

ATELIER MICHELIN

RAPPORT MASTER

Master SIGAT

Université Rennes 2



Avant-propos

Dans le cadre du master, notre projet se concentre sur l'analyse des opportunités présentes sur les marchés agricoles européens et nord-américains en matière d'agriculture de précision. L'objectif sera d'examiner comment le groupe Michelin peut tirer parti de ses compétences distinctives, acquises dans l'industrie du pneumatique, pour s'implanter et se développer dans ce secteur en plein essor.

Cet objectif est notamment associé au secteur agricole sujet qui sera étudié par notre groupe. À travers nos connaissances en géomatique, nous allons chercher à apporter notre aide au groupe Michelin par le biais d'un état de l'art sur des solutions en termes de SIG (Système d'Information Géographique) appliquée à l'agriculture de précision (chaînes d'acquisition et de traitement, plateformes d'agrégation et valorisation dans un SIG).

Celle-ci regroupe l'automatisation et la robotisation, et vise à augmenter le bilan économique et agronomique sans détériorer l'environnement.

La firme internationale veut s'implanter dans le secteur agricole à toutes les échelles, autant en Europe qu'en Amérique du Nord. Michelin veut apporter ses moyens techniques pour aider et augmenter les rendements, pour de simples agriculteurs comme de grandes exploitations agricoles.

L'équipe en charge du projet se compose de :

- ALLICE Morgan
- BESNARD Pauline
- BRASSET Vitaliana
- DELALANDE Jules
- GUILLERM Pauline
- JORET Amélie
- LEMETAYER Clara
- LEPESANT Yanis
- LUNEL Baptiste
- SOUMET Antoine

Avant-propos	2
CHEMINEMENT DE NOTRE RÉFLEXION	
Demande initiale	5
Fiches cas concrets	5
Tableaux critères de sélection / Plan fiche	6
SECTEURS D'ÉTUDES	
Vignes	7
Présentation de la culture	7
Mécanisation actuelle	12
Approche géomatique	13
Entreprises sur le marché	17
Capabilité de Michelin	17
Grille d'opportunité	18
Insectes	19
Présentation de l'espèce	19
Approche géomatique	21
Capabilité de Michelin	23
Et après les insectes comestibles ?	23
Grille d'opportunité	24
Salmonidés	25
Présentation de la culture	25
Mécanisation actuelle	26
Approche géomatique	27
Capabilités de Michelin	30
Grille d'opportunité	30
Huîtres	31
Situation actuelle	37
Capabilités de Michelin	37
Grille d'opportunité	38
Olives	39
Présentation de la culture	40
Mécanisation actuelle	42
Approche géomatique	44
Grille d'opportunité	45
Agrumes	46
Situation actuelle	47
Approche géomatique	48
Capabilité Michelin	53
Grille d'opportunité	53
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	
Grille finale d'opportunité	54
Cartographie du niveau d'opportunité en Europe	55
Perspectives de la collaboration Michelin - SIGAT	55
ANNEXES/FICHES	
Webographie	74
Secteurs d'études	74
Vignes	74
Insectes	75
Salmonidés	76
Olives	76
Agrumes	76
Table des figures	78

Fondé par les frères André et Édouard Michelin en 1889, Michelin est aujourd’hui un leader mondial dans le domaine pneumatique, présent dans plus de 175 pays. L’entreprise a su élargir son champ d’action autour et au-delà du pneu. A titre d’exemple, Michelin a créé le Guide Rouge, spécialisé dans la gastronomie. Fort de ses 30 milliards de chiffres d’affaires et de ses 700 millions alloués en recherche et développement, l’entreprise souhaite s’implanter dans de nouveaux secteurs afin de mettre en avant ses capacités distinctives. Ainsi, d’ici 2030, elle cible une diversification de l’ordre de 30% de ses sources de croissance.

Dans cet élan d’innovation, Michelin a contacté les étudiants du master SIGAT (Système d’Information Géographique et Analyse des Territoires). Partant d’une feuille blanche, mais avec des objectifs clairs, l’entreprise qui souhaite s’ouvrir à l’agriculture de précision a choisi de faire appel à notre expertise géomatique. Notre mission est de dresser un état de l’art des solutions agricoles en Europe et aux Etats-Unis, dans le but de proposer des possibilités d’activités différenciantes à Michelin pour une potentielle implantation de leur part.

D’après EOS Data Analytics, l’agriculture de précision est le recours à “des technologies modernes telles que l’imagerie satellite ou la cartographie des champs pour améliorer la qualité et la rentabilité des cultures”. Ses bénéfices sont d’ordres économiques, environnementaux et agronomiques. En effet, les besoins des cultures sont optimisés, permettant ainsi une diminution des recours aux intrants et donc, de l’empreinte écologique.

CHEMINEMENT DE NOTRE RÉFLEXION

Demande initiale

Lors de la présentation de l'atelier par Christophe Bessac, trois questions nous ont été adressées :

1° Dresser un état de l'art des chaînes d'acquisition de données et de traitement ; Par qui ? Comment ? Qui sont les acteurs clés ? Quel niveau de maturité ? tout en ciblant le marché Européen et Nord-Américain.

2° Existe-t-il des plateformes qui agrègent des données issues de différents capteurs ?

3° Quelle est l'offre en SIG (Système d'Information Géographique) appliquée à l'agriculture de précision aujourd'hui ?

Fiches cas concrets

L'agriculture étant un domaine très vaste ne relevant pas de notre domaine d'expertise, il fallait dans un premier temps se familiariser avec le sujet. C'est ainsi que nous nous sommes divisé le travail de recherche en cinq thèmes :

- L'entreprise Michelin : besoins, innovations et capacités
- La mécanisation agricole
- Les SIG (Système d'Information Géographique) dans l'agriculture
- Identification des filières agricoles en difficulté : analyse de marché, structuration des filières
- Analyse paysagère

Grâce à ces recherches, nous avons pu orienter notre travail et identifier plusieurs secteurs sur lesquels nous souhaitions travailler : la vigne, l'olive, l'agrume, l'insecte, le salmonidé et l'huître. La sélection s'est basée principalement sur le niveau de mécanisation de ces cultures et sur le niveau d'opportunité que celles-ci représentaient pour le groupe Michelin. Les secteurs agricoles choisis sont variés, présents sous différents climats et nécessitent des outils différents. Ainsi, notre projet, bien que non-exhaustif, propose une vue relativement large de l'agriculture actuelle en Europe.

Notre idée était d'étudier ces secteurs en profondeur sous plusieurs angles afin d'en faire des fiches synthétiques permettant au groupe Michelin d'identifier rapidement les concepts clés. Chaque secteur était traité sous quatre notions : la description et définition de la culture (où, temporalité, chiffres clés, types de paysage associés), la mécanisation actuelle de ce secteur agricole, les solutions offertes par l'agriculture de précision dans ce domaine et enfin les capacités distinctives de l'entreprise Michelin. Au fil des réunions et échanges au sujet de l'atelier, d'autres concepts sont venus s'ajouter au plan initial de nos fiches.

Bien que non incluses dans le rapport final, nous avons également travaillé sur l'élevage et la céréaliculture. En effet, ces cultures, très développées dans notre zone d'étude, font l'objet d'un fort intérêt. L'élevage par exemple, représentant plus d'un tiers des exploitations agricoles de l'Union Européenne et plus de 40% de son chiffre d'affaires agricole total, est déjà très prisé par différents acteurs de l'agriculture de précision. Cela nous semblait donc peu pertinent de les traiter en vue d'une implantation de l'entreprise Michelin.

Tableaux critères de sélection / Plan fiche

Notre idée, qui était de proposer des secteurs agricoles représentant une opportunité d'implantation pour l'entreprise Michelin, nous a poussé à travailler sur des agricultures assez peu mécanisées, où l'agriculture de précision y est peu répandue, faisant face à des difficultés (environnementales, techniques, sociales ou encore économiques) ...

Nos six secteurs se sont vu attribuer trois fiches de synthèse divisées en plusieurs parties :

- Définition et description du secteur
- Chiffres clés
- Zoom sur la situation actuelle
- Approche géomatique
- Identification des capacités Michelin
- Cartographie de l'implantation du secteur en Europe
- Liste non exhaustive des entreprises sur le marché
- Grille d'estimation du marché

Nous avons choisi de définir un score d'estimation du marché permettant d'évaluer le niveau d'opportunité que le secteur agricole représente pour l'entreprise Michelin. Cet indicateur est basé sur huit critères et trois niveaux de pertinence (Peu pertinent - Pertinence intermédiaire - Pertinent) :

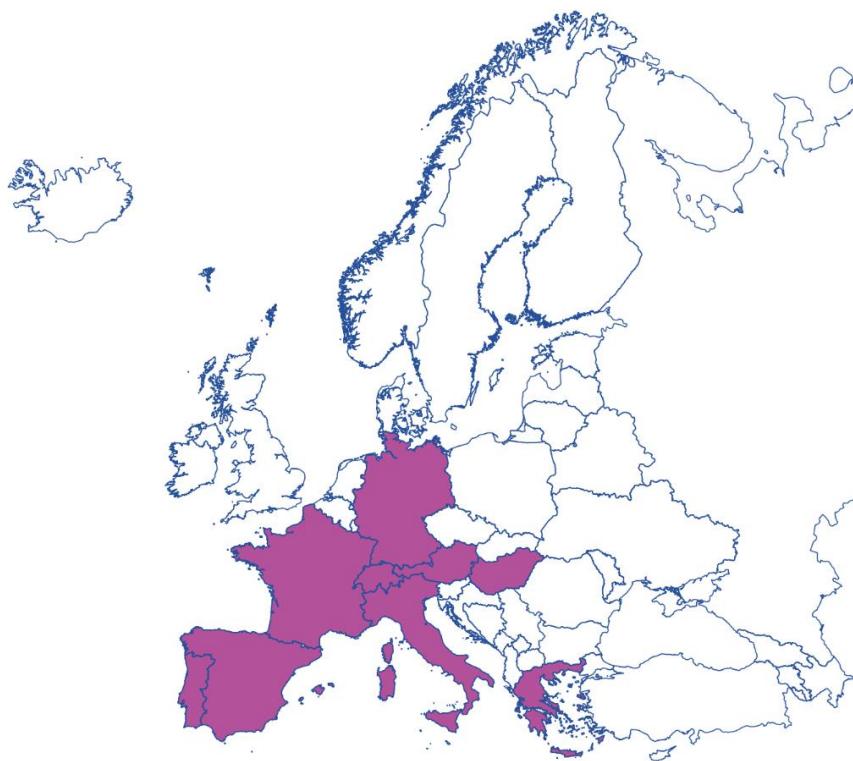
- Concurrence - Plus la concurrence est accrue, moins il est pertinent pour l'entreprise de s'implanter dans le secteur.
- Mécanisation actuelle - Plus la mécanisation actuelle est développée, moins nous trouvons L'implantation de Michelin pertinente.
- Rentabilité - L'implantation dans ce secteur agricole est-elle rentable dans le temps ? Le marché est-il viable ?
- Enjeu économique - Serait-ce coûteux pour Michelin de s'implanter dans ce secteur agricole ?
- Développement durable - Plus le secteur agricole est polluant, plus l'implantation de Michelin est pertinente. En effet, l'agriculture de précision peut permettre de réduire les intrants chimiques par exemple.
- Difficulté technique - Certaines cultures peuvent être plutôt contraignantes, comme la vigne en terrasse, où le passage d'un tracteur est compromis. Ainsi, nous jugeons peu pertinent pour Michelin de s'implanter dans ces secteurs soumis à des difficultés techniques.
- Difficulté sociale - Plus il y a de difficultés sociales associées au secteur, comme une demande en hausse ou une pénurie de main d'œuvre, plus le secteur est pertinent en vue d'une implantation.
- Réglementation - Plus le secteur est contraint par des réglementations de sa culture, moins il est pertinent pour Michelin de s'y implanter.

SECTEURS D'ÉTUDES

Vignes

La vigne, cultivée en Europe dès l'Antiquité, est d'après le dictionnaire *Le Robert*, un « arbrisseau sarmenteux, grimpant, à fruits en grappes (*raisin*), cultivé pour ce fruit et pour la production du vin ». Même si la viticulture est présente partout dans le monde, c'est surtout en Europe où elle est le plus présente, et plus particulièrement en Europe de l'Ouest et en Europe du Sud.

Présentation de la culture



1/Présence des vignes en Europe

En termes de superficie, l'Espagne, l'Italie et la France possèdent trois-quarts des espaces viticoles européens. Au contraire, des pays comme le Portugal, la Roumanie, la Grèce et l'Allemagne n'ont pas un poids conséquent, représentant respectivement 6 % de la superficie européenne viticole pour les deux premiers et 3 % pour les deux derniers. Concrètement, la superficie de vignes dans ces pays est équivalente, voire inférieure à certaines régions viticoles françaises, espagnoles et italiennes. Concernant ces régions viticoles productives, ces dernières permettent à l'Italie, la France et l'Espagne d'être les plus gros producteurs de vin au monde avec 123.1 millions hectolitres de vin produits pour ces trois pays en 2019, consommés surtout par des Européens. Cependant, même si les États-Unis ont une superficie de vignes sept fois inférieure à l'Europe, ce pays a réussi à se faire une place dans ce marché et sont les quatrièmes plus gros producteurs de vins au monde. Comme leurs homologues européens, les 2.43 milliards de litres de vins américains produits en 2019 sont en grande partie consommés par des Américains : seulement 14% de la production est exportée, notamment au Canada (29% des exportations), au Royaume-Uni (16.5%) et à Hong Kong (9.51%).

Les vignes de France, d'Italie et d'Espagne, qui sont les plus gros producteurs de vin au monde, ont certains espaces viticoles inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO. En effet, ces vignes, en raison de leur caractère pérenne, modèlent le paysage de manière conséquente : leur espace régulier, leur taille homogène et les piquets sur lesquelles elles s'accrochent pour grandir caractérisent les éléments typiques d'un espace viticole. Il en existe trois sortes :

- Quand la vigne est plantée sur des coteaux, il peut s'agir de terrasses de vignes (quand les rangs de vignes sont parallèles à la pente) [Figure 2], de vague de vignes (quand les rangs de vignes sont perpendiculaires à la pente) [Figure 3], ou de marqueterie de vignes (quand les rangs de vignes n'ont pas la même direction) [Figure 4] ;
- Quand les vignes sont plantées sur des plaines et qu'il y en a à perte de vue, c'est un paysage de type "mer de vignes" [Figure 5] ;
- Quand les parcelles de vignes côtoient des parcelles d'autres cultures, elles sont insérées dans un paysage de "vignes en timbre-poste" [Figure 6].



2/Terrasses de vignes (B. Blanc, 2014)



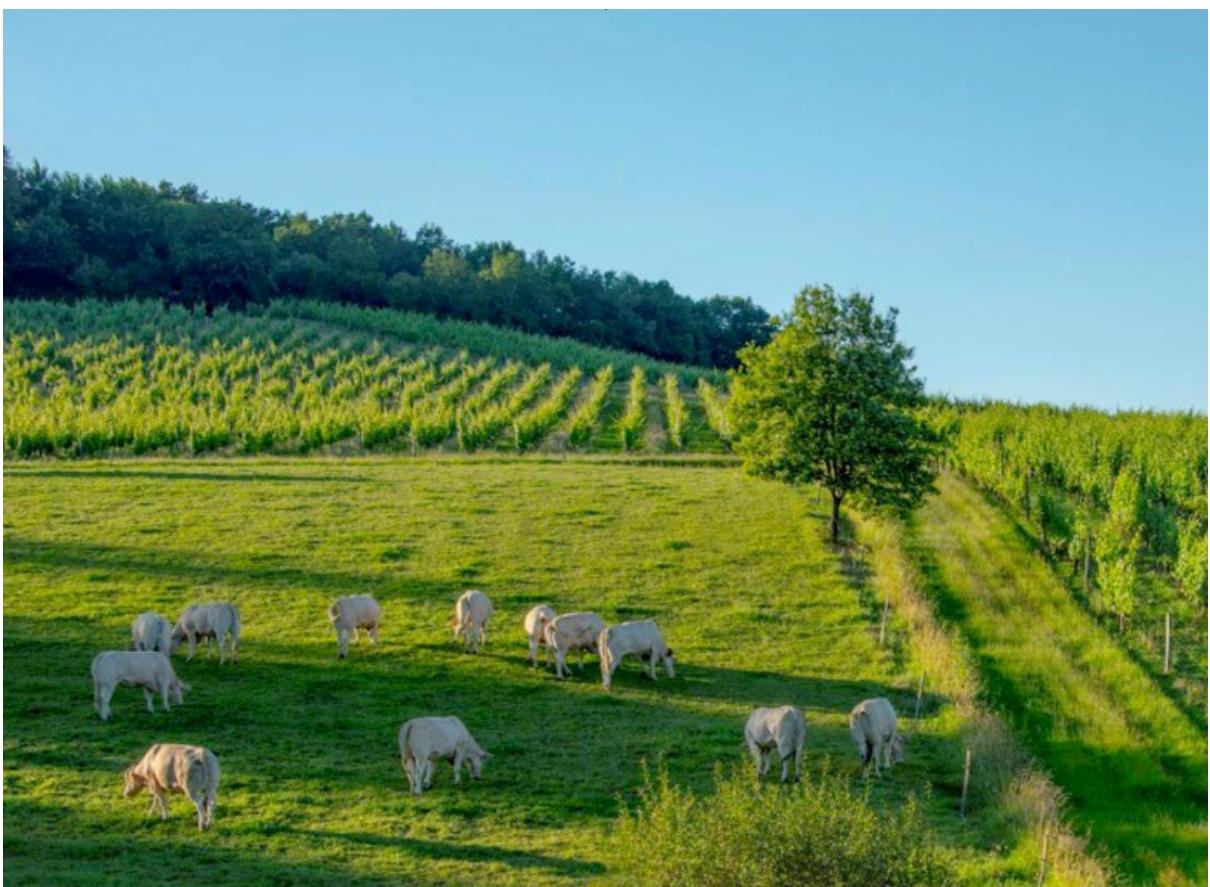
3//Marqueterie de vignes (CDT 64, date inconnue)



4//Vague de vignes (Pigneux, 2023)

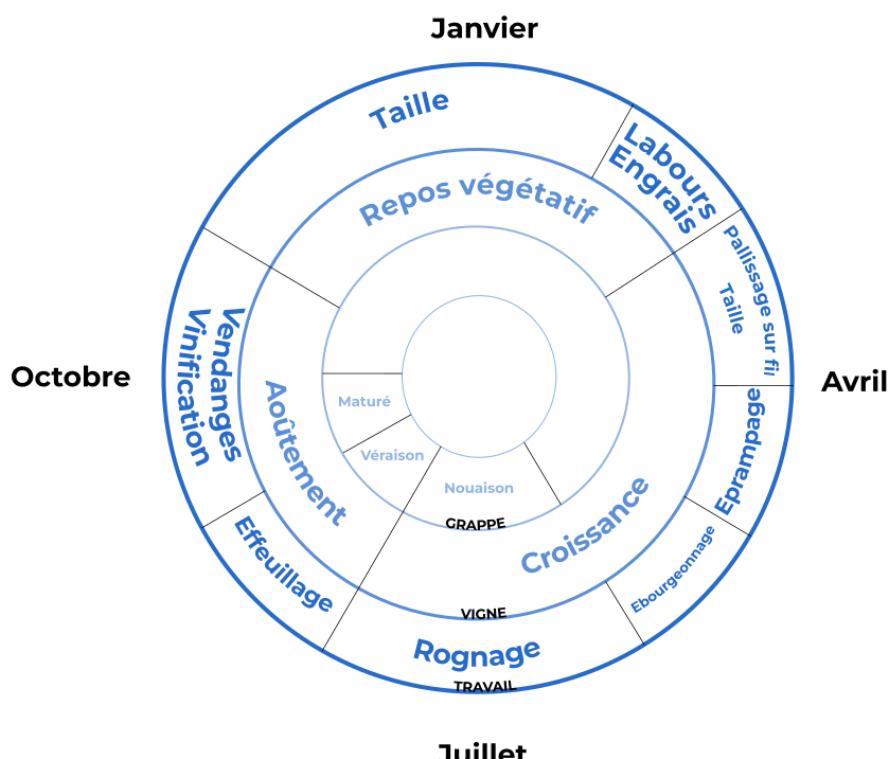


5/Mer de vignes (Guilhermier's Blog, 2015)



6/Vignes en timbre-poste (Madiran Pacherenc du Vic-Bilh, date inconnue)

En fonction du cycle de vie de la vigne au fil de l'année, le travail du vigneron est différent [Figure 7].



7/Cycle annuel de la vigne, de la grappe et du travail du vigneron

Dans un premier temps, à la fin de l'automne et pendant tout l'hiver, la vigne est en repos végétatif, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une période où la plante cesse sa croissance et maintient ses fonctions vitales au minimum. Les signes de ce repos végétatif sont généralement la chute des feuilles. Lors de cette phase, le vigneron taille les vignes afin de limiter le développement de la plante. Ainsi, les raisins seront à la fois nombreux et de bonne qualité. En plus de la taille, des labours et la diffusion d'engrais sont effectués au même moment, permettant aux plants de vignes d'avoir un maximum de nutriments et de résister aux maladies et aux parasites.

Une fois l'hiver passé, la vigne se réveille de son repos végétatif et reprend sa croissance. Les signes de la reprise de la croissance des vignes se manifestent par l'apparition des bourgeons. Pendant tout le printemps, le cultivateur accomplit 3 tâches majeures. La première est le palissage sur fil, qui a pour but d'attacher la vigne horizontalement sur des fils de palissage pour qu'elle grandisse dans une certaine direction. La deuxième est l'épamprage, visant à couper les rameaux qui ne contiendront pas de fruits sur le long terme ; la plante aura ainsi un meilleur développement. La troisième est l'ébourgeonnage, qui est un processus où le vigneron ôte tous les bourgeons et rameaux présents sur la vigne qui ne donneront pas de fruits.

Au début de l'été, les grappes de raisin apparaissent sur la vigne : il s'agit de la période de nouaison. Parallèlement, les bouts des rameaux sont coupés lors d'une phase appelée le rognage. Au milieu de l'été, vers le mois d'août, l'aoûtement se déroule : il est question d'une phase où les branches se durcissent et où la croissance cesse. Au niveau de la grappe, les raisins changent progressivement de couleur, lors d'une phase appelée véraison. Du côté du viticulteur, ce dernier enlève certaines feuilles. À la fin de l'été, la saison des vendanges arrive, à la suite de la maturation des grappes de raisin. C'est à ce moment de l'année que la viniculture commence, signifiant que les raisins récoltés sont transformés en vin.

Mécanisation actuelle

Les travaux dans la vigne sont à la fois manuels et mécanisés. Effectivement, certaines exploitations privilégient des méthodes plus traditionnelles, puisque certaines tâches demandent plus de précision. Néanmoins, des solutions mécanisées existent à toutes les étapes au travail de la vigne. Principalement, cette mécanisation s'effectue par l'usage de tracteurs avec des portes-outils. Ainsi, une machine n'est pas spécifique pour une tâche. De plus, cela permet aux agriculteurs de faire deux tâches dans le vignoble, comme le désherbage et l'épamprage. Il existe aussi des outils à vocation unique, par exemple les vendangeuses, qui effectuent un seul travail.

Les premières vendangeuses mécanisées sont apparues au début des années 70. La machine enjambe deux rangs de vigne. Avec les vibrations, le raisin se détache de l'arbre. Ensuite la ventilation interne permet de séparer le raisin des autres éléments qui aurait pu accompagner la chute des raisins comme les insectes, puis le raisin tombe dans les godets.

Après les vendanges, les vignes sont taillées manuellement ou mécaniquement avec le principe de coupe lame contre lame. Ensuite, vient l'étape du palissage. Pour rappel, le palissage permet le maintien des rameaux vers le haut. Pour faire cela, la machine tire un fil, regroupe la végétation et agrafe la vigne. Puis lors de l'effeuillage, qui est un processus d'élimination des feuilles devant les grappes, les feuilles sont aspirées mécaniquement. Aussi, le désherbage se fait par l'ajout d'un module à la machine, le plus souvent une désherbeuse à fils. Sinon, cette étape s'effectue par désherbage électronique. L'énergie électrique élimine la chlorophylle. Enfin, avant les vendanges, la surveillance des grappes se fait avec un réfractomètre, celui-ci mesure la quantité d'alcool du raisin pour mieux appréhender la date optimale pour les vendanges. De ce fait, le cycle du travail dans la vigne utilise différents outils manipulés ponctuellement au cours de l'année.

Ainsi, le travail de la vigne se fait principalement avec les techniques suivantes :

Manuelles :

- Outils de détail : (*exemple* : sécateur pour la taille)

Mécaniques :

- Tracteurs porte-outils : transportent plusieurs outils (tracteur multi-tâches)
- Tracteur mono-tâche (*exemple* : vendangeuse)

Néanmoins, il est important de noter que les outils mécaniques sont moins précis que le travail manuel. Aussi, certaines appellations comme le Beaujolais ne sont pas autorisées à utiliser certaines machines.

Pourquoi s'implanter pour Michelin ?

La filière vigne fait face à un manque croissant de main-d'œuvre saisonnière. Effectivement, en Europe et particulièrement en France, les exploitants peinent à trouver des travailleurs. Par exemple, la "Directrice des vignobles Vauthier à Saint-Emilion, Pauline Vauthier, gère 100 hectares de vignes dont 87 en production. "Nous rencontrons des difficultés à recruter des saisonniers pour effectuer les travaux en vert. Et chaque année, ça empire. Lorsque j'ai commencé en 2005, je passais une annonce et je recevais une quarantaine d'appels dans la journée. Cette année, je n'en ai reçu qu'un. Alors qu'il me faut 30 à 40 saisonniers, je n'en avais que huit pour démarrer le premier relevage. Nous ne sommes pas les seuls dans ce cas, c'est un problème général »¹. Ainsi, elle a eu recours à la mécanisation avec l'achat d'une palisseuse.

¹ Vitisphère, "Faute de main-d'œuvre, le relevage des vignes se mécanise", 2022.

Approche géomatique

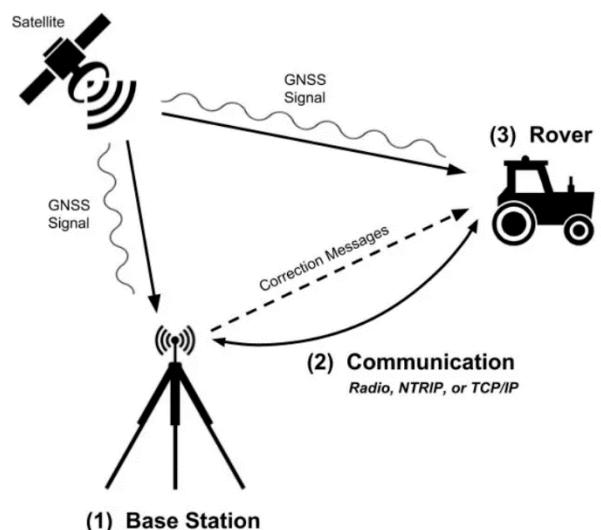
Toutes les solutions non-autonomes sont en train de le devenir. Effectivement, l'agriculteur n'est plus simplement aux commandes du véhicule agricole mais il peut faire d'autres tâches, comme être en visioconférence avec ses interlocuteurs. Aussi, il se développe des solutions totalement autonomes où la présence humaine devient minimale avec l'absence de conducteur à bord du véhicule. Ces solutions sont à mettre en lien direct avec la géomatique. De manière simple, la géomatique est : "est l'analyse et le traitement des données spatiales assistés par ordinateur" (Géoconfluence, 2023).

Un article issu du journal Les Echos et paru le 20 novembre 2023 illustre l'émergence des solutions autonomes dans la culture de la ²vigne. Cet article présente l'entreprise *Naïo Technologie* et son implantation grandissante dans le domaine de la robotisation agricole. Cette entreprise française a été fondée en 2011 et est spécialisée dans la robotique agricole. L'entreprise vend de plus en plus de robots, en 2022, celle-ci en a vendu une centaine. *Naïo Technologie* propose depuis le renforcement des règles pour l'interdiction des désherbants, comme un robot de binage, qui coupe l'herbe entre les rangs de vigne. Cet appareil fonctionne seul, grâce à la technologie Real Time Kinematic (RTK) et utilise le Light Detection and Ranging (LiDAR). En effet, les solutions qui rendent les machines autonomes sont le RTK et des capteurs.

La méthode RTK permet le guidage des véhicules agricoles dans l'espace de manière fine. Il s'agit d'une technique précise de positionnement par satellite qui permet d'obtenir des résultats avec une précision au centimètre près (2-3 cm). Elle s'appuie sur le Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Le GNSS est une méthode permettant la localisation d'un récepteur via un groupement de satellites. Il existe plusieurs constellations de satellites : Global Positioning System (GPS) qui est la première constellation et est d'origine américaine, il existe aussi *Glonass* (russe), *Galileo* (européenne) et *Beidou* (chinois).

La localisation est calculée à partir du temps mis par le signal pour parcourir la distance satellite-récepteur. La précision des récepteurs GNSS se situe entre 5-10 mètres.

La technologie RTK s'appuie sur la méthode GNSS et dérive de la solution Differential Global Positioning System (dGPS). Le dGPS renvoie une position plus rigoureuse que celle du GPS. Effectivement, le dGPS introduit un récepteur fixe qui applique une correction sur le code GPS reçu. Ces stations sont connectées dans un réseau sur une échelle nationale ou internationale, les bases étant séparées par plusieurs centaines de kilomètres. Lorsque ces bases se concentrent sur un périmètre plus restreint, la précision s'agrandit au centimètre (2-3 cm), on parle de RTK. Les bases sont installées à un endroit où on connaît les coordonnées exactes. L'objectif est de calculer les erreurs. Ensuite, la correction est transmise en direct au récepteur mobile (machine agricole), permettant à celui-ci d'ajuster sa position. Il existe deux types de balises : fixes et mobiles.



8/Fonctionnement du mode RTK classique

²Référence de l'article : Les Echos; "Naïo Technologies augmente sa production de robots agricoles", Nov 2023

L'envoi de la position corrigée peut s'effectuer par différentes méthodes : radio, internet ou réseaux de données mobiles.

Néanmoins, le RTK est fiable dans un rayon de quelques kilomètres (15-30km). De ce fait, les parcelles éloignées de la base peuvent être hors de la zone de portée. Ainsi, avoir sa propre base est une solution, mais il est possible de faire des regroupements pour acheter une station, ou alors utiliser un réseau déjà existant comme *Téria*, *Geodata Diffusion (Orpheon)*³, ou *S@t-Info*. L'utilisation d'un réseau est appelée network Real Time Kinematic (nRTK), ici, le géo-positionnement est externalisé. Aussi, de cette manière, plusieurs stations peuvent contribuer à la correction du récepteur mobile.

Ainsi, cette méthode est privilégiée face au GPS qui manque de précision. Cette méthode permet de guider les machines sans la présence physique d'un humain à bord.

De plus, cette méthode de localisation précise est applicable à d'autres domaines et technologies, comme les drones. Le drone est un « petit avion sans équipage embarqué, télécommandé ou programmé » (*Le Robert*). L'image ci-dessous présente un drone.



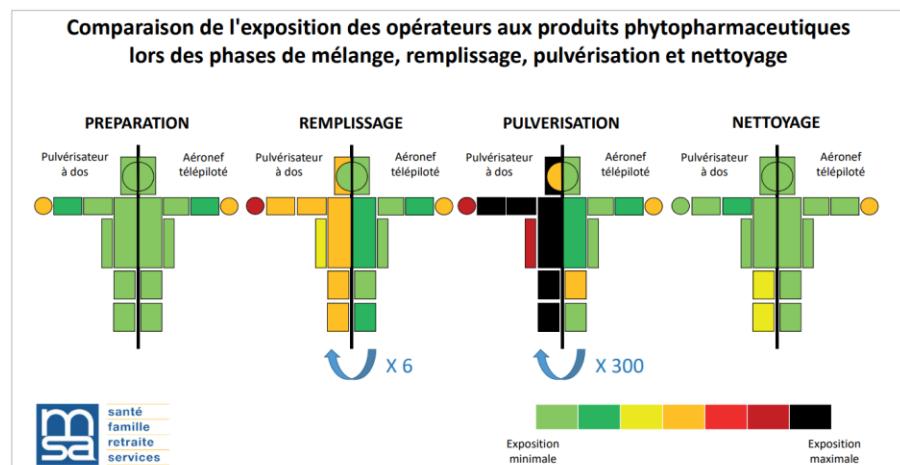
9/Exemple drone (Sources : EscaDrone, Mavic 3 M)

Le drone peut être utilisé de deux manières différentes : en tant qu'outil agricole actif ou en tant qu'outil d'assistance pour la prise de décision et pour mieux appréhender la parcelle agricole.

Dans le premier cas, le drone peut être utilisé comme un outil actif pour le travail de la vigne, c'est-à-dire que le drone réalise des actions sur la vigne. Par exemple, le drone est utilisé pour pratiquer l'épandage. Ici, l'objectif du drone est :

- Améliorer les conditions de travail et la sécurité des agriculteurs,
- Rendre plus accessible les terrains difficiles d'accès,
- Améliorer la précision et la régularité des traitements,
- De limiter la dérive des produits vers l'environnement.

Une étude a été menée par la chambre d'agriculture entre 2020 et 2021 sur le traitement par drone des vignes à forte pente⁴. Cette étude montre que l'utilisation d'un drone pour la pulvérisation d'intrants est plus sécurisée pour la protection des agents. La figure 10 présente l'exposition du personnel aux produits pharmaceutiques.



10/Exposition des agents aux produits phytosanitaires

³ Stations à moins de 30 kilomètres les unes des autres.

⁴ Chambre d'Agriculture de l'Ardèche, IFV, MSA. "Utilisation de drone pour le traitement des vignes en forte pente, Expérimentations sur l'utilisation de Drone."

Néanmoins, il est à noter que le pilotage de drone est contrôlé. Par exemple, un drone de plus de 25 kilogrammes est soumis à une autorisation délivrée par la Direction Générale de l'Aviation Civile. Aussi, il faut une dérogation préfectorale ou ministérielle pour pulvériser avec un drone. De plus, il faut noter que FranceAgriMer a mis en place une aide nationale. Ce programme vise la réduction d'intrants (objectif 2030) en rendant l'agriculture plus compétitive et moderne. Ainsi, cette aide finance :

- des drones de télédétection,
- des capteurs connectés,
- des matériels connectés et innovants,
- des robots désherbeurs autonomes,
- des innovations techniques de filière.

Le drone est aussi utilisé pour mieux appréhender sa parcelle viticole. Cela permet de façon plus globale le gain de productivité avec l'optimisation des travaux dans la vigne. Le suivi de la vigne permet aussi de contrôler l'état de santé des vignes et d'identifier les pertes de rendement. De manière plus fine, les principaux objectifs de l'utilisation du drone sont :

- la modulation de l'irrigation suivant le besoin,
- le contrôle de la pulvérisation,
- le contrôle des maladies d'une parcelle,
- l'identification des plants non productifs,
- le suivi de la croissance etc.

Effectivement, le drone capte par le biais de différents capteurs des informations sur la culture.

Avec seulement, la prise d'image, il est possible de localiser les ceps productifs. Cela permet de replanter des vignes sur les espaces moins productifs.

La figure suivante est issue de l'entreprise Chouette, elle présente un exemple de cartographie des ceps productifs via l'utilisation de drones sans capteur.



11/Exemple de cartographie issue de l'image drone

Avec la présence de capteurs, il est possible d'avoir plus d'indicateurs sur la parcelle qui a été survolée par le drone. Le capteur multispectral est un dispositif capable de détecter et de mesurer la lumière électromagnétique dans plusieurs bandes spectrales différentes. Ainsi, le capteur attrape les bandes spectrales du visible mais aussi celle de l'ultraviolet et l'infrarouge. Cette dernière est utilisée pour le calcul des indices de végétation. Deux indices sont utilisés :

- le Normalized Difference Red Edge (NDRE),
- L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).

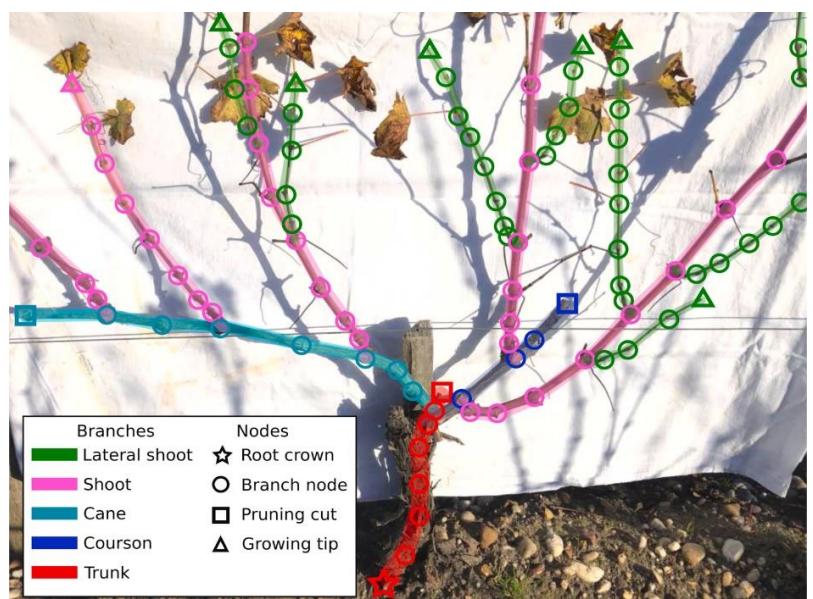
Le NDRE est utilisé pour évaluer la quantité de chlorophylle dans les feuilles des plantes. Cet indice spectral permet d'évaluer la santé de la végétation. Les plantes en bonne santé ont tendance à absorber la lumière dans la région du red edge (limite entre le rouge et l'infrarouge) et à réfléchir davantage dans la région de l'infrarouge proche.

Le NDVI est similaire au NDRE puisqu'il est aussi utilisé pour vérifier la santé des plantes. Il se calcule en comparant la réflectance de la lumière dans les bandes du rouge et de l'infrarouge proche. La bande rouge est absorbée par la chlorophylle et celle de l'infrarouge est réfléchie par la chlorophylle des plantes. L'indice varie de -1 à 1 : plus on est proche de 1, plus la végétation est saine.

Un autre capteur qui émerge dans l'agriculture de précision est l'utilisation de la technologie LiDAR. Le LiDAR est une forme de télédétection active : un faisceau laser est projeté, puis l'information est renvoyée par méthode d'horodatage ou par décalage des fréquences spectrales. Le résultat obtenu est un nuage de point tridimensionnel représentant le terrain étudié. Un des objectifs du LiDAR dans la vigne est de caractériser la végétation et plus particulièrement d'évaluer la hauteur et l'épaisseur des plants. Ainsi, lors du passage de l'outil mécanique qui scanne sur son passage, il est possible d'adapter la dose de produit phytosanitaire à la surface foliaire. Néanmoins, cette pratique est encore peu démocratisée.

Concernant l'intelligence artificielle (IA) dans les vignes, celle-ci est encore au stade du développement. Par exemple, la société *3D2Cut*, créée en 2019, a proposé lors du Salon international des équipements et savoir-faire pour les productions vigne-vin, olive, fruits-légumes (*SITEV*) 2023 son prototype. Le *SITEV* est un salon regroupant les professionnels de la vigne, c'est une manifestation bi-annuel qui a lieu à Montpellier. L'entreprise *3D2Cut* est une entreprise Suisse qui a créé un logiciel permettant via l'intelligence artificielle de reconnaître la structure d'un plant. De ce fait, le logiciel localise les zones de coupe optimales.⁵

- **Lateral Shoot** : Pousse latérale
- **Shoot** : Rameau
- **Cane** : roseaux
- **Courson** : Un courson est un sarment taillé à 2 ou 3 yeux lors de la taille d'hiver. Il permet de limiter la croissance du cep de vigne.
- **Trunk** : Tronc
- **Root crown** : Couronne de racine
- **Branch node** : Noeud de branche
- **Pruning cut** : Coupe de taille
- **Growing tip** : Rameaux en croissance



12/L'IA pour couper la vigne

⁵ Theophile Gentilhomme, Michael Villamizar, Jerome Corre, Jean-Marc Odobez. "Towards smart pruning: ViNet, a deep-learning approach for grapevine structure estimation". Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 207, 2023

Entreprises sur le marché

Dans le marché de l'agriculture de précision des vignes, plusieurs entreprises marquent déjà le secteur. Certaines de ces entreprises sont ancrées depuis quelques décennies comme *BRAUN Maschinenbau* ou *Pellenc*, puisque celles-ci sont des entreprises spécialisées dans le secteur viticole. D'autres sociétés sont aussi présentes, mais ont une emprise plus récente comme *Sabi Agri*, *Naoi Technologie* ou encore *Vitibot*.

BRAUN Maschinenbau est une entreprise allemande créée en 1958. Dès son origine, l'entreprise met en place des innovations. Aujourd'hui, elle met en avant le *Vineyard Pilot Assistant*. L'établissement a gagné plusieurs prix, notamment *l'Innovationspreis Rheinland-Pfalz* en 2020, qui est un prix d'innovation en Allemagne. Ce prix vise à récompenser et à promouvoir l'innovation dans différents domaines tels que la technologie, l'économie, l'environnement et la société.

Pellenc est une entreprise française conçue en 1974. Cette société est spécialisée dans l'équipement agricole pour la récolte et l'entretien des vignobles et en arboriculture. Elle produit aussi des outils pour l'entretien et la gestion des espaces verts. En 2017, le groupe *Pellenc* enregistre une progression de son chiffre d'affaires consolidé avec 254 millions d'euros dont 60 % réalisé à l'export, soit 19,8 % d'augmentation par rapport à l'année précédente. Le porteur multifonction *OPTIMUM* est une machine diffusée par *Pellenc*, celle-ci se situe de la viticulture de précision avec notamment la création de cartes lors du passage.

Naoi Technologie est une entreprise française plus récente puisqu'elle s'est établie en 2011. L'organisation produit principalement des robots agricoles. La société propose quatre robots électriques qui disposent de la technologie RTK. En 2023, *Naoi Technologie* est lauréate de la première édition du programme French Tech 2030. Ce programme vise à accompagner 125 entreprises pour porter l'innovation.

Vitibot est une start-up française née en 2016 qui conçoit et produit des robots agricoles connectés. Depuis 2022, *Vitibot* est une entreprise du groupe Italien SDF, l'objectif étant de bénéficier de son appui technologique.

Sabi Agri est une start-up française récente puisqu'elle a vu le jour en 2017. Elle est spécialisée dans l'agroéquipement de précision électrique. Cette entreprise ne propose pas de solution autonome. Néanmoins elle va vers l'innovation, dès 2018 elle est retenue par l'Agence Nationale de Recherche pour participer à l'agriculture de demain. Enfin, d'autres entreprises continuent d'émerger autour de ce domaine et cette liste de sociétés appartenant au domaine de la viticulture de précision est exhaustive.

Capabilité de Michelin

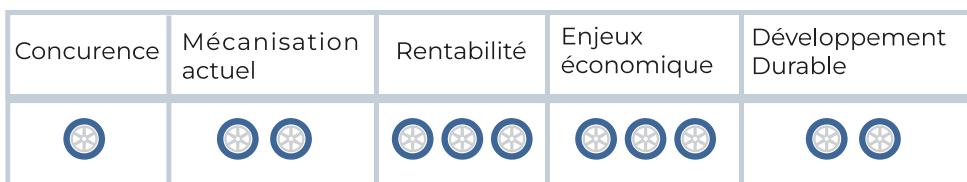
Concernant la rapidité d'implémentation dans ce secteur, Michelin a la capacité de s'intégrer rapidement dans le secteur viticole, grâce à son expertise en standardisation, déjà bien établie dans d'autres domaines. De plus, la technologie de Michelin pourrait être adaptée pour gérer en quasi-temps réel une flotte de robots opérant de manière synchronisée dans les vignobles.

Grille d'opportunité

S'implanter dans le domaine de la vigne a une pertinence plus ou moins élevée. D'une part, le manque de main d'œuvre lors des vendanges est une porte d'entrée non négligeable dans ce marché, provoquant des enjeux économiques importants.

D'autre part, d'autres aspects du secteur peuvent décourager l'installation sur le marché. En effet, un certain nombre d'entreprises sont déjà installées dans ce secteur, comme *BRAUN Maschinenbau*, *Pellenc*, *Sabi Agri*, *Naoi Technologie* et *Vitibot*. De plus, la technologie utilisée dans la viticulture est diverse. Par exemple, des robots utilisant la technologie RTK et LiDAR, des drones effectuant des actions mécaniques, des drones collectant des informations sur les parcelles agricoles via des capteurs utilisés par la télédétection et des intelligences artificielles se focalisant sur la structure des plants aidant à la taille se trouvent déjà sur le marché.

D'autres points sont en demi-teinte concernant l'implantation de Michelin dans le secteur de la viticulture. Effectivement, il existe de la mécanisation pour chaque tâche effectuée dans le vignoble, mais pour plus de précision, certaines étapes sont faites à la main. De plus, au niveau de la réglementation, des producteurs confectionnant du vin sous appellation, comme le Beaujolais, ne peuvent pas utiliser de machine à cause du manque de précision de ces dernières. Également, pour l'utilisation des drones, il est nécessaire d'avoir certaines autorisations pour les utiliser, surtout si l'agriculteur souhaite utiliser ces derniers pour diffuser de l'engrais dans ses parcelles.



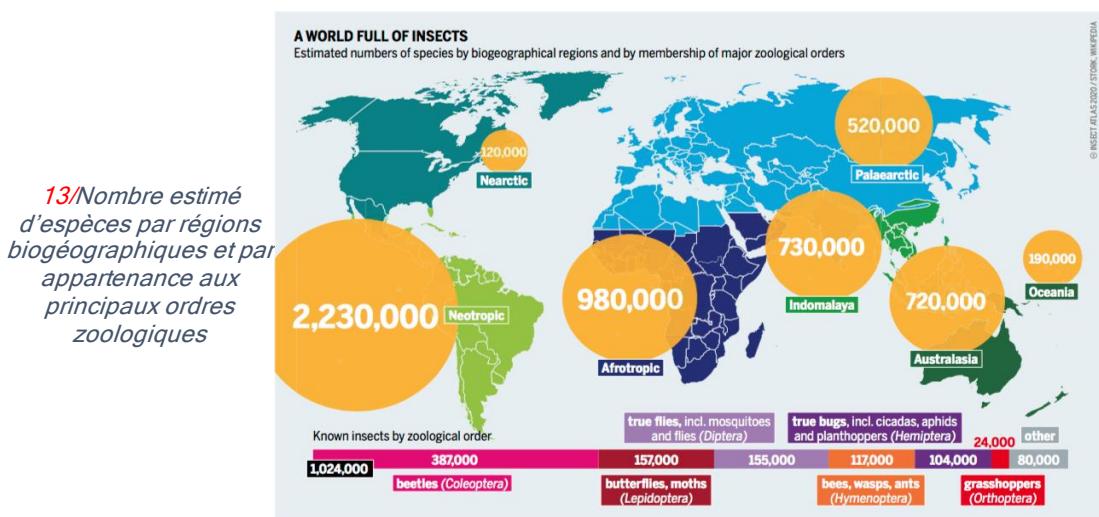
Insectes

Pour commencer, nous allons nous référer à la définition du Muséum National d'Histoire Naturelle : « *Un insecte est un petit animal dépourvu de vertèbres, qui se caractérise par un corps en trois segments (tête, thorax, abdomen) et qui possède trois paires de pattes. Les insectes, qui font partie des arthropodes, constituent une immense partie de la biodiversité animale* ». Il faut souligner que c'est le groupe d'animaux le plus diversifié sur Terre avec plus d'un million d'espèces.

Présentation de l'espèce

HABITAT

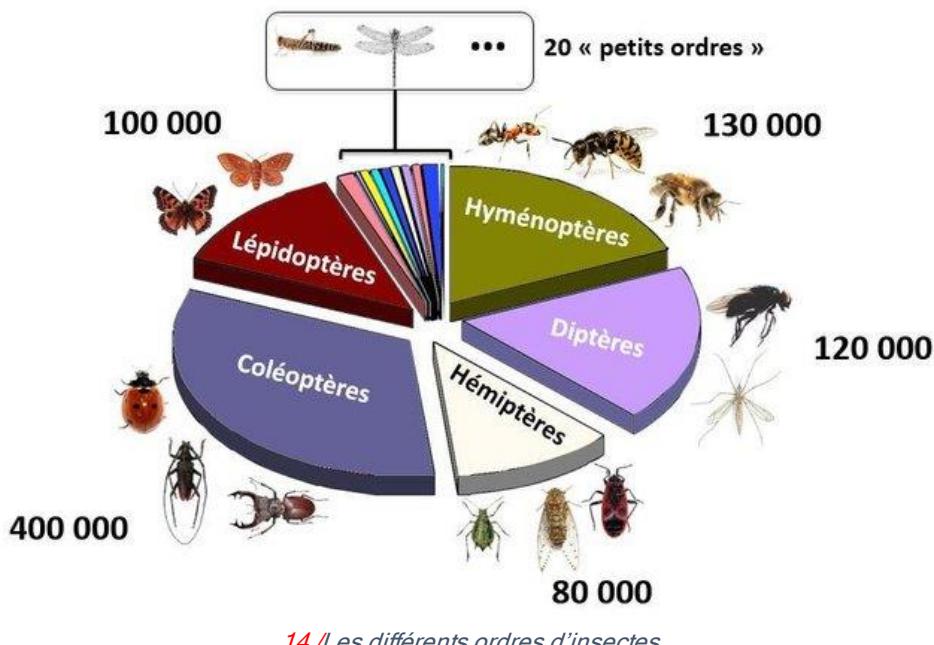
Ils sont présents partout sur la Terre et leur période de présence varie en fonction des saisons. Ils sont présents sur et sous la terre ferme, en eau douce calme ou courante, en eaux saumâtres. Ils peuvent se trouver aussi dans les airs ou les grottes et cavernes, peuvent construire des galeries souterraines. Ils seront aussi présents dans les intérieurs des bâtiments.



Leur période de vie est fluctuante, ainsi par exemple, le hanneton est présent d'avril à juin, les mouches sont présentes de mai à octobre et les abeilles mellifères sont présentes d'avril à octobre. Les limites à leur présence liées aux températures varient en fonction des espèces. Les espèces les plus résistantes et les mieux adaptées peuvent résister à des températures de - 10 à - 12°C ou si l'on prend les températures les plus chaudes : à des températures autour de 40 degrés. Certains insectes peuvent survivre dans les déserts les plus chauds ou survivent en altitude jusqu'à 4000 mètres, voire 4500 mètres, leur capacité d'adaptation permettant à certaines espèces de résister au froid et au manque d'oxygène. Néanmoins, le réchauffement climatique a tendance à modifier les aires de répartition des insectes, celles-ci ont tendance à s'élargir, ainsi la présence d'insectes se constate de plus en plus proche du cercle polaire arctique, de même ils survivent à des altitudes de plus en plus élevées.

DIVERSITE

Avec plus d'un million d'espèces répertoriées à ce jour, les insectes forment l'un des groupes les plus diversifiés du règne animal. Ces créatures fascinantes sont classées selon une trentaine d'ordres, dont nous explorerons brièvement les dix plus connus. Le groupe des coléoptères se distingue en regroupant le plus grand nombre d'espèces, dont le célèbre scarabée. Les lépidoptères, quant à eux, comprennent les papillons et les mites. Les diptères sont associés aux mouches, tandis que les hyménoptères englobent abeilles, guêpes et fourmis. Les hémiptères rassemblent les punaises et les cicadelles, alors que les orthoptères incluent grillons, sauterelles et criquets. Les termites sont regroupés sous le nom d'isoptères, tandis que les libellules et demoiselles appartiennent aux odonates. Les phasmes sont classés parmi les phasmides, et enfin, le groupe des névropoftères englobe les chrysopes et les fourmillions. À travers cette diversité, nous entrevoyons le rôle tantôt néfaste, tantôt bénéfique des insectes.



ROLE BENEFIQUE

Le rôle bénéfique des insectes englobe un grand nombre d'activités dans lesquelles les insectes deviennent les auxiliaires de l'Homme. Les insectes jouent un rôle essentiel au sein de l'écosystème agricole mondial. Leur impact, parfois évident et parfois plus discret, est incontestable. Environ 40 000 espèces d'insectes contribuent massivement, à hauteur de 90%, à la pollinisation des plantes à fleurs, assurant ainsi un rôle primordial de pollinisateur. L'arboriculture, les cultures céréalières, oléagineuses, protéagineuses, maraîchères et même la production de certaines semences reposent sur la pollinisation, en d'autres termes, une partie de la sécurité alimentaire repose sur les insectes pollinisateurs. Plus de 84% des cultures dans le monde nécessitent l'intervention des insectes pollinisateurs. En d'autres termes, seuls 16% des produits agricoles en Europe ne sont pas directement tributaires de cette pollinisation.

LE CAS PARTICULIER DES ABEILLES

En se concentrant spécifiquement sur le rôle des abeilles en tant qu'insectes pollinisateurs, leur importance va bien au-delà de la production de miel, bien que cette facette soit plus connue du grand public. Les abeilles contribuent à hauteur de 75% à la production mondiale de cultures. Selon la FAO, ces abeilles sont cruciales pour la sécurité alimentaire de 2 milliards de petits agriculteurs à travers le monde, un rôle vital pour maintenir le cycle de la vie.

Pour mieux appréhender l'impact déterminant des abeilles dans le cycle agricole, il convient de comprendre le concept de service écosystémique qu'elles fournissent. Ce rôle s'étend sur toute la chaîne de production, bien qu'il soit impossible de le posséder directement. Une étude de l'INRAE estime à 153 milliards d'euros la production économique liée de près ou de loin aux abeilles pollinisateur, un chiffre qui ne prend en compte que la part destinée à la consommation humaine, négligeant la contribution à la consommation animale, qui, selon certaines estimations, augmenterait considérablement ce coût.

À côté de ce rôle de pollinisateur, les Hommes peuvent aussi s'appuyer sur certains insectes régulateurs des insectes ravageurs, ces insectes entomophages permettent de limiter l'emploi d'insecticides. Ils contribuent également à l'aération du sol, favorisant ainsi la production de céréales, par exemple. De fait, on comprend l'intérêt qu'ils représentent en favorisant la préservation de l'environnement et en permettant de limiter les coûts liés aux insecticides. Il est donc nécessaire de les protéger.

ROLE NEFASTE

A l'opposé de ce rôle bénéfique, d'autres insectes jouent un rôle néfaste, ces ravageurs opérant de différentes façons : les insectes phytophages, se nourrissent des végétaux, les insectes suceurs-piqueurs, sucent la sève, ce qui amoindrit la productivité de la plante et contribue à transmettre des agents pathogènes. Les dégâts causés par les insectes ont été estimés à 69 milliards d'euros en 2016.

LUTTE CONTRE LES INSECTES

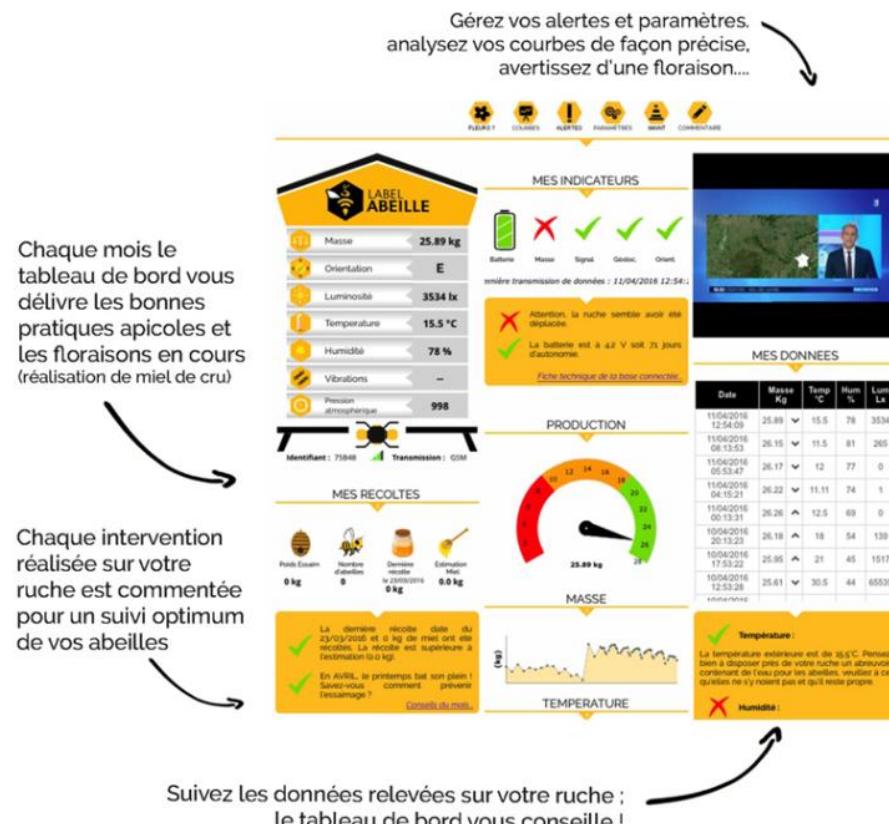
Ces dégâts nécessitent une réponse efficace, qui repose sur des composés issus de l'industrie chimique (dont *BASF*, *Bayer*, *Corteva Agriscience* sont quelques représentants). La protection des cultures et des récoltes par rapport aux insectes reposent principalement sur des composés chimiques. Pour protéger les cultures des insectes ravageurs : insecticides qui s'attaquent aux œufs, larves et insectes adultes. On retrouve dans la composition des différents insecticides : du phosphore, du dioxyde de carbone, des pyréthrinoïdes, du chlore ou encore des benzoylurées. Il existe par ailleurs des pesticides permettant de protéger les récoltes pendant leur stockage. Il existe aussi des solutions mécaniques : filet de protection, machine de type nettoyeur-séparateur ou encore des solutions génétiques, comme les OGM.

Même si certains insectes sont néfastes pour les humains, ils ont un rôle de régulation dans la nature. Ils sont en danger du fait des produits phytosanitaires, qui sont nocifs aussi pour l'homme, d'où la mise en œuvre de nouvelles technologies ayant moins de conséquences sur l'environnement et les humains : notamment les systèmes d'information géographique.

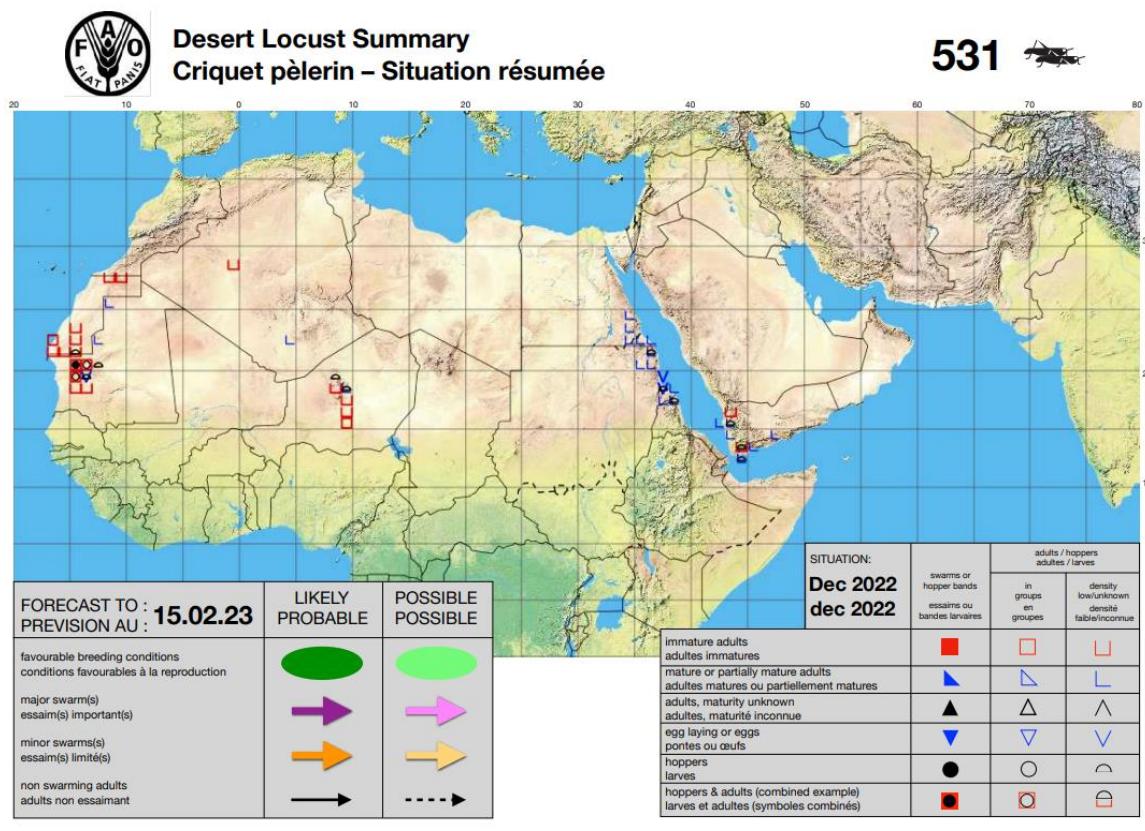
Approche géomatique

A travers des exemples d'application de SIG dans l'aide aux insectes auxiliaires et dans la lutte contre les ravageurs, nous allons voir quelles solutions peuvent être mises en place.

Parmi ces outils, les ruches connectées vont permettre une surveillance avec envoi de données via une application, vers l'apiculteur en temps réel : pesée de la ruche, information sur la température, l'humidité, l'orientation, géolocalisation (permettant de suivre les ruches en cas de vol).



À côté de cette aide apportée aux abeilles, certains s'intéressent même à la possibilité de remplacer les abeilles, ainsi des prototypes de robot pollinisateur sont à l'essai, l'idée étant que le robot cartographie l'ensemble des végétaux de la serre pour polliniser ensuite de façon efficace. A côté de ces essais, il existe aussi des drones pollinisateurs, en plein champ cette fois-ci, qui utilisent le GPS pour polliniser de façon précise. De façon plus générale, les SIG, couplés ou non à la télédétection et au LIDAR, sont les outils de la cartographie des habitats des insectes, de la surveillance de leur population (la surveillance des paramètres favorables aux criquets pèlerins est cruciale par exemple), ou de la cartographie des espèces en danger.



16/Exemple de cartographie de la présence du criquet pèlerin en Afrique du Nord et de l'Ouest, décembre 2022, réalisée à des relevés sur le terrain géoréférencé.

Par exemple, Volito (de FaunaPhotonics) est un exemple d'outil d'analyse des insectes volants basé sur des capteurs sur le terrain, permettant l'acquisition de données localisées en temps réel.



17/Volito de FaunaPhotonics

De son côté, une start-up rennaise a mis au point, un logiciel (*Prolarvae*) de comptage de larves de mouche utilisant l'Intelligence Artificielle. *Trapview* est un exemple de piège à papillons ravageurs dont le fonctionnement repose sur une caméra connectée, il permet de surveiller à distance les cultures et de limiter l'emploi et la fréquence de produits phytosanitaires.

Capabilité de Michelin

- Intégration de la Robotique Avancée : Michelin excelle dans l'application de la robotique pour optimiser la gestion des flux, une compétence clé dans l'agriculture de précision.
- Gestion des Flux Connectée et Efficace : Avec des usines connectées à l'échelle mondiale, Michelin maîtrise la gestion des ressources. Cette compétence assure qu'aucune usine ne subit de pénurie de matériaux ou de pièces détachées, en maintenant un équilibre parfait entre les flux entrants et sortants.
- Application dans l'Agriculture de Précision : Cette expertise peut être transposée dans un champ, par exemple, un verger de pommiers. Ici, le robot agirait comme un gestionnaire de flux, déterminant précisément le niveau d'intrants nécessaires pour chaque pommier.
- Analogie avec le Modèle d'Usine : On peut comparer cette méthode à une usine où chaque pôle de production est représenté par un arbre. Chaque arbre, comme chaque pôle d'assemblage, a des besoins spécifiques et variés, que ce soit sur une échelle hebdomadaire ou mensuelle.

Et après les insectes comestibles ?

L'entomophagie est la consommation d'insectes par les humains. Le marché des insectes comestibles est en pleine expansion. Encore considéré comme un secteur de niche qui génère tout de même plus de 680 millions de chiffre d'affaires en 2018. Les projections estiment que les parts du marché doubleraient d'ici 2024 avec 1,4 milliard de dollars. Le secteur est donc dynamique et les projections arrivent bientôt à échéance.

Alors la question légitime serait de se demander pourquoi Michelin pourrait venir s'installer dans ce marché ?

Une grande difficulté réside dans la réduction des coûts de production. Actuellement, les produits dérivés des insectes restent plutôt haut de gamme, avec un prix de matière première avoisinant les 20 euros par kilogramme. Seule une transition vers une production à grande échelle permettra une diminution des coûts, grâce aux économies d'échelle. Selon Valentin Partula de *Ynsect*, l'avancée est amorcée : « *Des exploitations agricoles sont maintenant bien établies en Europe et les industriels lancent des processus de production à grande échelle* ». *Ynsect* vient d'ailleurs d'annoncer une levée de fonds record en France, s'élevant à 160 millions d'euros. L'entreprise prévoit d'ouvrir une dizaine de fermes à l'échelle mondiale d'ici 2030. Cependant, Jacky Petiz, le vice-président de la Fédération Française des Producteurs Importateurs et Distributeurs d'Insectes (FFPID) exprime des préoccupations quant aux réglementations actuelles, estimant excessif de devoir solliciter une nouvelle autorisation de l'UE pour passer de 10 % à

15 % d'insectes dans un biscuit. Selon l'IPIFF, représentant européen de cette filière, les régulations pourraient devenir plus favorables à l'avenir. La FAO mentionne plus de 1 900 espèces d'insectes comestibles dans le monde, ce qui pourrait stimuler la croissance de la production. L'association estime que la production pourrait atteindre 260 000 tonnes d'ici 2030, avec potentiellement 390 millions d'Européens adoptant les insectes dans leur alimentation, sous réserve de surmonter des barrières culturelles.

C'est donc un secteur de pointe, attirant de plus en plus d'investisseurs. N'oublions pas non plus, que cela peut être considéré comme une porte d'entrée pour d'autres plus gros marché comme en Asie ou la consommation d'insectes et sociétale. La Commission européenne a récemment approuvé l'utilisation de poudre de grillon domestique pour l'alimentation humaine, suivant l'autorisation antérieure de quatre types d'insectes pour l'alimentation animale. Valentin Partula de chez *Ynsect* remarque : « *Les forces politiques nationales et européennes sont ouvertes à la discussion, la législation change rapidement, cela évolue très vite, c'est une bonne chose* ». Les insectes, riches en protéines (jusqu'à 70 %), sont écologiquement prometteurs. Selon la FAO, l'élevage d'insectes demande deux kilos de nourriture pour un kilo de matière première, contre huit kilos pour les bovins. De plus, il génère 100 fois moins de gaz à effet de serre proportionnellement au poids des animaux.

Le principal frein de ce développement n'est ni industriel ni législatif et encore moins financier mais surtout culturel.

En effet, en Europe, la principale barrière est culturelle : l'image des insectes évoque souvent des produits peu hygiéniques. Une étude de 2021 indique que 25 % des Français accepteraient des aliments contenant des insectes dans les ingrédients, mais seulement 19 % si ce sont des insectes entiers. Les pourcentages sont de 24 % et 19 % en Allemagne, et seulement 17 % et 13 % en Italie. En revanche, au Mexique, 40 % se disent ouverts à cette alimentation.

Jacky Petiz souligne : "La manière de présenter l'insecte est le défi majeur. La recherche en est encore à ses débuts et il faudra innover dans la façon de les présenter."

Grille d'opportunité

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement durable
1	1	2	3	4

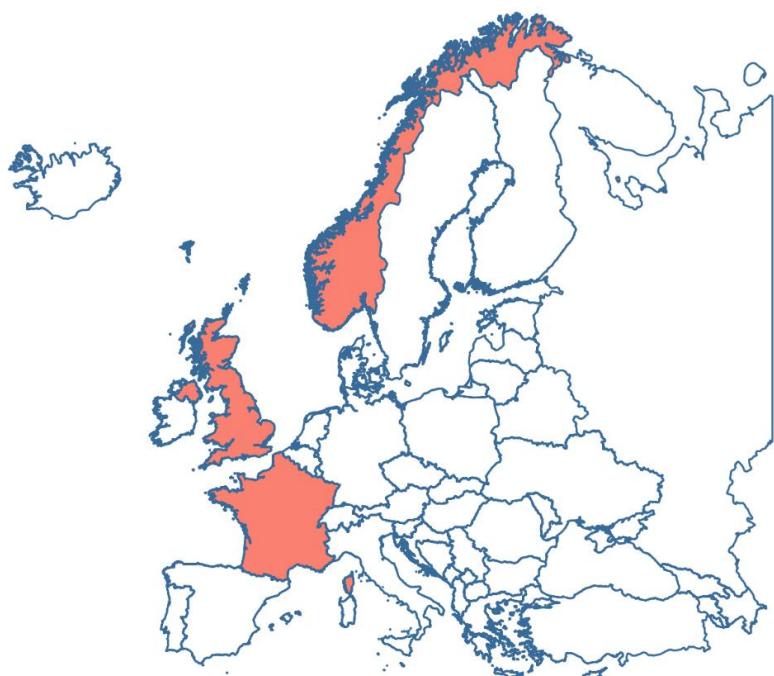
Difficulté technique	Difficulté sociale	Réglementation
3	1	3

17 / 24



Salmonidés

Les salmonidés sont une famille de poissons que l'on retrouve en eau douce et en eau de mer. Nombreuses sont les espèces référencées au sein de cette famille dont les deux plus connues sont la truite et le saumon. Ces deux espèces seront étudiées à travers une fiche synthétique et un rapport plus approfondi. Ces deux dernières sont choisies pour leur vocation fortement alimentaire. En effet, il s'agit de poisson inscrit au cœur de l'agriculture aquatique. Leur aspect anadrome, c'est-à-dire de poissons naissant en eau douce puis migrant vers la mer vont venir caractériser leur production.



18/Carte salmonidé

Comme on peut le voir sur la carte, ces productions sont situées à différents endroits en Europe, avec trois principales productions en Norvège, en Angleterre et en France. D'autres pays hors Europe contribuent fortement à la production mondiale de salmonidés, on retrouve le Chili et le Canada par exemple. Il est important de différencier ces différents pays producteurs que l'on vient de nommer aux pays pêcheurs tels que les Etats-Unis ou le Japon qui apportent de grande quantité dans la vente de poisson de la famille des Salmonidés.

Présentation de la culture

La culture des salmonidés s'appelle la salmoniculture. Elle va s'établir de deux manières différentes. En effet, on retrouve un premier cas d'utilisation où la culture va se faire dans de grands bassins de pisciculture. Cette technique est plus rare car moins rentable. C'est le deuxième cas d'utilisation qui va alors nous intéresser. Il s'agit des cultures via les cages en mer. Cette technique qui suit un cycle bien précis, va utiliser quatres principales étapes au cours de la production.

Ecloserie : La première étape est simple, on vient récupérer des salmonidés au sein des cages en mer pour les mettre dans des bacs d'eau douce (zone de pisciculture). Les œufs vont être prélevés afin d'être fécondés.

Nurserie : Dans cette deuxième étape nous allons observer sur trois étapes d'évolution des salmonidés. Les poissons vont passer de l'état d'alevins - jeunes poissons peuplant les étangs et rivières - à smolt - jeunes poissons à maturité descendant les rivières vers la mer -. Cette étape s'établit très fréquemment en intérieur avec un éclairage artificiel qui va ainsi permettre d'accélérer la production. Cette partie de la salmoniculture est aussi appelée la smoltification.

La croissance en mer: Après un an au cœur de la pisciculture, les poissons sont transférés dans la partie importante du reste de la production. En effet, ils vont être importés vers les cages en mer. Il s'agit de grands enclos qui permettent d'accueillir un grand nombre de poissons et ainsi de les voir grandir. Aspect environnemental de cette étape : ces espaces sont mis en jachère après chaque production, c'est-à-dire qu'on laisse la nature reprendre forme après la production pour ainsi faciliter le maintien de la biodiversité marine dans ces zones de production.

La récolte: Ici les poissons sont principalement récupérés par de grands filets afin d'être transférés vers les zones de transports. Ils seront par la suite préparés pour la commercialisation et l'expédition avec un tri, un nettoyage et parfois même de premières découpes.

Une fois ces dernières étapes effectuées, le cycle reprend pour recommencer à l'écloserie auprès de certains poissons géniteurs qui ont été gardés avant la récolte. Cette technique d'agriculture marine s'exerce très fréquemment dans les mêmes paysages. Effectivement des grandes cages marines qui vont permettre la croissance des poissons sont principalement disposées aux abords des côtes. Elles permettent ainsi un accès facile pour tout ce qui est acheminement des poissons, entretien, distribution de l'alimentation ...



19/Cages marines

Mécanisation actuelle

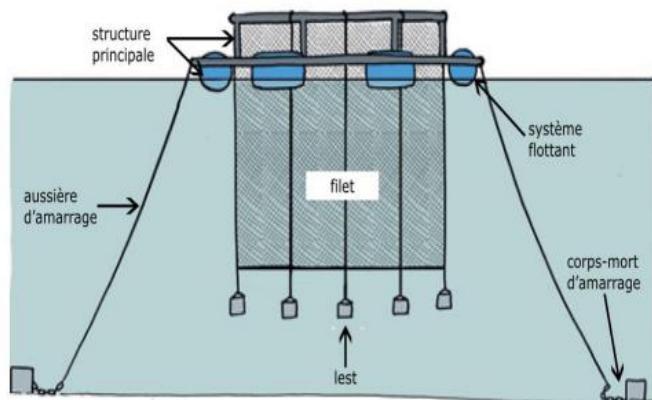
Les techniques utilisées dans l'agriculture marine qui concerne les salmonidés reste assez simple pour certaines. Elles vont être manuelles avec par exemple la distribution de l'alimentation à la main, le nettoyage de bac de la nurserie, vu précédemment. Mais on retrouve aussi certaines techniques qui sont déjà robotisées. Les outils les plus connus restent ceux pour nettoyer les eaux et les entretenir. Ils sont principalement présents dans les zones de pisciculture mais sont petit à petit utilisés dans les cages en mer afin d'éviter de dégrader la biodiversité présente.

Ces outils correspondent à des pompes pour dévasser les espaces de production, des épurateurs d'eau mais aussi des systèmes de nettoyages qui viennent directement s'affecter au filets ou infrastructure de la cage. Il s'agit de brosses mécanisées utilisées par l'Homme pour entretenir les cages en mer.

On retrouve aussi de plus en plus de systèmes d'alimentation automatique. Souvent présents sur le bord de la cage, ils permettent de nourrir de manière plus régulière les poissons. Ils sont programmés et optimisent ainsi l'alimentation des salmonidés présents dans les zones de production. Cependant, cette dernière mécanisation ne permet pas une répartition optimale de la nourriture au sein des cages.

Il existe aussi des systèmes mécaniques plus habituels dans le domaine de l'agriculture marine avec des bateaux qui disposent de grues pour permettre de changer de place des cages afin de changer la position de la production, ou pour rapprocher les poissons de la zone de transfert afin de commencer la récolte. Ces bateaux, grâce à leurs grues et leurs filets, vont aussi faciliter la récolte des poissons.

La cage quant à elle, principal outil de production de la salmoniculture a un fonctionnement assez simple. Il s'agit d'un enclos à poissons de grande taille qui regroupe un grand nombre de poissons. Elle dispose d'un grand filet plongé au fond de l'eau, ce dernier est maintenu à la surface grâce à des flotteurs et reste à sa position grâce à des lestes disposés au fond de l'eau. Voici un exemple de fonctionnement d'une cage en mer.



20/Filet cage en mer

Pourquoi s'implanter pour Michelin ?

Le secteur est aujourd'hui en baisse importante en France, représentant une forte opportunité pour le groupe Michelin. En effet, la production salmonicole présente en France, qui s'exerce principalement avec des truites, a vu en dix ans le nombre de salmonidés passer de 46 652 tonnes à 37 104 tonnes (entre 1997 et 2007), selon l'AGRESTE.

De nombreuses nouvelles techniques, que nous verrons par la suite, commencent à être adoptées dans des pays voisins comme la Norvège. Il y a donc un marché à récupérer et à relancer vers une croissance positive. Ces nouvelles techniques sont en plus bénéfiques pour l'environnement, mais aussi pour les poissons au cœur de cette production. Il est donc nécessaire de trouver des solutions techniques pour assurer un maintien de la biodiversité dans ces zones de production ou la réglementation vient aussi de plus en plus assister la protection de l'environnement.

Approche géomatique

Pour ce qui est de l'approche géomatique, on retrouve dans un premier temps des solutions plutôt mécaniques qui vont principalement fonctionner grâce à des programmes favorisant l'automatisation de nombreux équipements.

On retrouve ainsi des filtres à tambours qui viennent filtrer l'eau. L'objectif ici est de contrôler la propreté des eaux et ainsi d'éviter les maladies au sein des cages. En voici un exemple en photo ci joint. Ici il s'agit d'un filtre à tambour de l'entreprise 1h2o3®. Cette entreprise met en vente un grand nombre d'équipements liés à la protection de l'eau au sein des espaces d'aquaculture. Ce type d'équipement dispose de commandes intelligentes avec des capteurs qui permettent une supervision et préviennent en temps réel sur la qualité ou en cas de problèmes.



21/Filtre à tambours



Dans cette dynamique de bien-être de la biodiversité mais aussi des poissons présents dans les cages on retrouve un autre équipement intéressant dans la production de salmonidés. Il s'agit de régulateur de débit massique que l'on retrouve notamment avec l'entreprise **Bronkhorst®**. Cette entreprise propose de nombreuses solutions pour des procédés industriels et de gestion environnementale. Dans notre cas on retrouve donc l'élément Mass-Stream, qui vient réguler le processus d'aération des cages maritime.

22/Régulateur débit massique

Grâce à l'atmosphère environnante les compresseurs génèrent de l'air comprimé qu'ils envoient vers le régulateur de débit massique pour une aération plus contrôlée de l'eau. Grâce à sa précision et son optimisation forte, chaque cage est entièrement contrôlée.

Ainsi ce mécanisme permet de subvenir aux besoins en termes d'oxygène pour les poissons. Cette oxygénation favorise leurs développements mais surtout les maintiens en bonne santé.

D'autres technologies presque similaires peuvent être aussi utilisées, c'est le cas avec les équipements fournis par l'entreprise **Iffman®**. Cette dernière est basée dans l'équipement de pisciculture. On retrouve alors principalement des équipements intéressants pour la période de nurserie, le moment où les poissons évoluent dans de grands bassins. Ici la technologie étudiée se compose de sondes. Elles viennent avoir une fonctionnalité de capteurs au sein des bassins pour récupérer plusieurs informations dans l'eau.

On retrouve par exemple une sonde pour mesurer la salinité de l'eau, une sonde pour mesurer le pH, une sonde pour mesurer le potentiel Redox, c'est-à-dire un indicateur de bonne santé de l'eau, mais aussi une sonde pour mesurer l'oxygène dissous dans l'eau.

L'avantage de ces sondes est qu'elles sont toutes reliées en un seul point de contrôle et toute automatisé. Ainsi la main d'œuvre est réduite, une seule personne peut contrôler l'état des bassins.



IFF PROBE XB1-S

23/Sonde mesure salinité

Approche SIG (Systèmes d'Information Géographique)

Nous allons maintenant étudier ce que les systèmes d'information géographique peuvent apporter de plus dans le domaine de la salmoniculture.

Ici l'utilisation est simple et souvent utilisée dans de nombreuses pratiques liées à l'agriculture. Grâce à la télédétection nous pouvons facilement s'informer sur la zone de production. En effet, un certain nombre de critères d'étude vont permettre de catégoriser les différents espaces. Ces critères sont en plus facilement adaptable en fonction de la taille de la production, qu'il s'agit de zones de petites envergures ou de grands espaces de production dédiés à de fortes rentabilités. Ces informations et indicateurs récupérés grâce à la télédétection vont favoriser la connaissance des cotes qui seront dédiées à la salmoniculture, ainsi on optimise la zone de production mais aussi on prend en compte les composantes de l'environnement et donc anticiper toute dégradation possible.

Cette technologie est actuellement déjà utilisée avec l'institut de recherche français Ifremer. Cet institut base ces recherches sur les océans dans le but de comprendre l'évolution de ces derniers afin de mieux les protéger. Ici, Ifremer utilise en plus de certains capteurs dont il dispose, les données issues des satellites, celle qui servira donc à la télédétection. Ces données permettent une haute résolution spatiale et temporelle. Nous pouvons obtenir et observer les résultats grâce à des cartographies des différents espaces.

Ces instruments semblent alors utiles au départ de la production pour obtenir la meilleure zone d'établissement des cages en mer mais aussi pour observer l'évolution de ces espaces qui sont souvent dégradés à cause de ces mêmes cages. Ainsi les acteurs pourraient anticiper et décider de retirer les cages le temps que la biodiversité retrouve son état normal.

Dans cette continuité d'étude des espaces marins utilisés nous retrouvons les capteurs. Ces petits outils qui peuvent être placés aux niveaux des cages permettent de récupérer un grand nombre d'informations qui seront stockés dans de grandes bases de données. Nous avons ainsi sous la main de nombreuses données autant sur l'environnement présent que sur les poissons liés à la production. Ces informations sont nécessaires pour le bon fonctionnement de l'aquaculture, l'évolution des espaces et des animaux est plus facilement observable.

Ces capteurs sont aujourd'hui couplés à des caméras afin d'utiliser l'intelligence artificielle. Cette nouvelle technologie vient soutenir, voire simuler l'intelligence humaine afin d'aider tout utilisateur. Dans notre domaine, deux grandes entreprises se sont implantées en Norvège pour importer cette nouvelle technologie, il s'agit d'ABB® et Microsoft®.



24/Entreprise ABB



25/Entreprise Microsoft

Leur nouvelle technique basée sur l'intelligence artificielle aide les producteurs dans la connaissance de leurs poissons. Les capteurs et caméras placés sur les filets ou les armatures des cages en mer récupèrent des informations tel que le poids, la taille, le nombre de poissons mais aussi des anomalies qui peuvent être présentes sur les animaux telles qu'une blessure par exemple.

Pour ces agriculteurs marins, c'est une vraie aide à la production et à la bonne santé de leurs animaux. Ces producteurs réduisent ainsi leurs nombres d'opérations, gèrent mieux leurs enclos et nourrissent de manière plus intelligente leurs poissons.

Une nouvelle technique qui apparaît peu à peu mais qui a du mal à réellement se mettre en place commence à s'organiser. Il s'agit des essaims de robots souvent utilisés pour nourrir les animaux présents dans un enclos. Grâce à des informations collectées en amont, les robots se déplacent de manière coordonnée à travers la cage afin de disperser la nourriture à tous les endroits. Cette technologie totalement automatisée réduit de manière importante la main-d'œuvre des producteurs. En effet, mis à part le chargement en alimentation, le robot démarre automatiquement à certain moment de la journée, se déplace de manière automatique et permet une alimentation plus aléatoire dans l'enclos. Ce dernier point est important car il évite que les poissons se retrouvent toujours au même endroit pour s'alimenter et qu'il perde leurs instincts naturels.

Ces différentes technologies et techniques ont pour objectif d'aider les producteurs à augmenter leurs rendements tout en favorisant le bien être des poissons. Il est donc important de continuer de développer ces équipements et façon de faire afin d'agir positivement sur l'environnement sans réduire l'aspect économique.

Capabilités de Michelin

- **Application à la Conduite de Corridors de Saumons :** Utilisation possible de cette expertise en cartographie pour identifier et faciliter les axes de communication des saumons, améliorant leur circulation.
- **Impact environnemental :** Cartographie industrielle des cours d'eau pour identifier les obstacles tels que barrages et ponts, visant à optimiser l'écologie aquatique.
- **Robotisation dans le Secteur du Poisson :** Michelin a le potentiel de s'impliquer dans la robotisation croissante du secteur de la pêche, tirant parti de sa capacité de conception existante.
- **Augmentation de la Consommation de Poissons :** Anticipation de l'accroissement de la demande de poissons d'ici 2030, soulignée par un rapport de la FAO, offrant une opportunité pour Michelin de contribuer à ce secteur.

Grille d'opportunité

Dans cette dernière partie, on aborde la grille d'opportunité dédié aux salmonidés. Il s'agit de critères afin de faire un bilan sur les raisons de s'implanter dans ce domaine. Par exemple, pour les deux premiers, on retrouve la concurrence et la mécanisation actuelle avec un seul pneu, cela signifie qu'il est peu pertinent pour Michelin de s'implanter dans ce type d'agriculture au regard de ces critères. En effet, si on regarde à une échelle plutôt générale, de grande entreprise comme ABB et Microsoft s'implantent en Norvège avec de nouvelles technologies que l'on a pu voir précédemment. Cependant, si on fait un zoom sur la France, on remarque un retard, dans la technologie et donc dans les entreprises présentes, ici, il est donc plutôt pertinent d'opter pour ce type de culture.

À l'inverse, on retrouve des critères comme la rentabilité et le développement durable qui ont trois pneus, c'est-à-dire que pour Michelin, ce domaine est intéressant en fonction de ces critères. Les rentabilités sont accentuées grandement grâce à l'apport technologique proposé dans l'approche géomatique, mais aussi affecte le développement durable en prenant plus en compte la biodiversité présente dans ces espaces de production.

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement Durable
1	1	3	2	3

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
2	3	3

18 / 24



Huîtres

L'huître est un mollusque marin vivant en eau salée (concentration moyenne en sel : 35 g/l) ou saumâtre (concentration moyenne en sel : 1 et 10 g/l) appartenant à la famille des bivalves. Cette famille englobe donc les huîtres mais aussi les palourdes, les moules, les pétoncles et d'autres coquillages. L'huître vit seule ou en colonie, c'est un mollusque sessile puisqu'à l'état naturel, elle vit fixée à un rocher. Elle se nourrit de phytoplancton et de matière organique en suspension. En captivité, l'huître a une longévité de vingt-cinq ans mais à l'état sauvage elle vit cinq ans environ. L'huître est constituée d'organes qu'ont la plupart des animaux comme le cœur, le foie, l'estomac, deux reins et des branchies. L'anatomie d'une huître diffère selon si elle est plate ou creuse. On lui trouve également une bouche, des cils, une coquille, des palpes et un muscle abducteur qui permet au coquillage de s'ouvrir et de se fermer. Ce muscle est essentiel car ça lui permet de se protéger des prédateurs (raies, bigorneaux, crabes, étoiles de mer, oiseaux marins⁶) et de se fermer quand elle est en dehors de l'eau⁷.

Comme la majorité des invertébrés benthiques, les huîtres ont un cycle de vie benthopélagique, en d'autres termes elle vit indifféremment dans l'eau douce ou l'eau de mer. Elle a quatre principaux stades de développement comme l'étape embryonnaire, larvaire, naissain et l'âge adulte. On note également que l'huître est hermaphrodite, elle change de sexe une année sur l'autre⁸. Elles se reproduisent durant l'été, c'est durant cette saison qu'elles sont les plus laiteuses.

Il existe différents types d'huîtres, il y a l'huître creuse japonaise *Magallana gigas* (précédemment appelé *Crassostrea gigas*) originaire du nord-ouest de l'océan Pacifique. Il existe d'autres espèces d'huîtres commercialisées sur nos marchés comme l'huître plate européenne *Ostrea edulis*, on la trouve de la Norvège au Maroc mais également en mer Méditerranée. Il y a aussi l'huître creuse portugaise *Magallana angulata*, (précédemment appelé *Crassostrea angulata*), celle-ci est originaire d'Asie, elle a été introduite au Portugal au XVIIe siècle. Puis, on retrouve l'huître creuse américaine *Crassostrea virginica*, elle est présente sur toute la côte Est de l'Amérique du Nord mais aussi entre le Golfe du Mexique et le Golfe du Saint-Laurent⁹.

POURQUOI LES HUITRES ?

Les huîtres font partie des espèces ingénieries car elles ont la capacité de créer un habitat pour de nombreux autres organismes vivants. En groupe, elles forment des mini-récifs biogéniques¹⁰ et peuvent rendre des services écosystémiques. En effet, ces micro-habitats hébergent une diversité faunistique et floristique telle que les algues, les pétoncles, les éponges, les étoiles de mer et bien d'autres. Plus particulièrement, la coquille feuilletée de l'huître crée aussi des nano-habitats. En somme, les récifs huîtriers équivalent à des récifs coralliens tropicaux¹¹.

Ces récifs ont dominé les estuaires, ils ont apporté une économie côtière et une alimentation pour les civilisations depuis des milliers d'années. Ces récifs participent à la stabilisation des sédiments. Ils sont considérés comme des brise-lames car ils permettent de s'opposer à l'énergie de la houle et diminuer l'agitation du plan d'eau de la côte, ils participent donc à la défense côtière autrement dit à la protection du trait de côte¹². Ces récifs ont également un rôle dans la séquestration du dioxyde de carbone, puisqu'ils stockent le CO₂ hors de l'atmosphère à long terme.

⁶ Niels De Pauw, John Joyce, Aquaculture and the environment, European Aquaculture Society, 1992, p. 309-315.

⁷ www.huîtres-ilédere.com, "Guide de l'amateur d'huîtres", consulté le 02/01/2024

⁸ Fabiola Lango Reynoso, Détermination de la sexualité chez l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), Université de Bretagne occidentale, 1999, 126 p.

⁹ www.guidedesespèces.org "Huître", consulté le 02/01/2024

¹⁰ Mark W. Luckenbach, Caitlyn L. Toropova, Guofan Zhang, « Shellfish reefs at risk: a global analysis of problems and solutions » [archive]. The Nature Conservancy, Arlington VA, 2009, 52 p.

¹¹ S. P. Powers, C. H. Peterson, J. H. Grabowski & H. S. Lenihan, « Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries: Implications for restoration », Marine Ecology Progress Series, 389e série, 2009, p. 159-170

¹² David L. Meyer, Edward C. Townsend, Gordon W. Thayer, « Stabilization and Erosion Control Value of Oyster Cultch for Intertidal Marsh », Restoration Ecology, vol. 5, no 1, 1997, p. 93-99

Les bivalves filtrent en moyenne 200 litres d'eau par jour, contribuent à la diminution de la turbidité (eau trouble¹³), réduisent les blooms correspondant à la concentration d'algues et de phytoplancton, ainsi ils améliorent la qualité sanitaire des eaux. Les bivalves sont aussi des bio-indicateurs¹⁴ car leurs états renseignent les caractéristiques écologiques d'un écosystème notamment la pollution marine, l'érosion du littoral, etc.

Cependant, avec l'extraction et la dégradation des littoraux, ces récifs disparaissent de plus en plus. Il est donc important de construire des projets de restauration des récifs d'huîtres et de contrôler correctement sa production. Depuis quelques dizaines d'années, des projets sont lancés pour l'enrichissement coquillier, le semis de naissains ainsi que le déploiement de récifs artificiels. Toutefois, il est important de noter qu'il y a différentes espèces d'huîtres et qu'elles ont des conditions de vie différentes : si celles-ci sont introduites dans un environnement favorable à leurs caractéristiques, cela peut engendrer un déséquilibre de la biodiversité pouvant même développer des espèces envahissantes, voire déployer des maladies.

La coquille de l'huître est composée d'aragonite qui est un minéral doté de carbonate de calcium et de conchyoline comprenant des macromolécules organiques, des protéines fibreuses chitinoïdales et des polysaccharides. La coquille de l'huître peut être réutilisée dans le domaine de l'agriculture ou encore de l'aménagement. Les coquilles peuvent servir à pavir routes ou quais des chemins de fer par exemple.

L'ELEVAGE DES HUITRES ?

Les ostréiculteurs utilisent différentes techniques pour élever les huîtres selon le substrat et les coefficients de marée. On retrouve l'élevage surélevé, l'élevage en suspension, l'élevage au sol et les casiers.

- **L'élevage surélevé**, c'est-à-dire sur estran est répandu sur la façade Atlantique, en Bretagne et en Normandie car il y a un système de marée. Les huîtres sont dans des poches qui sont retournées pour éviter la prolifération des algues.
- **L'élevage en suspension**, les huîtres sont cultivées en eau profonde. Elles sont installées sur des pearl-net ou lanternes suspendues à des tables d'élevage. Elles sont immergées dans l'eau jusqu'à ce qu'elles atteignent 2-3 cm. Elles sont ensuite collées à des cordes grâce au ciment et remises en immersion jusqu'à leur taille commerciale. C'est une technique hors marée basse utilisée en Méditerranée.
- **L'élevage au sol** se fait sur estran ou en eau profonde. Dans le premier cas, les huîtres sont semées sur l'estran et elles sont récoltées par dragage. Dans le second cas, les huîtres sont disposées dans des cages en eaux profondes.
- **Le casier (ou panier Australien)**, est une méthode où les huîtres sont surélevées et en suspension.

On compte trois grandes étapes dans l'élevage de l'huître. On commence par le captage dans les parcs à collecteurs puis la culture en poche et enfin l'affinage.

Le captage consiste à collecter les naissains, installer des collecteurs (tuile, bois, ardoise, fer) durant 4 à 8 mois, décrocher les naissains avec une machine et mettre les naissains sous poches sur des tables en mer. La culture en poche se résume à virer les poches (2 à 3 ans) c'est-à-dire qu'on les retourne régulièrement, puis on change les poches pour trier les huîtres par taille, ainsi elles sont remises dans des poches nettoyées avec d'autres huîtres du même calibrage. Elles sont ensuite lavées, triées, calibrées et rangées à plat dans des bourriches.

¹³ Roger I. E. Newell, Evamaria W. Koch, « Modeling seagrass density and distribution in response to changes in turbidity stemming from bivalve filtration and seagrass sediment stabilization », Estuaries, vol. 27, no 5, 2004, p. 793-806

¹⁴ projet molluSCAN-eye, "La surveillance online de la qualité de l'eau", consulté le 02/01/2024



26/Carte production huîtres

COMMERCE ?

Les huîtres sont très appréciées par les Français mais aussi par des personnes du monde entier. Elles sont notamment consommées à l'occasion des fêtes de fin d'année. C'est à cette période que ce marché est le plus important.

Selon EUMOFA (European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products), la production mondiale d'huîtres en 2020 était de 6,4 millions de tonnes soit 39% de plus qu'en 2011. On peut voir sur le tableau ci-dessous l'évolution de la production d'huîtres dans les principaux pays producteurs entre 2011 et 2020.

Tableau 2 : Évolution de la production d'huîtres dans les principaux pays producteurs (1.000 tonnes)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% total 2020	Evol. 2020/11
Chine	3.580	3.784	4.038	4.159	4.381	4.660	4.879	5.140	5.226	5.425	85%	+52%
Corée du Sud	306	303	253	303	287	283	330	340	357	326	5%	+6%
États-Unis	176	195	198	189	191	192	193	205	226	183	3%	+4%
Japon	166	161	164	184	164	159	174	177	162	159	2%	-4%
UE-27	97	93	92	91	81	93	101	110	105	98	2%	+1%
Autres	246	178	190	205	207	219	257	204	179	185	3%	-25%
Total	4.571	4.715	4.935	5.131	5.311	5.607	5.935	6.176	6.255	6.376	100%	+39%

Note : les totaux peuvent différer de la somme des données de la colonne en raison des arrondis.

Source : FAO Fish Stat

27/Evolution de la production d'huîtres dans les principaux pays producteurs (1 000 tonnes)

La Chine est le plus grand producteur mondial, elle produit 85% des volumes totaux. Sur cette décennie entre 2011 et 2020, l'évolution de la production d'huîtres en Chine a augmenté de 52% ce qui est considérable dans les parts du marché. En 2020, la production d'huîtres dans ce pays était de 5 425 000 tonnes. Un autre pays du continent asiatique a vu sa production augmenter de 6% sur cette même période, de fait, la Corée du Sud a produit 326 000 tonnes d'huîtres en 2020. Les États-Unis sont la plus grande puissance mondiale, ces états ont produit 183 000 tonnes d'huîtres en 2020, ainsi l'évolution de sa production entre 2011 et 2020 est de 3%.

L'Europe-27 est le 5e producteur mondial, ces pays ont cultivé 98 000 tonnes d'huîtres en 2020 représentant 2% de la production mondiale. Près de 83% de la production européenne a lieu en France avec une production de 81 000 tonnes en 2020. Puis on retrouve l'Irlande avec une production de 9 475 tonnes (10% de production européenne), le Portugal (4%) ainsi que les Pays-Bas (2%).

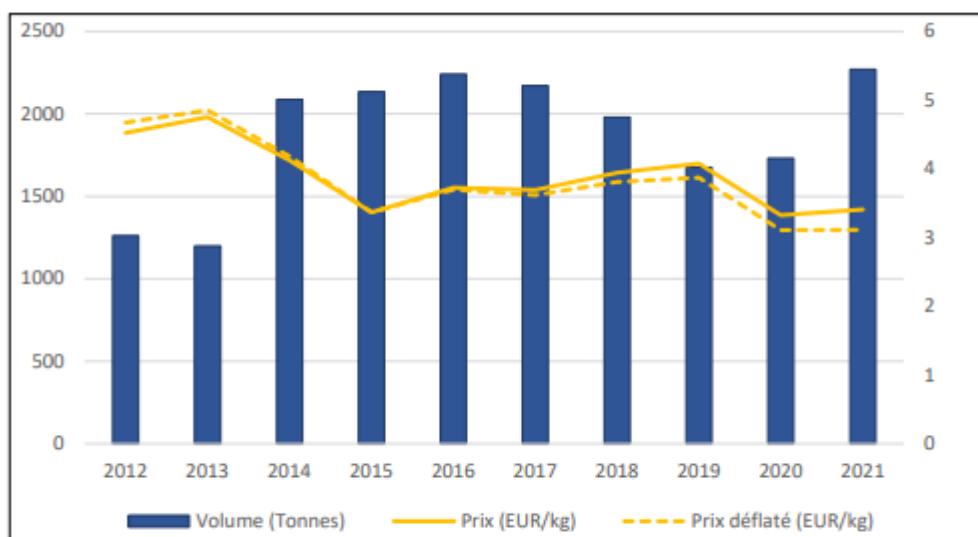
On peut voir sur le tableau ci-dessus que les autres pays producteurs ont quant à eux produit moins d'huîtres entre 2011 et 2020, la production a baissé de 25%.

Ce sont surtout les grandes puissances qui ont augmenté leur production : la Chine, Les États-Unis, l'Europe-27. La Chine est en train de devenir le 1er importateur mondial de produits de la mer alors qu'elle était un des principaux exportateurs. En 2012, La Chine est devenue le 1er exportateur mondial de produits de la mer devant les pays iconiques de ce domaine que sont la Norvège et le Pérou. La Chine est dorénavant qualifiée de 1ère usine du monde. Le continent asiatique est donc une zone où il n'est pas nécessaire pour Michelin de s'implanter car le marché y est déjà dense¹⁵.

Le commerce intra et extra UE est centré notamment sur l'UE. Même si la France et l'Irlande ciblent les marchés asiatiques.

Nous faisons donc un zoom sur les évolutions des importations et exportations extra-UE d'huîtres. Le graphique ci-dessous représente le volume et le prix (EUR/kg) des huîtres pour chaque année entre 2012 et 2021. En 2012 et en 2013, les volumes d'huîtres étaient les plus bas, soit entre 1 200 et 1 300 tonnes. Ces petits volumes peuvent être expliqués par le fait que les prix étaient élevés de 5€ le kilo. Les importations ont connu ensuite une constante augmentation jusqu'en 2016 allant à un volume d'importation d'environ 2 200 tonnes. Cette même année, le prix des huîtres était plus bas, tournant autour de 4€ le kilo. Puis, jusqu'en 2020 les volumes ont diminué et les prix ont timidement augmenté. Enfin en 2021, les volumes ont fortement augmenté, allant à 2 300 tonnes d'huîtres pour un prix au kilo plus faible de moins de 4€ le kilo.

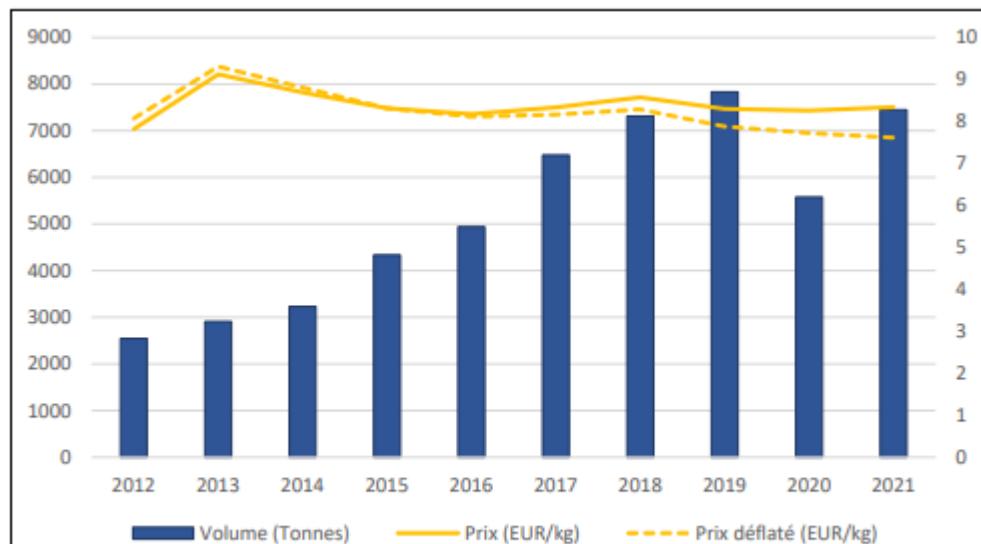
Figure 4 : Évolution des importations extra-UE d'huîtres



Source : Élaboration d'EUMOFA à partir des données d'EUROSTAT-COMEXT, le prix déflaté est calculé avec le déflateur du PIB (année de base 2015).

28/Evolution des importations extra-UE d'huîtres

¹⁵ www.businessfrance.fr, "Chine - L'empire du Milieu risque de devenir importateur net de produits de la mer", consulté le 02/01/2024

Figure 5 : Evolution des exportations extra-UE d'huîtres

Source : Élaboration d'EUMOFA à partir des données d'EUROSTAT-COMEXT, le prix déflaté est calculé avec le déflateur du PIB (année de base 2015).

29/Evolution des exportations extra-UE d'huîtres

Comme pour les importations, le début de la décennie commence par les plus faibles volumes et les prix au kilo les plus élevés. Cependant, les volumes comme les prix sont plus importants dans le cas des exportations extra-UE que des importations extra-UE. En effet, les volumes entre 2012 et 2014 tournent vers les 2 500 tonnes pour des prix au kilo d'environ 8,5 euros. On constate une tendance croissante jusqu'en 2019 et une légère diminution du prix. Puis en 2020, il y a eu une chute du volume et une nouvelle augmentation pour l'année 2021.

En somme, durant cette période, il y a eu plus d'exportation que d'importation extra-UE. L'UE est donc une institution convoitée pour ces produits, c'est peut-être une zone à valoriser et ainsi accroître sa production autant quantitative que qualitative.

Sur la figure n°29, nous avons donc constaté que la culture de l'huître a augmenté sur la période 2011 à 2021 notamment sur le continent asiatique. Toutefois, l'Europe et plus particulièrement la France cultive une grande partie des huîtres. Il serait pertinent de développer davantage la culture de l'huître en France et dans les pays européens côtiers. On sait que l'Hexagone produit des huîtres dans les régions Normandie-Mer du Nord, Bretagne Nord et Sud, Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Arcachon-Aquitaine ainsi qu'en Méditerranée régi par le Règlement 2065/2001¹⁶.

Sur le tableau suivant, on représente la consommation d'huîtres dans les pays principaux de l'Europe. On peut voir que la France est le pays le plus consommateur mais aussi celui qui en produit le plus. On observe également que la Belgique, l'Irlande, l'Italie et le Portugal sont des pays où la consommation apparente par habitant est moins conséquente que pour la France mais elle est tout de même importante dans une moindre mesure. Ces pays ont peut-être un intérêt économique à exploiter concernant la culture de l'huître ainsi que son utilisation diverse.

¹⁶ "Accord interprofessionnel sur la dénomination et la classification des huîtres creuses", Comité national de la conchyliculture, 29/11/2017

Tableau 8 : Consommation apparente d'huîtres dans les principaux EM (2020, en tonnes d'équivalent poids vif)

EM	Production (Captures + Aquaculture)	Importations	Approvisionnement total (production + importation)	Exportations	Consommation apparente (offre totale - exportation)	Consommation apparente par habitants ⁵ (kg/habitant)
France	80.796	6.541	87.337	11.340	75.997	1,13
Irlande*	6.905	48	6.953	4.301	2.652	0,53
Portugal	3.632	118	3.750	1.426	2.324	0,23
Pays-Bas	2.374	1.367	3.741	2.008	1.733	0,10
Espagne**	1.097	1.296	2.393	4.639	n.d.	n.d.
Italie	226	5.975	6.201	349	5.852	0,10
Danemark	181	112	293	157	136	0,02
Allemagne	50	691	741	45	696	0,01
Suède	15	403	418	13	405	0,04
Grèce	9	213	222	7	215	0,02
Belgique	0	2.266	2.266	41	2.225	0,19
Autres	32	541	573	440	133	-
UE-27	95.318	1.745	97.063	5.575	91.488	0,20

30/Consommation apparente d'huîtres en Europe (Eurostat 2020, en tonnes d'équivalent poids vif)

Comme nous l'avons expliqué précédemment l'huître a son importance dans notre écosystème mais elle a aussi d'autres usages.

USAGES ?

Au niveau de l'alimentation, l'huître est très utilisée dans la gastronomie, les inspecteurs de la célèbre Étoile MICHELIN¹⁷ le savent. Elle est très riche en protéines et pauvres en calories, graisses et cholestérol, c'est un aliment avec des apports alimentaires riches. Rare dans le reste de l'alimentation, l'huître a des apports nutritifs exceptionnels. Ainsi elle est connue pour sa teneur record en zinc, iodé, sélénium, minéraux et bien d'autres mais aussi elle est riche en vitamine C, E, B puis D.

Les coquilles d'huîtres contiennent du calcium, une fois broyées la poudre peut être destinée à l'alimentation des volailles¹⁸. De fait, le calcium est nécessaire à la fabrication des œufs et assure la solidité de la coquille. Cette poudre peut aussi enrichir le compost équivalant à un engrais maison, cela agit sur les plantes, la microflore et la microfaune. Dans le jardin, la poudre éloigne les escargots et les limaces. Elle a de bons atouts dans le domaine de l'agriculture !

Dans le milieu industriel, on peut exploiter et transformer la coquille de l'huître. Lorsque la matière de la coquille d'huître est associée à d'autres métaux lourds, l'ensemble peut être utilisé comme catalyseur solide industriel pour la transestérification d'huile de soja. Recyclée, la coquille d'huître peut être une alternative à la matière plastique ou le caoutchouc, on peut fabriquer des montures de lunettes par exemple. Les coquilles peuvent aussi se retrouver dans la mousse des combinaisons de surf. La coquille d'huître en poudre peut agir comme un détartrant et donc être une alternative aux produits chimiques. On peut également commercialiser les perles de cultures fabriquées par les huîtres perlières. L'huître a de nombreux bénéfices qui peuvent être exploités davantage sous plusieurs formes.

¹⁷ guide.michelin.com "Tous les secrets de l'Etoile MICHELIN", consulté le 02/01/2024

¹⁸ Podcast "Recyclage : vous n'imaginez pas à quoi servent les coquilles d'huîtres", 10/05/2021

Même si certains pays ne sont pas côtiers, il est tout à fait possible de cultiver des huîtres triploïdes qui sont donc créées artificiellement en écloserie¹⁹. L’Institut français de recherche pour l’exploitation de la mer (IFREMER) a développé cette technique dans les années quatre-vingt-dix. Cela permet de créer des huîtres plus rentables, elles poussent en deux ans au lieu de trois voire quatre ans. Elles ne sont jamais laiteuses puisqu’elles ne fabriquent pas d’œufs pour se reproduire, elles peuvent donc être consommées toute l’année. L’agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) autorise la commercialisation de ces huîtres mais cela pose tout de même des problèmes éthiques sur la modification génétique des aliments.

Situation actuelle

On peut dire que l’huître est une matière première qui a un fort potentiel. Pour accroître le secteur ostréicole et ainsi étendre la production, la transformation et les exportations, il faudrait dans un premier temps obtenir un maximum d’informations sur les environnements, conditions favorables et défavorables des huîtres. Cela permettrait de savoir où seraient les lieux pour exploiter au mieux tous les atouts de l’huître. Il faudrait aussi identifier toutes les mécanisations utilisées lors du cycle de culture mais aussi lors de transformation pour ensuite créer des mécanismes qui pourront valoriser ce produit. Enfin, si l’on se met à la place de l’ostréiculteur, il serait pertinent de développer des technologies afin de faciliter les mouvements et déplacements de celui-ci pour améliorer leurs conditions de travail. Pour cela, il serait intéressant de collaborer avec eux pour connaître leurs besoins.

Avec des moyens existants que connaît un géomaticien, on pourrait identifier les milieux favorables au développement des huîtres en réalisant un inventaire quantitatif de celles-ci puis créer des cartographies des habitats marins. Pour cela, on peut utiliser diverses solutions comme : les SIG, les validations terrains, les images aériennes, la télédétection, les analyses thématiques sous SIG, l’automatisation de traitements d’analyse photos aériennes et lier les SIG avec des bases de données. On peut également utiliser des systèmes embarqués comme le GPS, les SIG, les écho-sondeurs, les sondeurs pour mesurer la fluorimétrie, la température, le pH, la salinité, l’O2 mais également une multitude de capteurs.

Capabilités de Michelin

Michelin détient déjà des capacités dans la cartographie, il serait possible d’établir une cartographie fine des mollusques marins dans les eaux françaises mais aussi dans celles des pays européens côtiers. A cela, on pourrait combiner les SIG avec des bases de données précises en utilisant des technologies de pointe pour optimiser la quantité d’informations concernant les huîtres et leurs habitats.

Les bases de données historiques permettent une connaissance de l’huître et des milieux marins, toutefois, on pourrait récolter des données actuelles en produisant des solutions liées à l’analyse de données en autonomie.

Par le biais de capteurs et de rencontres auprès des ostréiculteurs, on aurait également la possibilité de récupérer des données concernant ce métier et particulièrement sur les tâches ingrates que réalisent ces professionnels. Améliorer les conditions physiques des ostréiculteurs en explorant les mécanisations existantes qui réduisent les Troubles Musculo-Squelettiques afin d’en développer des plus performants. Plusieurs prototypes sont en phase de démonstration commerciale mais peu d’entre eux sont sur le marché. Il est ainsi intéressant de creuser dans cette direction. Il existe par exemple le Roll’Oyster® créé par l’entreprise de *SEADUCER*. Cette entreprise est composée d’ingénieurs et de spécialistes du secteur aquacole et ostréicole. Dans cette structure basée à La Rochelle est imaginée des solutions de l’élevage de demain.

¹⁹ « Qu'est-ce qu'une huître triploïde ? | Espace des sciences », sur www.espace-sciences.org, novembre 2013 (consulté le 18 juillet 2019)

Le système breveté, le ROLL'OYSTER permet une croissance homogène et contrôlée des huîtres, autrement dit des huîtres premium standardisées. De plus cette technologie est simple et robuste mais surtout elle diminue la pénibilité du travail en éliminant les manipulations humaines éreintantes. Ce mécanisme évite le bio-fouling et les parasites sur les huîtres et cela s'applique à la plupart des stades de vie de l'huître. Le 11 décembre 2023, cette entreprise a remporté le concours de l'innovation *NewTechAqua* qui vise à développer de nouveaux outils et stratégies pour une aquaculture européenne durable. Le *Roll'Oyster* est maintenant disponible sur le marché.



31/Photo du Roll'Oyster produit par SEADUCER



32/Exosquelette produit par CEA

L'entreprise CEA a également développé un exosquelette. C'est un squelette mécanique externe dont le fonctionnement est similaire à celui des os. Par l'effet équilibrant, l'exosquelette soulage la personne d'un poids. Par les effets ressort, l'exosquelette impose la bonne position à la personne.

La culture de l'huître, son utilisation et les technologies autour du métier d'ostréiculteur semblent être des axes pertinents à développer. C'est tout à fait un domaine pour lequel l'entreprise MICHELIN pourrait s'investir, développer des solutions, créer des projets rentables et un monopole sur ces technologies encore peu commercialisées.

Grille d'opportunité

Au regard des critères que nous avons établis, le secteur de l'huître a déjà de nombreux concurrents en Asie et dans d'autres pays européens. Cependant, c'est un domaine dans lequel il y a divers axes à développer autour de l'huître comme nous l'avons expliqué à plusieurs reprises précédemment. Il y a encore peu de mécanisation développée pour la culture de l'huître donc il est intéressant d'investir autour de ces différents usages. Toutefois, étant donné qu'il y a peu de mécanisation, il y a peu de savoir cela rend la conception plus difficile. Nous avons pu voir que l'huître a plusieurs atouts dans l'économie du pays et c'est un secteur qui est bien vu par la population car c'est un ingrédient naturel.

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement Durable
2/5	1/5	3/5	2/5	4/5

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
1/5	3/5	1/5

16 / 24



Olives

Les olives, dont il existe plusieurs variétés, est un produit extrêmement apprécié et consommé en Méditerranée. L'olive a de multiples vertus, composée de nombreux acides dont son principal, l'acide oléique. Elle est consommée directement à table, en saumur, en huile de cuisine et enfin dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique comme excipient par exemple. L'engouement pour les propriétés de l'olive naît dans les années 90, propulsant une augmentation du marché de 70% lors des 15 années qui ont suivi. Le contexte environnemental changeant, annonce un bouleversement quant aux acteurs majeurs du secteur, dont le marché mondial est majoritairement situé dans le seul bassin méditerranéen. C'est une fenêtre pour que de nouveaux acteurs s'insèrent dans l'olive et la France semble être le pays dans les meilleures dispositions à venir pour s'imposer comme un producteur majeur de l'olive.



33/Présence de la culture oléicole en Europe

Comme on peut le voir sur la carte, l'olive borde le bassin méditerranéen. On peut affiner cette image, car la production d'olive en France est concentrée sur les seules anciennes régions Languedoc-Roussillon, PACA et Rhône-Alpes, pour leur climat favorable ainsi que le marché important que représente ces régions, très amateurs de l'olive, contrairement aux régions septentrionales tournées davantage vers le beurre.

Présentation de la culture

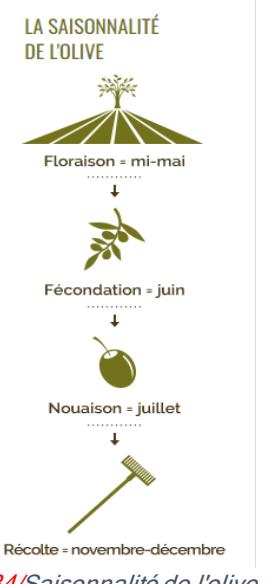
Avant de parler de son cycle, l'olivier est planté et tutoré pendant 5 ans, en pot ou en terre. En Crète et dans certaines régions cherchant à innover devant les conséquences du réchauffement climatique, les oliviers restent en pot, dans lequel sont placés des capteurs qui analysent les besoins de l'arbre lors de sa croissance et celle de ses fruits.

On distingue plusieurs méthodes d'oléiculture : originelle, traditionnelle et en haie fruitière. Ces méthodes ont des impacts différents quant à l'usage de la mécanisation et des intrants. L'olivier, selon sa variété et sa méthode de culture, est un arbre très économique en intrants chimiques divers. Il n'a quasiment pas besoin d'irrigation, sauf pour certains usages que l'on souhaite avoir de l'olive ou variétés. Il n'a également pas besoin de fertilisant. Enfin, les traitements phytosanitaires sont très limités et peuvent être effectués de manière raisonnée ou avec des solutions alternatives courantes, comme le piégeage pour les nuisibles, qu'ils soient végétaux ou animaux - mouches, œil-de-paon, teignes -. L'olivier est un arbre rustique facile à cultiver mais dont le potentiel peut être sensiblement augmenté avec une approche experte et la mécanisation.

Les phases de croissance de l'arbre peuvent changer selon la variété :

- Floraison à partir de mi-mai
- Fécondation en juin
- Nouaison en juillet (formation du fruit)
- Récolte en novembre-décembre

L'olive récoltée est alors pressée en moulin, l'olive destinée à la consommation sur table est traitée en conséquence - mise en saumur, faite en tapenade etc... -.



35/Oliviers à flancs de montagne, très courants en Grèce entre autres...



36/Oliviers cultvés en haies, caractéristiques des grandes exploitations



37/Exploitations traditionnelles, plus difficile à exploiter avec la mécanisation

Mécanisation actuelle

En France, les exploitants sont de nouveaux arrivants, des reconvertis non-spécialisés et exploitants de quelques centaines d'arbres, soit de petits domaines. Ils ne disposent que de connaissances agronomiques rudimentaires, notamment pour les vergers à haute densité. La mécanisation est donc partielle et perfectible dans son usage.

La direction traditionnelle des agriculteurs français les éloigne de la production en haie, pourtant plus facile à traiter grâce à la mécanisation. Très courante dans les grandes exploitations, cette méthode intensive permet l'usage de grandes machines pour les récoltes et l'entretien. Toutefois, cette méthode est productiviste au détriment de l'économie des ressources dont les intrants chimiques.

En ce qui concerne les autres types d'oléicultures, la mécanisation ne semble pas être la piste de développement dans l'avenir. Les méthodes traditionnelles pour la récolte, soit secouer l'olivier, sont effectuées par des petites machines qui suffisent lorsque le terrain le permet, soit dans les plaines. D'autres solutions technologiques sont difficiles à envisager étant donné la configuration des exploitations traditionnelles. Cela étant, l'innovation mécanique est moins envisageable car les exploitations avec des configurations traditionnelles ou originelles sont petites, avec peu de moyens. Par ailleurs, ces mêmes exploitations se situent sur des terrains plus difficiles. En France, l'olivier est cultivé au pire sur des flancs de collines assez accessibles, mais en Grèce ou en Turquie, les oliviers sont parfois placés à flanc de montagne, sur des terres très pentues, interdisant l'accès à quelconque machine.

Envisager l'oléiculture seulement en plaine, cela pour tirer profit de la mécanisation est très réducteur. L'olive peut valoriser des espaces impropre à d'autres cultures car trop secs pour la vigne, trop accidentés pour les céréales. C'est avec un autre domaine d'innovation, déjà présent dans le domaine céréalier entre autres, les SIG et le suivi chimique des parcelles.



38/Oliveraie en haie, propices à l'usage de grandes machines

La majeure partie de l'olive mondiale est produite en Espagne, en Italie, au Maroc, en Turquie et en Grèce, soit les 5 premiers producteurs mondiaux avec une très nette supériorité de l'Espagne qui produit en moyenne un peu moins de 10 millions de tonnes d'olives par an soit la moitié de la production mondiale, contre près de 2 millions de tonnes pour l'Italie. La France se trouve en 24ème position avec une production avoisinant les 22 000 tonnes annuelle. Parmi ces premiers pays dans l'olive on retrouve de grandes sociétés qui exploitent de vastes plantations, ce qui verrouille par ailleurs l'intervention d'un tiers. Il existe dans ces pays de petits exploitants, mais ces derniers restent largement minoritaires, particulièrement en Espagne et en Italie.

Ces pays, par les changements climatiques, voient leur production baisser chaque année. Les aléas climatiques tels que les sécheresses de plus en plus courantes ruinent les récoltes. Aussi, la désertification des terres accuse une réduction des surfaces cultivables pour l'olive. Les grandes exploitations cherchent à limiter ces impacts par des ouvrages détournant des cours d'eau afin d'irriguer les plantations. Mais ces ouvrages font polémique, provoquant des désastres écologiques. Aussi, ces manœuvres ne semblent pas être pérennes. 80% des terres sèches d'Andalousie pourraient devenir impropre à la culture d'ici la prochaine décennie. La France se retrouve donc en tête de lice pour devenir un producteur important de la région.



39/Plantation espagnole lors d'une vague de chaleur inédite

Le modèle français est basé sur la petite exploitation et le regroupement en coopérative. 6000 des 8000 à 9000 exploitants sont ainsi regroupés de cette manière. La production est axée sur la qualité, l'authenticité et la tradition, en travaillant sur la différenciation variétale. Cette qualité est aujourd'hui reconnue avec l'obtention des AOC - Appellation d'Origine Contrôlée, délivré par la Commission Européenne - et des démarches en cours pour l'apposition du label AOP - Appellation d'Origine Protégé - sur l'olive, soit le pendant franco-français de l'AOC autrement plus exigeant et qualitatif.

Malgré cela, la France ne pèse que 5% du marché mondial, tirant les prix des producteurs français à la baisse. Il est de bon ton que les exploitants français soient supportés par de grandes entreprises pour associer la qualité de leur méthode avec l'innovation dont les grandes entreprises comme Michelin développent et diffusent. Cela pourrait être une solution pour renforcer le potentiel des exploitants français tout en préservant leur indépendance et leur identité propres. L'extension des surfaces oléicoles, remplaçant les surfaces désormais impropre à la production de vins, promet une augmentation du potentiel français. Mais, cette croissance à venir promet une mutation des débouchés commerciaux et ainsi une instabilité du milieu lors de cette phase. L'intervention d'un tiers pour contrôler la filière, public ou privé est encore une fois une solution appropriée.

Dans un aspect plus technique, il faut admettre que l'axe exploitable par Michelin, soit le suivi SIG et chimique des parcelles, est déjà couvert par d'autres acteurs dans le domaine céréalier. Déjà, des techniciens suivent les parcelles céréalières à la dizaine de mètres près, pour conseiller l'agriculteur quant à l'usage d'intrants divers, le choix des semences etc.

Cependant, l'oléiculture et la méthode en développement pour lui appliquer ce suivi n'est encore que balbutiante et peu ou mal déployée en France. De nombreuses innovations à propos des nouvelles méthodes de culture, de suivi sont à faire dans le domaine.



40/Oliveraie expérimentale en Crète

Approche géomatique

Les solutions géomatiques sont à adapter selon le type d'exploitation dont on parle. Elles sont par ailleurs plus facilement applicables sur le modèle oléicole français qu'Espagnol. Ces solutions sont développées depuis plusieurs années par des pays qui cherchent en premier lieu à compenser certaines contraintes spatiales et le réchauffement climatique en un second temps. C'est le cas de la Grèce, dont le territoire montagneux est difficile à exploiter d'une part et est touchée par le réchauffement climatique de plein fouet. Le pays a déployé en Crète des capteurs sur des arbres en pot ou en terre afin de mesurer en temps réel les besoins de l'arbre. La finalité du projet est de lier ces capteurs à une base de données pilotée par une IA. Le but est alors de fournir à l'exploitant une capacité de voir les besoins de son exploitation sans avoir à recourir à un tiers, comme cela se passe dans le domaine céréalier. En France, le groupe Orange cherche également à déployer l'IA dans les exploitations.

Le défi majeur du déploiement de l'IA pour une telle configuration est la mobilité du dispositif, soit d'avoir un outil utilisable en extérieur. Il est également nécessaire, d'acquérir une quantité considérable de données, sans quoi l'IA ne peut être efficace. A ce sujet, on étudie deux solutions, la première étant de déployer des capteurs statiques pour chaque arbre dont l'autonomie est fournie par des panneaux photovoltaïques, et la seconde d'employer des capteurs mobiles pilotés ou utilisés directement par un ouvrier.



41/Capteurs autonomes dans une oliveraie crétoise

Avant d'employer l'IA, l'acquisition de données permet de cartographier de visualiser l'état d'une parcelle. Il est possible d'exploiter ces données sans IA. Mais elle porte sa plus-value d'abord en accélérant le traitement et en le rendant plus précis. L'IA, avec une donnée complète, peut ficher chaque jour les besoins de chaque arbre. Les plantations expérimentales développées par L'Hellenic Mediterranean University et financées par Huawei, portent même l'étude jusqu'à la possibilité d'administrer à distance tous les intrants nécessaires à l'arbre. Ensuite, l'IA réalise un traitement que l'exploitant ne peut pas réaliser seul ou du moins sans un tiers. Cela représente des coûts supplémentaires, et le traitement resterait toujours long, lourd et moins précis.

« Au niveau du sol, nous avons installé un capteur qui mesure l'humidité du sol, la conductivité électrique, la salinité de l'eau et la température du sol toutes les 15 minutes »²⁰

On note que des innovations indirectement liées à la production d'olive sont testées. En Espagne par exemple, des panneaux photovoltaïques sont déployés entre les arbres.

Grille d'opportunité

Les conditions qui rendent l'olive comme la plus favorable pour Michelin sont liées au contexte changeant et aux nouvelles exigences qui apparaissent autour de l'agriculture dans son ensemble. Ces exigences sont bien entendues liées au réchauffement climatique et la crise écologique liée à l'usage abusif d'intrants phytosanitaires. L'olivier, arbre rustique, permet à un exploitant de réaliser de nombreuses économies d'eau, d'intrants chimiques. Mais l'exploitation de son plein potentiel n'est pas faite, notamment dans sa culture extensive et intensive qui emploie l'usage d'intrants de manière systémique. Il serait très intéressant de comparer la rentabilité de l'exploitation intensive et mécanisée, aux exploitations plus modestes. Moins mécanisées et en terrain accidenté, mais avec la plus value apportée par la géomatique et l'IA, ce type d'exploitation oléicole plus esthétique sur le plan paysager pourrait être un choix d'avenir pour le visage de l'oléiculture de demain.

Mais ce nouveau visage, pour qu'il prenne forme, doit trouver de nouveaux acteurs. Alors que les principaux producteurs d'olives se trouvent pieds et poings liés devant la baisse de production et la diminution de leurs surfaces cultivable, il est temps que de nouvelles entreprises viennent apporter l'innovation technologique et doctrinale aux exploitants qui se multiplient en France et cherchent tant bien que mal à conserver des méthodes respectueuses des paysages et de l'environnement. La place est nette et en France pour une entreprise pour Michelin qui dispose d'une expérience considérable dans l'innovation et la coopération avec d'autres acteurs économiques d'autres secteurs.

C'est une opportunité également pour Michelin car l'olive est en phase de mutation dans sa manière d'être cultivé. Il n'existe donc pas d'entreprise dans le monde qui dispose d'un monopole sur les méthodes et technologies que l'on a cité plus haut.

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économiques	Développement Durable
2/5	1/5	4/5	4/5	4/5

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation	
2/5	2/5	2/5	18/24

18 / 24

Peu pertinent
Pertinence intermédiaire
Pertinent

²⁰ Ioannis Daliakopoulos Embling, D. (2020, 18 septembre). Le bond technologique de la production d'olives en Crète. euronews. <https://fr.euronews.com/next/2020/09/18/le-bond-technologique-de-la-production-d-olives-en-crete>

Agrumes

Agrume est un nom générique désignant les fruits du genre citrus, ils appartiennent à la famille des *rutaceae* qui se caractérisent par une chair pulpeuse entourée d'une écorce segmentée et coriace. Notamment réputés pour cette pulpe acide et juteuse riche en vitamine C, les agrumes sont perçus comme des produits à valeurs nutritives intéressantes.

Grâce aux nombreux bienfaits des agrumes, plusieurs façons de les consommer sont possibles. Principalement, c'est la consommation pour le marché frais qui prime, c'est-à-dire que le fruit est consommé directement tel quel. Dans la plupart des cas, c'est directement dans le pays de production que les fruits sont vendus pour ce type de consommation. La transformation des fruits est aussi une façon courante de les utiliser, elle représente la deuxième industrie de transformation après le raisin pour le vin. En effet, 30% des agrumes produits dans le monde sont utilisés pour la transformation. Le jus de fruit, représente le principal cas de transformation, mais d'autres utilisations existent comme la production d'huiles essentielles.

La liste des agrumes les plus souvent consommés et produits sont : les oranges, les citrons, les pamplemousses, les citrons verts, les mandarines, les pomelos, les clémentines et les kumquats. L'orange ressort comme leadeuse puisque c'est l'agrume le plus produit au monde, à elle seule elle représente 60% de la production annuelle d'agrumes. (D'après le site d'information : les agrumes du monde)

Pour comprendre la fonction d'un verger, il faut s'intéresser au cycle de culture des agrumes, au vu des nombreuses espèces qui composent cette famille nous allons nous intéresser à l'orange, la plus consommée et produite. Les temporalités correspondent à celles des exploitations européennes, notre zone d'étude.

La première étape de la création d'un verger est la plantation des arbres fruitiers. Pour qu'ils atteignent la maturité nécessaire avant de produire des fruits, il faut attendre entre 5 et 7 ans, c'est le début de la vie reproductive. L'arbre peut subsister dans cette phase entre 30 et 40 ans. C'est-à-dire que le verger reste productif pendant toute cette période et qu'ensuite sa productivité décline.

La floraison lance le début de la production des fruits. Entre mars et juillet les premières fleurs apparaissent, elles vont ensuite se transformer en fruits, c'est ce qu'on appelle la nouaison de l'orange. Par la suite, le fruit se développe et c'est à ce moment que le goût, l'acidité, la couleur et la taille qui lui sont propres à sa variété apparaissent.

Ce n'est qu'au début de l'automne que la récolte peut commencer. En effet, il faut que la maturation de l'orange soit optimale, c'est-à-dire que l'intérieur soit juteux et l'écorce asséchée pour pouvoir être conservée.

Ce cycle peut produire des rendements allant de 5,3 tonnes, pour les plus petites exploitations, jusqu'à 26 tonnes pour les exploitations intensives situées dans les zones les plus propices.



42/Présence des vergers d'agrumes en Europe

Les agrumes étant des espèces subtropicales sensibles au gel et aux fortes températures, leur production se concentrent donc dans des zones propices à leur développement. En Europe, c'est au sud sur le pourtour Méditerranéen que les vergers se concentrent.

Pour ce qui est du reste du monde, c'est dans les pays de l'hémisphère sud et plus principalement en Asie que l'on retrouve les vergers d'agrumes. Les cinq principaux acteurs de la production mondiale d'agrumes sont la Chine, le Brésil, l'Inde, les Etats-Unis et l'Espagne.

Situation actuelle

Aujourd'hui, la production d'agrumes est concernée par la mécanisation durant toutes ces étapes, mais plus globalement sur le traitement, le calibrage et la transformation de ces produits. En effet, l'agrum est un produit qui nécessite d'être manipulé avec précautions. C'est pour cela que la mécanisation est plus rare qu'avec d'autres formes de cultures, les récolteuses ou encore calibreuses ne doivent en aucun cas abîmer ou réduire la qualité du produit.

Dans le cadre de la production d'agrumes, plusieurs mécanisations ressortent :

Pour la récolte, il existe des rammasseuses de fruits, mais la pratique de récolte à la main reste courante. Au vu de l'impact des maladies sur les exploitations l'entretien est aussi mécanisé. Des atomiseurs d'agrumes, machines permettant de répandre les intrants sont utilisés.

Les fruits produits doivent correspondre à des standards pour pouvoir ensuite vendus. Dès la récolte, ils sont donc testés et triés avec des calibreuses. Ces machines permettent de s'assurer de la qualité du produit.

Le marché actuel est dominé par deux continents, l'Asie et l'Amérique (Selon les chiffres de Word Citrus Organization (WCO)). L'importance de l'Asie sur le marché mondial est indéniable puisque le continent est à l'origine de 51% de la production d'agrumes dans le monde. La Chine ressort comme leadeuse avec presque 42 millions de tonnes produits par an soit plus de 2 millions d'hectares de vergers. L'Inde quant à elle produit 12 millions de tonnes par an. Le continent américain au complet joue aussi un rôle clé dans le marché mondial, le Brésil est le deuxième plus gros producteur d'agrumes avec 19 millions de tonnes produits par an dont 75% est transformé. Les Etats-Unis eux sont à la quatrième place avec 7 millions de tonnes par an. C'est seulement à la cinquième place que l'on retrouve un pays européen l'Espagne avec un peu plus de 6 millions de tonnes par an.

L'état actuel du marché, comme décrit par la Word Citrus Organization, montre une opportunité importante pour le groupe Michelin. En effet, malgré une croissance de 125% de la production au cours de ces 30 dernières années, l'hémisphère nord devrait subir une baisse allant de 13 à 20%.

Des acteurs clé du marché européen seront impactés, l'Espagne devrait subir une baisse de 15,1%. Tandis que l'Italie devrait subir une baisse de 21%. Les Etats-Unis sont aussi touchés par cette estimation avec -5,2% de croissance à prévoir. D'autres pays, eux aussi acteurs clé de la production d'agrumes dans le monde, vont subir des baisses record, -27,2% pour la Turquie et -33% pour le Maroc. Les principales raisons de cette baisse évoquées par la WCO sont les impacts du réchauffement climatique notamment avec la variation des températures, mauvaises pour les vergers qui sont sensibles aux extrêmes. La montée en puissance d'autres produits tel que la mangue, le kwmi, le raisin de table et l'avocat inquiète aussi.

Le marché du fruit reste malgré tout dominé par les agrumes, notamment l'orange. Pour pouvoir surmonter ces enjeux, la WCO a émis des préconisations, améliorer la filière dans sa globalité (logistique, réponse à la demande en hausse). Mais surtout promouvoir les certifications durables qui mettent en avant la qualité des produits. Aujourd'hui, l'acquisition de ces certifications est essentielle pour se faire une place dans le marché, puisque de plus en plus de consommateurs se concentrent sur la qualité et l'éthique liées aux produits. En Europe, l'Italie est à l'origine de la production de 45% des agrumes avec l'appellation biologique.

La crise du Covid a fait ressortir une tendance dans l'agriculture, mais aussi pour les vergers d'agrumes, la forte nécessité de main d'œuvre. Pour exemple, la récolte des agrumes en Corse est effectuée par de nombreux travailleurs marocains qui viennent en France pour répondre à cette forte demande. Tout comme les vignobles, le travail est difficile tout autant que le recrutement, la simplification du travail est donc devenue nécessaire.

Approche géomatique

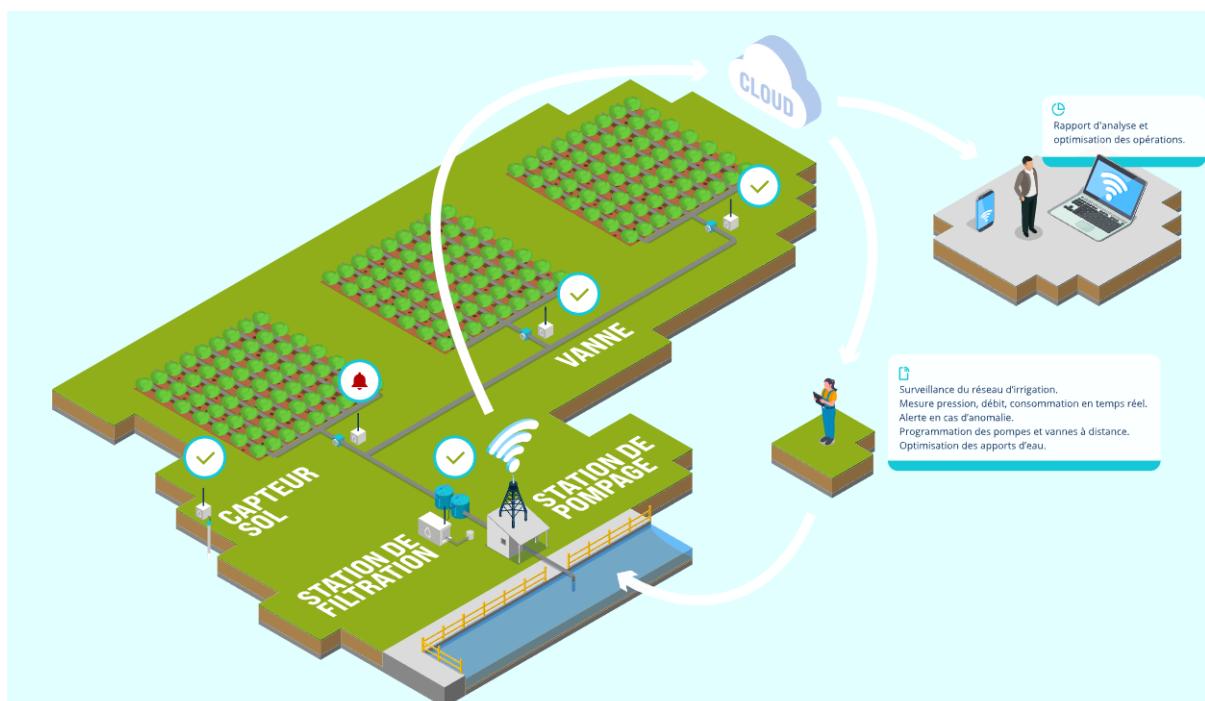
Un article paru dans Les Echos le 10 mai 2022, illustre la montée en puissance d'entreprises comme Telaqua, actrice de la mise en place d'avancées technologiques au sein d'exploitations agricoles. Cette start-up marseillaise, fondée en 2018 à Marseille, propose une gestion intelligente de l'irrigation qui s'inclue complètement dans la notion d'agriculture de précision. Comme l'explique l'article, l'entreprise a pu lever des fonds pour pouvoir développer son système à l'international. Ce qui démontre bien la forte demande des exploitants à pouvoir bénéficier de ce type de système dit intelligent, mais aussi les fortes tensions qui s'exercent sur les ressources.

Au travers des exemples que nous allons vous présenter, les SIG ont su s'inclure comme essentiels dans la mise en place de solutions efficaces pour le bon développement des agrumes.

La gestion de l'eau, aujourd'hui au cœur des problématiques dans l'agriculture, est largement facilitée par la mise en place de solutions visant à rendre la consommation plus intelligente. Plusieurs difficultés rencontrées dans la production d'agrumes comme le développement hétérogène de l'arbre et de ses fruits ou encore l'apparition de maladies sont accrues par une mauvaise irrigation. La mise en place d'une irrigation dite de précision est donc essentielle dans les vergers d'agrumes que ce soit pour les bienfaits de la plante ou pour des notions de régulation de ressources.

L'entreprise française *Telaqua* ® propose une solution qui permet de surveiller, automatiser et piloter n'importe quel système d'irrigation. En s'équipant de capteurs connectés, *Agromote* (Appareil connecté qui sert à contrôler plusieurs équipements en même temps : capteurs de pressions, tensiomètres, vannes ou pompes) et *Mano* (un manomètre connecté). L'entreprise crée un maillage de capteurs (un par vanne et un par hectare en moyenne) afin d'obtenir des données en temps réel sur l'ensemble de l'exploitation qui sont par la suite récoltées et analysées. Leur analyse permet de savoir le débit et la pression en tout temps, ce qui permet une connaissance du terrain très précis. Ce système génère aussi des alertes en cas de problèmes et permet la programmation de l'irrigation à distance grâce à l'application *Irrigeeasy*. Toutes ces fonctionnalités sont visibles sur la plateforme de surveillance créée dans le but de centraliser les données et rendre l'accès aux informations très simple en tout temps et tout lieu.

Le stress hydrique impactant beaucoup la production d'agrumes, il est essentiel de contrôler précisément l'irrigation, c'est pourquoi l'entreprise préconise l'utilisation de son système dans le cadre de la production agrumicole, mais aussi viticole. De plus *Telaqua* ® estime qu'avec cette installation 30% de la consommation en eau est économisée et que cela garantie une production "uniforme, saine et généreuse".



43/Fonctionnement du système d'irrigation par Telaqua (source : Telaqua-Smart Irrigation)

Sentek ® , une entreprise australienne, propose au mettre titre que Telaqua ® une solution permettant la mise en place de l'irrigation de précision. Le portail *IrriMAX Live* proposé par l'entreprise permet d'accéder à des données sur l'humidité, la salinité et la température du sol. Ces données sont récoltées par le biais de sondes et de capteurs (eux aussi proposés par l'entreprise) et peuvent se visualiser sous la forme de graphiques, cartes ou listes. D'autres options supplémentaires sont disponibles, comme l'ajout des données météorologiques pour connaître notamment l'évapotranspiration, les précipitations ou encore la vitesse du vent. L'ajout de données satellitaires (image haute résolution) est aussi possible, c'est l'indice de végétation qui est notamment exploité pour reconnaître l'état de santé des exploitations. À la différence de la plateforme de Telaqua ® ce système offre uniquement la possibilité de surveiller, de façon encore plus précise, et d'alerter. Cet outil est décrit comme un soutien à la prise décision en matière d'irrigation, ce qui apparaît comme essentiel pour les producteurs d'agrumes.

Dans la même idée d'évaluation des besoins en eau, *IIRRREC* (Indian River Research and Education Center) de l'Université de Floride a mis en place un système d'aide à la prise de décision pour l'irrigation des agrumes, *IrrigMonitor*. Similaire au portail IrriMAX Live, les données proviennent de capteurs de terrains, mais aussi sont aussi externes avec les données météorologiques. Le système américain permet plus généralement d'évaluer l'état hydrique du bosquet, mais aussi de façon plus spécifique d'évaluer les besoins en eau des arbres. L'entreprise israélienne *Netafim* ®, spécialisé dans les équipements d'irrigation, propose deux produits qui conviennent à la mise en place d'une irrigation de précision. Le premier est le *UniRam*, un goutte-à-goutte, tandis que l'autre modèle est le *SuperNet*, un micro-arroseur. Ces deux installations connectées s'adaptent à n'importe quel environnement, idéal pour les vergers, et permettent de distribuer équitablement l'eau sur l'exploitation.



44/*SuperNet* (à gauche) et *UniRam* (à droite), produits proposés par Netafim (source : Netafim - La solution pour les agrumes)

Le logiciel *MIKE +* proposé par l'entreprise *DHI* ® en partenariat notamment avec *ESR*/permet de modéliser et simuler les besoins en eau d'un espace. L'offre se concentre principalement sur les espaces urbains, mais s'intéresse également aux espaces fluviaux et leurs affluents ce qui apparaît pertinent dans le cadre de l'agriculture. En effet, grâce à cette solution, l'écoulement d'une rivière, le ruissellement des précipitations ou encore le transport sédimentaire de ceux-ci peut être connu. Par le biais de capteurs, une meilleure connaissance du terrain pour les producteurs est possible. D'autres produits sont proposés dans le cadre de la gestion de l'eau en milieu urbain avec une modélisation encore plus précise, le développement de solutions spécifiques aux vergers serait donc possible par le biais de cette entreprise.

La connaissance de l'état du verger est aussi une façon d'améliorer la productivité d'une exploitation. Une gestion dite intelligente est rendue possible par plusieurs innovations différentes :

L'entreprise *METOS* ® by *Pessl Instruments* propose le *Decision Support System*, un outil d'aide à la décision pour la gestion d'une exploitation. Estimant que les conditions climatiques influencent principalement la qualité et la quantité d'une production, ce système se concentre sur la surveillance météorologique en alertant avant l'approche d'une période de gel qui impactera beaucoup les vergers d'agrumes. Un jeu de capteurs est proposé pour pouvoir mettre en place cette analyse, un pluviomètre et des capteurs pour la température de l'air et l'humidité des feuilles.

Pour aller plus loin, d'autres outils sont proposés en option comme des capteurs d'humidité du sol ou un dispositif antigel. Des modèles de surveillance des maladies sont aussi proposés via la plateforme *FieldClimate*. Les maladies de la *Tache brune d'Alternaria* et de la *Chute des fruits après Floraison (PFD)* sont transmises par des champignons qui peuvent être combattus grâce à l'utilisation de fongicides. Pour prévoir leur application et montrer l'incidence des maladies, l'outil *ALTER-RATER*(système de points basé sur la météo) et la mise en place de capteurs (humidité des feuilles et précipitations) sont préconisés.



45/Modèle de suivi de terrain proposé par METOS® By Pessl Instruments
(source : METEOS France SAS)

Pheromed Fly® est une société sicilienne qui propose ses services depuis 2015 dans l'utilisation de drones et dans certains cas la télédétection. Depuis 6 ans, ils interviennent sur les plantations d'agrumes de l'exploitation *Bioagricola F.Ili Solarino* (producteur d'oranges principalement). Le bilan de ce partenariat est très positif puisque la production a pu accroître de 20%, l'utilisation de produits phytosanitaires a pu être réduite et l'exploitation produit moins de déchets.

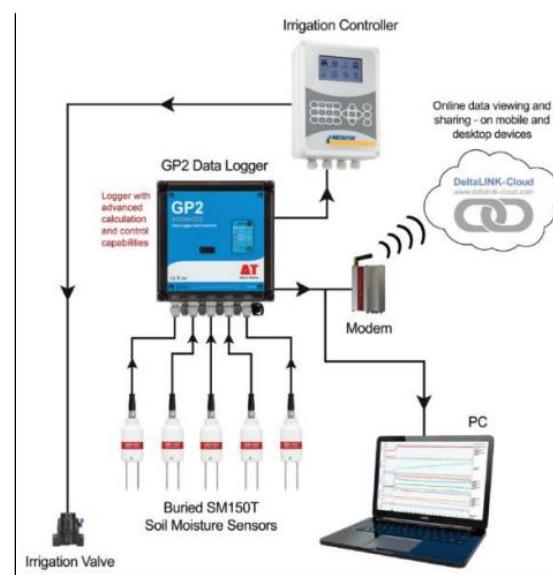
En pratique, le déploiement des drones, équipés de caméras multispectrales qui collectent des images de haute précision (>45 Mpx), permet de récolter des données plus précises qu'au sol. L'imagerie à 5 bandes donne l'évaluation de l'activité photosynthétique par le biais de l'indice de végétation (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index). Ces données sont ensuite analysées par l'entreprise ce qui permet de faire ressortir une cartographie à fine échelle, on peut connaître le bilan par arbre. Avec cette représentation, l'exploitant peut par la suite adapter la gestion de son verger.



46/Cartographie d'une exploitation réalisée par Pheromed Fly (source : Le Sillon - Drones en arboriculture fruitière)

Le projet *GoCitris*, initiative d'acteurs européens mais principalement espagnol, vise à mettre en place l'irrigation et la fertilisation de précision pour les agrumes. Ce projet se concentre sur deux zones, la communauté valencienne et en Andalousie. La surveillance par sondes, par drones, équipés de caméras hyperspectrales, et l'utilisation de la télédétection pour compléter les données terrestres et aériennes déjà acquises, est mise en place pour permettre de mieux connaître le terrain. Grâce à cela les zones défaillantes ressortent et la mise en place de changement à fine échelle est possible. De plus, cela permet de réduire l'utilisation de ressources comme l'eau et les intrants. Ce projet illustre bien la demande d'installations technologiques au sein des exploitations agricoles puisqu'il est développé de façon participative avec une multitude d'acteurs du secteur pour correspondre à leurs besoins.

Le projet *Bio4safe*, est une initiative européenne qui vise à rechercher des solutions pouvant améliorer la sauvegarde des ressources. Des modèles pour piloter de façon intelligente la quantité d'eau et de fertilisation sont donc proposés. C'est l'entreprise *Senmatic*, qui est mise en avant avec son système dont le fonctionnement est présenté plus bas. Le soutien par l'Union Européenne de ces projets marque la nécessité du terrain qui devient de plus en plus importante.

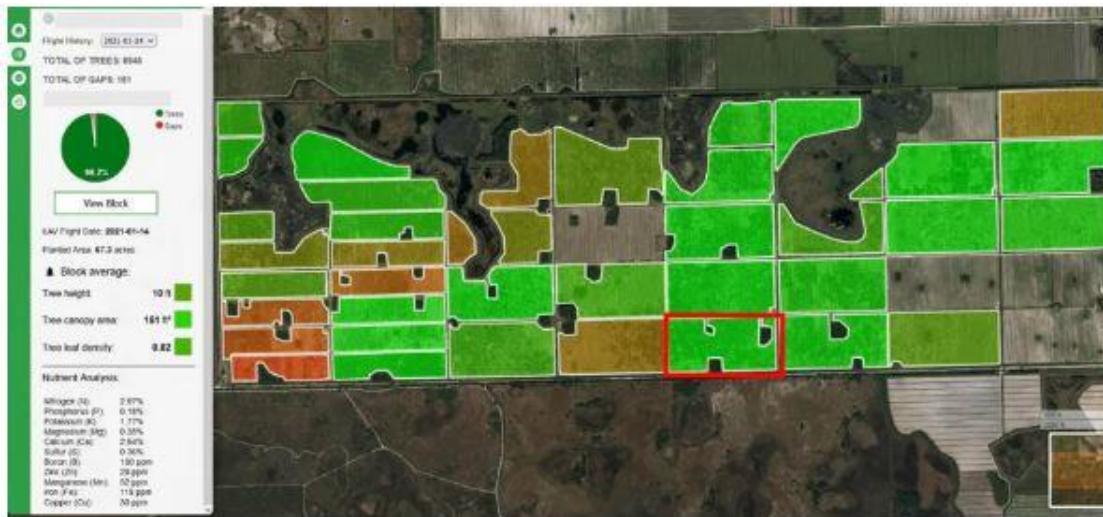


4.7/Fonctionnement du Precision Irrigation Package
(source : *Bio4safe Leaflet Precision Irrigation*)

L'objectif de l'application *Agroview*, est de tirer le meilleur parti des données obtenue par drone. Deux centres de recherches de Floride (SWFREC et IFAS) se sont associés pour développer cette application basée sur le cloud et l'IA. Le but principal est de proposer une application interactive, simple et accessible à tous, tout en conservant les informations.

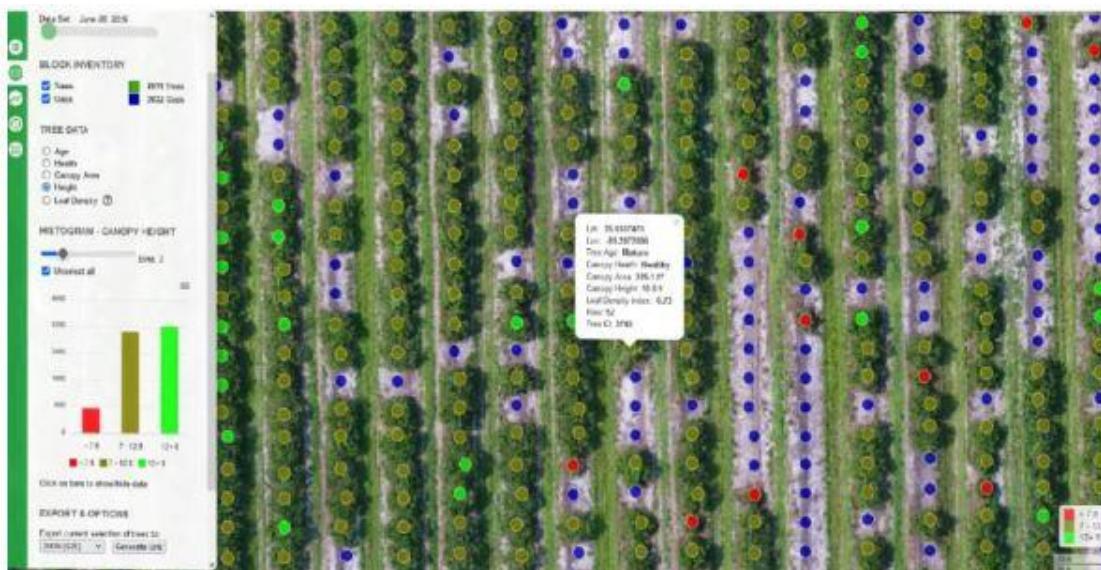
Les quatre principales fonctionnalités sont :

- Déetecter, compter et géolocaliser les arbres et les trouées d'arbres (espaces sans arbres).



48/Informations pratiques fournis aux producteurs par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)

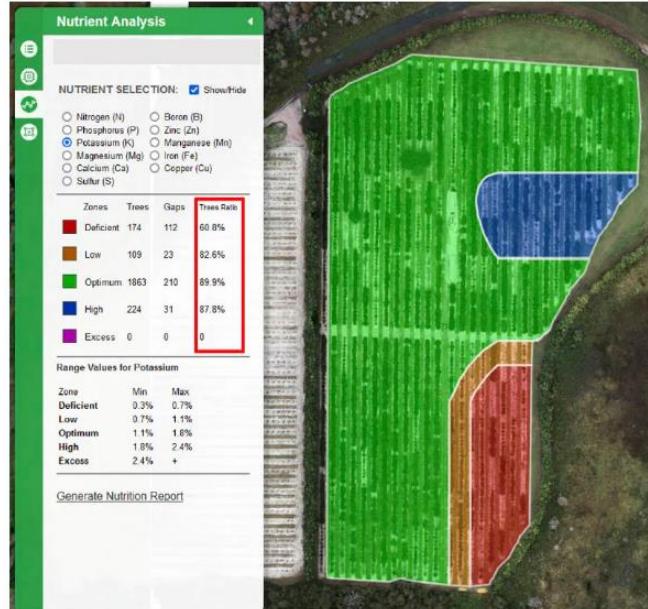
- Mettre en place un inventaire des plantes, en fournissant des données précises sur chaque arbre, la hauteur, la surface du canopée, la densité des feuilles notamment.



49/Renseignement par arbres fournis aux producteurs par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)

Dans cet exemple, les différents points font ressortir les tendances de l'exploitation. Les points bleus sont des lacunes, des endroits où il n'y a pas d'arbres et où l'exploitant a dû enlever les arbres morts ou non productifs. Le nuancier de vert et rouge vient aussi montrer les tendances de hauteurs des arbres, les plus petits sont souvent à côté des interstices et les plus grands ont plus tendance à être entouré.

- Évaluer le stress hydrique de chaque arbre
- Déterminer les concentrations d'éléments nutritifs de plantes et présenter des cartes de fertilité.



50/Carte du potassium développée par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)

Dans ce cas de figure, la concentration en potassium des plantes est étudiée pour en faire ressortir une carte de fertilité de l'exploitation. Ici, les zones situées au sud sont déficitaires de ce nutriment, tandis que le reste de l'exploitation a un niveau optimal, voire même élevé plus au nord.

Malgré tout, cette solution reste en développement et n'apporte pas toutes les réponses. En effet, il est estimé que la technologie de l'IA présente une erreur d'au moins 15%, même si l'application apparaît comme une opportunité très importante pour les producteurs des progrès restent à faire.

Capabilité Michelin

Michelin ressort comme ayant la capacité de s'implanter sur ce marché. En effet, au vu de son expertise dans la standardisation et de sa capacité à faire partie d'un grand réseau de production comme le marché agrumicole, les avantages pour les producteurs pourraient être importants.

Grille d'opportunité

S'implanter dans le domaine de l'agrum, ressort comme une opportunité importante pour le groupe Michelin, selon nos critères. En effet, les difficultés à recruter pour la récolte notamment et les défis futurs à relever sur le marché montrent un manque à gagner. Plus globalement, les bienfaits environnementaux, avec les économies de ressources et la monté en puissance des réglementations. Ainsi que les bienfaits économiques, aux vues du poids des agrumes sur le marché international, sont très importants pour les exploitations, l'appui d'une entreprise comme Michelin ne pourrait être qu'un atout.

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économiques	Développement Durable
●	● ●	● ●	● ● ●	● ● ● ●

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
● ●	● ● ●	● ● ●

19 / 24 ●
 Peu pertinent ●
 Pertinence Intermédiaire ● ● ●
 Pertinent ● ● ● ●

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Grille finale d'opportunité

Finalement, les scores des 6 secteurs agricoles vont de 16 à 19 sur 24, avec en tête les agrumes. En effet, malgré une concurrence accrue de par sa culture présente dans plus de 11 pays européens, la culture de l'agrumage semble être une opportunité pertinente par rapport à tous les autres critères de notre analyse.

Grille finale d'estimation du marché

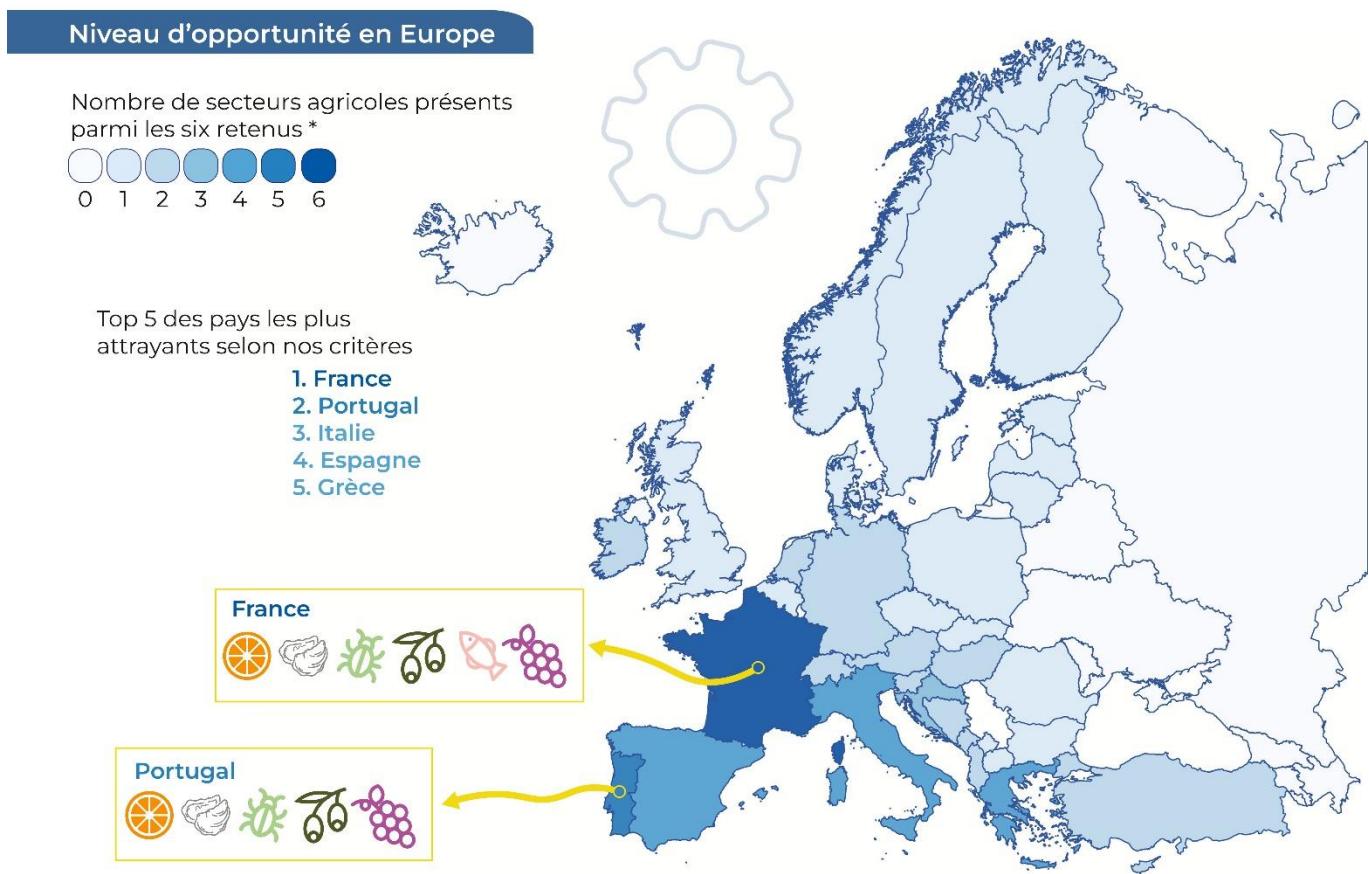
	Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeu économique	Développement durable	Difficulté technique	Difficulté sociale	Réglementation	
Orange	●	● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	19
Pomme	● ●	●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ●	● ●	18
Saumon	●	●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	18
Citron	●	●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	●	● ● ●	17
Vigne	●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	●	● ● ●	● ●	17
Oignon	● ●	●	● ● ●	● ●	● ● ●	●	● ● ●	●	16



51/Grille finale d'estimation du marché

Cartographie du niveau d'opportunité en Europe

Afin d'obtenir un niveau d'opportunité à l'échelle de l'Europe, nous avons établi un nouvel indicateur. Celui-ci est basé sur le nombre de secteurs étudiés présents dans chaque pays.



52/Carte du niveau d'opportunité en Europe

Cette cartographie permet de mettre en lumière la France et le Portugal, présentant au moins 5 de nos 6 secteurs agricoles sélectionnés. D'après nos critères, l'Europe occidentale apparaît comme plus attrayante pour l'implantation de l'entreprise Michelin.

Perspectives de la collaboration Michelin - SIGAT

Dans la perspective d'une poursuite de l'atelier professionnel Michelin au second semestre de l'année scolaire 2023-2024, nous avions pensé à un projet de création d'atlas.

Ce second atelier pourrait viser la création d'un outil cartographique aidant à l'analyse d'un secteur agricole. Pour cela, nous pourrions partir sur un atlas du potentiel agricole Européen et Nord-Américain, basé sur une méthodologie d'analyse du secteur. Nous pourrions partir de nos critères déjà établis, en les développant davantage. Ce secteur pourrait être choisi au préalable, grâce à ce rapport final. Ainsi, l'outil cartographique pourrait permettre à l'entreprise Michelin d'avoir une vue bien plus précise de l'état actuel du secteur choisi dans notre zone d'étude.

ANNEXES/FICHES

VIGNES

Une vigne est un « arbrisseau sarmenteux, grimpant, à fruits en grappes (raisin), cultivé pour ce fruit et pour la production du vin » (Le Robert). Cette plante est facilement identifiable dans le paysage à cause de leur taille homogène, de l'espacement régulier entre les plants et de leur accrochage aux piquets pour grandir.

Présentation de la culture

Type de paysages



COTEAUX

Vague de vignes



Margueriterie de vignes

Infos clés

Espagne, France, Italie, Etats-Unis

Les 4 plus grands producteurs mondiaux de vin

131,1 millions d'hL

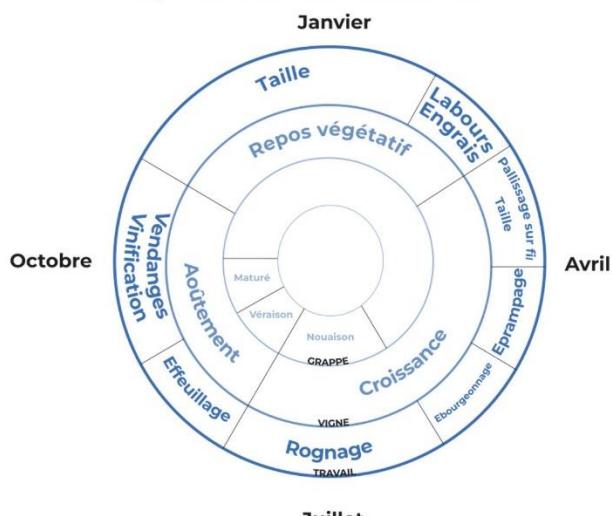
Production en 2022 de l'Espagne, de la France et de l'Italie

22,4 millions d'hL

Production en 2022 des Etats-Unis

Consommation locale de la production

Cycle de la culture



Situation actuelle

Les différentes techniques utilisées pour le travail de la vigne :

Manuelles :

- Outils de détail : (ex : sécateur pour la taille)

Mécaniques :

- Tracteurs porte-outils : transportent plusieurs outils (tracteurs multi-tâches)
- Tracteurs mono-tâche (ex : vendangeuse)

Pénurie de main-d'œuvre saisonnière : Le secteur fait face à un manque croissant de main-d'œuvre saisonnières, ce qui pourrait justifier un investissement accru dans l'automatisation.

Approche géomatique

Arrivée de l'IA et des objets connectés :
Forment des environnements numériques propres, automatisation croissante d'outils jusqu'alors au mieux mécanisés.

Outils autonomes :

Développement de systèmes télépilotés ou complètement autonomes pour l'ensemble des tâches liées à la culture de la vigne, soit l'analyse des sols, des plantes ou encore de la récolte.

Sécurité et sûreté croissante pour les machines .

Utilisation du RTK :
Technique précise de positionnement par satellite, comme le GPS, qui permet d'obtenir des résultats avec une précision au centimètre près.

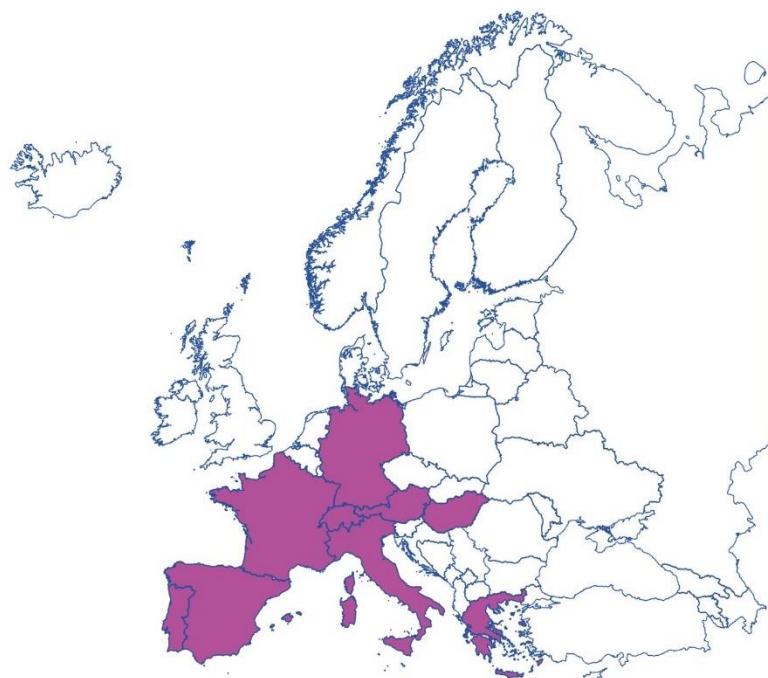
Utilisation : capteurs, anti-collision, Lidar

Capabilités de Michelin

Rapidité d'implémentation : Michelin a la capacité de s'intégrer rapidement dans le secteur viticole, grâce à son expertise en standardisation, déjà bien établie dans d'autres domaines.

Gestion efficace des flux : La technologie de Michelin pourrait être adaptée pour gérer en quasi temps réel une flotte de robots opérant de manière synchronisée dans les vignobles.

Cartographie de l'implantation en Europe



Entreprises sur le marché



Grille d'estimation du marché

17 / 24

Peu pertinent
Pertinence Intermédiaire
Pertinent

Concurrence	Mécanisation actuel	Rentabilité	Enjeux économique	Développement Durable
1	2	3	4	2

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
1	3	2



INSECTES



Un insecte est un animal invertébré appartenant au groupe des arthropodes. C'est le taxon le plus diversifié sur Terre avec plus d'un million d'espèces.

Ils sont présents partout sur la Terre et leur période d'activité varie en fonction des saisons.

Exemples

- Coléoptères : hannetons, présents d'avril à juin
- Diptères : mouches, présentes de mai à octobre
- Hyménoptères : abeilles mellifères, présentes d'avril à octobre

Les insectes ravageurs :

- Phytophages : se nourrissent des végétaux
- Suceurs-piqueurs : sucent la sève, et transmettent des agents pathogènes

- * Pertes économiques
- * Utilisation de produits phytosanitaires

Chiffres clés

40 000

espèces répertoriées à ce jour

1 million

d'espèces contribuent à 90% de la pollinisation

30 000 tonnes

de miel récoltées en France, en 2022

69 milliards €

estimation des dégâts causés par les insectes nuisibles

Diminution de **40%** du nombre d'abeille en Europe depuis 2010

Les insectes auxiliaires :

- Polliniseurs
- Régulateurs biologiques des insectes ravageurs

* Bénéfices économiques

* Diminution de la quantité de produits phytosanitaires



Situation actuelle

- Protection des cultures principalement via des composés chimiques comme les insecticides.
- Insecticides ciblant les œufs, larves et insectes adultes des ravageurs (phosphore, dioxyde de carbone, pyréthrinoïdes, chlore, benzoylurées).
- Pesticides pour la préservation des récoltes durant le stockage.
- Solutions alternatives : mécaniques (filets de protection, machines nettoyeur-séparateur) et génétiques (OGM).
- Rôle régulateur des insectes dans la nature malgré leur nuisance pour les humains

Disparition des insectes et de leur rôle régulateur : risques pour les insectes liés aux produits phytosanitaires dangereux pour l'homme, conduisant à la recherche de nouvelles technologies moins nocives pour l'environnement et les humains.

Approche géomatique

- Combattre les ravageurs :**
- Drones tueurs de frelons asiatiques (Drone Spray Hornet®) ;
 - Pièges à insectes connectés (Cap Trap®) ;
 - Comptage automatique des larves de mouches (Polarvae®).



- Aider les auxiliaires :**
- Ruche connectée (Label Abeille®) ;
 - Balance connectée sous la ruche (BeezBee®) ;
 - Robot pollinisateur (Stickbug®) ;
 - Cartographie des espaces favorisant les polliniseurs à protéger (bords de route, parcs publics...).

Utilisation du GPS, des données satellitaires, du LIDAR, données modélisées, IA...



Capabilités de Michelin

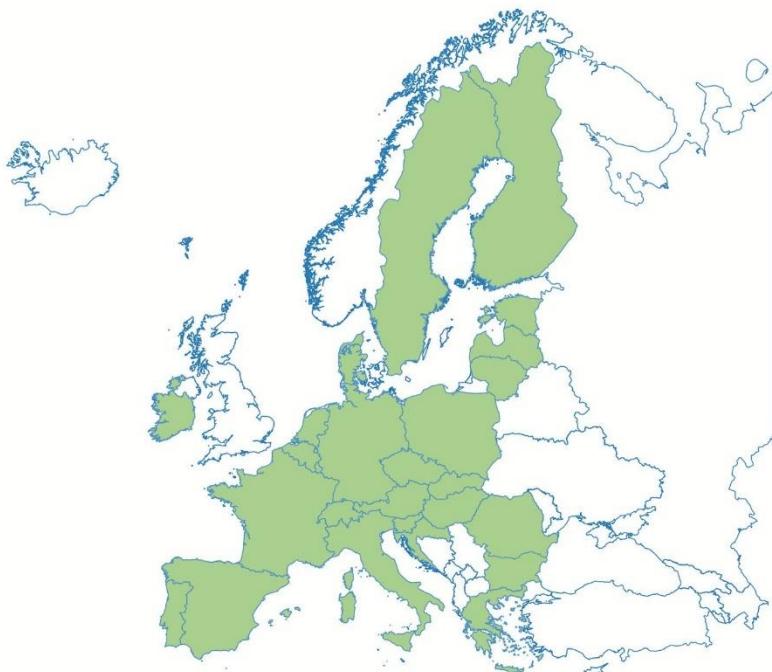
Expertise en Robotique et Gestion des Flux : Michelin intègre la robotique pour optimiser la gestion des flux, crucial en agriculture de précision.

Modèle Global d'Usines Connectées : Application des méthodes de gestion efficaces de Michelin, développées dans ses usines à l'échelle mondiale, au secteur agricole.

Adaptabilité au Secteur Agricole : Transposition de la gestion des flux de Michelin dans la gestion des intrants pour chaque arbre dans un verger, similaire à la gestion des pôles d'assemblage dans une usine.

Innovation en Agriculture de Précision : Cette stratégie marque une avancée significative dans l'optimisation des ressources et la précision des opérations agricoles.

Cartographie de l'implantation en Europe



Entreprises sur le marché

trapview

cap²⁰²⁰

FaunaPhotonics

GREEN CONNECT

LABEL ABEILLE

dilepix

Grille d'estimation du marché

17 / 24

Peu pertinent
Pertinence intermédiaire
Pertinent

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement durable

Difficulté technique	Difficulté sociale	Réglementation



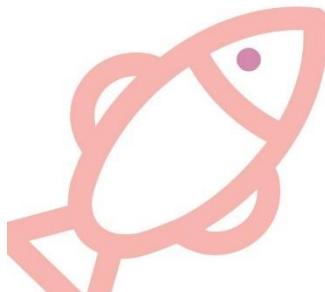
SALMONIDÉS



Le saumon et la truite sont des poissons de la famille des salmonidés. On recense aujourd'hui 11 espèces de saumons à travers le monde.

Ce grand poisson migratoire est réputé pour être un aliment très important dans de nombreux pays, cela explique sa forte industrialisation ces dernières décennies.

Présentation de la culture



Chiffres clés

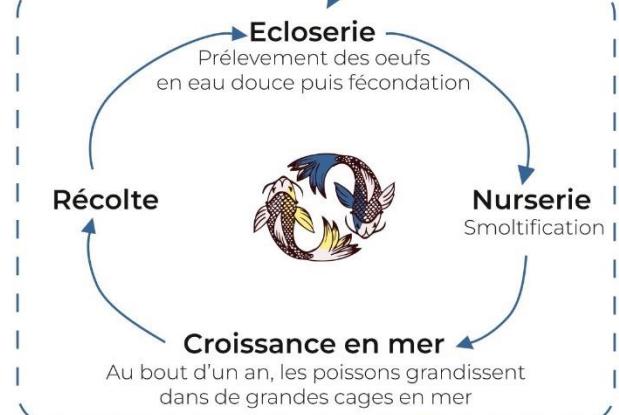
Norvège, Chili, Écosse et Canada

sont les 4 principaux producteurs mondiaux de saumons d'élevage

63% de la production de salmonidés sont destinés à la consommation

37% restants sont dédiés au repeuplement des rivières, à la pêche, loisir et au négoce

95% des exportations norvégiennes viennent de l'aquaculture



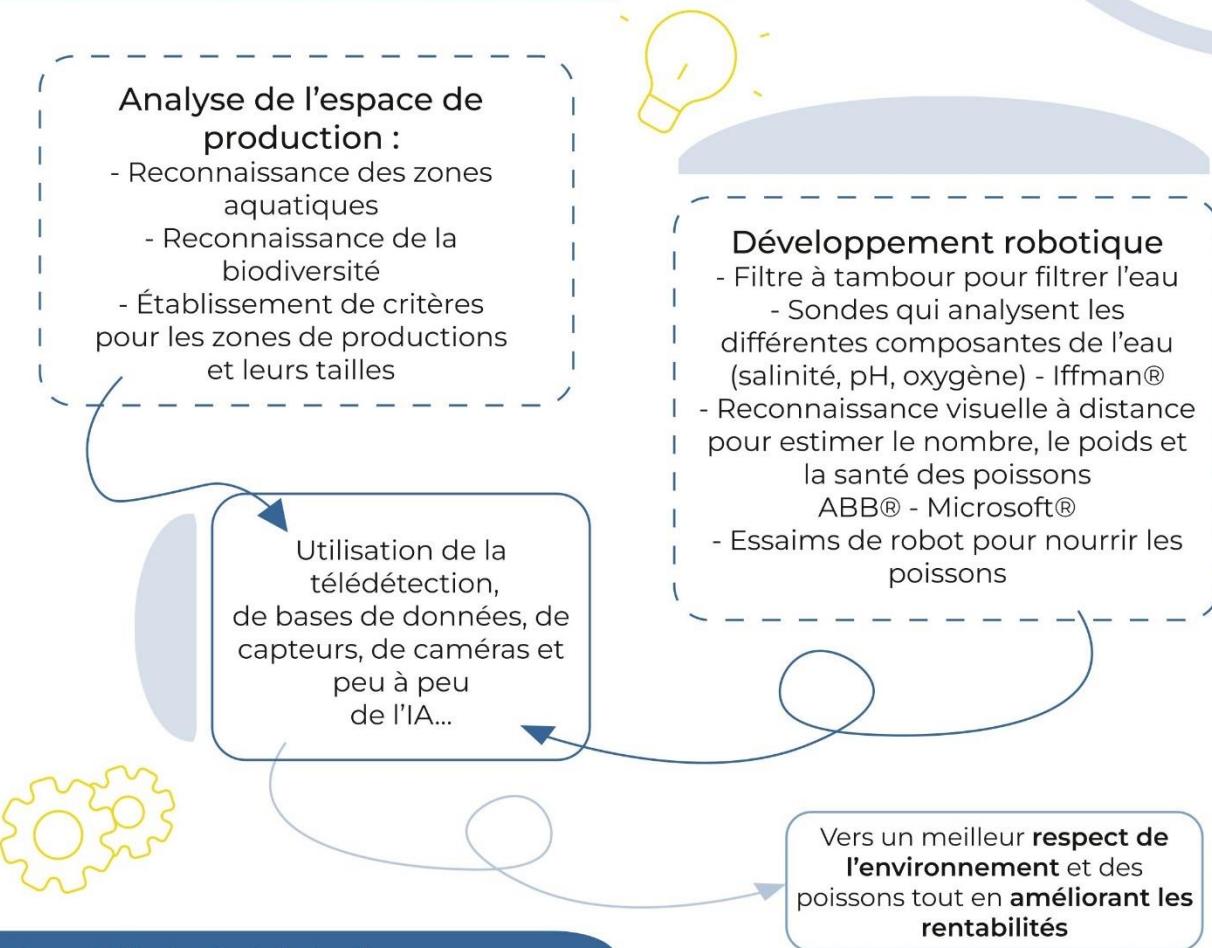
Situation actuelle

Les différentes techniques que l'on trouve actuellement en salmoniculture sont souvent celles utilisées dans la pisciculture, avec par exemple :

- pompes pour dévasser les espaces de production
- épurateurs d'eau
- la distribution de nourriture

Le secteur est aujourd'hui en baisse importante en France, représentant une opportunité forte pour le groupe Michelin. De nombreuses nouvelles techniques, que nous verrons par la suite, commencent à être adoptées dans des pays voisins comme la Norvège. Il y a donc un marché à récupérer et à relancer vers une croissance positive. Ces nouvelles techniques sont en plus bénéfiques pour l'environnement, mais aussi pour les poissons au cœur de cette production.

Approche géomatique



Capabilités de Michelin

Application à la Conduite de Corridors de Saumons : Utilisation possible de cette expertise en cartographie pour identifier et faciliter les axes de communication des saumons, améliorant leur circulation.

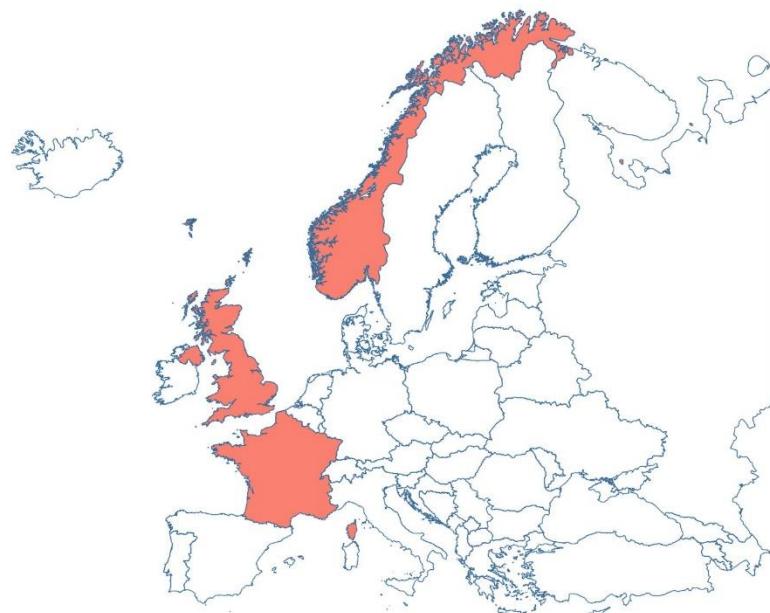
Impact Environnemental : Cartographie industrielle des cours d'eau pour identifier les obstacles tels que barrages et ponts, visant à optimiser l'écologie aquatique.

Capabilités de Michelin

Robotisation dans le Secteur du Poisson : Michelin a le potentiel de s'impliquer dans la robotisation croissante du secteur de la pêche, tirant parti de sa capacité de conception existante.

Augmentation de la Consommation de Poissons : Anticipation de l'accroissement de la demande de poissons d'ici 2030, soulignée par un rapport de la FAO, offrant une opportunité pour Michelin de contribuer à ce secteur.

Cartographie de l'implantation en Europe



Grille d'estimation du marché

18 / 24

Peu pertinent
Pertinence intermédiaire
Pertinent

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement Durable
1 circle	1 circle	3 circles	2 circles	3 circles

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
2 circles	3 circles	3 circles



HUITRES



L'huître est un mollusque marin vivant dans l'eau salée ou saumâtre. L'huître fait partie de la famille des Ostreidae. L'ostréiculture (culture de l'huître) est exercée toute l'année dans les pays suivants : Chine, Corée du Sud, Japon, Amérique du Nord, France, Australie, Irlande, Canada, Nouvelle Zélande et Portugal.

Exemples

- *Ostrea Edulis* (Huître plate) - France
- *Crassostrea Angulata* (Huître creuse), Portugal
- *Crassostrea Gigas* (Huître creuse), Japon
- *Virginica*, USA et Canada
- *Margaritacea*, Afrique du Sud et Madagascar
- *Sinuata*, Nouvelle Zélande

Les étapes d'élevage

1 Le captage

- collecter les naissain
- installer des collecteurs durant 4 à 8 mois
- décrocher les naissains avec une machine
- mettre les naissains sous poches sur des tables en mer

2 Élevage des huîtres

- virer les poches (2 à 3 ans)
- changer les poches pour les trier par taille

3 Finition

- laver, trier, calibrer, ranger à plat



Chiffres clés

4,6 millions de tonnes
production mondiale
en 2020

5e producteur mondial
L'Europe-27 a cultivé 98 000 tonnes
d'huître en 2020

2%
de la production mondiale
en Europe-27.

5 500 tonnes
importations extra-EU en 2021
1 500 tonnes en 2012

8 500 tonnes
exportations extra-EU en 2021
2 500 tonnes en 2012

83% de la production européenne a
lieu en France (81 000 tonnes) en
2020.

En seconde position, on retrouve
l'Irlande avec une production de 9 475
tonnes en 2020 représentant **10%** de
la production européenne.
Les autres producteur d'huîtres en
Europe sont le Portugal à **4%** et les
Pays-Bas à **2%**.



Situation actuelle

La culture des huîtres augmente depuis quelques années notamment sur le continent asiatique. Toutefois, l'Europe et plus particulièrement la France cultive une grande partie des huîtres. Il serait pertinent de développer davantage la culture de l'huître en France et dans les pays européens côtiers.

Pour accroître le secteur ostréicole et ainsi étendre les exportations, il faudrait :

- obtenir un maximum d'informations sur les environnements, conditions favorables et défavorables des huîtres;
- identifier toutes les mécanisations utilisées lors du cycle de culture;
- faciliter les mouvements et déplacements des ostréiculteurs pour améliorer leurs conditions de travail.

Approche géomatique

Analyser la distribution géographique des principaux gisements sauvages d'huîtres :

- inventaire quantitatif;
- inventaire cartographique des habitats marins.

Systèmes embarqués :
GPS, SIG, écho-sondeurs et autres sondes pour mesurer la fluorimétrie, la température, le pH, la salinité, l'O₂ et NTU.

Les solutions :

- SIG;
- validations terrains;
- images aériennes;
- télédétection;
- analyses thématiques sous SIG;
- automatisation de traitements d'analyse de photos aériennes;
- liaison du SIG avec une base de données historique.

Capabilités de Michelin

Expertise en cartographie : Michelin détient déjà des capacités dans la cartographie, il serait possible d'établir une cartographie fine des mollusques marins.

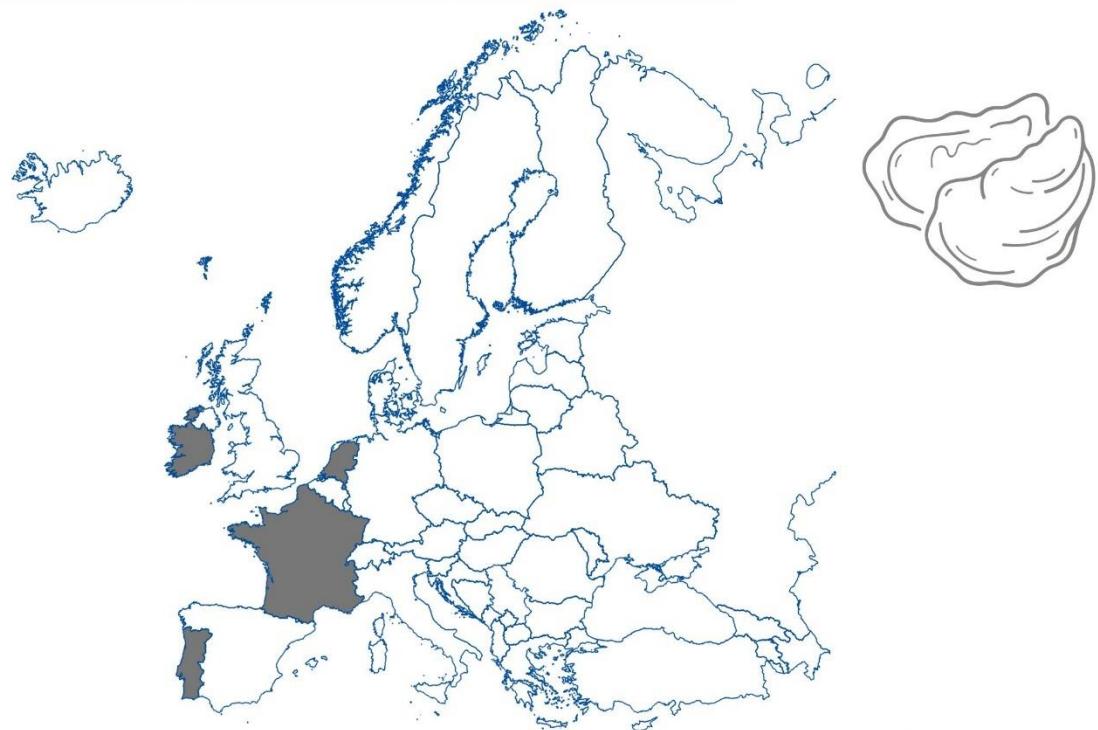
Gestion de base de données : Utiliser les technologies de pointe pour optimiser la quantité d'informations concernant les huîtres et leurs habitats.

Production de solution liée à l'analyse de données en autonomie : Développer des solutions de récoltes de données.

Améliorer les conditions physiques des ostréiculteurs : Explorer les mécanisations pour réduire les Troubles Musculo-Squelettiques. Plusieurs prototypes sont en phase de démonstration commerciale comme le Roll'Oyster® - SEADUCER mais peu d'entre eux sont sur le marché.



Cartographie de l'implantation en Europe



Entreprises sur le marché



Grille d'estimation du marché

16 / 24

Peu pertinent
Pertinence intermédiaire
Pertinent

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économique	Développement Durable
2 circles	1 circle	3 circles	3 circles	3 circles

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
1 circle	3 circles	1 circle



OLIVES



L'olive est un fruit caractéristique de la région méditerranéenne, riche en matière grasse. Elle est cultivée la production d'huile d'olive ou la consommation directe sur table.

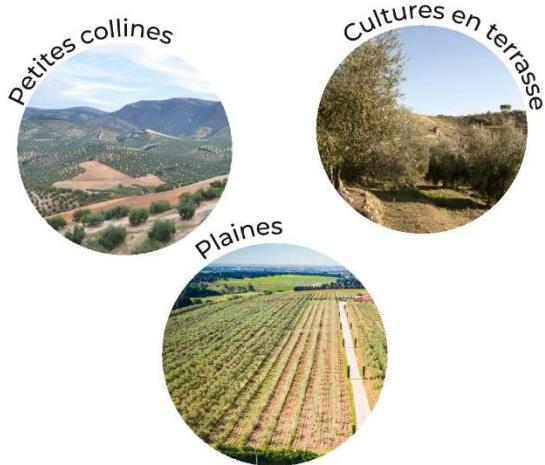
La majeure partie de la production et consommation mondiale d'olives est localisée en Méditerranée. Les circonstances actuelles et à venir laissent supposer que son marché puisse muter d'ici les prochaines années.

Cette hypothèse est d'autant plus probant que certains pays accusent un manque d'intérêt et de moyen pour la pleine et saine exploitation de l'olive.

Exemples

- | L'olive est transformée en huile, ou directement consommée. On se sert également de sa matière grasse pour divers usages (soins de la peau etc...)
- | Sensible au réchauffements climatiques et aux intrants chimiques. L'oliver est toutefois un arbre rustique, pouvant produire pendant un siècle.

Types de paysages



Chiffres clés

Espagne, Italie et Grèce

Les 3 plus grands producteurs mondiaux et représentant 53% de la consommation mondiale

Japon, USA, Brésil

Principaux pays hors Union Européenne importateurs

98% Des cultures oléicoles sont sur le pourtour de la Méditerranée, 43% en Afrique, 40% en Europe, 15% au Levant.

Hausse de 130 % du cours de l'olive

Entre 2022 et 2023 et conséquences fortes sur les pays consommateurs

Cycle de la culture



1 Plantation : Tuteurage des arbustes. Cette phase est effectuée manuellement.



2 Floraison : de mai à juin, les fruits apparaissent au mois de juin et se colorent en septembre. Celle-ci se fait au goutte à goutte.



3 Récolte : de septembre à octobre pour l'olive de table, de novembre à janvier pour les olives à huile. Tâche mécanisée.



Situation actuelle

Les différentes techniques utilisées pour le travail de l'oliver:

Manuelles :

- Outils de détail : (ex : sécateur pour la taille)

Mécaniques :

- Tracteurs : Pour aider aux opérations de tuteurage et de plantation, l'application d'intrants impossibles à appliquer grossièrement (sensibilité des feuilles).

- Tracteurs et filets : Pour la récolte

Le premier problème retourné par le plus grand nombre d'exploitant et de consommateurs autour de l'olive est la sécheresse et la hausse excessive des prix dûe à la spéculation de la bourse.

Approche géomatique

Batterie de capteurs sur les parcelles et arrivée de l'IA :
Optique d'une micro gestion des plantes pour l'économie de l'eau en premier lieu et des intrants chimiques

Outils autonomes :
Possibilité de gérer à distance voire d'automatiser le suivi et la croissance des oliviers

Technologie simple mais massivement déployée pour une gestion à l'échelle de l'individu.

Culture avec arbres en pots asservis à un système d'information

Economie d'eau et diminution des produits chimiques

Capabilités de Michelin

Rapidité d'implémentation : Sur le territoire national, déjà l'olive remplace la vigne mais avec des méthodes conventionnelles. Michelin dispose de moyens pour mettre en place des exploitations pilotés grâce à la technologie.

Gestion efficace des flux : La capacité industrielle et technologique de Michelin se trouve très à propos pour le déploiement de système de pilotage centralisé voire automatisé d'oliveraies.



Cartographie de l'implantation en Europe



Entreprises sur le marché



BÜNGE



Grille d'estimation du marché

18 / 24



Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économiques	Développement Durable
● ●	●	● ● ●	● ● ● ●	● ● ●

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
● ●	● ●	● ●



AGRUMES



L'agrume désigne à la fois une famille de fruits, les rutacées, appartenant au genre citrus, avec des caractéristiques précises : une chair pulpeuse, la pulpe, entourée d'un écorce appelé zeste. Mais c'est aussi un terme collectif qui désigne les arbres qui portent ces fruits. L'agrume est le produit horticole le plus commercialisé au monde.

Exemples

Les agrumes les plus consommés :

Oranges,
Citrons,
Citrons verts,
Pamplemousses,
Mandarines, Clémentines
Pomélos et Kumquats.

Utilisation pour le marché frais
Utilisation pour la transformation
(jus et huiles essentielles)

Type de paysage



Espèces subtropicales sensibles au gel et aux fortes températures



Chiffres clés

Chine, Brésil, Inde, Etats Unis, Espagne

Les 5 plus grands producteurs mondiaux d'agrumes

158,5 Mt

D'agrumes produits dans le monde en 2021

30%

Des agrumes sont transformés

125 % de Croissance

Évolution de la production au cours de ces 30 dernières années

Cycle de la culture

1 Plantation : Entre 5 à 7 ans après, c'est le début de la vie reproductive de l'arbre. Il peut rester dans cette phase entre 30 et 40 ans, après sa production décline.

2 Floraison* : De Mars à Juillet
Les fleurs se transformeront en fruit (nouaison de l'orange) ensuite l'engraissement débutera : les caractéristiques de la variété apparaissent (goût, couleur, acidité, taille)

3 Récolte* : Commence au début de l'automne et peut durer jusqu'à 6 mois. La maturation doit être optimale avec une peau asséchée.

* Temporalité des exploitations situées en Europe



Situation actuelle

Malgré une forte croissance du marché l'Organisation mondial des agrumes (WCO) estime que l'hémisphère Nord subira une baisse de 13 à 20% :

Espagne : **-15,1%** ; Italie : **-21%** ; Etats-Unis : **-5,2%** ; Maroc : **-33%** ; Turquie : **-27,2%**

Les raisons principales : les impacts du réchauffement climatique ; l'augmentation d'autres produits (mangue, kiwi, raisin de table, avocat).

Malgré tout, l'agrumé reste le leader sur le marché mondial des fruits. Cette estimation est révélatrice des enjeux à surmonter sur le marché comme le précise la WCO :

- Améliorer la filière de façon globale (logistique, réponse à la demande en hausse, ...)
- Promouvoir les certifications durables

51% des agrumes sont produits en Asie, le marché européen est donc soumis à une forte concurrence. Cependant en Europe les productions sont gages de qualité, l'Italie produit 45% des agrumes biologiques du monde, Michelin a donc tout intérêt à s'intéresser à ces espaces.

Approche géomatique

L'irrigation de précision au sein des vergers :

- Modélisation et simulation des besoins en eau (MIKE+ par DHI ®)
- Surveillance des systèmes d'irrigation à distance avec l'utilisation de données en temps réel (Telaqua ®, Sentek ®)
- Application «IrrigMonitor» pour le suivi de l'état hydrique des arbres (IRREC)



Optimisation de la gestion :

- Analyse des exploitations pour connaître leur développement à échelle fine (Pheromed Fly ®, projet GoCitrics)
- Application «Agroview» d'aide à la décision (Université de Floride)
- Pilotage intelligent de la quantité d'eau et de la fertilisation (projet Bio4safe)

Utilisation des données satellitaires, des données en temps réel, des drones, de capteurs, de sondes et développement de l'IA...



Capabilités de Michelin

Expertise en Robotique et Gestion des Flux : Michelin intègre la robotique pour optimiser la gestion des flux, cruciale en agriculture de précision.

Modèle Global d'Usines Connectées : Application des méthodes de gestion efficaces de Michelin, développées dans ses usines à l'échelle mondiale, au secteur agricole.

Adaptabilité au Secteur Agricole : Transposition de la gestion des flux de Michelin dans la gestion des intrants pour chaque arbre dans un verger, similaire à la gestion des pôles d'assemblage dans une usine.

Innovation en Agriculture de Précision : Cette stratégie marque une avancée significative dans l'optimisation des ressources et la précision des opérations agricoles.

Cartographie de l'implantation en Europe



Entreprises sur le marché



Grille d'estimation du marché

19 / 24

Peu pertinent
Pertinence intermédiaire
Pertinent

Concurrence	Mécanisation actuelle	Rentabilité	Enjeux économiques	Développement Durable
1 wheel icon	2 wheel icons	2 wheel icons	3 wheel icons	3 wheel icons

Difficulté Technique	Difficulté sociale	Réglementation
2 wheel icons	3 wheel icons	3 wheel icons



Webographie

Secteurs d'études

Vignes

- « Calendrier des travaux de la vigne, mois par mois ». La Revue du vin de France, <https://www.larvf.com/les-saisons-du-vignoble,10355,1104937.asp>. Consulté le 9 janvier 2024.
- TRAXX, “L’enjambeur autonome compact pour la vigne étroite”, <https://exact-robotics.com/produit/traxx/>
- Vitisphère, “Face à l’explosion des coûts de mécanisation au vignoble, des économies sont possibles”, 2023 <https://www.vitisphere.com/actualite-98649--face-a-lexplosion-des-couts-de-mecanisation-au-vignoble-des-economies-sont-possibles.html>
- “Guidage et autoguidage RTK : un panel de solutions pour une plus grande précision”, Perspectives Agricoles, N°370, Septembre 2010. Disponible sur : https://www.perspectives-agricoles.com/sites/default/files/imported_files/370_2787406583296596256.pdf
- Eccevino, “Les vins en Europe”: <https://www.eccevino.com/cours/les-regions-viticoles-en-europe/>
- Géoconfluence, “Géomatique”. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/geomatique>
- Chambre d’Agriculture de l’Ardèche, IFV, MSA. “Utilisation de drone pour le traitement des vignes en forte pente, Expérimentations sur l’utilisation de Drone.” Disponible sur : https://extranet-puy-de-dome.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Auvergne-Rhone-Alpes/07_Utilisation-drone-traitement-vignes-forte-pente_2022.pdf
- FranceAgrimer, “FRANCE 2030 - GUICHET : RÉDUCTION DES INTRANTS PHYTOPHARMACEUTIQUES ET DES ENGRAIS DE SYNTHÈSE.” 2022. <https://www.franceagrimer.fr/Accompagner/France-2030-Souverainete-alimentaire-et-transition-agroecologique/France-2030-Agriculteurs/France-2030-Guichet-Reduction-des-intrants-phytopharmaceutiques-et-des-engrais-de-synthese>
- Domaine André Brunel, “Drones pour l’agriculture : pourquoi les utiliser ?” <https://domaine-andre-brunel.fr/drones.pour.l.agriculture.pourquoi.les.utiliser-62-154.php>
- Chouette, “Nos services”. <https://www.chouette.vision/nos-services/>
- Vitisphère, “La modulation de pulvérisation par Lidar séduit John Deere” <https://www.vitisphere.com/actualite-99914-la-modulation-de-pulverisation-par-lidar-seduit-john-deere.html>
- Anice Cheraïet. Modélisation expérimentale et statistique des relations entre caractéristiques morphologiques de la vigne et dépôts de pulvérisation : application à l’agriculture de précision, 2020. <https://theses.hal.science/tel-03998317v1/document>
- Vitisphère, “De l’IA pour mieux tailler la vigne”, 2023 <https://www.vitisphere.com/actualite-100378-de-lia-pour-mieux-tailler-la-vigne.html>
- Theophile Gentilhomme, Michael Villamizar, Jerome Corre, Jean-Marc Odobez. “Towards smart pruning: ViNet, a deep-learning approach for grapevine structure estimation”. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 207, 2023 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923001242>
- Les Echos; “Naïo Technologies augmente sa production de robots agricoles”, Nov 2023 : <https://www.lesechos.fr/thema/articles/naio-technologies-augmente-sa-production-de-robots-agricoles-2030001>
- BRAUN Maschinenbau, “Accueil” <https://braun-maschinenbau.info/fr/> (Consulté le 26/12/2023)
- BRAUN Maschinenbau, “CATALOGUE 2023, Le système modulaire BRAUN, Smart Viticulture made in Germany”, 2023. Disponible sur : https://braun-maschinenbau.info/wp-content/uploads/BRAUN_Catalogue2023_FR_23-01-24_compressed.pdf
- Pellenc, “Le groupe”. <https://www.pellenc.com/fr-fr/le-groupe>
- Sabi Agri, “L’entreprise”. <https://www.sabi-agri.com/lentreprise/>
- Ouest France, “Alpo : le tracteur électrique, sobre et robuste”, 2019. Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/economie/agriculture/essais-agricoles/alpo-le-tracteur-electrique-sobre-et-robuste-6225456>
- Vitibot, “Qui sommes nous”. <https://vitibot.fr/entreprise/vitibot-qui-sommes-nous/>
- Naïo Technologie <https://www.naio-technologies.com/>
- La French Tech 2030. <https://lafrenchtech.gouv.fr/fr/programme/french-tech-2030/>
- Vitisphère, “Faute de main-d’œuvre, le relevage des vignes se mécanise”, 2022. <https://www.vitisphere.com/actualite-96848--faute-de-main-doeuvre-le-relevage-des-vignes-se-mecanise.html>
- Magnum Institute, “Le marché du vin en Amérique du Nord”, date inconnue. <https://magnum-institute.fr/course/le-marche-du-vin-en-amerique-du-nord/>
- Magnum Institute, “Le marché du vin en Europe”, date inconnue. <https://magnum-institute.fr/course/le-marche-du-vin-en-europe/>
- Arnoud P., “Paysages de la vigne”, Géoconfluences, 2004, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/paysages-de-la-vigne>
- Les cahiers itinéraires d’itv France, “Le vignoble dans le paysage”, Novembre 2002, https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2020/01/Itin5_vignobletpaysage_part1.pdf

Insectes

- Activer l'économie circulaire, « Comment une économie circulaire pourrait sauver les abeilles ? », 26/03/2019, URL : <https://activer-economie-circulaire.com/tribune/economie-circulaire-sauver-abeilles/>
- Actu-Environnement, « Le potentiel de pollinisation des territoires européens cartographié », 28 octobre 2013, URL : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/pollinisateurs-services-ecosystemes-roele-agriculture-production-19804.php4>
- ADA FRANCE, INTERAPI. « Synthèse : Estimation de la production de miel 2022 », le 21 octobre 2022, [PDF en ligne], 7 p. , URL : https://www.adafrance.org/wp-content/uploads/2022/11/VF_Synthese-Production-miel-2022-ADA-France_21-10-22-2.pdf
- ALRIC, Jean-Yves. « Agriculture : ce robot va-t-il remplacer les abeilles ? », Pressecitron, le 6 novembre 2021, URL : <https://www.presse-citron.net/agriculture-ce-robot-va-t-il-replacer-les-abeilles/>
- AUJARDIN.INFO, « Bienvenue dans l'ère où les drones remplacent les abeilles ! », URL : <https://www.aujardin.info/fiches/bienvenue-dans-drones-replacent-abeilles.php>
- « balance pour ruche ». beeZbee, <https://www.beezbee.fr>
- COTTARD, Christine. « Les pesticides encore appelées produits phytosanitaires », Institut français de l'éducation, dernière modification le 25/03/2008, URL : <https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/Ressources/pesticides>
- DILEPIX, Comptage automatique des larves en quelques secondes, URL : <https://www.dilepix.com/fr/performances-elevages/insectes/comptage-larves>
- DUMAIN, Audrey. « Criquet pèlerin en Afrique : "Il ne faut pas le sous-estimer, il peut s'attaquer à toute la végétation" », France Culture, 15 février 2020, 6 minutes, URL : <https://www.radiofrance.fr/franceculture/criquet-pelerin-en-afrique-il-ne-faut-pas-le-sous-estimer-il-peut-s-attaquer-a-toute-la-vegetation-7339890>
- DURAND, Emilie. « L'agriculture est responsable du déclin des insectes », DECODAGRI, le 2 septembre 2021, URL : <https://decodagri.fr/l-agriculture-aussi-est-responsable-du-declin-des-insectes/>
- « Dropcopter | Aerial Pollination of Crops | United States ». Dropcopter, 24 février 2021, <https://www.dropcopter.com>.
- FAYET, Agnès. « Atlas 2020 des insectes », Butine.info, le 22 juillet 2020, URL : <https://butine.info/atlas-2020-des-insectes/>
- HARRIS, Peter, G.KEVAN, Peter. « Insectes utiles », 7 février 2006, dernière modification le 4 mars 2015, URL : <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/insectes-utiles>
- KONTOGIANNIS Evangelos.« Insectes bénéfiques importants en tant qu'ennemis naturels des ravageurs des cultures », Wikifarmer, URL : <https://wikifarmer.com/fr/insectes-benefiques-importants-en-tant-quennemis-naturels-des-ravageurs-des-cultures/>
- Label Abeille, ruche connectée pour tous : apiculture monitoring système. - Label Abeille. <https://label-abeille.org/fr/>
- MANAGE RESISTANCE NOW, « Gérer la résistance aux insectes », URL : <https://manageresistancenow.ca/fr/insectes/ifs-practice-integrated-pest-management>
- MARTINEZ M (INRAE). « Importance économique et agronomique », Dernière modification le 01/12/2023, URL : <https://ephytia.inra.fr/fr/C/7561/Info-Insectes-Importance-economique-et-agronomique>
- MOYON, Patrice. « POINT DE VUE. « Les abeilles valent 153 milliards de dollars » ». Ouest-France.fr, 20 mai 2021, URL : <https://www.ouest-france.fr/environnement/point-de-vue-les-abeilles-valent-153-milliards-de-dollars-a4928baa-b8a6-11eb-8bbb-da50c17eaa65>
- MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, « Le déclin des insectes met en péril le vivant », URL : <https://www.mnhn.fr/fr/le-declin-des-insectes-met-en-peril-le-vivant>
- MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, « Qu'est-ce qu'un insecte ? », mai 2023, URL : <https://www.mnhn.fr/fr/qu-est-ce-qu-un-insecte>
- NATIONAL CENTRE FOR CLIMATE SERVICES, « Ravageurs exotiques envahissants et changement climatique: augmentation de l'aptitude climatique et de la disponibilité des plantes hôtes », Dernière modification le 16/12/2020, URL : <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/secteurs/agriculture/theme-prioritaire-organismes-nuisibles/ravageurs-exotiques-aptitude-climatique.html#>
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, « Bulletin sur le Criquet Pèlerin », No. 531, le 8 janvier 2022, [PDF en ligne], 8 p., URL : <https://www.fao.org/ag/locusts/common/ecq/2680/fr/DL531f.pdf>
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, « Cinq choses à savoir sur un parasite séculaire : le criquet pèlerin », 11 mai 2020, URL : <https://www.fao.org/faostories/article/fr/c/1274009/#:~:text=Le%20criquet%20pe%CC%A8lerin%20est%20l'un%20des%20ravageurs%20qui%20ont%20appris%20%C3%A0%20survivre%20face%20au%20changement%20climatique>
- PRO NATURA, « Dossier pédagogique : Les quatre saisons des insectes », Cycles 1 et 2 HarmoS, 2019, [PDF en ligne], 49 p., URL : https://www.ecudor.ch/fr/downloads/pdfs/uh_insectes_f
- RÉGNIÈRE J. « Prédire la répartition continentale des insectes à partir de leur physiologie », URL : <https://www.fao.org/3/I0670f/i0670f09.htm>
- ROQUES Alain, AUGER-ROZENBERG Marie-Anne (24 novembre 2018), Changement climatique et mondialisation, moteurs des invasions d'insectes, Encyclopédie de l'Environnement. Consultée le 12 décembre 2023 [en ligne] ISSN 2555-0950 URL : <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/changement-climatique-mondialisation-invasion-insectes/>
- SOLARIMPULSE, « VOLITO : Système numérique basé sur des capteurs sur le terrain pour la surveillance intelligente des insectes », URL : <https://solarimpulse.com/solutions-explorer-fr/volito>

- STRUNA, Hugo. « Insectes dans l'alimentation humaine : un marché qui s'installe dans l'UE ». [www.euractiv.fr](http://www.euractiv.fr/section/agriculture-alimentation/news/insectes-dans-lalimentation-humaine-un-marche-qui-souvre-dans-lue/), 24 mai 2023, URL : <https://www.euractiv.fr/section/agriculture-alimentation/news/insectes-dans-lalimentation-humaine-un-marche-qui-souvre-dans-lue/>
- « Pest Monitoring and Forecasting - Trapview - Integrated Pest Management ». Trapview, <https://trapview.com/fr/>.
- VEILLE CARTO 2.0, « Cartographier et suivre la menace des attaques de criquets », URL : <https://veillecarto2.0.fr/2020/07/01/cartographier-et-suivre-la-menace-des-attaques-de-criquets/>

Salmonidés

- « A105-Aération en pisciculture ». Bronkhorst, <https://www.bronkhorst.com/fr-fr/applications/autres-domaines-d-application/a105-aeration-en-pisciculture/>
- AGRESTE. La salmoniculture, un secteur en recul. Avril 2011, http://sg-proxy02.maaf.ate.info/IMG/pdf_dossier11_salmonides.pdf
- Cycle de vie du saumon - Fabrication et choix du saumon fumé. <https://www.meralliance.com/fr/notre-expertise/notre-metier/notre-produit-le-saumo>
- « Feeding the World Responsibly and Sustainably with Artificial Intelligence by ABB and Microsoft ». News, 22 janvier 2020, <https://new.abb.com/news/detail/55912/feeding-the-world-responsibly-and-sustainably-with-artificial-intelligence-by-abb-and-microsoft>
- Frąckiewicz, Marcin. « L'évolution de l'intelligence artificielle et de la robotique en essaim pour la pisciculture de précision ». TS2 SPACE, 23 juin 2023, <https://ts2.pl/fr/evolution-de-lintelligence-artificielle-et-de-la-robotique-en-essaim-pour-la-pisciculture-de-precision/>
- Nouvelle, L'Usine. [L'instant tech] Tel un banc de poissons, ces robots peuvent se synchroniser et collaborer en autonomie. janvier 2021. www.usinenouvelle.com, <https://www.usinenouvelle.com/editorial/l-instant-tech-tel-un-banc-de-poissons-ces-robots-peuvent-se-synchroniser-et-collaborer-en-autonomie.N1053249>
- Pêche & aquaculture | Ifremer. <https://www.ifremer.fr/fr/peche-aquaculture>
- Traitement décentralisé des eaux résiduaires : les solutions, 1H2O3 <https://www.1h2o3.com/>

Olives

- Embling, D. (2020, 18 septembre). Le bond technologique de la production d'olives en crète. euronews. <https://fr.euronews.com/next/2020/09/18/le-bond-technologique-de-la-production-d-olives-en-crete>
- Arnaud V. ,2004 - Bonnes pratiques et traçabilité : la filière oléicole au regard de l'agriculture raisonnée. Mémoire de fin d'études, 50p.
- Ctifl ACTA, 1999 - Outils de pilotage : bonnes pratiques en arboriculture fruitière. Ctifl, 202 p
- ONIOL, 2003 - Guide conseil pour la mise en œuvre de la traçabilité dans la filière oléicole
- Jean-Michel DURIEZ, 2004, Guide du Planteur l'Olivier en Languedoc-Roussillon, 18 p.
- France Olive, 2023/2024, Cahier de l'oléiculteur, 17 p.

Agrumes

- Agrumes: plus de 158 millions de tonnes au niveau mondial | Réussir fruits & légumes. 9 janvier 2024, <https://www.reussir.fr/uits-legumes/agrumes-plus-de-158-millions-de-tonnes-au-niveau-mondial>.
- Christina. « Cycle de vie d'un oranger ». CitrusRicus, 10 juin 2016, <https://citrusricus.com/fr/blogs/le-jardin/ciclo-vida-naranjo>.
- José. « Les pays producteurs d'agrumes dans le monde • Les Agrumes Du Monde ». Les Agrumes Du Monde, 6 novembre 2020, <https://lesagrumesdumonde.fr/pays-producteurs-agrumes/>.
- " Les agrumes dans le monde". Yara France, 19 février 2018, <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/agrumes/production-mondiale-agrumes/>.
- La culture des agrumes - Fellah Trade. <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/agrumes>.
- Mhamdi, Habib. « Récolte et rendement des agrumes ». Maison des agrumes, 19 juillet 2013, <https://maisondesagrumes.com/2013/07/19/recolte-et-rendement-des-agrumes/>.
- Calibreuse pour agrumes | Aweta. <https://www.aweta.com/fr/produit/agrumes>.
- S.r.l., COSMECO. Machines et équipements pour la culture des agrumes | Actualités et Salons. <https://www.cosmecosrl.com/fr/actualites-et-salons/machines-et-equipements-pour-la-culture-des-agrumes>.
- Traitement des agrumes | atomiseurs agricoles | vaporiser. <https://www.teyeme.es/fr-FR/actualites/la-pulverisation-et-atomisation-dans-des-traitements-sur-agrumes/>.
- "En Corse, la récolte de la clémentine fait appel à la main-d'œuvre venue du Maroc". La Tribune, 14 décembre 2023, <https://www.latribune.fr/economie/en-corse-la-recolte-de-la-clementine-fait-appel-a-la-main-d-oeuvre-venue-du-maroc-985745.html>
- Facts and Figures | Worldcitrusorganisation.Org. <https://worldcitrusorganisation.org/facts-and-figures/>.
- La Corse veut ses IGP en citron et en orange | Réussir fruits & légumes. 10 janvier 2024, <https://www.reussir.fr/uits-legumes/la-corse-veut-ses-igp-en-citron-et-en-orange>.
- An innovative approach to enhance resource efficiency and safeguarding by using biostimulants and innovative sensors in horticulture | 2 Mers Seas Zeeën. <https://www.interreg2seas.eu/en/bio4safe>.

- Agrumes. [https://www.netafim.fr/Connaissances-des-cultures/Agrumes/.*](https://www.netafim.fr/Connaissances-des-cultures/Agrumes/.)
- Bosi, Anna Maria. « Italie: des drones en arboriculture fruitière ». Le Sillon | Le magazine de John Deere, <https://lesillon.fr/italie-des-drones-en-arboriculture-fruittiere/>.
- Expertises cultures - Irrigation des Agrumes - Telaqua. https://telaqua.com/cas_client/agrumes/.
- Instruments Pessl."Les défis de la production d'agrumes - METOS® by Pessl Instruments". METOS® par Pessl Instruments, 26 juillet 2022, <https://metos.at/fr/challenges-in-citrus-production/>.
- « IrriMAX Live ». Sentek Technologies, <https://sentektechnologies.com/products/irrigation-decision-aiding-software/irrimax-live/>.
- Ligue. « Agriculture de Précision en Agrumes: Aperçus d'une visite de cas d'examen par les pairs sur le terrain à Valence, Espagne ». <https://i2connect-h2020.eu/precision-agriculture-in-citrus-insights-from-a-field-peer-review-case-visit-in-valencia-spain/>.
- MIKE Powered by DHI. <https://www.mikepoweredbydhi.com>.
- Proyecto - GoCitrus. <https://gocitrus.eu/proyecto/>.
- « Telaqua lève 4 millions pour son système de gestion d'irrigation agricole ». Les Echos, 10 mai 2022, <https://www.lesechos.fr/pme-regions/innovateurs/telaqua-leve-4-millions-pour-son-systeme-de-gestion-dirrigation-agricole-1405908>.
- "Using Technology to Support Citrus Management Decisions". Citrus Industry Magazine, 22 août 2022, <https://citrusindustry.net/2022/08/22/using-technology-to-support-citrus-management-decisions/>.

Table des figures

1/Présence des vignes en Europe	7
2/Terrasses de vignes (B. Blanc, 2014)	8
3/Marqueterie de vignes (CDT 64, date inconnue)	9
4/Vague de vignes (Pigneux, 2023)	9
5/Mer de vignes (Guilhermier's Blog, 2015)	10
6/Vignes en timbre-poste (Madiran Pacherenc du Vic-Bilh, date inconnue)	10
7/Cycle annuel de la vigne, de la grappe et du travail du vigneron	11
8/Fonctionnement du mode RTK classique	13
9/Exemple drone (Sources : EscaDrone, Mavic 3 M)	14
10/Exposition des agents aux produits phytosanitaires	14
11/Exemple de cartographie issue de l'image drone	15
12/L'IA pour couper la vigne	16
13/Nombre estimé d'espèces par régions biogéographiques et par appartenance aux principaux ordres zoologiques	19
14/Les différents ordres d'insectes	20
15/Ruche connectée de Label Abeille	21
16/Exemple de cartographie de la présence du criquet pèlerin en Afrique du Nord et de l'Ouest, décembre 2022, réalisée à des relevés sur le terrain géoréférencé.	22
17/Volito de FaunaPhotonics	23
18/Carte salmonidé	25
19/Cages marines	26
20/Filet cage en mer	27
21/Filtre à tambours	27
22/Régulateur débit massique	28
23/Sonde mesure salinité	28
24/Entrepise ABB	29
25/Entrepise Microsoft	29
26/Carte production huîtres	33
27/Evolution de la production d'huîtres dans les principaux pays producteurs (1 000 tonnes)	33
28/Evolution des importations extra-UE d'huîtres	34
29/Evolution des exportations extra-UE d'huîtres	35
30/Consommation apparente d'huîtres en Europe (Eurostat 2020, en tonnes d'équivalent poids vif)	36
31/Photo du Roll'Oyster produit par SEAD UCER	38
32/Exosquelette produit par CEA	38
33/Présence de la culture oléicole en Europe	39
34/Saisonnalité de l'olive	40
35/Oliviers à flancs de montagne, très courants en Grèce entre autres...	40
36/Oliviers cultiés en haies, caractéristiques des grandes exploitations	41
37/Exploitations traditionnelles, plus difficile à exploiter avec la mécanisation	41
38/Oliveraie en haie, propices à l'usage de grandes machines	42
39/Plantation espagnole lors d'une vague de chaleur inédite	43
40/Oliveraie expérimentale en Crète	44
41/Capteurs autonomes dans une oliveraie crétoise	44
42/Présence des vergers d'agrumes en Europe	46
43/Fonctionnement du système d'irrigation par Telaqua (source : Telaqua -Smart Irrigation)	48
44/SuperNet (à gauche) et UniRam (à droite), produits proposés par Netafim (source : Netafim - La solution pour les agrumes)	49
45/Modèle de suivi de terrain proposé par METOS ® By Pessl Instruments (source : METEOS France SAS)	50
46/Cartographie d'une exploitation réalisée par Pheromed Fly (source : Le Sillon - Drones en arboriculture fruitière)	50
47/Fonctionnement du Precision Irrigation Package (source : Bio4safe Leaflet Precision Irrigation)	51
48/Informations pratiques fournis aux producteurs par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)	52
49/Renseignement par arbres fournis aux producteurs par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)	52
50/Carte du potassium développé par Agroview (source : Citrus Industry Magazine)	53
51/Grille finale d'estimation du marché	54
52/Carte du niveau d'opportunité en Europe	55