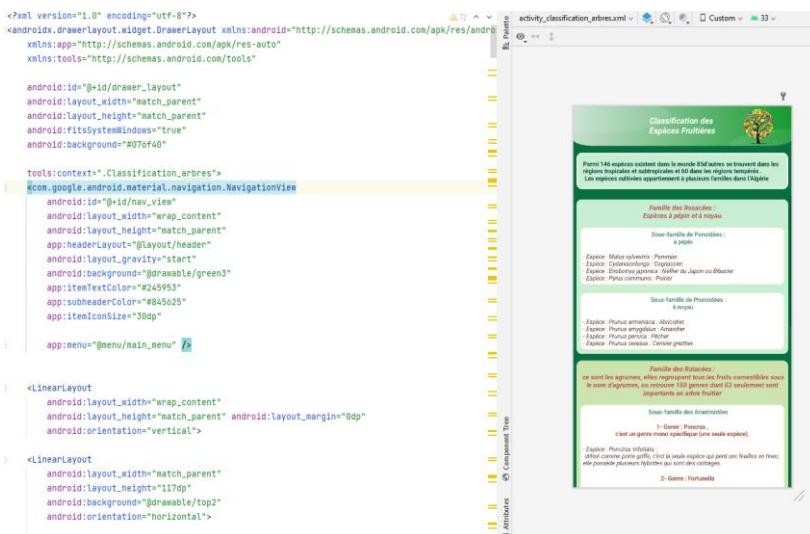


Figure 26 : Page XML pour la classification des arbres fruitiers

### b. Nutrition des plantes

Nutrition des plantes est aussi composée de 3 sections qui se présentent par la suite (figure 27)



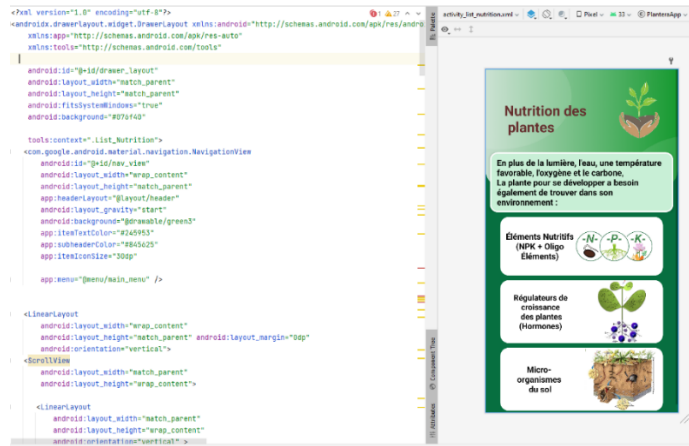


Figure 27: Page XML pour les différents parties de Nutrition des plantes

1. Dans la section consacrée aux éléments nutritifs (figure 28),

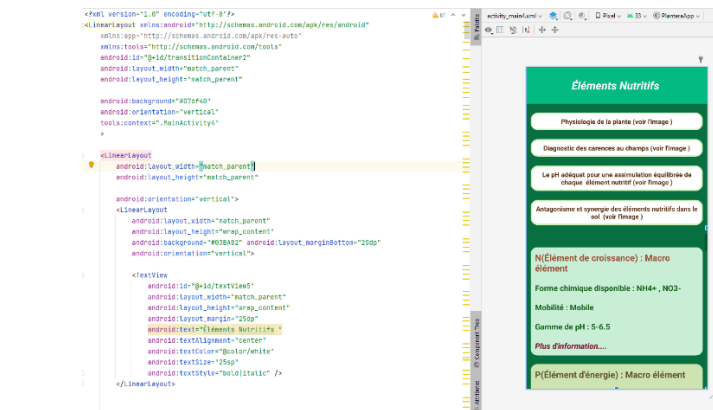


Figure 28 : Page XML pour les éléments nutritifs

- ◆ Pour explorer la physiologie de la plante, nous avons initié cette étape en interagissant avec l'élément de l'interface graphique représenté par le bouton intitulé "Physiologie de la plante" (figure 29).

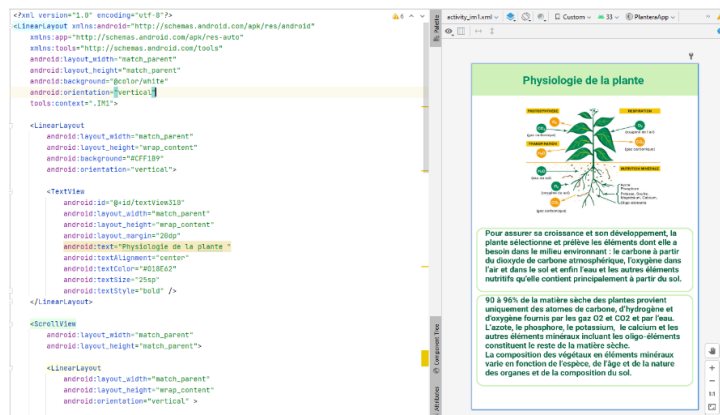


Figure 29 : Page XML pour la physiologie de la plante

- ◆ Dans le but de diagnostiquer les carences sur le terrain, nous avons opté pour une représentation visuelle en utilisant une image de plante, permettant de visualiser les effets spécifiques de chaque carence au niveau des feuilles de la plante (figure30).

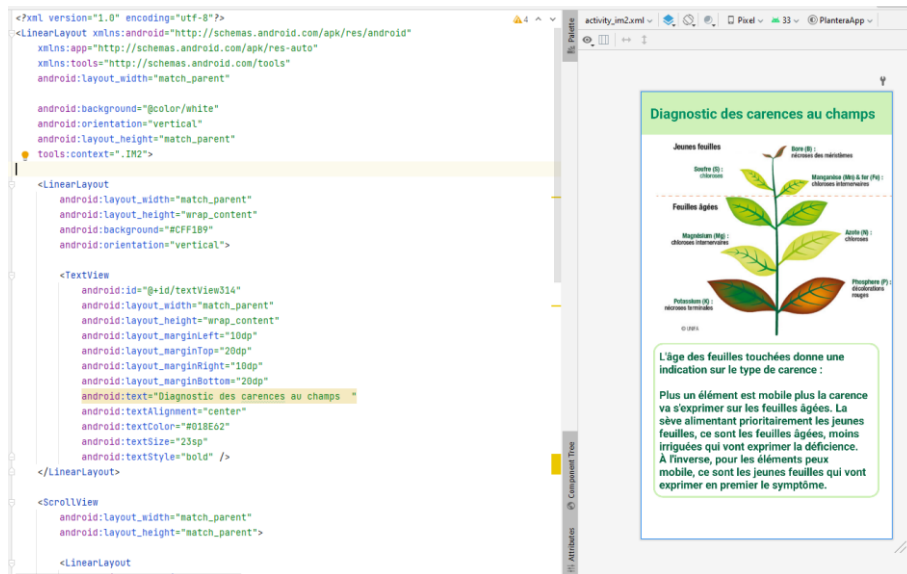


Figure 30 : Page XML pour le diagnostic des carence au champ

- ◆ Le pH approprié pour une assimilation équilibrée de chaque élément nutritif est illustré dans la Figure 33, qui présente les valeurs de pH optimales pour chaque nutriment (figure31).

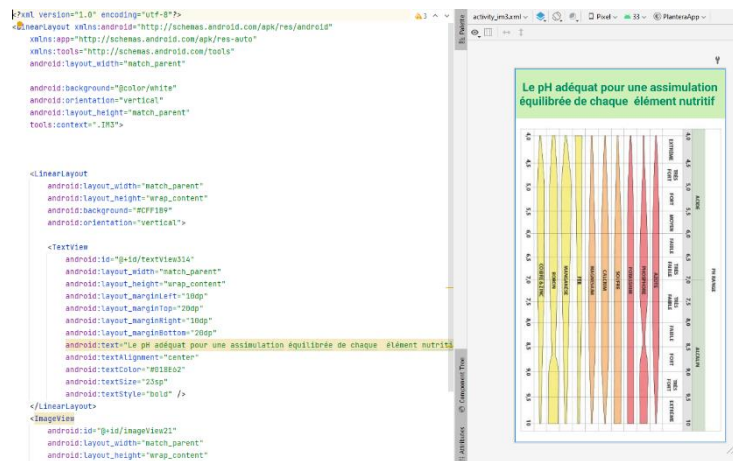
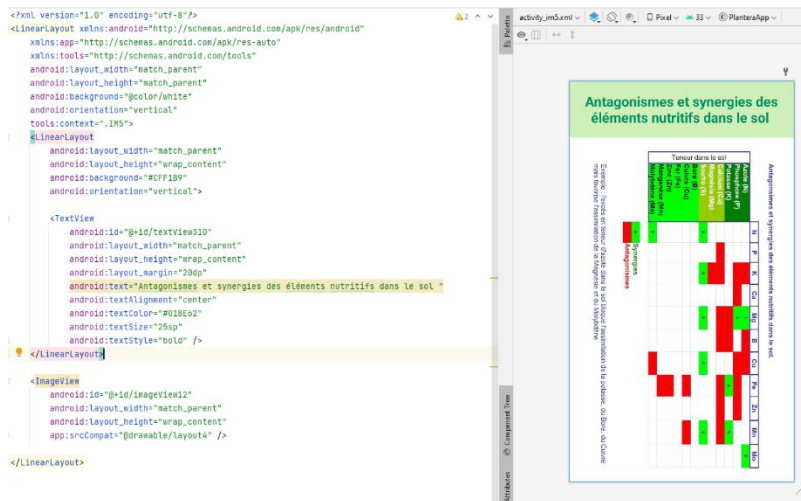


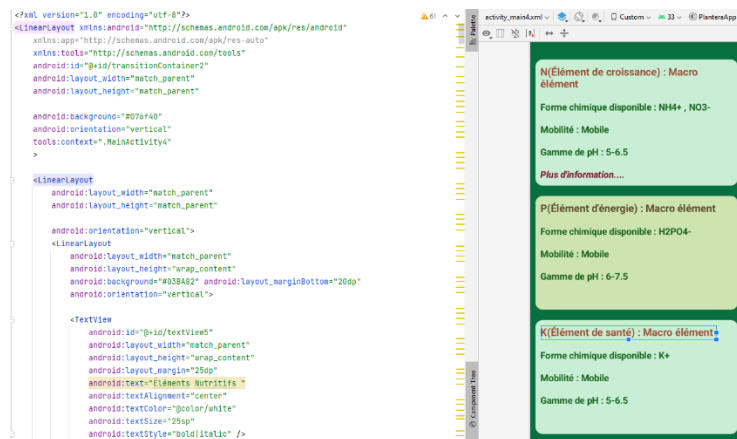
Figure 31 : Page XML pour Le pH adéquat pour une assimilation équilibrée de chaque élément nutritif

- ◆ Antagonismes et synergies des éléments nutritifs dans le sol : Les antagonismes et les synergies se réfèrent aux interactions entre les différents éléments nutritifs présents dans le sol, susceptibles d'influer sur leur disponibilité et leur absorption par les plantes (figure32).



**Figure 32 :** Page XML pour Le pH adéquat pour l’antagonisme et synergie des éléments nutritifs dans le sol

- ◆ Nous avons énuméré les différents éléments nutritifs tels que l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), etc., ainsi que les informations associées à chaque élément, telles que la forme chimique disponible, la mobilité et la plage de pH (figure33).



**Figure 33 :** Page XML pour énumérer les différents éléments nutritifs

- En vue d'obtenir des informations supplémentaires, une approche privilégiée a consisté à créer un hyperlien vers une autre activité permettant d'illustrer le rôle spécifique de chaque élément nutritif dans le métabolisme végétal, ainsi que les symptômes associés à leur carence. La figure suivante présente visuellement ces informations (figure34).

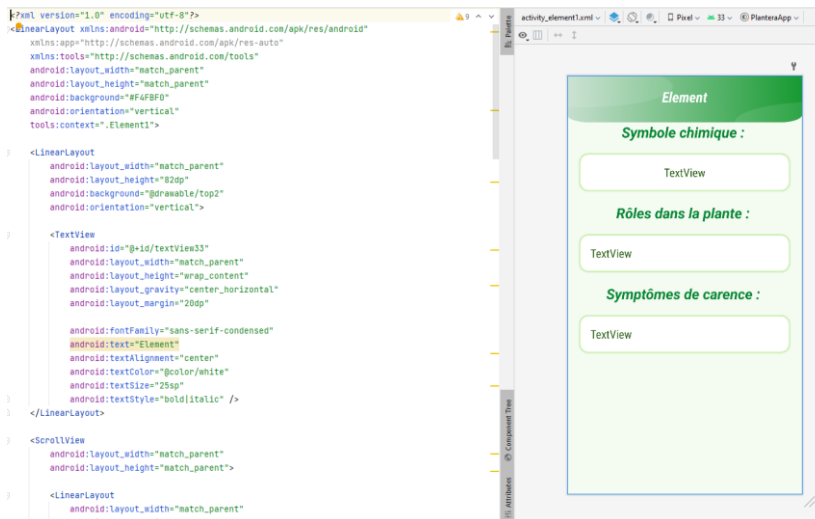


Figure 34 : Page XML pour les informations supplémentaires sur les éléments nutritifs

**2. Les régulateurs de croissance des plantes** : sont des substances biochimiques, connues sous le nom d'hormones, qui jouent un rôle clé dans la régulation des processus de croissance et de développement des plantes. Les hormones végétales sont des composés chimiques naturels qui agissent comme des messagers cellulaires, régulant diverses fonctions physiologiques telles que la croissance des tissus, la floraison, la maturation des fruits et la réponse aux stimuli environnementaux (figure35).

Lorsque vous cliquez sur "voir image", nous présentons le cycle hormonal de la plante, qui illustre les différentes phases de production, de libération et de régulation des hormones végétales tout au long du développement de la plante. Cette image permet de visualiser et de mieux comprendre le rôle et la dynamique des hormones dans les processus de croissance et de développement des plantes (figure36).

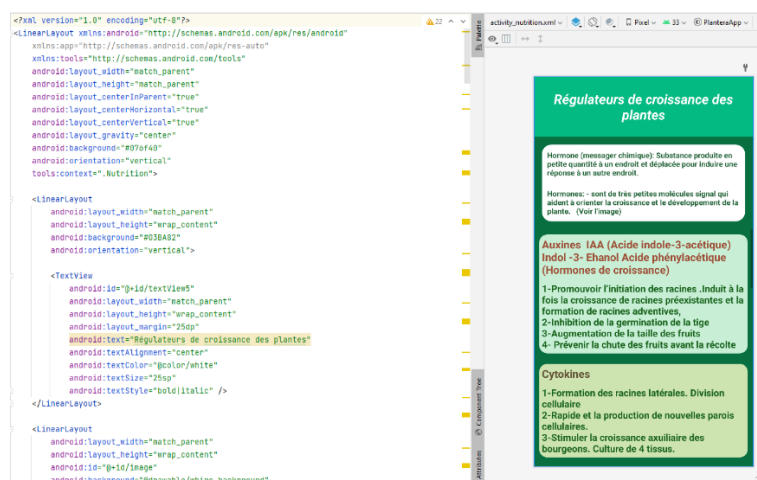


Figure 35 : Page XML pour les régulateurs de croissance des plantes

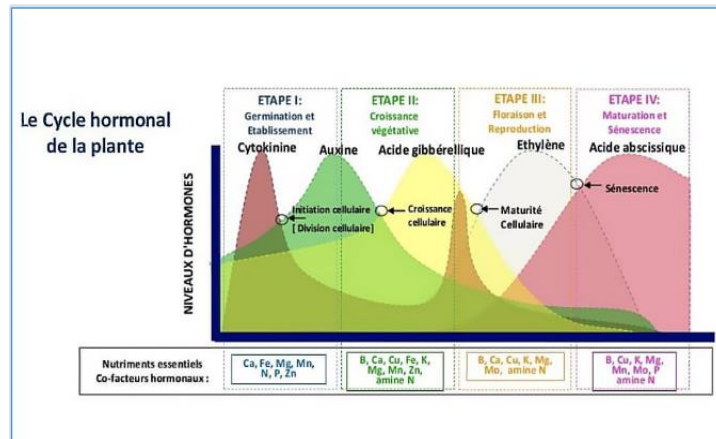


Figure 36 : Page XML pour cycle hormonal de la plante

3. **Micro-organisme de sol** : les micro-organismes jouent un rôle crucial dans la santé et la fertilité des sols agricoles, et chaque type de micro-organisme à des effets spécifiques qui contribuent aux processus biologiques essentiels pour les plantes (figure 37).

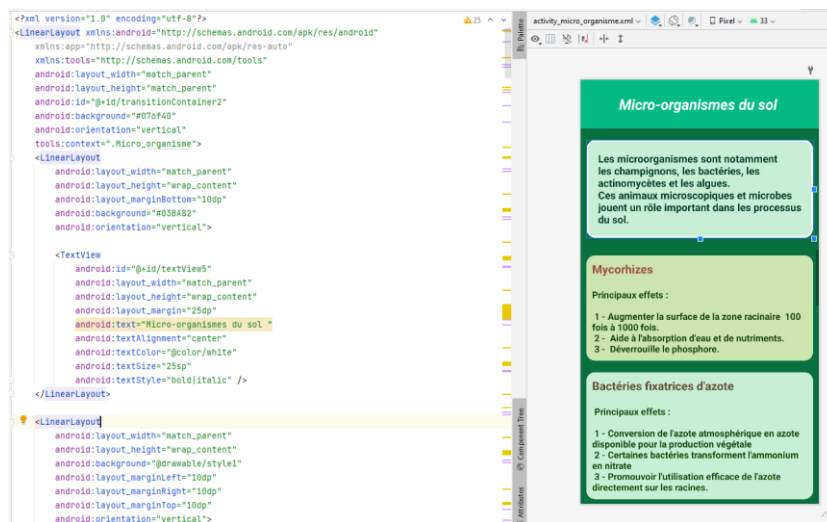


Figure 37 : Page XML pour les micro-organismes du sol et leurs principaux effets

**c. Technique de manipulation des pesticides**

Dans cette partie, nous avons montrés des vidéos qui montrent des gestes professionnels et des conseils d'utilisation des pesticides soit avec pulvérisateur à dos ou un atomiseur

Les vidéos ont été téléchargés de la plateforme de BAYER Algérie, AGYours et Club pro-pomme de Canada et sauvegarder dans l'application pour pouvoir être regarder par les utilisateurs (figure38).

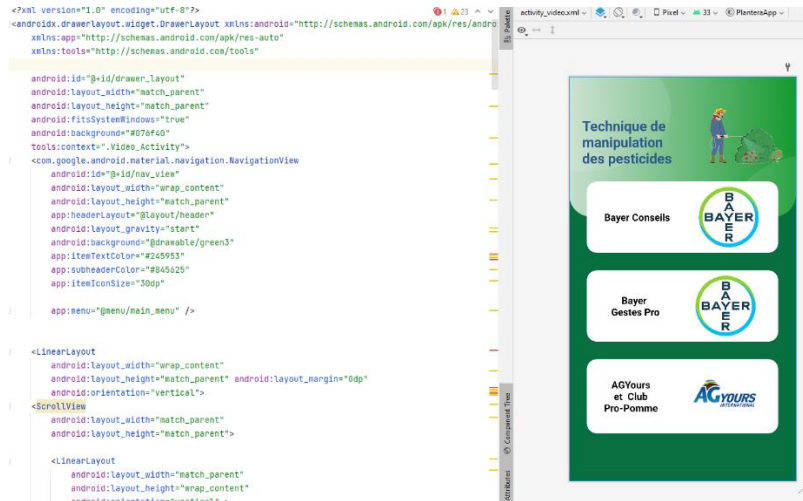


Figure 38 : Page XML pour les techniques de manipulation des pesticides

### II.2.3 Outils Géo-informatiques

- a. **GOOGLE Map** : Grâce à l'intégration de Google Maps, les agriculteurs peuvent visualiser et localiser leurs vergers de manière précise. Cette approche offre une interface conviviale qui facilite la gestion des données en fournissant une représentation cartographique claire et interactive. Les données des vergers sont stockées dans une base de données SQLite, qui offre des fonctionnalités pour la gestion efficace des enregistrements, y compris l'ajout, la suppression et l'affichage des informations des vergers (figure 39).

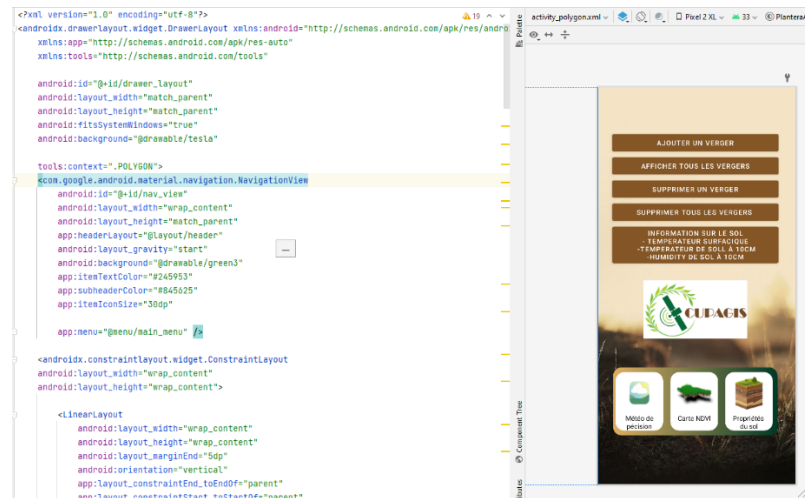


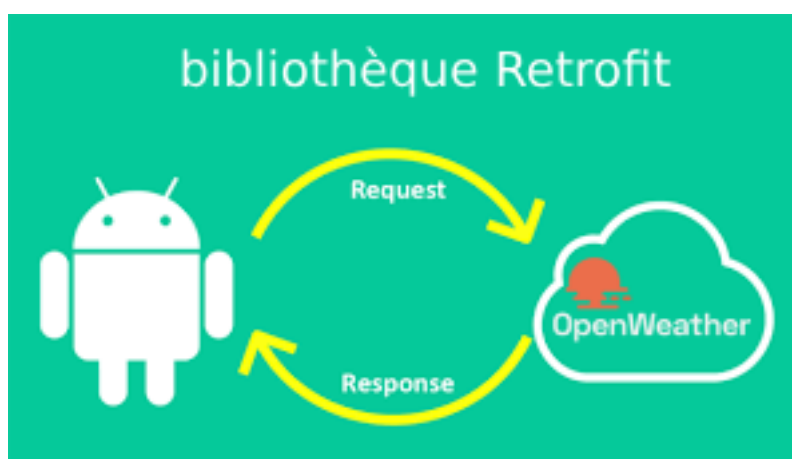
Figure 39 : Page XML pour les fonctionnalités appliquer sur un a un verger

- b. **Météo de précision** :

Dans le cadre de la gestion des informations météorologiques, nous avons opté pour l'utilisation de l'API OpenWeatherMap. Pour établir la communication entre notre application Android développée avec Android Studio et l'API, nous avons choisi d'utiliser la bibliothèque Retrofit, qui facilite l'échange des requêtes HTTPs.

En intégrant Retrofit à notre projet Android, nous sommes en mesure de configurer les endpoints de l'API OpenWeatherMap, d'envoyer des requêtes pour récupérer les données météorologiques souhaitées et de recevoir les réponses correspondantes. Cela nous permet d'obtenir des informations en temps réel sur la météo, telles que la température, l'humidité, la vitesse du vent, etc., à partir des services fournis par OpenWeatherMap.

En utilisant Retrofit, nous bénéficions d'une interface de programmation simple et efficace pour gérer les appels d'API, faciliter la gestion des données et assurer une communication fluide entre notre application Android et l'API OpenWeatherMap (figure40).



**Figure 40** : Bibliothèque Retrofit dans Android

- ❖ **Api OpenWeatherMap** : L'API OpenWeatherMap est une interface de programmation qui permet aux développeurs d'accéder à des données météorologiques en temps réel et aux prévisions météorologiques pour différentes localisations à travers le monde. Elle offre des informations telles que la température, l'humidité, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, les prévisions à court et long terme, et bien d'autres.

Pour utiliser l'API OpenWeatherMap, vous devez vous inscrire sur leur site officiel et obtenir une clé d'API (API key) unique, qui sera utilisée pour authentifier vos requêtes. Vous pouvez ensuite envoyer des requêtes HTTP vers les endpoints appropriés de l'API en spécifiant les paramètres tels que la localisation géographique, l'unité de mesure, le type de données souhaité, etc.

#### c. **Propriété de sol :**

- ❖ **L'API de propriété de sol** : est une interface de programmation qui permet aux utilisateurs d'accéder à des données géo spatiales sur les propriétés du sol à l'échelle mondiale. Cette API est développée et maintenue par un projet américain qui vise à fournir des informations précises et détaillées sur les caractéristiques du sol, telles que la texture, la matière organique, la capacité de rétention en eau, le pH, etc ( figure 41).

L'API offre la possibilité d'interroger et de récupérer des données sur les propriétés du sol pour des coordonnées géographiques spécifiques. Les données sont basées sur des modèles et des algorithmes avancés, qui combinent des données d'observation in situ, des données satellitaires à partir de Sentinel 2 et des modèles climatiques.

Name	Type	Size	Last modified
<b>bdod</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:04:58 GMT
<b>cec</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:05:41 GMT
<b>cfvo</b>	Directory	-	Tue, 31 Jan 2023 03:53:22 GMT
<b>clay</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:09:21 GMT
<b>landmask</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:01:40 GMT
<b>nitrogen</b>	Directory	-	Tue, 31 Jan 2023 11:15:45 GMT
<b>ocd</b>	Directory	-	Mon, 30 Jan 2023 14:36:28 GMT
<b>ocs</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:07:56 GMT
<b>phh2o</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:06:03 GMT
<b>sand</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:07:13 GMT
<b>silt</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:07:56 GMT
<b>soc</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:09:37 GMT
<b>wrb</b>	Directory	-	Wed, 01 Feb 2023 15:07:14 GMT

**Figure 41** : Les date des derniers mis a jour des données

- ❖ **Chaquopy** : C'est une bibliothèque qui facilite l'intégration du code Python dans des applications Android. Elle permet de développer des applications Android en utilisant à la fois Java/Kotlin et Python, offrant ainsi la flexibilité et la puissance du langage Python dans l'écosystème Android (figure42).



**Figure 42** : Logo de chaquopy

- ❖ Grâce à la bibliothèque "requests", nous avons pu gérer les requêtes HTTP et obtenir des réponses contenant les informations sur les propriétés du sol provenant de l'API SoilGrids. Nous avons également envoyé les coordonnées des vergers enregistrés dans la base de données SQLite d'Android vers Python, afin d'extraire les données correspondant à chaque verger ou à un point spécifique sur Google Maps. Cette communication entre Android et Python a été rendue possible grâce à la bibliothèque Chaquopy.

Une fois les données extraites à l'aide de Python, nous les avons transférées vers Android Studio également grâce à la bibliothèque Chaquopy. Cette intégration a permis de transférer les données du sol extraites vers notre application Android (figure 43).



Dans Android Studio, nous avons développé une interface utilisateur appropriée pour afficher les données des propriétés du sol à l'utilisateur. Cela permet de prendre des décisions éclairées.

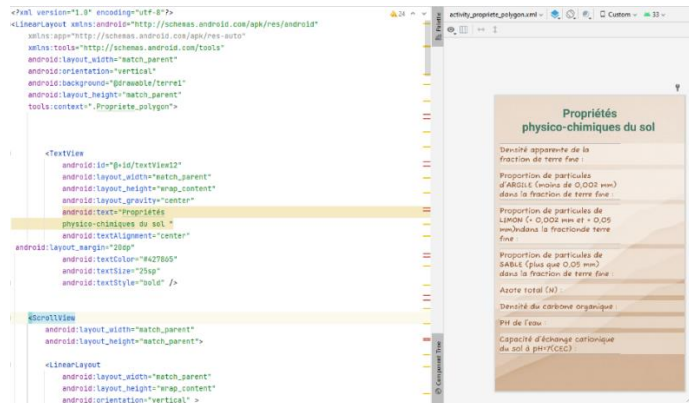


Figure 43 : Page XML pour les propriétés physico-chimique de sol

**d. Information sur le sol :**

En ce qui concerne les données relatives au sol, nous avons pu recueillir les informations suivantes à l'aide de satellites : température de surface, température à 10 cm de profondeur et humidité du sol à 10 cm de profondeur.

Pour programmer cela, nous avons utilisé la bibliothèque Chaquopy afin de connecter le programme Python à Android Studio (figure44).

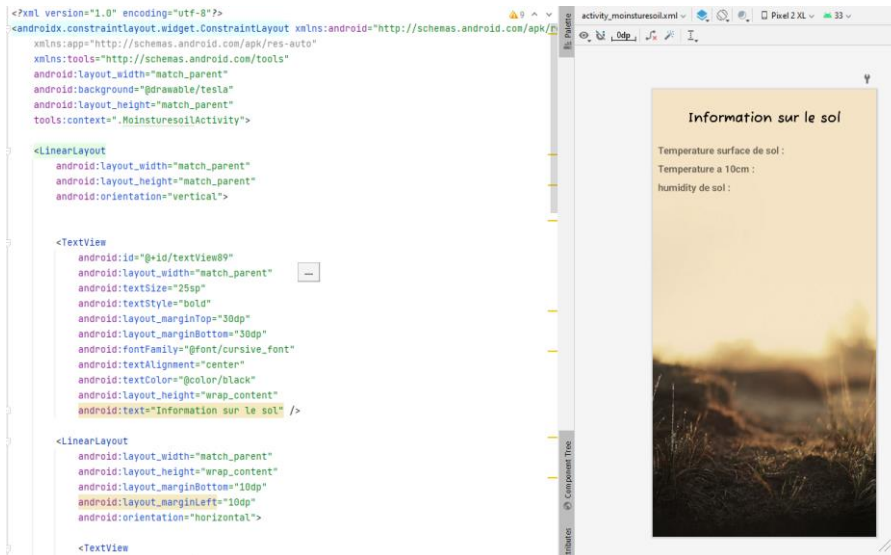


Figure 44: Page XML pour les informations du sol

### IV. Présentations de l'application



Figure 45 : Les pages d'accueils

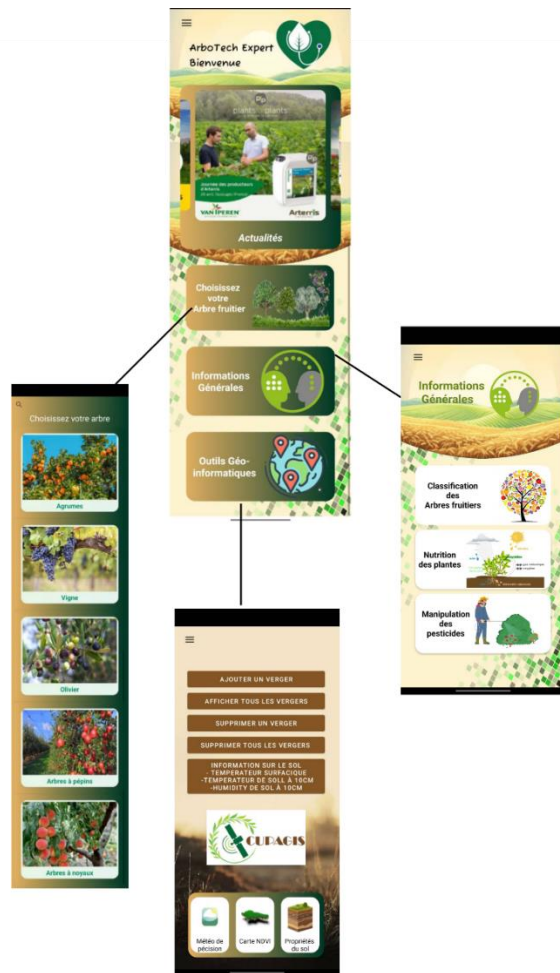


Figure 46 : Les pages principales de notre application



Figure 47 : Les pages d'Expertise des arbres fruitiers



Figure 48 : Les pages d'Informations Générales



Figure 49: Les pages d'outils géo informatique

## Conclusion et perspectives

En conclusion, les applications d'aide à la décision dans l'agriculture de précision, telles que les applications météorologiques, les applications de référence sur les maladies et les applications pour les propriétés des sols, ont considérablement amélioré la gestion agricole.

Grâce à ces outils, les agriculteurs peuvent ajuster leurs pratiques agricoles en fonction des données fournies, ce qui se traduit par une réduction des intrants tels que les produits chimiques et l'eau, tout en maximisant les rendements.

Notre travail consiste en le développement d'une application mobile « ArboTech Expert » destinée à aider les agriculteurs et les experts agronomes à la gestion des vergers. Cette application fournit des informations détaillées sur les différentes maladies et leurs symptômes. De plus, elle offre des informations générales sur la culture, afin d'optimiser le développement et la santé de cette dernière.

L'application fournit également des données météorologiques actualisées toutes les 10 minutes, permettant aux utilisateurs de suivre de près les conditions climatiques, données utiles pour la gestion des irrigations et la gestion des maladies et des ravageurs.

De plus, elle fournit des informations sur les propriétés physico-chimiques du sol jusqu'à 2 m de profondeur comme la densité apparente, azote total, carbone organique et le pH. L'application permet d'avoir la température de surface, l'humidité et la température du sol jusqu'à 10 cm de profondeur.

L'objectif principal de cette application est d'améliorer la gestion globale des vergers en intégrant les connaissances agronomiques avec les capacités informatiques. En utilisant cette application, les agriculteurs peuvent mieux gérer leur verger, réduire les pertes économiques et minimiser l'impact environnemental de leurs pratiques agricoles.

Dans un avenir proche, j'ai l'intention d'apporter des améliorations à mon application afin de répondre aux besoins croissants de l'agriculture en matière de technologies innovantes.

L'une des principales améliorations que je prévois d'apporter à mon application est l'intégration de la carte NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée). Cette carte fournira des informations précieuses sur la santé des plantes en évaluant leur activité photosynthétique et leur biomasse. Grâce à cette fonctionnalité, les agriculteurs pourront surveiller le niveau de stress des plantes et prendre des mesures préventives pour les préserver. Cela leur permettra de mieux comprendre l'état de leurs cultures et d'ajuster leurs pratiques agricoles en conséquence.

Dans le but d'améliorer la gestion de l'irrigation, je prévois également d'ajouter une fonctionnalité de contrôle par des capteurs. Les agriculteurs pourront ainsi surveiller en temps réel des données

provenant de différents capteurs, tels que l'humidité du sol et les conditions météorologiques. Sur la base de ces informations, l'application sera en mesure d'automatiser certaines actions, comme le contrôle de l'irrigation ou l'ouverture de la pompe avant que les plantes ne montrent des signes de flétrissement. Cette automatisation permettra d'optimiser l'utilisation de l'eau et d'améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Enfin, une autre fonctionnalité que je compte intégrer est la mise en place d'alertes météorologiques. Par exemple, l'application pourra envoyer des notifications aux agriculteurs lorsqu'un climat propice à l'apparition d'une maladie spécifique est détecté. Ces alertes permettront aux utilisateurs de prendre des mesures préventives à temps, en mettant en place des traitements ou des pratiques de gestion adaptées. Cette fonctionnalité fournira une valeur ajoutée en matière de surveillance des cultures et contribuera à minimiser les risques de pertes économiques liées aux maladies.

**Références bibliographiques :**

- [1] : Sahali Nourredine<sup>1</sup>, Djenane Abdel Madjid<sup>2</sup> 1 MCB, Laboratoire LAREMO, FSCSG, UMMTO, Algérie. Analyse de l'évolution récente de l'arboriculture fruitière en Algérie: plantation et performance économique. Volume8 / Issue1 / Juin 2021
- [2] : Statistiques agricoles. Ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR). Alger, 1998
- [3] : Statistiques agricoles. Ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR). Alger, 2007
- [4]: Habi Mohammed, and Boutkhill Morsli. "Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord-Ouest algérien." *Science et changements planétaires/Sécheresse* 22.1 (2011): 49-56.
- [5] : Remini, Boualem. "La problématique de l'eau en Algérie du nord." *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782 8 (2010)
- [6]: BÉDRANI Slimane, and Ahmed Bouaita. "Le foncier agricole périurbain en Algérie." *Bouleversements fonciers en Méditerranée: des risques sous le choc de l'urbanisation et des privatisations*. Paris: Karthala/Ciheam (2003): 195-211.
- [7]: HARRACHE, Kamel, and Mostafa AOIUNE. *Désertification en Algérie: concept, causes, conséquences et la lutte*. Diss. Université de Larbi Tébessi, 2022.
- [8] : HALITIM, 1988 « Halitim, A. "Sols arides d'Algérie." Ed. OPU, Alger (1988). »
- [9] : Halitim, A. (1988), *Sols des régions arides d'Algérie*, OPU, Alger
- [10] : Le Couteux, Alexis. *Modélisation de la structure des sols cultivés: intégration de processus physiques et biologiques*. Diss. Rennes 1, 2015.
- [11] : Musy, André, and Marc Soutter. *Physique du sol*. Vol. 6. PPUR presses polytechniques, 1991.
- [12]: SEGHIR, MOHAMED, and H. A. D. D. A. SAMIA YAHI. *Caractérisation physico-chimique des sols et des Eaux d'irrigation de la Zone Kef Tiour Wilaya de M'sila*. Diss. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila, 2016.
- [13]: Zhang, Minghua, et al. "Review of precision rice hill-drop drilling technology and machine for paddy." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11.3 (2018): 1-11.
- [14]: Harrison, Rhett D., et al. *Journal of Environmental Management* (2019).
- [15]: Sindhuja Sankarana, Ashish Mishraa, Reza Ehsania, Cristina Davisb "A review of advanced techniques for detecting plant diseases" [Http: //agri.ckcest.cn/ass/NK003-20161121003.pdf](http://agri.ckcest.cn/ass/NK003-20161121003.pdf)



- [16]: Liazidi, Chaima, Faten Abir Ziar, and Mohamed Chekara Bouziani. "Contribution à l'étude du polymorphisme génétique de quelques accessions d'*aegilops triuncialis* L par les marqueurs moléculaires ISSR-PCR (Inter simple sequence repeat)." (2022)
- [17]: Debonneville, Christophe, Isabelle Kellenberger, and Olivier Schumpp. "Diagnostic moléculaire des maladies bactériennes de quarantaine de la pomme de terre."
- [18] : Toudjini, Soumia, Maroua Chaoui, and Mohammed Chekara Bouziani. "Contribution à l'étude du polymorphisme génétique par les marqueurs biochimique et moléculaires de quelques accessions de l'espèce tétraploïde *Aegilops triuncialis* L." (2020).
- [19] : BENALLAL, Khaoula, Maroua BOUATTOU, and M. BOUHEDDA. "Conception et implémentation d'un système de détection et classification des maladies foliaires." (2021).
- [20] : Godechal, Francois. "Etablissement d'un protocole d'acquisition par rotation d'images pour le suivi du développement d'épis de froment d'hiver et la proxidéttection de la fusariose au champ." (2021).
- [21] : 'De nouvelles technologies pour mieux détecter les maladies des plantes. 'https://theconversation.com/de-nouvelles-technologies-pour-mieux-detecter-les-maladiesdes-plantes-145206 (accessed Jun. 15, 2021).
- [22] : Perruchon, Olivier. Identification et cartographie des métabolites secondaires de nouvelles souches de levures tropicales. Diss. Normandie Université, 2021.
- [23]: Dordas, C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 33–46 (2008). <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>
- [24]: Spann, Timothy M., and Arnold W. Schumann. "The role of plant nutrients in disease development with emphasis on citrus and huanglongbing." *Proc. Fla. State Hort. Soc.* Vol. 122. 2009.
- [25] : ALIOUI Sara, SEGNI Bochra. "Étude de la qualité physico-chimique et microbiologique de la conserve du concentré de tomate (ZIMBA)." (2020)
- [26] : <https://www.inrae.fr/actualites/e-phytia-web-smartphones-au-chevet-plantes-malades> Publié le 29 septembre 2017
- [27] : Bastien L, Base de données : qu'est-ce que c'est ? Définition et présentation, 24 Janvier 2019, <https://www.lebigdata.fr/base-de-donnees>, 14 Avril 2020)
- [28]: Suryawanshi, Yogesh, and Kailas Patil. "Advancing agriculture through image-based datasets in plant science: A review." *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)* 9.4 (2023).

- [29] : Calvet R. (2013). Le sol: Constitution, propriétés physiques, physicochimiques et chimiques. Organismes vivants. Qualité des sols (2° Éd.). France Agricole Editions
- [30]: Hartemink, Alfred E. "The definition of soil since the early 1800s." *Advances in Agronomy* 137 (2016)
- [31]: University of California, Davis. "SoilWeb." (2021).
- [32]: Poggio, Laura, et al. "SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty." *Soil* 7.1 (2021): 217-240
- [33]: Dubuis, P. H., et al. "VitiMeteo and Agrometeo: Two platforms for plant protection management based on an international collaboration." *BIO Web of Conferences*. Vol. 15. EDP Sciences, 2019
- [34] : Renaut, Didier. "Les satellites météorologiques." *La météorologie* 2004.45 (2004): 33-37.
- [35] : Pellarin, Thierry. Visibilité hydrologique de radars météorologiques opérant en régions montagneuses: application au bassin versant de l'Ardèche. Diss. Université Joseph Fourier (Grenoble; 1971-2015), 2001.
- [36] : Pailleux, Jean, Jean-François Geleyn, and Emmanuel Legrand. "La prévision numérique du temps avec les modèles ARPÈGE et ALADIN-Bilan et perspectives." *La Météorologie* " 2000.30 (2000)
- [37] : Todoroff, Pierre, Jean-François Martiné, and Eric Gozé. "Prévision de la récolte de canne à sucre à partir d'un modèle de croissance. Exemple de La Réunion." 2012.
- [38] : Attig, Imen. Étude de la relation entre les données d'imagerie infrarouge thermique acquise par drone et des indicateurs agro-météorologiques de stress hydrique dans la culture de pommes de terre. Diss. Maîtrise en sciences de l'eau, 2020.
- [39] : <https://cio-mag.com/au-rwanda-une-feuille-de-route-pour-la-gestion-numerique-de-lagriculture/>