A photograph of two men in a vineyard. One man, wearing a black jacket and a black hat, is leaning over a young vine. The other man, wearing a black jacket and blue jeans, is crouching next to the vine, looking at it. The vineyard has rows of young vines in the foreground and older vines in the background. The text 'AGRICULTURAL COOPERATIVE ASSISTANCE' is overlaid in large white letters.

AGRICULTURAL COOPERATIVE ASSISTANCE

Analyse des menaces qui pèsent sur le monde agricole et proposition de solution par des élèves de l'Ecole de l'air et de l'espace.

GENEVA
CHALLENGE 2021

Table des matières

I.	Introduction	3
A.	Abstract.....	3
B.	Notre équipe	3
1.	Portraits	3
2.	Notre école	4
C.	La crise étudiée.....	5
D.	Notre solution.....	5
II.	Bilan de la situation	6
A.	Situation mondiale générale	6
1.	Rapports du GIEC	6
2.	Sustainable Development Goals	6
3.	Situation économique du monde agricole	6
4.	Situation sociale du monde agricole	7
B.	Situation en France	9
1.	Situation agricole en France	9
2.	L'agriculture en France : une grande diversité de production	9
3.	Situation sociale et économique du secteur agricole Français	9
4.	Les risques et menaces	10
5.	Les aides agricoles en France	10
6.	Conséquences des calamités climatiques.....	11
III.	Agricultural Cooperative Assistance System.....	12
A.	Architecture générale	12
1.	Les acteurs.....	12
2.	Les échanges entre les acteurs.....	12
3.	Synthèse schématique	12
B.	Collecte de données.....	13
1.	Données globales.....	13
2.	Données locales	13
3.	Aspect financier.....	14
C.	Analyse de données.....	15
1.	Modèle météorologique	15
2.	Modèle agronomique.....	15
E.	Interface utilisateur	17
1.	Affichage de cartes	17
2.	Infrastructures de soutien.....	18
3.	Forum d'entraide et contacts.....	19
	19
F.	Pôle d'infrastructures de protection	20
1.	Organisation générale	20

2.	Matériel	20
3.	Financement	20
4.	Emplois générés	20
IV.	Etude de cas	21
A.	Vins de Champagne	21
1.	Présentation de l'entreprise	21
2.	Etude des parcelles	21
3.	Solutions envisagées.....	21
4.	Avis de l'exploitant concernant ACAS.....	22
V.	Table des illustrations.....	24
VI.	Table des références	25

I. Introduction

A. Abstract

Notre objectif est de créer un logiciel mettant en relation agriculteurs et professionnels du secteur pour lutter contre les principales calamités agricoles auxquelles les exploitants agricoles peuvent faire face : le gel, la grêle ou la sécheresse. Ce logiciel, après que l'agriculteur aura préalablement rempli les caractéristiques de son exploitation, proposera un panel de solutions pour lutter le plus efficacement, écologiquement et économiquement contre l'aléa climatique choisi. Il mettra par la suite en relation l'exploitant avec les professionnels pouvant mettre en œuvre ces solutions. L'objectif est que ce logiciel devienne une plateforme coopérative entre professionnels afin de centraliser et diriger les moyens de lutte contre les calamités agricoles vers ceux en ayant le plus besoin et ceci le plus rapidement possible. En somme, il s'agit de mieux identifier la demande pour rationaliser le soutien.

B. Notre équipe

1. Portraits



Valentin BOVAGNET-PASCAL

Valentin habitait dans les Alpes en Savoie avant de rejoindre l'Ecole de l'Air et de l'Espace en qualité d'élève-officier. Il effectuera sa troisième année en échange à l'Ecole royale militaire de Belgique. Issu d'une famille d'agriculteurs, il a finalement choisi des études d'aéronautique dans l'Armée de l'air et de l'espace afin de devenir pilote militaire. Passionné de montagne et de vol, il subit les conséquences du changement climatique lors de sa pratique du parapente.

Alexandre LAVOLEE

Alexandre est né sur la côte d'azur, région baignée de soleil, où les hivers sont doux et les étés brûlants. Ayant vécu à l'étranger et un peu partout en France, il développe très tôt un intérêt pour la découverte d'autres cultures. Passionné de randonnée et de sports d'extérieur c'est tout naturellement qu'il s'intéresse à ce projet ayant pour objectif d'apporter des solutions à un milieu où la nature est justement au cœur de l'activité. Actuellement élève officier à l'Ecole de l'Air et de l'Espace et prochainement en échange à l'United States Air Force Academy, il a pour objectif et rêve de devenir pilote militaire.



Dylan LEBOULENGER

Dylan est né en France, mais a passé son enfance au Kazakhstan, pays d'Asie centrale où se mélangent la culture orientale et l'héritage soviétique. Cette expérience multiculturelle lui a permis de développer une curiosité et une riche vision sur les différences de mentalités et d'approches vis-à-vis des grands thèmes socio-culturels et socio-économiques, dont l'agriculture fait partie. Revenu en France pour poursuivre son rêve et devenir officier dans l'Armée de l'Air et de l'Espace, il effectuera prochainement un échange académique avec l'US Air Force Academy.



Maxime POL

Maxime est originaire du sud-ouest de la France, une région entre vallées et montagnes fortement empreinte du milieu agricole. Issu lui-même d'une famille d'agriculteurs, il a grandi près des fermes. En 2019, il participe au Change The World Model United Nations au siège des Nations Unies, à New-York City. C'est l'occasion pour lui d'aborder des problématiques sociales et politiques mondiales avec des homologues étrangers. Il souhaite alors poursuivre cet engagement en tant qu'officier dans l'Armée de l'Air et de l'Espace. Aujourd'hui élève-officier à l'Ecole de l'Air et de l'Espace, il sera en échange à l'Ecole Polytechnique l'an prochain. Il se destine à une carrière de pilote militaire.



2. Notre école

Fondée en 1935, l'Ecole de l'air est une école militaire. Riche d'histoire et de traditions depuis 86 ans, elle est le "nid des aiglons" : elle forme les officiers de l'armée de l'air et de l'espace française.

Qu'ils soient issus des classes préparatoires aux grandes écoles, d'études politiques, déjà diplômés ou issus des forces, les élèves-officiers ont un large panel d'orientation dans le milieu militaire. Certains d'entre eux seront pilotes militaires, d'autres travailleront dans les renseignements, dans le contrôle aérien, ou en tant que commando parachutiste. Enfin, certains seront responsables de la flotte de l'armée, ou des systèmes de communication et de détection, en tant qu'officiers mécaniciens.

La formation à l'Ecole de l'air s'articule autour de quatre piliers fondamentaux. D'abord, l'école a pour vocation principale la formation des chefs militaires de l'armée de l'air et de l'espace. Cela se traduit par des stages de combat, d'aguerrissement, mais aussi par le développement d'une culture de l'officier, centrée autour de l'enseignement de l'histoire, des relations internationales, des sciences humaines et de la culture générale.

Ensuite, c'est également une école d'ingénieurs reconnue dans l'univers aéronautique et spatial, bâtie sur une culture poussée des sciences physiques, désormais résolument tournée vers les sciences numériques. L'école est complétée par un centre de recherches où se côtoient civils et militaires qui



Formation
militaire



Formation
académique



Formation
aéronautique



Formation par
l'engagement

ont à cœur de faire avancer la recherche et le développement des systèmes de défense modernes et adaptés aux menaces contemporaines.

Naturellement, l'école repose sur un pilier aéronautique majeur : elle est le premier des centres de formation des pilotes de l'Armée de l'air et de l'espace. C'est là que les futurs pilotes opérationnels goûtent aux plaisirs mais aussi aux exigences de la troisième dimension.

Enfin, l'école développe fortement la formation par l'engagement, en inscrivant de manière hebdomadaire ses élèves-officiers dans des tutorats au service de l'éducation et de la jeunesse. C'est une manière de s'investir auprès de la population civile et de la servir dès les premières années d'engagement.

Bien que fermement ancrée dans ses traditions, l'Ecole de l'air se veut être moderne et inscrite dans les tendances d'enseignement les plus récentes : l'enseignement et la recherche s'ouvrent peu à peu au monde civil, les contenus académiques sont constamment mis à jour, le pôle technique et technologique ne cesse de se développer. A terme, l'Ecole de l'air veut être non seulement la référence militaire qu'elle est aujourd'hui, mais aussi une référence académique et humaine.



1 - Le Bâtiment des Etudes : bâtiment historique de l'Ecole de l'air

C. La crise étudiée

Début avril 2021, d'importantes gelées ont secoué le Nord-Est de la France et ont particulièrement endommagé les bourgeons des vignes. Cette vague de froid - synonyme de perte des récoltes, de tentatives de sauvetage désespérées et de problèmes financiers - a suscité l'intérêt de la population grâce à une forte médiatisation.¹

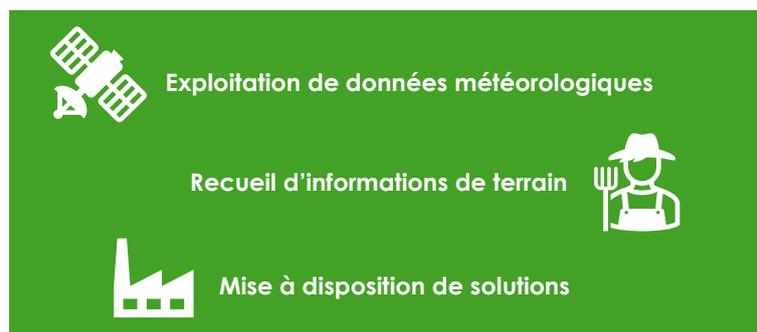
Bien que prévisibles (et prévues), les températures rencontrées ont dévasté les récoltes, faute de moyen de protection suffisants et adaptés. Si certaines exploitations ont pu se permettre d'employer des hélicoptères pour plaquer la chaleur au sol, et d'autres ont eu les ressources nécessaires pour installer des milliers de bougies sur des hectares entiers, d'autres exploitations n'ont pas pu (ou pas souhaité, pour des convictions écologiques notamment ²) mettre en place de tels dispositifs de protection des bourgeons contre le gel. Les premières estimations craignaient alors que les exploitations doivent surmonter jusqu'à 40% de perte.³

D'ailleurs, cet évènement localisé dans le temps et dans l'espace est à mettre en perspective dans un contexte global tout aussi sombre : le dérèglement climatique. Les évènements climatiques extrêmes associés (gelées, sécheresses, inondations, ...) ⁴ ne feront que renforcer la fréquence et l'intensité des situations à risque pour les exploitants agricoles.

D. Notre solution

Constatant d'une part la quantité exceptionnelle de données disponibles dans les domaines de la prévision météorologique et de l'agrobiologie et d'autre part l'utilisation tantôt impossible tantôt déraisonnée des moyens de protection des exploitations, nous avons eu l'idée de l'Agricultural Cooperative Assistance (ACA). L'ACA consiste en un système de récolte, d'hybridation, d'exploitation et de présentation de données météorologiques et agrobiologiques d'une part afin de fournir une cartographie précise des menaces pour les exploitations ; et une plateforme de mise en correspondance des exploitants entre eux, mais aussi des exploitants avec les solutions industrielles adaptées à la menace à laquelle ils font face d'autre part.

L'ACA se base sur trois piliers. Le premier de ces piliers est la récolte massive de données météorologiques et leur exploitation afin de fournir une cartographie des menaces pour les exploitations agricoles. Le second pilier est la récolte d'informations « de terrain » relatives aux espèces cultivées (agrobiologie) mais aussi relatives aux terrains (hygrométrie, exposition au vent, au soleil, ...) afin d'affiner le modèle global et cibler plus précisément les menaces afin d'y apporter la réponse la plus adaptée. Enfin, le dernier pilier est un pôle commun et régional de solutions techniques de lutte contre les menaces à l'agriculture (par exemple des bougies dans le cas d'une vague de froid) afin de distribuer les ressources de lutte de manière rationnelle.



II. Bilan de la situation

A. Situation mondiale générale

1. Rapports du GIEC

Aujourd'hui, la corrélation entre l'activité humaine et le dérèglement climatique a été clairement démontrée. Le rapport du GIEC stipule que les facteurs du changement climatique (réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, augmentation du niveau de la mer, acidification de l'océan, etc...) sont sans précédent depuis des siècles. Ces facteurs émanent tous du réchauffement climatique global et les émissions anthropiques des gaz à effet de serre couplées à d'autres produits secondaires de l'activité humaine en ont été identifiés comme la raison principale. Des épisodes de fortes chaleurs ainsi que de précipitations extrêmes sont prévus à se multiplier dans les décennies à venir. Ces évolutions climatiques ont un impact direct sur les systèmes écologiques naturels (dérèglement des systèmes hydrologiques et de la biodiversité) mais aussi sur les systèmes humains dont l'agriculture. La robustesse et la résilience de ces systèmes face aux menaces climatiques sont différentes d'une région du globe à l'autre, ce qui fait de l'agriculture un enjeu majeur de la sécurité alimentaire (et donc d'autres sujets connexes tels la sécurité intraétatique et les flux migratoires) dans les décennies à venir. Dans cette mesure, notre projet s'inscrit dans une logique de renforcement des systèmes humains et s'adresse en particulier aux propriétés agricoles à l'échelle locale.

2. Sustainable Development Goals

De plus, dans la mesure où nous proposons une solution permettant d'améliorer la robustesse des terrains cultivés, notre projet cible naturellement l'objectif « ZERO faim » de l'Agenda 2030 élaboré par les Etats membres de l'organisation des Nations Unies.

En s'attaquant aux problématiques de la production agricole, notre projet répond directement à de nombreux objectifs de développement durable. Naturellement, il s'agit de préserver la vie sur terre (SDG15) des aléas climatiques, en utilisant les techniques les moins invasives et nocives afin de protéger les ressources aquatiques (SDG14, SDG6).

Conscients que les solutions à court terme ne suffisent pas, nous souhaitons que ces solutions agissent également sur le long terme pour participer à la réponse contre le changement climatique (SDG13). L'objectif de ces mesures est non seulement environnemental mais aussi socio-économique : le projet vise à réduire les inégalités entre exploitants agricoles (SDG10), à développer un nouveau concept de production plus responsable et rationnel (SDG12) basé sur une utilisation nouvelle des technologies et de l'industrie (SDG9). Enfin, cela aura pour conséquence de préserver la production agricole et donc de participer à une stabilisation des quantités de production et des tarifs. Ainsi, le projet mis en application dans des territoires sensibles aux risques de pauvreté accrue et de sous-nutrition répond aux objectifs 1, 2 et 8 de développement durable fixés par l'O.N.U. .

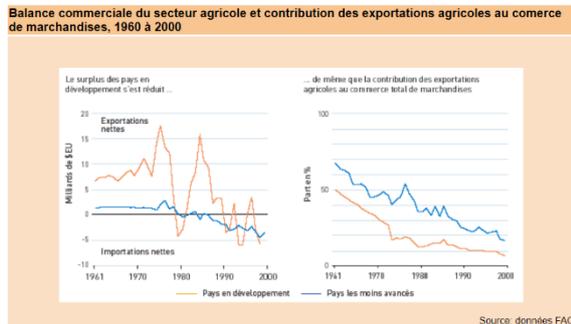


2 - Objectifs de développement durable fixés par l'ONU

3. Situation économique du monde agricole

Le marché économique de l'agriculture est marqué par des disproportionnalités croissantes. Le secteur agricole des pays en développement, ainsi que dans les pays les moins avancés (PMA), où l'agriculture joue un rôle capital, a subi de sensibles évolutions négatives au cours des 40 dernières années. On constate une nette diminution des exportations agricoles de ces pays (d'environ 50% dans les années 60 à

environ 6% au début des 2000). La disparition progressive de l'excédent commercial agricole des pays en développement pourrait faire de ces pays des importateurs nets de produits agricoles, alors que les PMA globalement le sont déjà.



Le blocage des exportations agricoles de ces pays s'explique par des politiques des pays développés qui ont un effet restrictif sur le bien-être du marché agricole des pays en développement, ainsi que par l'action suffocante du marché économique mondial. En effet, pour le volet politique, les décisions des pays développés (principalement membres de l'OCDE) de favoriser davantage les échanges internes, ainsi que les strictes conditions douanières, entravent le commerce d'exportation des pays en voie de développement. Concernant les marchés, ceux-ci sont saturés du côté des pays développés, et la demande en exportation agricole de ces derniers est faible.⁵

Ainsi, en tenant compte du fait que de plus en plus de pays en développement risquent de devenir des importateurs nets de produits agricoles, il est essentiel de sécuriser le secteur agricole des pays développés comme la France, pour pouvoir plus tard assurer des exportations à prix raisonnables. De plus, la libéralisation du marché agricole des pays en développement ou des PMA et leur insertion dans le circuit économique mondial ne peut se faire sans la consolidation de leurs propres moyens de productions agricoles, et donc de leurs propres capacités exportatrices. Notre projet propose donc une solution à la fois pour améliorer la robustesse de la production agricole française, dont les exportations seront nécessaires dans les décennies à venir ; et aussi pour renforcer l'agriculture des pays en développement et des

PMA, une fois que notre programme sera adapté à leurs régions.

4. Situation sociale du monde agricole

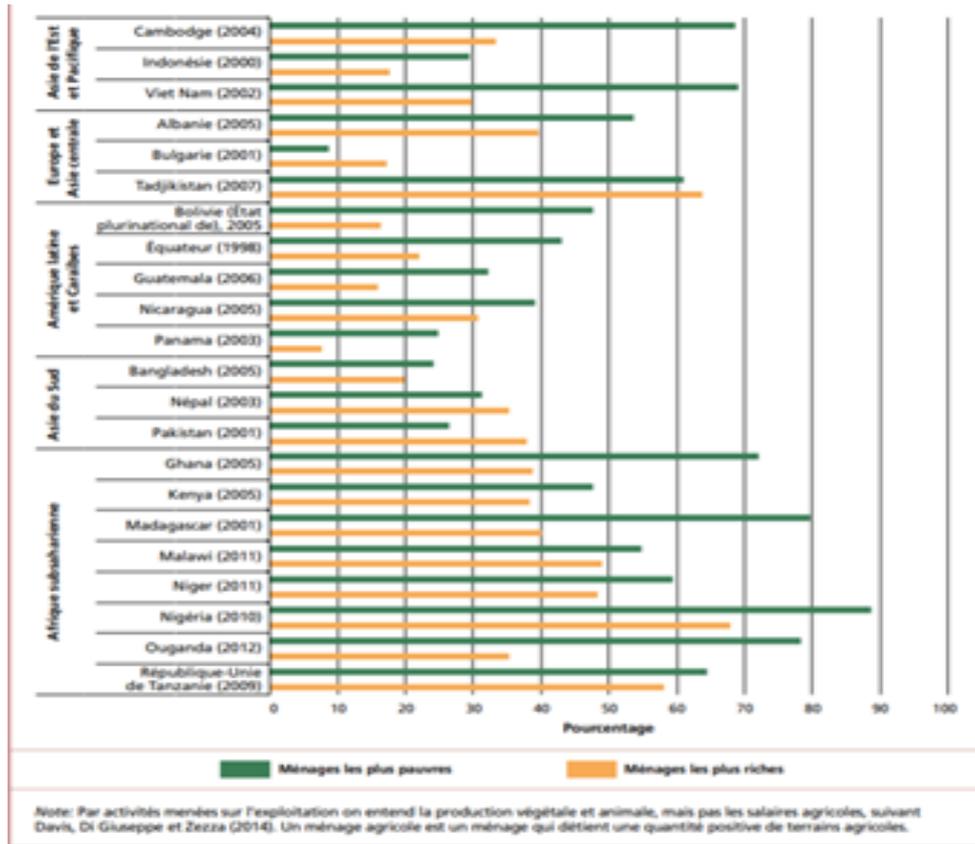
La pauvreté et la malnutrition restent un défi global majeur et font partie des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Malgré le déclin de la proportion de personnes vivant en pauvreté ou extrême pauvreté qui s'est produit durant les trente dernières années, leur nombre reste anormalement élevé. Alors que la situation semble s'améliorer en Asie orientale, en Asie du Sud et dans le Pacifique, la pauvreté et la faim en Afrique sont toujours aussi problématiques. Ces dernières sont à la fois les causes et les conséquences du sous-développement de ces pays, impliquant directement la santé et la productivité des populations. La pauvreté frappe surtout les zones rurales où les populations vivent quasi-uniquement de l'agriculture. Dès lors, l'agriculture se trouve en ligne de mire de toute intervention qui vise à améliorer la sécurité alimentaire et combattre la pauvreté.

Les ménages ruraux, dont la survie dépend de l'agriculture, se retrouvent extrêmement vulnérables face aux facteurs tels que la complexité d'accès aux intrants et produits agricoles, l'absence de crédit et d'assurance ainsi que les infrastructures défaillantes.⁶ A tout cela s'ajoute, bien évidemment, une extrême fragilité vis-à-vis des conditions météorologiques qui deviennent de plus en plus incertaines dues au changement climatique (cf. *paragraphe précédent*).

Pour pouvoir adresser le défi de faim et de pauvreté, il est essentiel que des solutions de sécurisation de l'agriculture soient déployées en premier lieu. Notre projet pourrait s'inscrire dans cette logique, dans la mesure où s'il prouve son efficacité à l'échelle nationale limitée au territoire de la France et s'il subit des améliorations qui éliminent des failles identifiées lors de son utilisation en France, il pourrait être mis en place et adapté aux régions fragilisées où la robustesse de l'agriculture est une question de survie.

Illustration suivante :⁷

3 - Graphique montrant l'importance de l'agriculture dans le revenu des ménages agricoles de pays à revenu faible ou intermédiaire



B. Situation en France

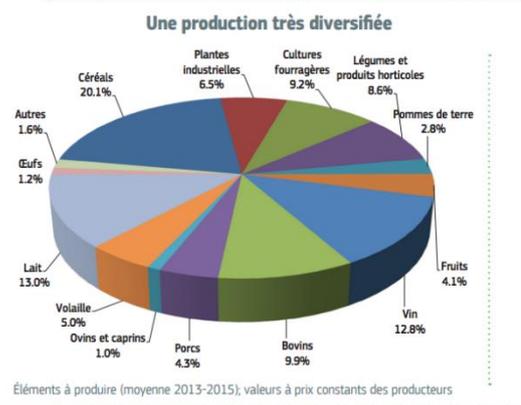
1. Situation agricole en France

L'agriculture française est un secteur en pleine mutation qui ne constitue plus qu'une faible partie du nombre total d'emplois en France. Le nombre d'agriculteurs et le nombre total d'exploitations ne cessent de diminuer, ceci s'expliquant par la construction et le développement d'exploitations de plus en plus conséquentes. Ce phénomène, que l'on retrouve dans la plupart des autres pays européens est principalement apparu dans les années 60 grâce à des politiques de modernisation et de collectivisation, d'abord dans le cadre national puis continental, notamment à travers la Politique Agricole Commune. Mais pourquoi, dans le cadre de notre projet, s'intéresser à la France en particulier ?

2. L'agriculture en France : une grande diversité de production

Le territoire français représente près de 16% du total⁸ des terres cultivables de l'union européenne, avec un total de 27 millions d'hectares cultivables, soit un peu moins de la moitié du territoire français. Le pays bénéficie d'un climat⁹ dit tempéré, avec des températures douces et une pluviométrie répartie tout au long de l'année. Les phénomènes climatiques extrêmes y sont globalement rares. On y distingue plus précisément 5 types de climats sur le territoire français métropolitain : océanique, océanique altéré, semi-continentale, de montagne et méditerranéen. De ce climat favorable à la culture résulte une grande diversité de production. On peut ainsi distinguer l'élevage, les cultures permanentes et les grandes cultures (blé, maïs, pomme de terre...).

La France est ainsi le premier producteur de produits agricoles de l'UE¹⁰ avec 18% de la valeur de la production agricole totale de l'UE.



Source Commission européenne

4 - Diagramme produit par la Commission Européenne montrant la répartition des besoins de l'UE en production agricole (en % de la valeur totale)

3. Situation sociale et économique du secteur agricole Français

Le commerce extérieur français dégage depuis la fin des années 1970 un solde excédentaire¹¹, et ce malgré la crise économique de 2008 (chute puis redressement depuis). Ce solde excédentaire était d'une valeur de 9,1 milliards d'euros en 2015 et s'explique principalement par la vente de vins et spiritueux à l'étranger. Par ailleurs le secteur agricole contribuait en 2013 à 1,5% du produit intérieur brut français. D'après le ministère de l'agriculture et de l'alimentation il y'avait en France en 2016, 437 600 exploitations agricoles avec 824 000 exploitants et salariés agricoles mais surtout 3,2 millions d'emplois directs et indirects liés à l'agriculture. Néanmoins les difficultés sociales pour les agriculteurs français sont conséquentes. Le taux de pauvreté, à savoir le nombre d'agriculteurs vivant au-dessous du seuil de pauvreté (fixé à 1015€ par mois en France) est en augmentation : passant de 13% en 2006 à 25% en 2015 (Insee 2017). De plus l'endettement moyen d'un agriculteur est, en 2016, de 190 000€. La précarité des emplois agricoles est également liée aux conditions de travail difficiles (54 heures/semaine en moyenne¹²) et au faible montant des retraites. Cette difficile conjoncture économique entraîne des conséquences dramatiques : un agriculteur se suicide par jour selon la MSA en 2019 (la sécurité sociale agricole).

Dans la plupart des cas, le chef d'exploitation travaille seul, avec l'aide de salariés ou de membre de sa famille. Le salariat

hors cadre familial reste peu répandu mais est en hausse avec un passage de 12% en 2000 à 16% en 2019.

Beaucoup de vieux agriculteurs ont du mal à céder le relai à des jeunes avant de partir à la retraite, ce qui contribue à la réduction significative du nombre d'ouvriers agricoles dont la population a été divisée par plus de quatre en 40 ans.¹³

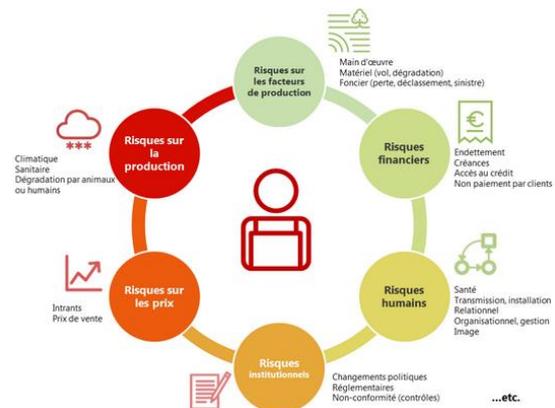
Plus d'un agriculteur sur deux est âgé de 50 ans ou plus en 2019, 13% des agriculteurs ont plus de 60 ans (contre 3% pour l'ensemble des travailleurs). Seulement 1% ont moins de 25% (contre 8% pour l'ensemble des professions).

En ce qui concerne l'impact de la profession sur la vie sociale du travailleur, plus de 75% travaillent de manière régulière le samedi (au moins 1 samedi sur les 4 semaines précédant le sondage) et leur temps de travail hebdomadaire est de 55 heures par semaine contre 37 pour les autres professions. Ajouté au nombre réduit de congé, on peut sans problème se questionner sur la situation difficile que ces travailleurs traversent en cas de crise climatique.

4. Les risques et menaces

L'agriculture française fait face à un certain nombre de risques. Il est possible de les regrouper dans les catégories suivantes :

- Risque financier
- Risque sur la production
- Risque sur les facteurs de production
- Risques humains
- Risques institutionnels
- Risques sur les prix



5 - Infographie publiée par la Chambre d'Agriculture de France montrant les risques auxquels les exploitants agricoles sont exposés

5. Les aides agricoles en France

A travers la politique agricole commune (PAC), les pouvoirs publics soutiennent les agriculteurs¹⁴ face aux risques auxquelles le milieu peut faire face, à travers le Programme National de Gestion des Risques et d'Assistance Technique (PNGRAT). Ce programme met en œuvre deux types de soutien. Tout d'abord, l'aide aux fonds de mutualisation en cas d'aléa sanitaire et d'incidents environnementaux soutient un fonds de mutualisation agréé par l'état français : le fonds national agricole de mutualisation sanitaire et environnementale (FMSE). Ce fonds intervient pour indemniser les exploitants en cas de catastrophe sanitaire ou environnementale. L'aide à l'assurance multirisques climatiques des récoltes permet aux agriculteurs d'avoir une prise en charge partielle (à hauteur de 65% max) de l'assurance multirisque à laquelle un agriculteur pourrait souscrire. En dehors du PNGRAT, existe le régime de calamité agricole. En cas d'aléa climatique ayant des conséquences sur les récoltes, les exploitants peuvent recevoir une indemnisation financée par le fonds national de gestion des risques en agriculture (FNGRA). Par ailleurs il existe également des plans lancés à la suite d'événements climatiques particulièrement désastreux, comme le Plan Gel, consécutif aux terribles épisodes de gel du printemps 2021. Enfin, les exploitants peuvent souscrire à des assurances chez des groupes comme Axa ou Groupama.

6. Conséquences des calamités climatiques

Une calamité agricole entraînant la perte d'une récolte ou bien un ralentissement de la production d'une exploitation peut avoir des conséquences désastreuses pour un agriculteur. En effet, le manque à gagner consécutif implique une baisse de revenus ce qui empêche l'entreprise de se développer (acheter de nouveaux équipements, développer son système d'irrigation...) et parfois même simplement d'entretenir son matériel déjà existant. Le gel

tardif observé au printemps 2021, consécutif à un début de printemps chaud avec une floraison précoce a sinistré des centaines de milliers d'hectares de cultures¹⁵, principalement de vignes ; certains exploitants perdant 100% de leurs récoltes pour l'année. Même si des solutions existent, nous le verrons par la suite, celles-ci ne peuvent empêcher les conséquences dramatiques connues en France cette année.

III. Agricultural Cooperative Assistance System

A. Architecture générale

1. Les acteurs

L'Agricultural Cooperative Assistance System (ACAS) est conçu comme un projet ouvert et collaboratif. Cela signifie que tous ceux inscrits peuvent apporter leur aide et tirer profit des informations fournies par la communauté. Le nombre d'acteurs est donc illimité, mais le type d'acteurs est bien ciblé.

D'abord il faut distinguer les acteurs principaux des acteurs secondaires.

Les **acteurs principaux** interagissent directement avec l'ACAS, fournissent des informations et utilisent les services proposés par le système. Parmi eux, on trouve les trois piliers du système : les exploitants agricoles, les entreprises et services du milieu de l'information météorologique et enfin les industriels proposant les services de protection des ressources agricoles.

A ces acteurs principaux s'ajoutent les **acteurs secondaires**, majoritairement publics, qui peuvent soutenir la mise en place et le maintien de l'ACAS. Par exemple, dans le cas d'une implémentation du projet en France, l'Union Européenne peut participer financièrement au travers du *Fonds européen agricole pour le développement rural*. De même, l'Etat français, au travers du *Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*, peut apporter non seulement des subventions mais aussi le soutien logistique d'experts du milieu. Enfin, les instances régionales peuvent offrir un espace et des infrastructures de stockage pour le matériel de protection mis en commun entre les exploitants agricoles cotisant à l'ACAS. L'ensemble de ces ressources permet le financement, partiel ou total, des différents frais engagés pour la mise en place de l'ACAS :

- Achat de matériel de protection mis en commun
- Location de locaux pour le stockage de ce matériel
- Achat et implémentation de bornes météorologiques
- Abonnement aux divers services d'informations
- Coût d'entretien périodique du matériel
- Paiement du serveur de la plateforme en ligne
- Paiement des techniciens travaillant au maintien en condition fonctionnelle des outils (matériels ou informatiques) de l'ACAS

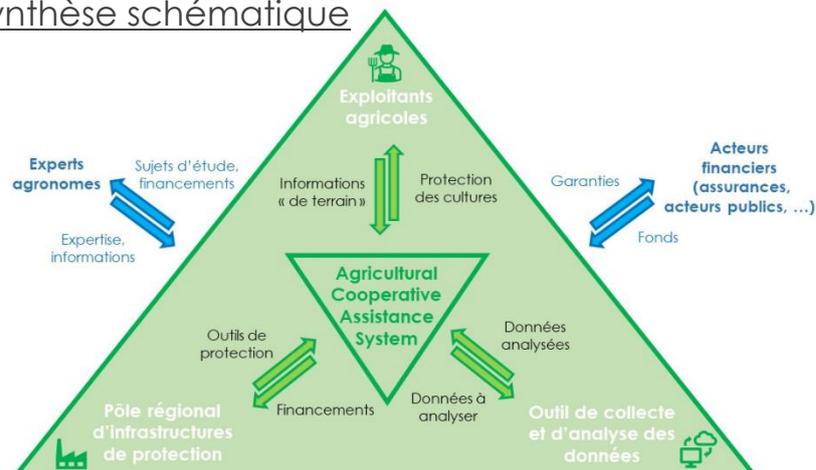
2. Les échanges entre les acteurs

Les trois acteurs principaux ont chacun un rôle à jouer et un profit à tirer de leur participation à l'ACAS.

Premièrement, l'axe majeur de l'ACAS est naturellement l'utilisation par les exploitants agricoles de systèmes de protection de leurs cultures. En contrepartie, les industriels ayant produit les systèmes de protection rencontrent une demande de matériel plus prononcée grâce à leur participation au projet.

Ensuite, une autre dimension importante de l'ACAS est la collecte et l'analyse de données. D'une part, les informations de services traditionnels (Météo France par exemple) ainsi que les outils de modélisation de météorologie sont mis à disposition des agriculteurs pour établir des prévisions globales. En contrepartie, les agriculteurs alimentent la base de données des services traditionnels en développant le réseau de bornes météorologiques local.

3. Synthèse schématique



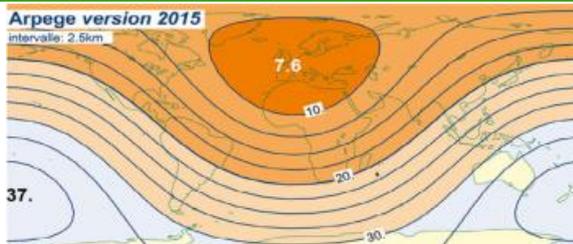
B. Collecte de données

1. Données globales

Le point essentiel du fonctionnement de notre projet est la collecte des données à partir desquelles vont se construire les prévisions météorologiques adaptées à un terrain donné. La partie la plus conséquente des données provient du modèle prévisionnel ARPEGE/AROME utilisé notamment par l'agence Météo France.

ARPEGE

ARPEGE est un modèle de prévision météorologique global qui permet de prévoir des épisodes météorologiques de grande échelle comme, par exemple, les anticyclones et dépressions. ARPEGE est utilisé pour des prévisions allant jusqu'à quatre jours avec une maille dont la résolution peut atteindre 5 km. Quatre prévisions sont émises par jours (00h 06h 12H et 18H UTC).¹⁶



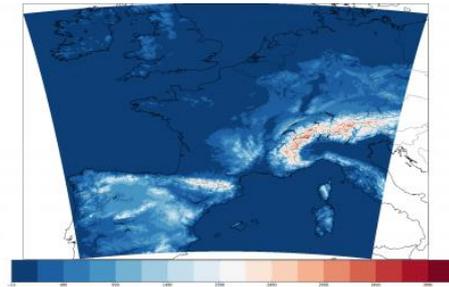
6 - Carte de la résolution du modèle ARPEGE

La résolution du modèle ARPEGE est de 5 km sur l'Europe et de 37 km aux antipodes horizontaux.¹⁷

Ce modèle constituera le socle de données exploitées et fixe les limites pour le modèle régional plus précis : **AROME**.

AROME

Le modèle AROME permet d'avoir une prévision de résolution 1,3 km. Ainsi, il est plus précis que le modèle précédent, mais il ne prévoit que les phénomènes du jour ou du lendemain (allant jusqu'à 42h d'échéance au maximum). Il est notamment utilisé pour prévoir des phénomènes significatifs de courtes échéances tels que les orages violents, pluies abondantes ou pic de chaleur en période de canicule.¹⁸



7 - Domaine de calcul AROME. (Source: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=fr>)

Ces deux modèles prouvent leur efficacité pour prévoir les phénomènes météorologiques depuis 2008. Ils sont par ailleurs en constante évolution : chaque nouvelle version apporte de nouvelles capacités de calcul, plus de précisions et des améliorations dans le traitement des données météorologiques.

2. Données locales

En plus de ces deux modèles, des mesures issues des stations en surface placées à proximité directe des terrains agricoles viennent agrémenter l'ensemble des données météorologiques du modèle. Il est possible d'exploiter des données locales fournies par le réseau français de stations de surface nommé Radome. Ces 554 stations réparties sur le territoire national permettent de mesurer la température, l'humidité, la quantité de précipitations, les caractéristiques du vent, mais également des paramètres complémentaires comme la visibilité, la pression, l'état du sol, etc...¹⁹

Pour des terrains à caractère particulier qui présentent des spécificités géographiques ou climatiques (provenant des particularités régionales de leur localisation), une option supplémentaire pourrait être l'installation d'une station météorologique locale qui permettrait de récolter des données davantage ciblées et propres à la région concernée. En effet, des terrains agricoles qui se trouvent dans des zones qui présentent des particularités géographiques (vallée étroite, versant d'une montagne avec exposition inégale au soleil, proximité à un plan d'eau...) peuvent avoir des différences considérables avec les prévisions à plus grande échelle en termes de paramètres météorologiques. De ce fait, l'exploitant pourrait

bénéficier d'une station au sol, dont le prix d'installation et de maintenance pourrait être en partie pris en charge par l'Etat.

3. Aspect financier

Alors que les données des modèles ARPEGE et AROME sont accessibles gratuitement (par exemple via le site <https://donneespubliques.meteofrance.fr>), le réseau de stations en surface RADOME nécessite un abonnement payant pour avoir accès aux paramètres. L'abonnement annuel à une station du réseau revient à 376€ par an. Ainsi, en tenant

compte des bénéfices que peut apporter l'amélioration des productions agricoles grâce aux prévisions météorologiques, les administrations locales pourrait en partie prendre en charge les coûts d'abonnement à ce réseau. Quant aux stations au sol supplémentaires, évoquées ci-dessus, le prix d'une station de bonne qualité varie entre 325€ TTC (pour le modèle Steinberg Systems SBS-WS-500) et 1189€ TTC (pour Davis Instruments DAV-6162CEU).

C. Analyse de données

1. Modèle météorologique

Le modèle météorologique permet de caractériser la situation thermique et hydrique du moment. Cela permet non seulement de pouvoir calculer la croissance de la plante, mais aussi d'identifier les risques sur différentes échelles de temps.

Nous pouvons prévoir un risque de gel, de sécheresse ou même de canicule pour chaque maille de calcul, ce qui représente un carré de 8km de côté pour les modèles les plus répandus.

Le modèle Arome permet une prévision météorologique à très court terme (3 à 4 jours), ce qui laisse peu de temps d'action aux exploitants. Mais permet d'agir avec une quasi-certitude que l'aléa climatique arrive dans les prochains jours.

Nous avons donc décidé d'ajouter une prévision saisonnière et climatologique afin de prévoir les risques à long terme et de conseiller les exploitants sur les potentiels investissements nécessaires. Cette fonction donne alors une tendance pour prévoir les aléas climatiques. Dans le cas d'une sécheresse, l'exploitant a alors le temps de faire installer des réserves d'eau, des moyens d'irrigations, etc.. Météo France produit des simulations maillées de la prévision saisonnière (cf : Christian Viel : christian.viel@meteo.fr)

Entre les deux modèles, une prévision à plusieurs semaines serait pertinente afin de laisser le temps d'effectuer un échange de matériel entre les exploitants.

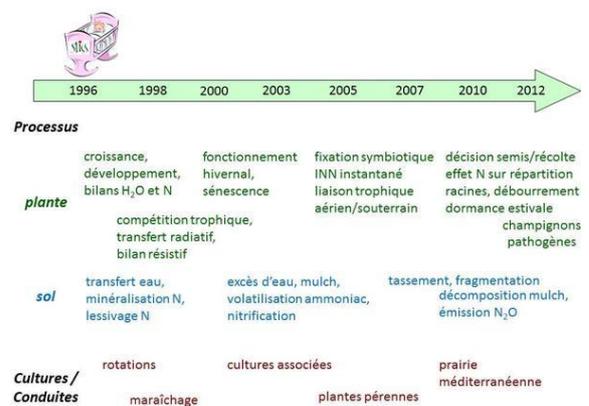
2. Modèle agronomique

Le modèle agronomique, ici basé sur un modèle de phénologie (étude des variations périodiques de croissance d'une plante, par exemple), se sert des indicateurs de suivis de culture issus des données météorologiques pour simuler la croissance jusqu'à la récolte et calculer les dates des stades de croissance, notamment grâce aux températures et à la consommation d'eau.

En effet, c'est le cumul de chaleur et d'absorption d'eau qui permet de prévoir la croissance. Celle-ci peut être estimée de différentes manières pour prévoir la maturité 2 ou 3 semaines à l'avance.

Soit nous pouvons modéliser les données par Météo France ou tout autre fournisseur de modèle météorologique, soit grâce à une étude climatologique historique : on prévoit par le passé les scénarios du futur en étudiant une trentaine d'années et en conservant la médiane.

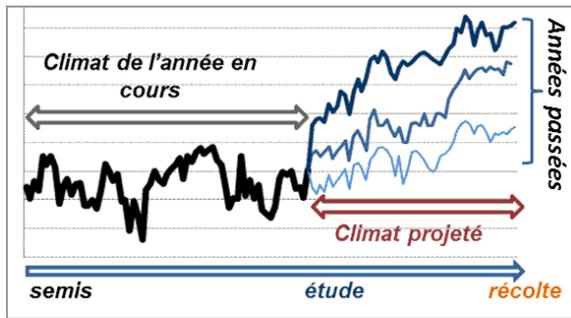
Premièrement, le modèle retenu est le STICS. Il regroupe les modèles GOA (plante), BYM (eau), et LIXIM (azote) pour prévoir la croissance des plantes. Le sol est considéré comme étant unique pour tous les sites dans le modèle utilisé sur le site AgroMetInfo mais on peut le changer grâce aux données des agriculteurs pour lancer nos calculs grâce à un modèle similaire.



8 - modèle de fonctionnement des cultures STICS

Il y a plusieurs paramètres à affiner pour chaque culture, en fonction de la précocité des cépages de certaines plantes. Ces paramètres sont ajustés par nos ingénieurs en analysant les écarts entre les prédictions et les observations de l'année N-1 afin d'affiner le modèle de l'année N. Une base de données de mesure et d'observation va donc être nécessaire pour améliorer les prédictions afin d'ajuster les paramètres, mais aussi pour assurer sur une même année un suivi idéal du risque. Plus on s'approche du stade, plus la prédiction est fine. Le producteur doit donc mettre à jour les données sur l'application lorsque le producteur visualise le changement.

Il est aussi possible de terminer la prévision de l'année en cours grâce aux dernières années :



9 - Schéma illustrant les possibilités de prédiction en fonction du passé

Le système Safran utilise les données historiques. C'est un système de réanalyse des données observées dans des mailles de 8km. Il est aussi possible de faire un croisement du modèle sur la grille Safran (8 km x 8 km) et celle du modèle Corine Land Cover²⁰ pour identifier les cultures dominantes dans chaque maille de calcul SAFRAN. L'intérêt est de calculer les indicateurs de bases comme le vent, l'humidité, la température mini et maxi, les précipitations ainsi que le rayonnement, mais aussi l'ECP (unité d'évaporation).²¹

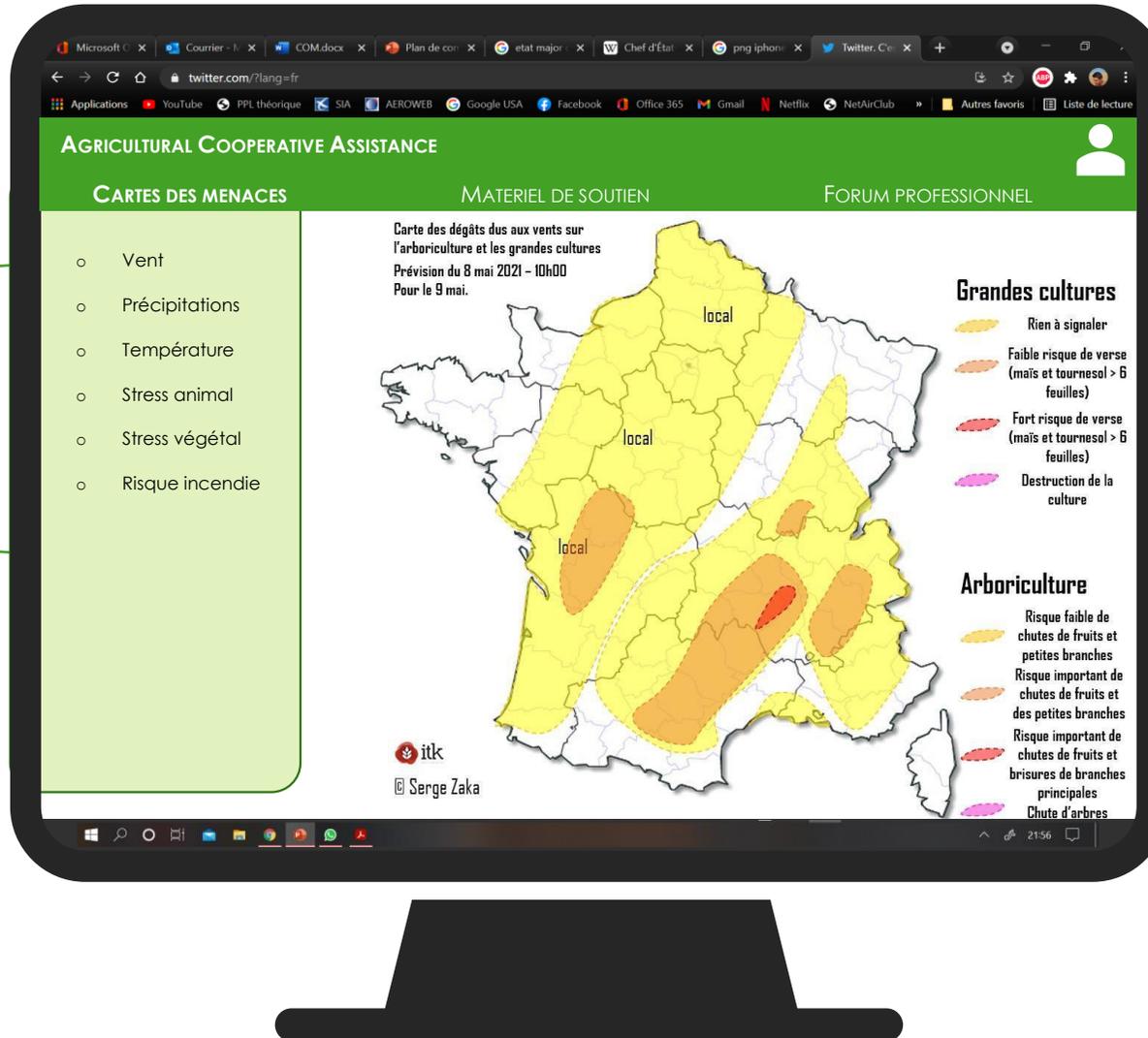
Enfin, en fonction du stade atteint, le risque sera différent. Par exemple, les bourgeons craignent plus le gel, les fleurs la sécheresse et la canicule. Un seuil d'alerte sera alors défini pour chaque stade et sera affiné au fil du temps.

E. Interface utilisateur

1. Affichage de cartes²²

Plusieurs menus selon si l'exploitant est en recherche d'informations, de soutien, ou de conseils

Une approche interactive et évolutive : l'utilisateur peut choisir quelles informations doivent apparaître sur la carte.



Un espace personnel pour renseigner les informations de son exploitation

Une carte zoomable et interactive. Selon l'échelle choisie, les résultats des différents modèles précédemment évoqués sont mis en évidence, avec la précision adaptée à l'échelle.

2. Infrastructures de soutien

L'utilisateur peut sélectionner des filtres et des critères de recherche selon qu'il désire une solution en accord avec ses démarches environnementales, des exigences particulières d'efficacité, et/ou des contraintes financières.

The screenshot displays a web application interface for 'AGRICULTURAL COOPERATIVE ASSISTANCE'. The main navigation bar includes 'CARTES DES MENACES', 'MATERIEL DE SOUTIEN', and 'FORUM PROFESSIONNEL'. A sidebar on the left lists search filters: 'Le plus écologique', 'Le plus efficace', and 'Le plus économique'. The main content area under 'MATERIEL DE SOUTIEN' features three agricultural support technologies:

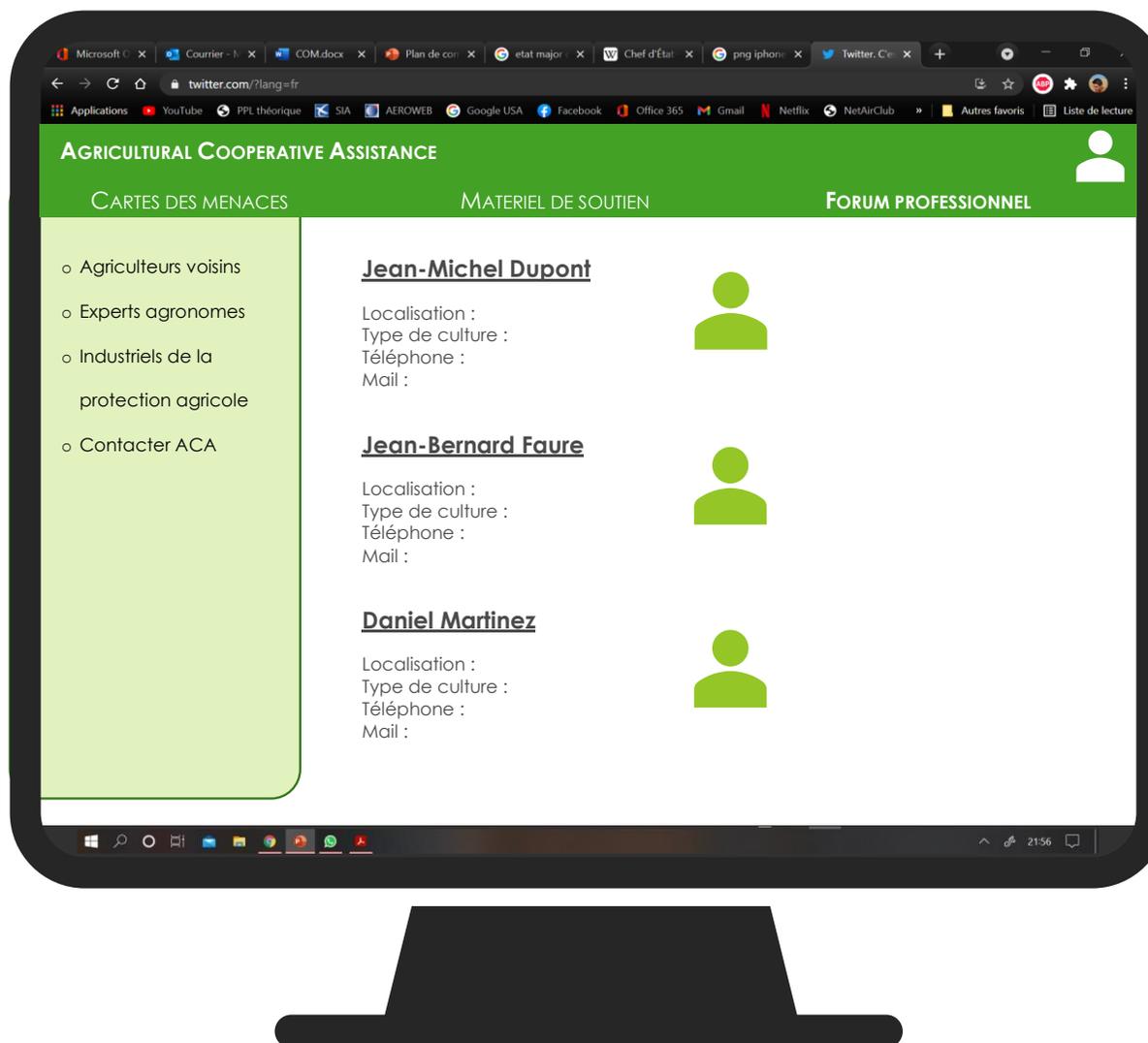
- Bougies**: Includes an image of lights in a field. Metrics: Prix par hectare, Domaine d'efficacité, Indice d'émission carbone.
- Hélicoptère**: Includes an image of a helicopter. Metrics: Prix par hectare, Domaine d'efficacité, Indice d'émission carbone.
- Dispositif d'aspersion**: Includes an image of a sprinkler system. Metrics: Prix par hectare, Domaine d'efficacité, Indice d'émission carbone.

Selon les critères sélectionnés mais aussi en fonction des conditions climatiques rencontrées, plusieurs techniques de protection sont proposées à l'exploitant agricole.

Selon la technique sélectionnée, plusieurs fournisseurs seront mis à sa disposition, avec les modalités de contacts.

3. Forum d'entraide et contacts

L'utilisateur peut choisir de rentrer en contact avec des exploitants agricoles de sa région, des agronomes, des industriels en mesure de lui fournir des systèmes de protection adaptés à sa culture,...



Si cette fonctionnalité peut servir de carnet d'adresses, il faut également l'envisager comme une foire aux questions utile pour répondre aux problématiques usuelles des exploitants agricoles, partager des techniques et astuces, et faire partager l'expérience de chacun. En effet, malgré la technologie, il y a toujours un besoin de sens critique et d'expérience humaine pour aboutir aux modèles les plus pertinents.

F. Pôle d'infrastructures de protection

1. Organisation générale

Les moyens de protection sont détenus de manière collective dans des CUMA (Coopérative d'utilisation de matériel agricole). Mais dans la mesure où souvent les demandes d'utilisation de ce matériel coïncident en temps et créent des saturations, ce système n'est pas très efficace. Il faut donc pouvoir prêter le matériel aux agriculteurs de manière plus fluide et raisonnable. Pour cela, un dispositif collaboratif est mis en place avec un système de points qui s'articule comme suit : plus un agriculteur prête le matériel, moins il paie lorsqu'il emprunte à son tour. L'organisation s'occupe uniquement du transport de matériel dans ce cas.

Mais dans le cas où l'agriculteur ne trouve personne, il peut emprunter du matériel à la plateforme qui possède des stocks dans divers entrepôts.

2. Matériel

Prenons l'exemple de la lutte contre le gel. Il existe une grande variété de solutions permettant de préserver les vignes contre les épisodes de gel. Le bureau interprofessionnel des vins de Bourgogne détaille ces solutions²³.

Il existe 4 grandes familles de moyens de lutte. Premièrement, l'aspersion, qui consiste à créer un équilibre entre l'eau et la glace permettant de maintenir une température proche de 0° autour du bourgeon et éviter ainsi la destruction des organes de la vigne. Deuxièmement, le brassage d'air permet de dissiper l'air froid dense se trouvant proche du sol, et donc des vignes, pour le remplacer par un air plus chaud et moins dense se situant plus en altitude. Le brassage d'air peut être réalisé par hélicoptère ou grâce à des tours antigel. Troisièmement, la protection par chauffage, implique tout simplement de réchauffer l'air autour de la vigne. Cela peut être réalisé par le biais d'un certain nombre d'artifices : bougies, braséros, aspersion de fuel, bûches calorifiques... Enfin, il existe un certain nombre d'autres solutions ne pouvant être rangés dans les catégories précédentes : bactéries antigel, bâches antigels ou encore le brûlage de paille. Bien évidemment ces méthodes possèdent un coût et un niveau d'efficacité plus ou moins élevé. Un des objectifs de notre

plateforme est donc de permettre à chaque exploitant de choisir la plus adaptée à son domaine.

Méthodes de lutte	Gelée blanche	Gelée noire	Gel advection	
Aspersion	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗ Très efficace
Tour antigel	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗	⊗ ⊗ ⊗ Efficace
Hélicoptère	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗	⊗ ⊗ ⊗ Efficacité limitée
Fuel pulvérisé / Combustion de gaz	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗ Non efficace ou non applicable
Bougies / Bûches	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	
Fils chauffants (si végétation peu avancée)	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗ ⊗	
Brûlage paille	⊗	⊗	⊗	

10 - Source : Bureau interprofessionnel des vins de Bourgogne.

3. Financement

Le financement de cette plateforme est étalé. Celle-ci fonctionnera initialement par de simples alertes grâce aux prévisions météorologiques et agronomiques, ainsi que par le système de prêt entre particuliers. Puis, avec les revenus des abonnements la plateforme sera en mesure d'investir dans les moyens agricoles qu'elle envisage de prêter.

L'entreprise va aussi compter sur des subventions territoriales puisque ce système va permettre la réduction des indemnités pour les calamités agricoles. Cela s'ajoute aux financements déjà évoqués dans la sous-partie A – Architecture générale.

4. Emplois générés

La création et la gestion de notre plateforme sera à l'origine de la création de nombreux emplois. Pour la phase de développement, seront notamment sollicités des programmeurs software et des spécialistes en météorologie et agriculture. Une fois l'exploitation générale de la plateforme lancée, il sera nécessaire d'employer des transporteurs pour livrer le matériel, des spécialistes en big data pour gérer les flux de données et maintenir à jour l'application, mais aussi d'autres emplois propres à une entreprise classique comme des experts en comptabilité ou ressources humaines.

IV. Etude de cas

A. Champagne

1. Présentation de l'entreprise

La SARL André Lemaire est une entreprise familiale de production de champagne. Elle a été fondée en 1959 par Eugène Thiébault. Aujourd'hui elle est gérée par son fils Hubert et son petit-fils Mehdy (ce sont eux qui apparaissent sur notre photo de couverture). Elle compte également dans ses rangs un ouvrier à pleins temps. Au fil des dernières années l'entreprise n'a fait que s'agrandir: en plus des territoires du domaine hérités, la SARL a acheté des terres supplémentaires, ce qui résulte aujourd'hui en un domaine de 4,70 ha.



11 - La famille Thiébault

Concernant le marché, l'entreprise bénéficie de l'AOC Champagne. La concurrence avec des produits étrangers comme le cava espagnol ou le prosecco italien reste également marginale. Le prix d'une bouteille varie entre 15€ et 23€, et les produits sont vendus principalement en France et Belgique. L'entreprise envisage également d'exporter au Royaume Uni. Chaque année la SARL André Lemaire vend 40000 bouteilles de champagne.

A titre indicatif, le marché global du champagne repose surtout sur les exportations (60% des ventes), les principales destinations étant les Etats-Unis, la Chine et l'Australie. Les 40% restant sont destinés à la vente interne en France. Au total, environ 305 millions de bouteilles sont vendues tous les ans.

Concernant l'aspect financier de l'entreprise, les parcelles appartiennent à Hubert, fils du fondateur, et Mehdy, le petit-fils, paie 20 000 Eur tous les ans pour avoir les droits d'exploitation. Les équipements agricoles

comptent 11 cuves, 1 pressoir Europress agréé en 6000 kg, 3 tracteurs et de l'équipement supplémentaire. Tout ce matériel a été financé par un emprunt de 10 ans en cours de remboursement.

2. Etude des parcelles

La région champenoise est une région particulièrement sensible aux phénomènes climatiques extrêmes avec des épisodes de canicules en été et des épisodes de gel en hiver. Globalement les parcelles se situent dans une partie de la champagne moins ensoleillée et plus fraîche ce qui conduit à un vin plus acide et plus frais. Il tombe 650mm de pluie à l'année. Cependant le réchauffement climatique implique une pluviométrie plus importante entre décembre et janvier qu'en septembre et février ce qui amène des inondations suivis d'épisodes de sécheresse.

L'application Sencrop, qui utilise des balises météo payées par les vignerons, permet d'obtenir des informations sur le climat local. Cette application appartient à la section locale de Montgenost (le village dans lequel se situe l'exploitation). Cette application coûte 150 € à l'année (divisée par le nombre d'exploitants l'utilisant) ainsi qu'une somme de 300 € par balise, qui sont au nombre de 500 en champagne.

3. Solutions envisagées

Devant ces phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus grave, certaines exploitations de la région pensent à la reconversion, par exemple en tant que maraichers, car la région est également propice à ce genre d'activité. Cependant, cet état d'esprit n'est pas répandu et nombre d'exploitant s'entêtent et s'endettent.

Les solutions envisagées par notre exploitant pour lutter contre le gel incluent l'emploi de poudre de protection, solution peu émettrice de gaz à effet de serre. Le déploiement d'hélicoptères n'est pas adapté car trop polluant et les techniques d'aspersion ne sont pas envisagées à cause du manque d'eau à proximité de l'exploitation.

4. Avis de l'exploitant concernant ACAS

"Le système est cohérent, facile à mettre en place. Il y a un réel besoin de mettre en commun les acteurs du milieu. L'Etat doit prendre part à un tel projet pour aider ses producteurs tout en répondant efficacement aux problèmes d'émission de gaz à effet de serre."

Remerciements

Toute l'équipe de l'École de l'Air et de l'Espace tient à adresser ses plus sincères remerciements à tous les professionnels du milieu qui, malgré un contexte difficile et beaucoup de travail, ont su dégager une partie de leur temps pour nous livrer leurs enseignements.

Nous remercions tout particulièrement Monsieur **Serge Zaka**, expert en agro-climatologie, domaine clé de notre projet. Aujourd'hui dans la société ITK, il produit des modèles d'alerte pour les principales menaces à l'agriculture. Il a été une véritable source d'inspiration et un puits de ressources pour notre projet. Il nous a notamment convaincu que notre idée était pertinente, contemporaine, originale et à poursuivre. D'ailleurs, il se destine personnellement à tendre vers un modèle tel que nous l'avons pensé.

Aussi, notre équipe remercie chaleureusement **Mehdy Thiébault**, jeune exploitant agricole engagé pour l'environnement qui avait à cœur de nous aider. Mehdy a effectué des études dans le domaine

de la production agricole et gère aujourd'hui l'exploitation familiale.

Nous remercions enfin :

Le Dr LOBANOV, V. K., directeur du Centre de télédétection de la Terre et du suivi des ressources naturelles au sein de l'Académie d'ingénierie RUDN, pour son aide dans la compréhension des moyens satellitaires dans l'observation des phénomènes météorologiques et dans le suivi de l'activité agricole.

Monsieur **Patrick Bertuzzi**, ingénieur de recherches de l'INRAE, pour nous avoir permis d'obtenir de précieuses informations sur les modèles de prédiction agronomique.

L'École d'agronomie de Beauvais pour ses productions et ses renseignements.

L'Institut National de Recherche en Agronomie pour son expertise.

Les équipes de **Météo France** pour leurs éclairages.

V. Table des illustrations

1 - Le Bâtiment des Etudes : bâtiment historique de l'Ecole de l'air	4	6 - Carte de la résolution du modèle ARPEGE	13
2 - Objectifs de développement durable fixés par l'ONU	6	7 - Domaine de calcul AROME. (Source: https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=fr)	13
3 - Graphique montrant l'importance de l'agriculture dans le revenu des ménages agricoles de pays à revenu faible ou intermédiaire.....	8	8 - modèle de fonctionnement des cultures STICS	15
4 - Diagramme produit par la Commission Européenne montrant la répartition des besoins de l'UE en production agricole (en % de la valeur totale)	9	9 - Schéma illustrant les possibilités de prédiction en fonction du passé	16
5 - Infographie publiée par la Chambre d'Agriculture de France montrant les risques auxquels les exploitants agricoles sont exposés	10	10 - Source : Bureau interprofessionnel des vins de Bourgogne.....	20
		11 - La famille Thiébault.....	21

VI. Table des références

¹ Journal local *L'Yonne républicaine*, article du 11/04/2021, https://www.lyonne.fr/chablis-89800/actualites/gel-dans-les-vignes-pourquoi-cette-vague-d-avril-2021-semble-pire-que-les-episodes-de-ces-dernieres-annees_13939371/

² Voir le portrait de Mehdy, partie IV.

³ Journal national *Libération*, article du 24 avril 2021, https://www.liberation.fr/environnement/agriculture/gel-des-vignes-il-faut-entamer-une-reflexion-pour-faire-preuve-de-plus-de-resilience-20210424_G3KFFKPNDFCKDLRDRCR2QUYZX/A/

⁴ Article de l'ONU « I. Changement climatique : « Nous sommes au bord de l'abîme », selon le chef de l'ONU » du 21 avril 2021, <https://news.un.org/fr/story/2021/04/1094202>

⁵ (Agriculture Mondiale, Horizon 2015/2030: Rapport Abrégé, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food & Agriculture Org., 2004.)

⁶ (La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture Protection sociale et agriculture: Briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale ISSN 0251-1460 ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome, 2015).

⁷ Source : La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture Protection sociale et agriculture: Briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale ISSN 0251-1460 ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome, 2015

⁸ https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/002_inst-site-chambres/pages/infos_eco/FicheAgri_Francais.pdf

⁹ Météo France

¹⁰ <https://ue.delegfrance.org/l-agriculture-francaise-en-3038>

¹¹ https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/002_inst-site-chambres/pages/infos_eco/FicheAgri_Francais.pdf

¹² <https://www.civam.org/wp-content/uploads/2021/02/FICHE-10.pdf>

¹³ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4806717>

¹⁴ Ministère de l'agriculture et de l'alimentation

¹⁵ <https://www.entraid.com/articles/bilan-episode-gel-tardif-printemps-2021>

¹⁶ (Déqué M., Dreveton C., Braun A., Cariolle D. (1994) : The ARPEGE-IFS atmosphere model : a contribution to the

French community climate modelling. Climate Dynamics 10:249-266)

¹⁷ (Source: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article121&lang=fr>)

¹⁸ (François Bouttier, Arôme, avenir de la prévision régionale)

¹⁹ (<http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-stations-au-sol>)

²⁰ (<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/corine-land-cover-occupation-des-sols-en-france/>)

²¹ (source: Format des données SAFRAN et scénarios climatiques désagrégés au CERFACS, Christian Pagé, 9 avril 2008)

²² Carte fournie par Serge Zaka, expert en agro - climatologie, ITK

²³ https://extranet.bivb.com/technique-et-qualite/publications-techniques/plaquettes-techniques/gallery_files/site/2992/3312/46552.pdf