



植物工場運営 超入門

Shohei Imamura

PFBoost

Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant

Table des matières

Préface

Chapitre 2 : Les bases de la gestion des cultures

- Quels sont les points clés pour choisir les cultures les mieux adaptées à une ferme verticale ?
- L'utilisation de l'éclairage LED horticole
- La lumière
- Les systèmes de culture hydroponique
- La gestion de la température

Chapitre 3 : La pratique de la gestion des opérations sur le terrain

- Établir la planification de la production
- Le semis
- La production de plants
- Le repiquage et la plantation définitive
- La récolte et le parage
- Les opérations post-récolte
- La gestion et la formation du personnel
- La maîtrise sanitaire, sans compromis
- L'analyse de données
- Au-delà des connaissances de base, comment bâtir une ferme verticale qui rapporte
- « La pratique », au-delà des connaissances de base
- Pour aller plus loin

Préface

La ferme verticale n'est pas une activité que l'on remporte en alignant des équipements. Depuis mon entrée dans ce secteur en 2011, j'ai vu plus de dix sites, grands et petits. Il arrive que de grands groupes, pourtant dotés de moyens financiers, se retirent au bout de quelques années, tandis que certaines fermes stabilisent leurs revenus à force d'améliorations discrètes accumulées. La différence se ramène presque entièrement à « la manière de faire tourner le terrain ».

Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant est un ouvrage d'introduction destiné à faire saisir, en peu de temps, ce sens du terrain.

- Vous venez de débiter dans une ferme verticale et n'avez pas de vue d'ensemble du travail
- Vous voulez d'abord couvrir les bases indispensables à un responsable
- Vous souhaitez, même avec peu d'expérience, disposer d'un socle pour prendre des décisions sur le site

Pour ces lecteurs, j'ai rassemblé uniquement les connaissances nécessaires, avec pour objectif « comprendre les bases de la ferme verticale en trois heures ». Large et peu profond, mais sous une forme réellement utilisable sur le terrain.

Comme cet ouvrage s'adresse aux débutants, les développements destinés aux praticiens chevronnés sont réduits. Les contenus qui entrent en profondeur dans la rentabilité sont traités séparément sur le site (<https://pfboost.com/fr/>). Vous y trouverez des modèles de gestion des opérations sur le terrain, des outils de programme de fertilisation, ainsi que des articles centrés sur la rentabilité ; jetez-y un œil après avoir terminé *Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant*.

Comment utiliser ce livre

Le lecteur visé est la personne qui vient d'entrer dans une ferme verticale. Je serais heureux que vous l'utilisiez comme document d'introduction à remettre aux nouveaux arrivants sur le terrain en leur disant « lisez d'abord ceci ». La copie et la rediffusion sont libres. En revanche, les droits d'auteur restent réservés : merci de ne pas modifier le contenu.



Auteur

Shohei Imamura

Entré dans le secteur de la ferme verticale en 2011. En tant qu'opérateur sur le terrain puis responsable de l'équipe de support, il a participé au démarrage et à l'exploitation de plus de dix fermes verticales, grandes et petites. Il a formé plus de 600 membres du personnel au total. De cette expérience, il a acquis la conviction que ce qui détermine la rentabilité d'une ferme verticale n'est ni l'équipement ni les systèmes, mais les compétences et les connaissances des personnes qui les font fonctionner. Aujourd'hui indépendant, il propose conseil, accompagnement et contenus pour l'amélioration de la rentabilité des fermes verticales.

Chapitre 1 : L'avenir et les perspectives de la ferme verticale

Connaître « l'aujourd'hui » de la ferme verticale

Je suis entré dans le secteur de la ferme verticale en 2011, à l'époque de ce que l'on a appelé le « boom de la ferme verticale ». Les grandes entreprises y entraient les unes après les autres, de nouvelles fermes se construisaient un peu partout, et les médias parlaient de « l'agriculture du futur ».

Mais la suite ne s'est pas déroulée comme prévu. Même de grands groupes dotés de puissance financière et de notoriété se sont retirés les uns après les autres en quelques années. Installer les équipements les plus récents ne suffisait pas à réussir. Ces dernières années, les nouvelles constructions de fermes ont nettement diminué.

Ce qui a changé, ce qui n'a pas changé

Sur ces dix années et plus, certaines choses ont assurément changé. Les performances de l'éclairage LED horticole ont fait de grands progrès. À l'époque où je suis arrivé sur le terrain, certaines fermes utilisaient encore des lampes fluorescentes. La gestion des données de culture et l'efficacité des systèmes ont aussi avancé. Sur le plan technique, les progrès sont réels.

Certaines choses n'ont pas changé. Après plus de dix ans dans ce secteur, ce que je ressens fortement, c'est que **ce qui détermine la rentabilité d'une ferme verticale, ce ne sont pas les équipements ni les systèmes, mais les « personnes » qui les font fonctionner**. À côté du capteur IoT dernier cri, un membre du personnel vérifie à la main l'état des feuilles. À côté du contrôle environnemental par IA, le « flair » d'un vétérinaire reste décisif. Une ferme verticale, c'est ce genre d'endroit.

Et pourtant, la ferme verticale a du potentiel

Honnêtement, la situation n'invite pas à l'optimisme. Cela dit, même dans un environnement difficile, il existe bel et bien des fermes qui dégagent des bénéfices. Leur point commun : elles savent « comment faire tourner le terrain ». Ce n'est pas la qualité des équipements, mais la mesure dans laquelle le personnel sur le terrain comprend la culture et sait accumuler les

décisions au quotidien. J'ai vu, à maintes reprises, des fermes transformées par une amélioration minuscule, prise comme point de départ. Une production stable indépendante du climat, une productivité élevée sur une surface limitée, une réduction massive de l'usage des pesticides. Ces atouts ont de la valeur dans toutes les régions du monde. Dans *Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant*, je transmets, comme vue d'ensemble, les connaissances de base qui servent de socle à tout cela.

Pourquoi la ferme verticale finit-elle par être déficitaire ?

Le potentiel existe, mais en réalité beaucoup de fermes sont contraintes à une gestion difficile.

- « Les investissements en équipement ont coûté trop cher »
- « Les légumes ne poussent pas comme prévu »
- « On a produit, mais on n'arrive pas à vendre »

Ce sont des paroles que l'on entend souvent sur le terrain. Pourquoi tant de fermes souffrent-elles de pertes ?

Ce que disent les données : une réalité difficile

Le problème de rentabilité de la ferme verticale ne se limite pas au Japon. Des difficultés similaires sont signalées dans le monde entier. Ici, je m'appuie sur les données d'enquête du Japon, marché précurseur. Au Japon, à partir de 2010 environ, de nombreuses entreprises se sont lancées dans la ferme verticale et ont connu à la fois succès et échecs. Les leçons valent pour toutes les régions qui s'engagent désormais dans la ferme verticale. Selon une enquête de l'Association japonaise d'horticulture sous serre (Japan Greenhouse Horticulture Association), lorsque l'on classe les exploitants par rendement par unité de surface, une tendance nette se dégage : plus le rendement est élevé, plus la part des exploitants bénéficiaires est grande.

- Serre hydroponique, rendement élevé : 46 % bénéficiaires, 31 % déficitaires
- Serre hydroponique, rendement faible : 25 % bénéficiaires, 58 % déficitaires
- Culture indoor, rendement élevé : 27 % bénéficiaires, 27 % déficitaires
- Culture indoor, rendement faible : 6 % bénéficiaires, 83 % déficitaires

En particulier, le taux d'exploitations déficitaires en culture indoor à faible rendement atteint 83 %. La quantité de légumes produite à partir d'une même surface pèse lourdement sur la

rentabilité.

La structure de coûts

La même enquête permet d'examiner la structure des coûts.

- Serre hydroponique : frais de personnel 34 à 37 %, amortissements 10 à 11 %, eau et énergie 12 à 16 %, consommables 15 à 16 %
- Culture indoor : frais de personnel 29 à 34 %, amortissements 14 à 17 %, eau et énergie 29 à 31 %, consommables 7 à 9 %

Dans les deux formes de culture, les frais de personnel représentent la plus grande part des coûts. Ce n'est pas propre à la ferme verticale : c'est un problème commun à l'agriculture dans le monde entier. En culture indoor, les frais d'eau et d'énergie atteignent environ 30 %, soit près du double de la serre hydroponique. Dans un espace fermé, les coûts de climatisation pour maintenir une température et une humidité constantes ne sont pas négligeables. D'après mon expérience, la réduction des frais d'eau et d'énergie a des limites. C'est en quelque sorte le carburant des cultures : les réduire fait aussi baisser le rendement.

Les causes des pertes

Les causes de déficit d'une ferme verticale ne se limitent pas aux coûts. Les causes communes que l'on retrouve dans les fermes verticales du monde entier sont les suivantes.

Lacunes en technique de culture

- Échec du contrôle de l'environnement : l'incapacité à piloter correctement la température, l'humidité, la lumière, la concentration en CO₂, etc., entraîne des troubles de croissance et des maladies.
- Erreurs de gestion de la solution nutritive : en culture hydroponique, une concentration (CE) ou une composition mal gérées conduisent à des troubles de croissance et à une baisse de qualité.
- Maîtrise sanitaire insuffisante : l'incapacité à prévenir l'apparition de ravageurs et de maladies entraîne des dégâts considérables.

Erreurs de stratégie commerciale

- Développement commercial insuffisant : sans débouchés stables, la commercialisation devient difficile.
- Piège de la guerre des prix : pris dans la concurrence avec les légumes bon marché issus de la culture en plein champ, l'exploitant ne parvient pas à dégager des marges suffisantes.
- Décalage entre offre et demande : faute de saisir la demande du marché, des invendus s'accumulent.

Pression de l'investissement initial et des coûts courants

- Échec de l'investissement en équipement : l'installation d'équipements surdimensionnés alourdit les coûts initiaux.
- Insuffisance du financement : dans de nombreux pays et régions, il existe des subventions et des dispositifs d'aide pour la ferme verticale, mais beaucoup d'exploitants n'en tirent pas pleinement parti.

Pénurie de personnel

- Difficulté à recruter : le secteur a besoin de personnes disposant de connaissances et de techniques spécialisées, mais il n'est pas facile de recruter des profils expérimentés.
- Insuffisance de la formation : une formation du personnel insuffisante empêche l'acquisition des techniques et des connaissances, et fait stagner la productivité et la qualité.

Tous ces éléments s'entremêlent et mènent à une gestion déficitaire.

La réalité de la ferme verticale qui rapporte

Nous avons vu la dureté de la réalité, mais même dans ce contexte, il existe bel et bien des fermes qui dégagent des bénéfices. Où se situe la différence entre les fermes déficitaires et les fermes qui rapportent ?

La taille n'est pas une panacée

La « taille » est l'un des facteurs qui influent sur la rentabilité. Dans les grandes installations, on peut attendre une réduction des coûts par économies d'échelle et un renforcement de la puissance commerciale grâce à un approvisionnement stable. Cela dit, lorsqu'on regarde au

Japon la relation entre la surface et la rentabilité, le résultat est inattendu.

- Serre hydroponique, petite surface : 50 % bénéficiaires, 23 % déficitaires
- Serre hydroponique, grande surface : 41 % bénéficiaires, 50 % déficitaires
- Culture indoor, petite surface : 6 % bénéficiaires, 78 % déficitaires
- Culture indoor, grande surface : 19 % bénéficiaires, 50 % déficitaires

En serre hydroponique, le taux de bénéfices est même légèrement plus élevé sur les petites surfaces. On ne peut pas dire que la rentabilité soit nécessairement meilleure à grande échelle. Plus la taille augmente, plus l'investissement initial et la charge de gestion du personnel s'alourdissent. La capacité à contenir les coûts fixes, comme les frais de personnel ou l'eau et l'énergie, pèse fortement sur la rentabilité. L'extension de la taille n'est qu'un moyen parmi d'autres d'améliorer la rentabilité.

Le point commun des fermes verticales qui rapportent

Après avoir travaillé dans des fermes de tailles très diverses, ce que je ressens, c'est que le point commun des fermes qui rapportent n'est ni la nouveauté des équipements ni la taille.

- Elles comprennent les fondamentaux de la culture et assurent avec constance la gestion quotidienne de l'environnement
- Quand un problème survient, il y a sur place des personnes capables de remonter à la cause à la fois par les données et par l'observation
- Elles repèrent les gaspillages dans le travail et améliorent peu à peu, en continu

En un mot : la présence, ou non, de personnes capables de faire tourner le terrain. C'est la plus grande différence. Même en installant des équipements dernier cri, sans personnes capables de les maîtriser, cela ne se traduit pas par des revenus. La plupart des retraits de grands groupes s'expliquent par là.



Ferme verticale : quelle est la différence décisive avec la culture en plein champ et les cultures protégées ?

En quoi la ferme verticale se distingue-t-elle des autres formes d'agriculture ? Éclaircissons ce point en y intégrant le regard du terrain.

Contrôle de l'environnement : de la dépendance à la nature au pilotage complet

L'environnement dans lequel on cultive est très différent.

- Culture en plein champ : on s'en remet aux forces naturelles : pluie, vent, soleil. Elle demande de vastes terres et des travaux lourds : gestion du sol, arrosage, etc. Elle est très sensible au climat et reste exposée aux risques de typhons et de sécheresses.
- Cultures protégées : on utilise des serres en film plastique ou en verre pour protéger, dans une certaine mesure, les cultures du climat. On peut ajuster la température et l'humidité, et la production est plus stable qu'en culture en plein champ. La construction, l'entretien et les coûts de combustible pèsent.
- Ferme verticale : on cultive dans un espace fermé en intérieur. Température, humidité, lumière, concentration en CO₂, etc., sont contrôlés artificiellement pour créer l'environnement optimal à la croissance. Indépendante du climat, elle permet une production stable toute l'année. Elle suppose des investissements en équipement et des coûts d'électricité élevés, et exige des techniques et des connaissances de haut niveau.

Dans la ferme verticale, on ne s'appuie pas sur les forces naturelles : on façonne l'environnement par l'action humaine. Le responsable ajuste température, humidité, lumière,

CO2 et pilote la croissance des plantes.

Contenu du travail : du flair et de l'expérience à la décision fondée sur les données

Les méthodes de culture et le contenu du travail diffèrent aussi.

- Culture en plein champ : de la préparation du sol à la récolte, ce sont l'expérience et le flair accumulés sur des années qui parlent. Les travaux lourds sont nombreux et le pic saisonnier d'activité est marqué.
- Cultures protégées : à l'expérience de la culture en plein champ s'ajoute la technique de contrôle de l'environnement à l'intérieur de l'installation. Gestion de la température, ventilation, irrigation : tout cela exige une observation et des ajustements réguliers.
- Ferme verticale : l'automatisation par pilotage informatique progresse, et les travaux lourds sont moins nombreux qu'en agriculture traditionnelle. Le cœur du travail, c'est le contrôle de l'environnement et la gestion de la croissance fondés sur les données ; capacité d'analyse et compétences IT sont requises. De la planification de la production à la gestion de l'expédition, une vision d'ensemble et une posture de gestion de l'exploitation deviennent également nécessaires.

Dans la ferme verticale, on suit l'état de la croissance par les données et on réagit vite en cas de problème. Elle exige à la fois des connaissances sur la croissance des plantes, des techniques de contrôle de l'environnement, une capacité d'analyse de données, et la capacité de management qui permet de fédérer une équipe. Alors, quels sont les rôles du responsable qui dirige un tel terrain ?

Les trois rôles du responsable d'une ferme verticale

Les rôles attendus du responsable d'une ferme verticale se répartissent en trois grandes catégories.

1. Protéger la production stable et la qualité

Dans la ferme verticale, tous les paramètres environnementaux (température, humidité, lumière, concentration en CO2) sont pilotés par l'humain. Ils interagissent les uns avec les autres : changer l'un se répercute sur les autres. Dans cet environnement complexe, continuer jour après jour à expédier des légumes d'une qualité stable : voilà le rôle le plus fondamental

du responsable.

2. Fédérer l'équipe

Une ferme verticale ne tourne pas toute seule. La majeure partie du travail quotidien passe par les mains du personnel sur le terrain. Faire ressortir les capacités de chacun et faire tourner le travail au quotidien, c'est le métier du responsable. Cela comprend aussi la transmission au personnel des connaissances sur le contrôle de l'environnement et la culture, afin d'augmenter le nombre de personnes capables de décider par elles-mêmes.

3. Assurer la rentabilité

Il lui revient d'établir la planification de la production, de gérer les coûts, d'élaborer la stratégie commerciale, de lire les besoins du marché et de continuer à relever de nouveaux défis. La ferme verticale ne peut se maintenir par le seul rêve ou l'idéal. Sans rentabilité assurée, l'exploitation ne tient pas non plus.

Résumé du chapitre 1

- La ferme verticale évolue dans un environnement difficile, mais les fermes qui disposent de personnes capables de faire tourner le terrain dégagent des bénéfices
- Les causes principales de déficit sont les lacunes en technique de culture, les erreurs de stratégie commerciale et la pénurie de personnel
- À la différence de l'agriculture traditionnelle, la ferme verticale exige une capacité d'analyse de données et une capacité de management
- Les rôles du responsable sont au nombre de trois : « production stable », « animation d'équipe » et « sécurisation de la rentabilité »
- Plus que les équipements, c'est « la force des personnes » qui détermine la rentabilité

Au chapitre suivant, nous examinerons les bases des techniques de culture nécessaires sur le terrain.

Chapitre 2 : Les bases de la gestion des cultures

Quels sont les points clés pour choisir les cultures les mieux adaptées à une ferme verticale ?

À partir d'ici, nous entrons dans le savoir-faire qui permet réellement de cultiver des légumes. Une ferme verticale peut contrôler artificiellement l'environnement, et en théorie elle peut donc produire n'importe quelle culture. Mais dès lors qu'il s'agit de dégager effectivement un bénéfice sur le terrain, l'éventail des cultures que l'on peut retenir se resserre.

Point 1. Besoins du marché et rentabilité

Le premier point à garder en tête, c'est que « la ferme verticale est une activité économique ». C'est sans doute le point qui cause le plus de difficultés dans l'exploitation. Les cultures produites doivent être choisies après avoir cerné les besoins du marché.

- Quels types de légumes sont recherchés
- Quelles sont les préférences et les tendances des consommateurs
- À quel prix peut-on les vendre

Réalisez une étude de marché au préalable et choisissez les cultures en gardant la rentabilité en tête.

Cultures fréquemment produites

- Légumes-feuilles : laitue, laitue coréenne, komatsuna, épinard, etc.
- Herbes aromatiques : basilic, persil, menthe, coriandre, etc.
- Jeunes pousses : mélange de jeunes feuilles de divers légumes. Appréciables pour leur couleur et leur valeur nutritionnelle
- Cultures à forte valeur ajoutée : variétés rares, produits enrichis en composants fonctionnels, produits à forte praticité, etc.

Ces cultures conviennent à la ferme verticale car leur cycle de culture est court et leur rotation élevée.

Point 2. Facilité de culture

Même si l'environnement peut être contrôlé artificiellement, cela ne veut pas dire que toute culture peut être produite facilement.

- Durée de culture : plus elle est courte, plus la rotation est élevée, et plus la rentabilité augmente
- Conditions de croissance : les valeurs optimales de température, d'humidité, de lumière, etc., varient selon la culture
- Technique de culture : même pour des variétés faciles à cultiver, un minimum de connaissances et de technique est nécessaire

Tant que l'expérience est encore limitée, je recommande de commencer par des cultures dont la durée est courte et dont le réglage environnemental est relativement simple. Quand on parle de ferme verticale, beaucoup d'installations cultivent des légumes-feuilles, et parmi ceux-ci la laitue est la plus répandue.

Point 3. Adéquation avec les équipements

« Ce que l'on veut cultiver » et « ce que l'on peut cultiver » ne coïncident pas forcément. Vérifiez d'abord les contraintes du côté des équipements.

- Hauteur des équipements : pour les cultures à port élevé, il faut prévoir une hauteur suffisante dans les équipements
- Éclairage : selon le type de LED, l'intensité et les longueurs d'onde de la lumière diffusée diffèrent, et les cultures adaptées changent en conséquence
- Gestion de la température : si le maintien d'une température appropriée est difficile, choisissez des cultures résistantes aux variations de température

La plupart des installations qui produisent des légumes-feuilles ont introduit des équipements spécialisés pour les légumes-feuilles. Pour accroître l'efficacité de la production, il faut se spécialiser sur des catégories précises.

Trois types

La ferme verticale peut être divisée, dans les grandes lignes, en trois types.

- Type à utilisation de la lumière solaire : exploite la lumière solaire au maximum. Les coûts initiaux peuvent être contenus, mais l'installation est sensible à la météo. De nombreuses cultures sont possibles : légumes-feuilles, fruits et légumes, etc.

- Type hybride lumière solaire / lumière artificielle : combine les deux. Vise à concilier production stable et réduction des coûts courants. De nombreuses cultures sont possibles : légumes-feuilles, fruits et légumes, etc.

- Culture indoor : ne cultive qu'avec de la lumière artificielle. Une production stable, indépendante de la météo, est possible, mais les coûts courants sont plus élevés. Centrée sur les légumes-feuilles, avec une partie des fruits et légumes également possible.

Selon le type retenu et les équipements installés, les cultures réalisables changent. Le choix des cultures se décide donc en équilibrant ces trois points : « rentabilité », « facilité de culture » et « adéquation avec les équipements ».

À partir d'ici, nous allons voir une à une les techniques et les équipements utilisés dans la culture en ferme verticale.

L'utilisation de l'éclairage LED horticole



L'équipement le plus emblématique de la ferme verticale, ce sont les rangées d'éclairage LED horticole. En agriculture traditionnelle, il fallait se contenter de la lumière solaire, mais en ferme verticale, les LED permettent de créer artificiellement un environnement lumineux optimal pour la croissance.

Les trois avantages que l'éclairage LED horticole apporte à la ferme verticale

1. Économies d'énergie et réduction des coûts

L'électricité est un coût qu'une ferme verticale ne peut pas ignorer. L'éclairage LED horticole étant très performant sur le plan énergétique, on peut en attendre une réduction significative

de la facture d'électricité.

2. Longue durée de vie et moindre charge de maintenance

Les tubes fluorescents doivent être remplacés régulièrement, et chaque remplacement entraîne coûts et main-d'œuvre. Les LED ont une durée de vie bien plus longue et permettent de réduire la fréquence de remplacement. Dans une ferme verticale qui utilise un grand nombre de luminaires, cet écart de coût est important.

3. Choisir la couleur de la lumière selon la plante

Les plantes ont besoin de longueurs d'onde (couleurs) différentes selon l'espèce et le stade de croissance. Les LED existent en produits de longueurs d'onde variées, rouge, bleu, blanc, etc., et l'on peut les choisir en fonction de la culture. Historiquement, l'éclairage LED horticole combinant rouge et bleu était dominant dans les fermes verticales, mais ces dernières années les LED blanches proches de la lumière solaire se sont également répandues.

Réglages d'installation et d'exploitation

Pour tirer le meilleur parti des LED, des ajustements fins comme la méthode d'installation ou la durée d'éclairage sont également importants.

- Culture multi-étages : pour exploiter un espace limité, la « culture multi-étages », qui superpose les rayonnages de culture sur plusieurs niveaux, est courante.
- Angle et distance d'éclairage : en ajustant l'angle d'éclairage des LED et leur distance aux plantes, on peut augmenter l'efficacité de la photosynthèse.
- Durée d'éclairage : les plantes croissent en alternant la « période lumineuse », pendant laquelle elles réalisent la photosynthèse, et la « durée d'obscurité », pendant laquelle elles respirent et transloquent les nutriments.

La lumière

La LED n'est qu'un outil pour créer l'environnement lumineux. Ce qui compte, c'est la façon dont la plante reçoit cette lumière. Voyons ici les bases de la lumière elle-même.

L'intensité lumineuse : plus fort n'est pas toujours mieux

La lumière est indispensable à la croissance des plantes, mais si elle est trop forte, elle devient au contraire dommageable. La base, c'est d'installer des LED d'une intensité adaptée à la culture pratiquée. Les fruits et légumes, par exemple, ont besoin de lumière forte, alors que les légumes-feuilles peuvent être cultivés sous une lumière relativement faible. C'est l'une des raisons pour lesquelles les légumes-feuilles sont privilégiés en ferme verticale.

La longueur d'onde : les plantes ont leurs couleurs de prédilection

La lumière change de couleur selon sa longueur d'onde, et la plante utilise chaque longueur d'onde à des fins différentes.

- Lumière rouge (600-700 nm) : l'une des longueurs d'onde les plus efficaces pour la photosynthèse. Elle favorise la croissance et a aussi un effet sur la floraison et la fructification
- Lumière bleue (400-500 nm) : efficace pour la photosynthèse, favorise le développement des chloroplastes et épaissit les tiges
- Lumière verte (500-600 nm) : contribue peu à la photosynthèse, mais on la considère comme impliquée dans la morphogénèse et les réponses au stress

Ces dernières années, des éclairages LED horticoles aux longueurs d'onde variées, comme le vert ou le blanc, sont apparus. J'ai moi-même utilisé toutes sortes de LED, et j'ai l'impression que les types qui ajoutent du vert ou ceux proches de la lumière solaire donnent une meilleure croissance que les types purement rouge et bleu.

L'inégalité de l'éclairage : apporter la lumière partout

Dans la culture multi-étages, il y a inévitablement des endroits où la lumière passe mal, et une hétérogénéité de croissance apparaît. Pour prévenir ces inégalités, il existe des ajustements que l'on peut faire sur le terrain.

- Installation de réflecteurs : poser des réflecteurs sur les rayonnages de culture empêche la lumière de fuir vers l'allée et d'être gaspillée, et permet aussi d'éclairer les zones difficiles d'accès
- Ajustement de la disposition de l'éclairage : installer plusieurs éclairages LED horticoles ou ajuster l'angle d'éclairage, pour un éclairage uniforme

- Ne pas multiplier excessivement les cultures : un semis trop dense empêche la lumière d'atteindre chaque plante. Attention à ne pas entasser en courant après la productivité

Les systèmes de culture hydroponique



À côté de l'éclairage, l'autre caractéristique de la ferme verticale, c'est la culture hydroponique.

Pourquoi la culture hydroponique est-elle retenue en ferme verticale ?

Le plus grand avantage de la culture hydroponique, c'est de ne pas utiliser de sol.

- Gain d'espace et liberté d'implantation : puisque le sol est inutile, la culture est possible même en zone urbaine ou dans des régions aux conditions foncières difficiles
- Accélération de la croissance : comme les racines peuvent absorber en continu eau et nutriments, la croissance est rapide et le volume de récolte augmente
- Réduction du risque phytosanitaire : le risque de ravageurs et de maladies transmis par le sol est considérablement réduit
- Arrosage facilité : pas besoin d'arroser tous les jours. En gérant la concentration et le volume de la solution nutritive, l'apport peut se faire automatiquement
- Faible risque de pourriture racinaire : tant que l'oxygène dissous (DO) dans la solution nutritive est suffisant, les racines captent en permanence de l'oxygène frais. Mais si le DO vient à manquer, c'est une autre histoire, et la pourriture racinaire peut survenir même en culture hydroponique (en particulier à température d'eau élevée, où le DO baisse facilement)

Principaux types de systèmes de culture hydroponique

Les deux systèmes suivants sont fréquemment utilisés en ferme verticale.

1. NFT (culture en film nutritif)

Méthode dans laquelle les plantes sont fixées sur un bac de culture incliné et la solution nutritive est mise en circulation par une pompe.

- Avantage : il suffit d'une faible quantité de solution nutritive, ce qui permet de réduire les coûts
- Inconvénient : sensible aux fluctuations de température de la solution nutritive

2. DFT (culture en eau profonde)

Méthode dans laquelle un bassin de culture est rempli de solution nutritive et les plantes y sont mises à flotter pour être cultivées.

- Avantage : la quantité de solution nutritive étant importante, elle résiste bien aux variations de température et permet une culture stable
- Inconvénient : comparé au NFT, le volume de solution nutritive est plus important et les équipements deviennent plus volumineux

Le NFT et le DFT sont des systèmes dits de « culture hydroponique en circuit fermé », souvent utilisés en ferme verticale.

La culture hydroponique et les autres contrôles environnementaux

La culture hydroponique est l'une des caractéristiques de la ferme verticale, mais elle ne se suffit pas à elle seule. La température, l'humidité, la lumière, la concentration en CO₂ et d'autres paramètres environnementaux sont également contrôlés artificiellement en parallèle.

- Gestion de la température : la température optimale varie selon l'espèce végétale
- Gestion de l'humidité : l'humidité influence fortement la croissance et joue aussi un rôle dans l'apparition des maladies
- Apport de CO₂ : les plantes absorbent le CO₂ par photosynthèse. En relevant la concentration, la photosynthèse est stimulée et la croissance s'accélère

En ferme verticale, on gère plusieurs paramètres environnementaux en combinaison. Chaque paramètre sera examiné plus en détail dans les sections suivantes.

La gestion de la température

La gestion de la température est l'un des points les plus déterminants pour la réussite d'une ferme verticale.

Pourquoi la gestion de la température est-elle importante ?

Chaque plante a une plage de température adaptée à sa croissance. En dehors de cette plage, la croissance en pâtit.

- Mauvaise croissance : ralentissement, détérioration de la couleur des feuilles, voire dépérissement dans les cas graves
- Déformation des fruits : chez les légumes-fruits comme la tomate ou la fraise, on observe des fruits mal formés
- Augmentation du risque phytosanitaire : la vitalité de la plante baisse, et sa résistance aux maladies et ravageurs s'affaiblit

Températures optimales par culture

La ferme verticale est peu sensible à l'air extérieur et permet de maintenir température et humidité constantes. Les repères par culture sont les suivants.

- Légumes-feuilles comme la laitue : préfèrent un environnement relativement frais, optimal autour de 15 à 25 °C
- Légumes-fruits comme la tomate : préfèrent un environnement chaud, optimal autour de 20 à 30 °C
- Herbes aromatiques comme le basilic : optimal autour de 20 à 25 °C. Certaines apprécient cependant les hautes températures, d'autres tolèrent bien le froid

Une gestion de la température adaptée à l'espèce et au stade de croissance est la base d'une production stable.

Exploiter l'écart de température jour/nuit (DIF)

En ferme verticale, on peut créer artificiellement le jour et la nuit grâce à l'éclairage LED horticole, et il existe donc une méthode consistant à piloter la croissance par l'ajustement de l'écart de température. Ici, le « jour » désigne la période où les lampes sont allumées (période lumineuse) et la « nuit » celle où elles sont éteintes (durée d'obscurité). L'écart de température

entre la période lumineuse et la durée d'obscurité est appelé « DIF ».

- Température de la période lumineuse > température de la durée d'obscurité (DIF positif) :
les tiges s'allongent
- Température de la période lumineuse < température de la durée d'obscurité (DIF négatif)
: l'allongement des tiges est freiné

Chez les légumes-feuilles comme la laitue, si les tiges s'allongent trop, les feuilles deviennent plus petites ou la qualité se dégrade. En utilisant bien le DIF négatif, on peut prévenir l'étiollement des plants et accroître l'efficacité de la production. Cela dit, obtenir des résultats avec le DIF demande de l'habitude et de l'expérience, et ce que l'on peut faire dépend aussi des équipements.

Exemples d'échec dans la gestion de la température

La gestion de la température en été

Durant l'été, la température a tendance à monter.

- Réglez correctement la consigne de climatisation. Selon les équipements, la valeur réellement mesurée peut varier selon la saison pour une même consigne
- Utilisez des rideaux d'ombrage et des matériaux isolants pour limiter l'impact de la température extérieure

Les inégalités de température

Il est fréquent que, pour des laitues semées le même jour, celles d'un côté soient grandes et celles de l'autre petites.

- Utilisez des ventilateurs de circulation pour faire circuler l'air dans la ferme
- Installez plusieurs capteurs de température pour bien saisir la répartition thermique
- Aménagez l'implantation du matériel et des rayonnages pour que l'air circule sans entrave

Le critère du réglage de la température, c'est l'état de la culture

Lorsque l'on réfléchit à la température de la salle de culture, le critère final pour fixer la consigne, c'est « l'état de la culture ». Nous qui réglons la température devons développer la capacité d'observation qui permet de saisir correctement l'état des plantes.

La gestion de l'humidité

À côté de la température, l'humidité est un paramètre que l'on ne peut pas négliger. La plante rejette de l'eau par ses feuilles par un processus appelé « transpiration » et régule ainsi sa propre température. L'humidité influence directement cette transpiration.

Pourquoi la gestion de l'humidité est-elle importante ?

La ferme verticale est peu sensible à l'environnement extérieur ; en contrepartie, parce qu'il s'agit d'un espace fermé, l'humidité y augmente facilement.

Le risque de condensation

Dans une ferme verticale totalement close, la condensation appelle une attention particulière.

- Foyer de moisissures : les moisissures apprécient les endroits humides, et les zones de condensation leur offrent un habitat idéal
- Propagation de maladies : lorsque les gouttelettes de condensation se déposent sur les feuilles, les pathogènes prolifèrent facilement et le risque de maladies augmente
- Panne des équipements : la condensation provoque des courts-circuits dans les installations électriques et la corrosion des parties métalliques

Contrôler l'humidité en ferme verticale totalement close

Dans une ferme verticale totalement close, l'ajustement de l'humidité par la ventilation est difficile ; il faut donc tenir compte des points suivants.

1. Utiliser efficacement les déshumidificateurs

- Choix du déshumidificateur : choisissez-en un dont la capacité correspond à la taille de la ferme et aux types de plantes cultivées
- Emplacement d'installation : il est efficace de l'installer là où la condensation se produit facilement

2. Revoir l'environnement de culture

Ne vous reposez pas uniquement sur le déshumidificateur. Revoir l'environnement de culture lui-même est également important.

- Densité de plantation : un semis trop dense dégrade la circulation de l'air et fait monter facilement l'humidité autour des plantes. Ajustez à une densité appropriée en suivant l'état de la culture
- Gestion de la température : température et humidité sont étroitement liées. Des variations brutales de la température ambiante provoquent facilement de la condensation : menez donc la gestion de la température avec soin

3. Observer l'état des plantes

Ne regardez pas seulement la valeur de l'hygromètre. Regardez aussi l'état des plantes. Si vous observez des symptômes comme des feuilles flétries, des taches sur les feuilles ou une croissance lente, l'humidité peut en être la cause.

L'humidité est étroitement liée au tip burn

L'humidité est étroitement liée au tip burn. En effet, en environnement très humide, la transpiration foliaire est freinée et l'activité racinaire baisse également (le tip burn est traité plus loin dans ce chapitre). La gestion de l'humidité n'est pas simple en espace clos, mais la négliger se répercute directement sur la croissance.

L'utilisation du CO2



Pourquoi les plantes se portent-elles mieux quand on relève la concentration en CO2 ?

La plante absorbe le CO₂ de l'air par photosynthèse et fabrique des nutriments comme les sucres pour grandir. La concentration en CO₂ dans l'air ordinaire est d'environ 400 ppm, mais en ferme verticale, en portant la concentration finale à l'intérieur de la salle à environ 1 000 ppm, la photosynthèse est stimulée et la croissance s'accélère (« jusqu'à 1 000 ppm » désigne la concentration finale visée, non l'accroissement).

Les bénéfices du relèvement de la concentration en CO₂

- La vitesse de croissance augmente, ce qui raccourcit le délai jusqu'à la récolte
- On peut récolter davantage de légumes sur la même surface
- Le goût et l'arôme s'améliorent, et l'on peut produire des légumes à plus forte valeur nutritive

Les méthodes d'apport de CO₂

Pour relever la concentration en CO₂ en ferme verticale, on pratique couramment l'« apport de CO₂ ». Il existe principalement trois méthodes.

1. Bouteilles de gaz carbonique : adaptées aux fermes verticales de taille relativement modeste

- Avantage : coût d'installation relativement faible
- Inconvénient : le remplacement des bouteilles génère du travail et exige de l'espace de stockage

2. CO₂ liquide : pour installations de taille moyenne à grande

- Avantage : capacité à fournir de grandes quantités de CO₂
- Inconvénient : coût d'installation élevé

3. Générateurs de CO₂ à combustion : produisent du CO₂ en brûlant du kérosène ou du gaz de ville

- Avantage : coût courant relativement faible
- Inconvénient : en même temps que le CO₂, de la chaleur, de la vapeur d'eau et des sous-produits de combustion sont générés ; dans les installations closes à lumière artificielle, il faut donc traiter la chaleur résiduelle, la hausse d'humidité et les gaz de combustion (les conditions d'application diffèrent de celles d'une serre)

La méthode optimale varie selon la taille, le budget, les cultures produites, etc.

La gestion de la concentration en CO2

Dans l'apport de CO2, la gestion de la concentration est essentielle. Un système combinant capteurs de CO2 et dispositif de régulation est courant.

- Capteur de CO2 : mesure en temps réel la concentration en CO2 dans la salle de culture
- Dispositif de régulation : ajuste automatiquement le débit de CO2 à partir des mesures

Le coût et l'effet de l'apport de CO2

L'apport de CO2 suppose un investissement initial et des coûts courants. Mais même en soignant la lumière et la température, sans CO2 la plante ne pousse pas. Le CO2 est, au même titre que la lumière, l'eau et la température, l'un des éléments fondamentaux de la ferme verticale.

La gestion de la climatisation et de l'air

À côté de la température, de l'humidité et du CO2, il faut aussi maîtriser la circulation de l'air.

L'air stagne facilement en espace clos

La ferme verticale est peu sensible à l'environnement extérieur, mais en contrepartie l'air y stagne facilement, et sans gestion appropriée, divers problèmes apparaissent.

Le rôle du vent en ferme verticale totalement close

Le vent joue plusieurs rôles. 1. **Améliorer l'efficacité de l'apport en CO2** : même si l'on relève la concentration en CO2, sans circulation d'air il ne se diffuse pas uniformément, et l'efficacité photosynthétique chute 2. **Supprimer les inégalités de température et d'humidité** : sous l'effet de l'éclairage et de la climatisation, la température et l'humidité varient selon les zones. En particulier, des écarts de température apparaissent facilement entre les étages supérieurs et inférieurs des rayonnages 3. **Briser la couche limite foliaire** : à la surface de la feuille se trouve une fine couche d'air appelée « couche limite foliaire », et lorsqu'elle est épaisse, les échanges de CO2 et de vapeur d'eau sont entravés 4. **Réduire le risque de maladies** : dans un espace clos où l'humidité monte facilement, la circulation d'air est également importante pour freiner la prolifération des moisissures et des bactéries

Comment créer de la circulation d'air

Dans une ferme verticale totalement close, on crée principalement de la circulation d'air avec des « ventilateurs » et des « équipements de climatisation ».

1. Ventilateurs : apporter de l'air à un endroit précis. Les ventilateurs sont efficaces quand on veut envoyer de l'air de façon ponctuelle.

- Faire circuler le CO₂ qui s'accumule facilement dans le bas des rayonnages
- Envoyer de l'air aux endroits où les inégalités de température apparaissent facilement pour les homogénéiser
- Faire baisser l'humidité dans des zones précises

2. Fonction de soufflage des équipements de climatisation : faire circuler l'air dans toute l'installation. La climatisation ne gère pas seulement la température et l'humidité, elle possède aussi une fonction de soufflage d'air.

En combinant ventilateurs et fonction de soufflage de la climatisation, on peut contrôler efficacement l'environnement aérien. Veillez à créer un flux d'air dans la même direction sur l'ensemble de l'installation, afin que les flux ne s'annulent pas.

Vitesse et direction de l'air

Quand on crée du vent, il faut aussi soigner la vitesse et la direction. 1. **Vitesse de l'air** : trop forte, elle stresse les plantes et freine la croissance 2. **Direction de l'air** : la modifier permet d'améliorer l'efficacité de la circulation

- Diriger le vent le long des murs pour faciliter la circulation de l'air
- Le faire passer le long des rayonnages de culture pour distribuer le CO₂ efficacement

Saisir les flux d'air par la température et l'humidité

La gestion de la climatisation et de l'air est simple dès que les bases sont acquises. Les zones où l'air stagne peuvent être identifiées en mesurant la température et l'humidité. Dès que vous repérez des zones d'inégalité, ajustez la manière de souffler pour améliorer la situation.

La gestion des engrais

En culture hydroponique, à côté de la solution nutritive, l'engrais est tout aussi important.



Les conditions requises pour un engrais en ferme verticale

Les points à garder en tête au moment de choisir un engrais pour une ferme verticale sont les suivants.

- Solubilité dans l'eau : en culture hydroponique, l'engrais est apporté à la plante dissous dans l'eau. Il doit se dissoudre facilement et être bien assimilable
- Pureté : un engrais de haute pureté, peu chargé en impuretés, stabilise l'équilibre des composants de la solution nutritive et réduit le risque d'inhibition de croissance
- Action rapide : puisque l'objectif est de récolter en peu de temps, les engrais à action rapide, immédiatement assimilables par la plante, sont adaptés

Engrais simple et engrais complet

Les engrais utilisés en ferme verticale se répartissent en deux catégories : « engrais simple » et « engrais complet ». L'« engrais simple » ne contient qu'un nutriment spécifique, comme l'azote, le phosphate ou le potassium. L'« engrais complet » est un engrais dans lequel les nutriments nécessaires ont été mélangés à l'avance. Lequel utiliser dépend de la situation et de la politique de culture.

Les avantages de l'engrais simple

- Complément ciblé : à partir des résultats d'une analyse de solution nutritive, on peut combler avec un engrais simple le nutriment qui manque
- Réduction des coûts : l'engrais simple est généralement moins cher que l'engrais complet

- Formulation sur mesure : en combinant plusieurs engrais simples, on peut créer sa propre formulation

Les avantages de l'engrais complet

- Praticité : les nutriments nécessaires y sont déjà dosés, ce qui économise la préparation et la gestion
- Produits adaptés à l'usage : il existe des produits adaptés aux cultures et aux stades de croissance, par exemple pour les légumes-feuilles ou les fruits et légumes

Repères pour l'usage

Quand on débute en culture et que l'on ne sait pas quel engrais utiliser, je recommande de commencer par un engrais complet.

La formulation des engrais

La formulation des engrais est l'un des travaux importants d'une ferme verticale. Elle exige à la fois expérience et données, et il faut acquérir progressivement cette compétence. À titre de référence, je vous présente « SimpleFert », une fiche de programme de fertilisation gratuite que j'ai conçue à partir de mon expérience de terrain. Il suffit de renseigner les informations nécessaires pour calculer les quantités à formuler. <https://pfboost.com/fr/how-to-simplefert/>

La gestion de la solution nutritive



La solution nutritive s'obtient en dissolvant l'engrais dans l'eau. En ferme verticale, la solution nutritive est le pilier vital qui conditionne la croissance des plantes.

Les nutriments contenus dans la solution nutritive

En culture hydroponique, à la place du sol, on utilise la solution nutritive obtenue en mélangeant eau et engrais. Les principaux nutriments qu'elle contient sont les suivants.

- Azote (N) : favorise la croissance des feuilles et des tiges, indispensable à la synthèse des protéines et de la chlorophylle. Une carence fait jaunir les feuilles
- Phosphore (P) : favorise le développement des racines, la formation des fleurs et des fruits, et participe au métabolisme énergétique. Une carence entrave le développement racinaire
- Potassium (K) : stimule la photosynthèse et renforce la résistance aux maladies. Il intervient aussi dans la régulation hydrique des cellules. Une carence fait dessécher le bord des feuilles
- Calcium (Ca) : renforce la paroi cellulaire et stabilise la croissance. Une carence déforme les jeunes feuilles ou provoque la pourriture apicale des fruits
- Magnésium (Mg) : composant de la chlorophylle, indispensable à la photosynthèse. Une carence fait jaunir les zones entre les nervures foliaires
- Soufre (S) : composant des protéines, participe aussi à l'activation enzymatique. Une carence fait jaunir les feuilles dans leur ensemble

Ces nutriments sont appelés éléments majeurs, et aucun ne peut manquer sans que la plante dépérisse. D'autres nutriments, appelés micro-éléments, sont également importants.

Les bases de la gestion de la solution nutritive : CE et pH

Les deux indicateurs particulièrement importants dans la gestion de la solution nutritive sont « CE » et « pH ».

CE (conductivité électrique)

CE est l'abréviation de « Electrical Conductivity » (conductivité électrique) et exprime la conductivité du courant électrique. Lorsque l'engrais se dissout dans l'eau, le courant passe plus facilement : en observant la CE, on peut donc connaître indirectement la concentration d'engrais dissous dans la solution nutritive.

- CE élevée : la solution nutritive est concentrée
- CE faible : la solution nutritive est diluée

Si la CE est trop élevée, la plante ne parvient plus à absorber l'eau et risque de dépérir.

Ajuster la CE à un niveau approprié, en fonction de l'espèce et du stade de croissance, est le point le plus important de la gestion de la solution nutritive.

pH (concentration en ions hydrogène)

pH est l'abréviation de « potentiel Hydrogène » (concentration en ions hydrogène) et indique le degré d'acidité ou d'alcalinité de la solution nutritive. Les plantes se portent fondamentalement mieux autour d'un pH faiblement acide (pH 5,5 à 6,5). Quand le pH sort de la plage appropriée, les problèmes suivants surviennent.

- Inhibition de l'absorption des nutriments : les nutriments présents dans la solution nutritive deviennent difficiles à absorber
- Troubles de croissance : développement racinaire dégradé, couleur des feuilles détériorée
- Altération des racines : les racines sont endommagées, et l'absorption d'eau et de nutriments est entravée
- Absorption insuffisante des oligo-éléments : le fer, le manganèse, etc., deviennent difficiles à absorber, ce qui conduit à une croissance médiocre

Comme le pH influence aussi la solubilité des nutriments dans la solution nutritive, le maintenir dans la plage appropriée est essentiel.

Préparer la solution nutritive

Pour préparer la solution nutritive, on mélange eau et engrais dans les bonnes proportions. 1.

Préparation de l'eau : eau du robinet, eau de puits, eau filtrée, etc., sont utilisées, mais l'eau du robinet est le cas le plus fréquent. Quand on utilise des engrais contenant de l'azote ammoniacal, éliminez le chlore résiduel en laissant l'eau reposer ou avec du thiosulfate de sodium ou un produit équivalent 2. **Préparation de l'engrais** : pour un engrais complet, dissolvez la quantité appropriée dans l'eau selon les indications du produit. Si l'on exploite un système en circuit fermé, il est efficace de préparer une solution mère (solution stock) à environ 100 fois la concentration de la solution nutritive finale, puis de la diluer avec un injecteur ou un dispositif d'apport automatique pour obtenir la solution nutritive finale (il ne s'agit pas d'un « liquide dilué 100 fois » mais d'un concentré 100 fois avant dilution) 3.

Mélange : dissolvez progressivement l'engrais dans l'eau en remuant bien. Le calcium

précipite avec le phosphate et le sulfate dans une solution mère très concentrée ; certains types de systèmes divisent donc la cuve de solution mère en A et B (dans la solution nutritive finale après dilution, calcium, phosphate et sulfate coexistent) 4. **Ajustement de la CE et du pH** : mesurez au CE-mètre et au pH-mètre, et ajustez si nécessaire

- Valeur de CE : si elle est inférieure à la cible, ajoutez de l'engrais ; si elle est supérieure, ajoutez de l'eau pour diluer
- Valeur de pH : si elle est inférieure à la cible (tendance acide), ajoutez un correcteur pH+ ; si elle est supérieure à la cible (tendance alcaline), ajoutez un correcteur pH-

Gérer la solution nutritive

En cours de culture, la solution nutritive n'est jamais dans un état constant. 1. **Mesure** : mesurez la CE et le pH au moins une fois par jour (à fréquence plus faible, on perçoit les évolutions avec du retard). Aligner l'heure de mesure chaque jour facilite la comparaison des évolutions quotidiennes. Dans un environnement de grande taille, la mesure manuelle a ses limites 2. **Enregistrement** : notez systématiquement les valeurs mesurées. Cela permet de suivre les évolutions et d'enquêter sur les causes en cas de problème. Cahier ou tableur, peu importe 3. **Ajustement** : si les valeurs s'écartent des cibles, ajustez-les

- Valeur de CE : si elle est basse, ajoutez de l'engrais ; si elle est haute, ajoutez de l'eau pour diluer. Dans les grandes fermes, un système d'apport automatique est indispensable, et en dessous de la consigne, un ajout de solution nutritive se déclenche automatiquement
- Valeur de pH : ajoutez un régulateur de pH par petites quantités, en remuant bien, jusqu'à approcher la cible. Ajouter d'un seul coup une grande quantité peut provoquer la précipitation de composants de l'engrais : prudence

4. **Renouvellement de la solution nutritive** : après un certain temps de culture, l'équilibre des composants de l'engrais se dérègle, ou des composants indésirables s'accumulent. On pratique alors un « renouvellement de la solution nutritive », en la remplaçant régulièrement. La fréquence dépend de la culture et de la saison, mais en général, une fois tous les deux à trois mois est un repère.

Il arrive souvent que l'on se dise « je ne sais pas trop pourquoi, mais la croissance n'est pas terrible ». Avec l'expérience, on peut deviner la cause, mais en débutant ce n'est pas toujours possible. Dans ces moments-là, tenter un renouvellement de solution nutritive au jugé est une

option. Pouvoir faire ce choix quand on est en difficulté, c'est justement l'un des atouts de la culture hydroponique 5. **Observation** : observez attentivement non seulement la CE et le pH, mais aussi l'état des plantes. Un changement dans la couleur ou la forme des feuilles, ou dans la croissance, peut signaler un problème de solution nutritive

Points de vigilance dans la gestion de la solution nutritive

1. **Excès ou défaut d'engrais** : une CE trop élevée signifie un excès d'engrais qui inhibe la croissance. Un excès d'azote, en particulier, favorise un développement végétatif excessif et un feuillage mou. À l'inverse, une CE trop basse signifie un manque d'engrais et une croissance médiocre 2. **Variations brutales du pH** : ajouter une grande quantité de régulateur de pH d'un coup provoque une variation brutale du pH qui stresse la plante. Ajustez lentement, par petites quantités 3. **Température de l'eau (température de la solution nutritive)** : la température de la solution nutritive influence la solubilité de l'engrais, l'activité racinaire et la croissance. En général, une température autour de 20 °C est adaptée. Trop basse, l'absorption des nutriments se dégrade et la croissance ralentit. Trop élevée, l'oxygène dissous (DO) baisse, les racines s'abîment et les maladies apparaissent plus facilement. En principe, si elle est à peu près égale à la température de l'air de la salle de culture, il n'y a pas de problème (c'est la température de la salle, pas celle de l'extérieur) 4. **Maîtrise sanitaire** : nettoyez régulièrement le réservoir de solution nutritive et la tuyauterie. Si algues et débris s'accumulent à l'excès, les pathogènes se multiplient facilement.

Beaucoup de gens s'inquiètent des algues qui apparaissent dans la solution nutritive. Leur aspect est effectivement peu engageant et peu propre, mais c'est un phénomène inévitable. La posture « gérer pour qu'elles ne prolifèrent pas » est suffisante

Gagner en précision grâce aux données

Avec les données, la précision de la gestion de la solution nutritive monte encore d'un cran.

- Registre de culture : enregistrez la CE, le pH, la température de l'eau, le type et la quantité d'engrais ainsi que l'état de la culture, et saisissez la relation entre l'état de la solution nutritive et la croissance
- Analyse de solution nutritive : en la confiant à un laboratoire spécialisé, on peut connaître précisément la concentration de chaque composant. En ajustant la formulation à partir des

résultats, la gestion devient plus appropriée

- Exploitation des données d'environnement : en reliant les données d'environnement (température, humidité, concentration en CO₂) aux valeurs de CE, de pH et à l'état de croissance, on accroît la précision du contrôle environnemental et de la gestion de la solution nutritive

Le tip burn



« Ma laitue poussait bien, et juste avant la récolte, le bout des feuilles a commencé à brunir et à se dessécher. » Quand on travaille en ferme verticale, le tip burn est un désordre de croissance récurrent.

Qu'est-ce que le tip burn ?

Le tip burn est un désordre physiologique où l'extrémité et le bord des feuilles brunissent et se dessèchent. Au stade initial, l'extrémité de la feuille ne fait que se décolorer légèrement, mais la progression étend la zone desséchée, qui peut finir par gagner toute la feuille. Si vous vous dites « le bout des feuilles noircit un peu », c'est peut-être déjà un signe de tip burn.

Les causes du tip burn

Le tip burn n'est pas un problème simple qui se règle avec une solution unique. Les principaux facteurs sont les suivants.

Point 1. Carence en calcium

L'une des plus grandes causes est la carence en calcium à l'intérieur de la plante.

- La concentration en calcium de la solution nutritive est basse
- L'absorption de calcium est entravée par une baisse de l'activité racinaire
- À l'intérieur de la plante, le calcium n'est pas acheminé jusqu'à l'extrémité des feuilles

D'après mon expérience, les cas où la concentration en calcium dans la solution nutritive elle-même est insuffisante sont rares. Dans la plupart des cas, le calcium de la solution nutritive est suffisant et la vraie cause, c'est que pour une raison ou une autre, le calcium à l'intérieur de la plante ne migre pas jusqu'au bout des feuilles (défaut de translocation du calcium). Il y a parfois des gens qui raisonnent trop simplement : « si le calcium manque, augmentons l'engrais Ca ». Mais tant que la concentration en calcium de la solution nutritive n'est pas en cause, augmenter l'engrais Ca a tendance à produire l'effet inverse (hausse de la CE, précipitation, antagonismes avec d'autres ions).

Point 2. Humidité élevée

Quand l'humidité est forte, on imagine volontiers que la plante poussera vigoureusement, mais ce n'est pas toujours vrai.

- Baisse de l'activité racinaire : une humidité forte retire à la plante la nécessité d'absorber activement de l'eau, et l'activité racinaire baisse
- Freinage de la transpiration : une transpiration freinée entrave le transport du calcium vers les feuilles

Point 3. Croissance trop rapide

Une croissance rapide est une bonne nouvelle en soi, mais elle exige beaucoup de nutriments. Si l'absorption de nutriments ne suit pas la vitesse de croissance, c'est le calcium qui vient à manquer en priorité, et le tip burn apparaît plus facilement.

Point 4. Autres facteurs

En plus de ce qui précède, les facteurs suivants entrent en jeu.

- Variété : certaines variétés sont sujettes au tip burn
- Température : stress thermique, par chaleur ou par froid
- Lumière : lumière trop forte, ou environnement lumineux à faible efficacité photosynthétique
- Vent : une mauvaise circulation d'air fait monter l'humidité

Les facteurs s'entremêlent de façon complexe, et il est parfois difficile d'identifier la cause.

Les parades contre le tip burn

Les mots clés pour penser les parades sont « transpiration » et « vitesse de croissance ».

Maintenez une transpiration correcte via la gestion de l'humidité, et si la croissance est trop rapide, revoyez l'intensité lumineuse, la température, le CO2 et d'autres conditions environnementales dans le sens de la baisse (dans le sens de freiner la croissance) (accélérer encore la croissance aggrave les symptômes ; ici, on cherche à réduire, non à augmenter). Cela dit, une croissance rapide est en soi une bonne chose pour le producteur. Si elle fait apparaître trop de tip burn, alors il faut aussi envisager de freiner la croissance. C'est précisément cet équilibre qui fait la difficulté de la parade.

Moi aussi, le tip burn m'a donné du fil à retordre

J'ai écrit sur le mécanisme et les parades, mais le tip burn ne se règle pas facilement. Il m'a donné énormément de fil à retordre. Pour accroître la rentabilité d'une ferme verticale, il faut comprendre le tip burn et apprendre à composer avec. Les astuces pour un réglage environnemental fin sont détaillées dans le contenu suivant.

172 conseils pour accroître la rentabilité de la ferme verticale - savoir-faire affiné sur le terrain pendant plus de 10 ans -

L'étiollement

À côté du tip burn, l'autre désordre de croissance emblématique est l'« étiollement ».

L'étiollement, c'est le phénomène par lequel la plante allonge ses tiges plus que nécessaire à la recherche de lumière. Pensez à la plante d'intérieur près d'une fenêtre qui s'étire toute frêle en direction de la lumière : c'est à peu près cela.



Quand l'étiollement se produit en ferme verticale, les effets sont les suivants.

- Baisse de rendement : les tiges s'allongent, mais les feuilles, qui sont l'essentiel, deviennent petites.
- Baisse de qualité : les tissus deviennent mous, la conservation et la qualité gustative se dégradent.
- Baisse d'efficacité au travail : les plantes tombent facilement, et la récolte comme les opérations de gestion demandent plus d'efforts.

Le plus gênant, c'est qu'une feuille étiolée en début de croissance ne se rétablit pas complètement, même si l'on corrige ensuite l'environnement.

Les causes de l'étiollement

L'étiollement a trois causes principales.

- Manque de lumière : quand l'intensité de l'éclairage LED horticole est insuffisante, la plante allonge sa tige à la recherche de lumière.
- Déséquilibre du spectre lumineux : lorsque l'équilibre entre le rouge, le bleu, le vert et le rouge lointain est rompu, l'étiollement est facilité.
- Densité excessive : une densité trop forte fait que les plantes se disputent la lumière. Je comprends l'envie d'exploiter un espace limité, mais entasser les plants produit l'effet inverse.

Les parades contre l'étiollement

Revoir l'environnement lumineux

- Augmenter l'intensité lumineuse : assurez une intensité appropriée selon la culture et le stade de croissance. Si possible, envisagez d'ajouter des luminaires.
- Ajuster le spectre lumineux : choisissez un éclairage LED horticole dont les longueurs d'onde sont équilibrées.
- Disposition de l'éclairage : éclairer non seulement par le haut mais aussi par les côtés réduit les inégalités.
- Utiliser des réflecteurs : ils permettent d'exploiter la lumière plus efficacement et compensent un manque d'intensité.

Ajuster la densité de plantation

- Maintenez une densité adaptée à la culture et au stade de croissance. En particulier, réglez précisément le moment du repiquage.

Autres facteurs environnementaux

- Une température trop élevée facilite l'étiollement. Menez une gestion correcte de la température.
- Une humidité trop forte favorise aussi l'étiollement. Ajustez par ventilation et déshumidification.

Comme l'étiollement, une fois survenu, ne peut pas être inversé, la détection précoce et l'action rapide sont ce qui compte avant tout.

Passer à la vitesse supérieure en gestion des cultures

J'ai jusqu'ici exposé les connaissances de base de la gestion des cultures. C'est une partie importante du point de vue du savoir, mais sur le terrain, on se retrouve parfois à se dire : « j'ai les connaissances, mais concrètement, par où commencer ? ».

Pour y répondre, je vous présente les « modèles de gestion des opérations sur le terrain » que j'ai préparés.

- **Modèle pour concevoir le procédé de culture** : un outil qui, à partir du volume de récolte visé, calcule à rebours le nombre de bacs nécessaire, les types de panneaux, la durée de culture, etc. Il permet aussi de simuler des variations du nombre de repiquages et des jours d'exploitation.

- **Outil de programme de fertilisation** : il suffit de renseigner les informations nécessaires pour calculer une formulation combinant engrais complet et engrais simple. Ce qui dépend souvent des individus dans les fermes expérimentées est ramené à une forme reproductible.

- **Modèle de planning de travail** : à partir du procédé de culture, il déduit le contenu des travaux quotidiens et les effectifs nécessaires. Il aide à éviter les sur- ou sous-effectifs et à organiser les affectations.

Ces outils ne sont pas universels. Pour les utiliser sur le terrain, une personnalisation est également nécessaire. Mais comme premier déclic pour « traduire les connaissances en procédure concrète », ils sont utiles. La structure même des modèles laisse deviner les points de la gestion des opérations sur le terrain à ne pas manquer.

<https://pfboost.com/fr/templateform/>

Résumé du chapitre 2

- Le choix des cultures se juge sur trois points : « besoins du marché », « facilité de culture » et « adéquation avec les équipements »
- L'éclairage LED horticole présente trois avantages : économies d'énergie, longue durée de vie et choix des longueurs d'onde
- En culture hydroponique, NFT (culture en film nutritif) et DFT (culture en eau profonde) sont les systèmes dominants
- La gestion de la température, de l'humidité, du CO₂ et du vent interagit : il faut raisonner de manière globale
- En gestion de la solution nutritive, les deux indicateurs CE et pH sont essentiels
- Le tip burn et l'étiollement sont les désordres de croissance les plus fréquents en ferme verticale

Les méthodes d'amélioration plus concrètes et les valeurs de référence pour chaque thème sont détaillées dans « 172 conseils pour accroître la rentabilité de la ferme verticale ».

Chapitre 3 : La pratique de la gestion des opérations sur le terrain

Établir la planification de la production

À partir d'ici, nous allons voir en détail le contenu des tâches de gestion d'une ferme verticale.

Le premier thème, c'est la planification de la production.

1.施設の設備仕様														
エリア	ベッド数	1ベッド面積	使用ベッド数	稼働率										
育苗	20 ベッド	7.6 m ²	10 ベッド	50.00%										
生育	160 ベッド	27.0 m ²	131 ベッド	81.56%										
2.原価計算														
		月間(30日)	1日あたり	フリル	ロメイン	サンチュ	グリーン							
使用ベッド	育苗	10.00	4.00	0.67	0.67	3.14								
	生育	130.50	62.00	11.00	11.00	44.00								
専有面積		3520 m ²	1704 m ²	302 m ²	302 m ²	1212 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	
専有面積利用率		100.00%	48.41%	8.59%	8.59%	34.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
人件費		¥6,900,000	¥230,000	¥111,353	¥19,737	¥19,737	¥79,174	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
原材料費(運送)		¥2,375,400	¥79,180	¥21,500	¥20,440	¥20,440	¥16,800	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
原材料費(栽培)		¥3,519,158	¥117,305	¥56,793	¥10,066	¥10,066	¥40,380	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
水道光熱費		¥6,245,104	¥208,170	¥100,784	¥17,863	¥17,863	¥75,659	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
その他		¥7,139,660	¥239,989	¥116,189	¥20,594	¥20,594	¥82,612	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
製造原価		¥26,239,322	¥874,644	¥406,620	¥88,700	¥88,700	¥290,626	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	
製造原価/面積		¥248	¥248	¥239	¥294	¥294	¥240							
3.栽培工程設計														
※種 = フォルム代など、育苗段階の名の														
品目名	栽培工程	使用資材	ベッド収容数	ベッド数	作業枚数/日	稼働日数/種	日数	株数	苗の歩留まり	原材料費(運送) /株	原材料費(運送) /日	計画の日数	ベッド数の変更	作業枚数の仕算
フリル	種所発芽	300 株	16 枚	1.9 ベッド	15 枚	7.0 日	2.0 日	4500 株	¥3.00	¥13,500	2 日	1.88 ベッド	15 枚	
フリル	育苗	300 株	42 枚	4.0 ベッド	15 枚	7.0 日	11.2 日	4500 株	100.00%	¥0	11 日	3.93 ベッド	15 枚	
フリル	生育	50 株	50 枚	18.0 ベッド	82 枚	7.0 日	11.0 日	4100 株	91.20%	¥0	11 日	18.04 ベッド	82 枚	
フリル	生育	20 株	50 枚	44.0 ベッド	200 枚	7.0 日	11.0 日	4000 株	97.60%	¥2.00	¥8,000	11 日	44.00 ベッド	200 枚
								0 株	0.00%					
ロメイン	種所発芽	300 株	16 枚	0.3 ベッド	6 枚	3.0 日	2.0 日	1800 株	¥3.00	¥12,600	2 日	0.32 ベッド	6 枚	
ロメイン	育苗	300 株	42 枚	0.7 ベッド	6 枚	3.0 日	10.9 日	1800 株	100.00%	¥0	11 日	0.67 ベッド	6 枚	
ロメイン	生育	50 株	50 枚	3.0 ベッド	34 枚	3.0 日	10.3 日	1700 株	94.50%	¥0	10 日	2.91 ベッド	35 枚	
ロメイン	生育	20 株	50 枚	8.0 ベッド	84 枚	3.0 日	11.1 日	1680 株	98.90%	¥2.00	¥7,840	11 日	7.92 ベッド	85 枚
								0 株	0.00%					
サンチュ	種所発芽	300 株	16 枚	0.3 ベッド	6 枚	3.0 日	2.0 日	1800 株	¥3.00	¥12,600	2 日	0.32 ベッド	6 枚	
サンチュ	育苗	300 株	42 枚	0.7 ベッド	6 枚	3.0 日	10.9 日	1800 株	100.00%	¥0	11 日	0.67 ベッド	6 枚	
サンチュ	生育	50 株	50 枚	3.0 ベッド	34 枚	3.0 日	10.3 日	1700 株	94.50%	¥0	10 日	2.91 ベッド	35 枚	
サンチュ	生育	20 株	50 枚	8.0 ベッド	84 枚	3.0 日	11.1 日	1680 株	98.90%	¥2.00	¥7,840	11 日	7.92 ベッド	85 枚

Pourquoi une planification de la production est-elle nécessaire ?

La façon de faire de l'agriculture traditionnelle, qui s'aligne sur les saisons et la météo, ne fonctionne pas en ferme verticale. En contrepartie de la maîtrise de l'environnement, il faut décider à l'avance ce que l'on produit, quand, et en quelle quantité.

Si l'on fait tourner la culture sans établir de planification de la production, les problèmes suivants apparaissent.

1. Décalage entre l'offre et la demande : on produit des cultures ou des quantités qui ne correspondent pas à la demande du marché, et les invendus s'accumulent.
2. Échec de la maîtrise des coûts : l'électricité, l'eau, les frais de personnel, les engrais, etc., sont engagés en amont, et il ne reste pas de bénéfice. Les consommables et les frais de personnel, en particulier, sont à prévoir avant la plantation. Sans visibilité préalable, les dépenses non prévues s'accumulent.
3. Hétérogénéité de la qualité : la gestion des conditions environnementales et des opérations devient improvisée, et la finition des légumes n'est pas uniforme.

Les trois étapes de la planification de la production

Quels légumes, quand et en quelle quantité : on met de l'ordre en trois étapes.

Étape 1. Prévision de la demande

On commence par l'étude de marché. On identifie quels légumes sont demandés, à quel moment et en quelle quantité.

- Marché cible : supermarchés, restaurants, consommateurs particuliers, où vendre
- Prix de vente : à quel prix on peut vendre selon le marché
- Variations saisonnières de la demande : évolution de la demande selon la saison
- Concurrence : situation des autres entreprises qui produisent les mêmes cultures

On s'appuie sur les données de vente passées et les tendances du marché pour prévoir, mais personne ne connaît la réponse du type « si je produis ceci, je vends à coup sûr ». Il s'agit avant tout de poser des hypothèses.

Étape 2. Élaboration de la planification de la production

À partir de la prévision de la demande, on traduit le tout en plan concret.

Cultures produites : on juge sur trois points, besoins du marché, durée de culture et rentabilité.

Volume de production cible : on fixe un volume réaliste à partir de la taille de l'installation, de la capacité des équipements, de la main-d'œuvre et des débouchés. Calendrier de culture : on aligne la période de récolte sur la demande du marché et on calcule à rebours la durée de culture. Ressources nécessaires : estimation des semences et plants, des engrais, des consommables, du personnel, de l'électricité et de l'eau.

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, il importe de bâtir un plan raisonnable.

Date	Cultures	Semaine 1				Semaine 2				Semaine 3				Semaine 4			
		Planif	Recolte	Planif	Recolte	Planif	Recolte	Planif	Recolte	Planif	Recolte	Planif	Recolte	Planif	Recolte		
2024/05/01	Water	4500				1800				1800				3600			
2024/05/02	Wood	4500												3600			
2024/05/03	Gold	4500	4500	4500		1800	1800	1800		1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/04	Earth	4500	4500	4500						1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/05	Day	4500	4500	4500		1800	1800	1800						3600	3600		
2024/05/06	Month	4500	4500	4500						1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/07	Fire	4500	4500	4500						1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/08	Water	4500	4500	4500		1800	1800	1800						3600	3600		
2024/05/09	Wood	4500	4500	4500						1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/10	Gold	4500	4500	4500		1800	1800	1800						3600	3600		
2024/05/11	Earth	4500	4500	4500						1800	1800	1800		3600	3600		
2024/05/12	Day	4500	4500	4500			1800	1800						3600	3600		
2024/05/13	Month	4500	4500	4500		1800				1800	1800			3600	3600		
2024/05/14	Fire	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1700				3600	3600		
2024/05/15	Water	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1800	1800	1800	1700	3600	3600		
2024/05/16	Wood	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1700		3600	3600		
2024/05/17	Gold	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1800	1800			3600	3600		
2024/05/18	Earth	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1700		3600	3600		
2024/05/19	Day	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1800	1800			3600	3600		
2024/05/20	Month	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1700	3600	3600		
2024/05/21	Fire	4500	4500	4500	4500	4100			1800					3600	3600		
2024/05/22	Water	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1800	1800	1700		3600	3600		
2024/05/23	Wood	4500	4500	4500	4500	4100					1800			3600	3600		
2024/05/24	Gold	4500	4500	4500	4500	4100			1800	1800	1800	1700	1680	3600	3600		
2024/05/25	Earth	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000						3600	3600		
2024/05/26	Day	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800	1700	1680		
2024/05/27	Month	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800			1700			
2024/05/28	Fire	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800	1700	1680		
2024/05/29	Water	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1700				
2024/05/30	Wood	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800	1700	1680		
2024/05/31	Gold	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800	1700	1680		
2024/06/01	Earth	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800	1700	1680		
2024/06/02	Day	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000			1800	1800	1800		3600		

Étape 3. Suivi et révision

Un plan ne s'arrête pas à son établissement. Il se corrige au fil de son exécution.

- Suivi de la croissance : observer et consigner régulièrement.
- Vérification des ventes : vérifier si les ventes suivent le plan, si le stock est au bon niveau.
- Identification des problèmes : si un écart apparaît, en analyser la cause.
- Révision du plan : au besoin, ajuster le calendrier ou le volume de production.

La planification de la production est la pièce maîtresse de l'exploitation d'une ferme verticale.

Le semis



À partir d'ici, nous allons voir le savoir-faire des opérations concrètes par lesquelles on fait pousser les légumes.

Qu'est-ce que le semis

Le « semis », c'est semer les graines. Comme la ferme verticale n'utilise pas de terre, la méthode diffère de l'agriculture traditionnelle.

La méthode de semis en ferme verticale

Le semis en culture hydroponique repose sur un autre principe que la culture en pleine terre.

- Culture en pleine terre : on sème directement dans le sol
- Culture hydroponique : on sème dans un substrat

Le substrat, c'est le matériau qui, en remplacement de la terre, soutient les racines de la plante et lui fournit eau et nutriments.

Les étapes du semis

En culture hydroponique, le semis se déroule comme suit.

1. Préparation du substrat : placer le substrat dans un plateau dédié et l'imbiber d'eau pour qu'il soit suffisamment humide. 2. Semis : déposer les graines dans le substrat, à la pincette ou avec un semoir dédié.

- La densité de semis varie selon la culture.

- Après le semis, maintenir l'humidité, par exemple en couvrant le récipient, pour éviter le dessèchement et l'entraînement des graines.

3. Brumisation : pulvériser l'eau délicatement en fine brume, au brumisateuse. 4. Mise au repos : gérer correctement température, humidité et lumière, puis attendre la germination.

Les points pour améliorer le taux de germination

Quand la germination se passe mal, on vérifie les cinq points suivants.

- Qualité des semences : choisir des semences fraîches et à fort taux de germination. La température et l'humidité de conservation ont aussi une influence.

- Choix du substrat : le taux de germination et la croissance changent selon son type.

- Imbibition du substrat : humidifier suffisamment. Avec un substrat en mousse de polyuréthane en particulier, les défauts de germination proviennent le plus souvent d'un manque d'eau.

- Gestion de la température : la température adaptée à la germination varie selon la culture.

- Arrosage homogène : si la pression est trop forte ou si l'arrosage est inégal, les graines se déplacent ou la germination devient irrégulière. Arroser doucement et uniformément.

Le semis est le premier pas de la gestion des cultures. Un écart à ce stade se répercute sur toutes les étapes qui suivent.

La production de plants



L'étape qui suit le semis, c'est la « production de plants ». Elle désigne la période pendant laquelle on fait pousser les plants germés jusqu'à un état où ils peuvent supporter le repiquage.

Pourquoi la production de plants est-elle importante

Après le semis, la période pendant laquelle les plants atteignent une certaine taille est appelée « période de production de plants ». En ferme verticale, on peut prévoir une salle ou des rayonnages dédiés à la production de plants.

La qualité du stade de production de plants est directement liée aux résultats de culture ultérieurs.

- Meilleur taux de reprise : au moment du repiquage et de la plantation définitive, les racines s'installent facilement et la plante s'adapte vite à son nouvel environnement.
- Croissance plus rapide : un plant robuste poursuit ensuite une croissance régulière et la période jusqu'à la récolte se raccourcit.
- Meilleure qualité : un plant bien nourri résiste mieux aux maladies.
- Meilleur rendement : faire pousser des plants sains tire le rendement final vers le haut.

Les étapes de la production de plants

En culture hydroponique, la préparation de l'environnement de production de plants se fait comme suit.

- **Température** : régler selon la culture et le stade de croissance. Pour la laitue, il est courant de maintenir la température de la salle de production de plants (la température

ambiante de la salle, pas la température de la solution nutritive) autour de 25 °C. Les jeunes plants supportent mal le froid : attention à ne pas trop baisser.

- **Humidité** : trop élevée, les maladies apparaissent facilement. Un repère est une humidité relative (HR) de l'ordre de 60 à 70 %.

- **Lumière** : de nombreuses variétés ne demandent pas de lumière pour la germination elle-même, mais à partir du moment où, après la germination, les cotylédons se déploient et la photosynthèse commence, il faut assurer une intensité lumineuse appropriée. Dans les conduites où l'on n'éclaire pas pendant la période de germination, veiller à ce que l'allumage de l'éclairage après le déploiement des cotylédons ne soit pas retardé (un démarrage d'éclairage tardif est à l'origine d'étiollement et de plants chétifs).

- **Solution nutritive** : tant que les plants sont petits, il est courant de régler la CE (concentration de la solution nutritive) à un niveau bas et de l'augmenter à mesure que la croissance progresse. Cela dit, d'après mon expérience, si la gestion est difficile, on peut conduire les plants en maintenant une CE faible et constante sans que cela pose de problème dans la pratique (cela ne veut pas dire qu'il faut la maintenir constante au même niveau élevé que dans la culture principale. Il s'agit bien de la maintenir constante à une valeur faible à moyenne).

Ce qui importe dans la gestion après germination, c'est le moment du repiquage. Quand les plants grandissent et que les feuilles voisines commencent à se chevaucher, c'est le signal du repiquage. Les laisser en l'état empêche la lumière de passer correctement et entrave une croissance normale.

	A	B	C	D	E	F	G
1		フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル
2	播種日	播種数	5日目 発芽率	発芽苗	移植数	過不足	備考 ※異常時の対応等
3	2024/05/01	4500	95%	4275	4100	175	
4	2024/05/02	4500	95%	4275	4100	175	
5	2024/05/03	4500	95%	4275	4100	175	翌日の不足分に充当
6	2024/05/04	4500	85%	3825	4100	-275	前日分から充当、不足は翌日分を使用
7	2024/05/05	4500	95%	4275	4100	175	
8	2024/05/06	4500	95%	4275	4100	175	
9	2024/05/07	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認
10	2024/05/08	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認
11	2024/05/09	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認

Tenir un registre de production de plants

La production de plants est le point de départ de la période de culture qui suivra. Une erreur ou un incident à ce stade laisse des effets négatifs sur une longue période.

Consigner les données d'environnement et l'état de croissance des plants pendant la période de production de plants apporte les bénéfices suivants.

- Détection précoce des problèmes : on peut repérer rapidement les troubles de croissance ou les signes de maladie.
- Recherche de causes : en cas de souci, on peut revenir sur le registre pour identifier plus facilement la cause.
- Accumulation de savoir-faire : on peut améliorer la méthode de production de plants en s'appuyant sur les registres passés.
- Gestion fondée sur les données : on gère par les chiffres, et non plus par la seule expérience et l'intuition.

Au début, tenir un registre peut paraître fastidieux. Pourtant, l'accumulation change considérablement la précision de la culture. Il suffit de commencer dans la mesure de ses moyens.

Le repiquage et la plantation définitive



Les plants sortis de la production de plants sont transférés vers un espace plus large.

Le repiquage

Le repiquage, c'est l'opération qui consiste à déplacer les plants vers un espace plus large. Si racines et feuilles restent à l'étroit, les problèmes suivants apparaissent.

- Manque de nutriments : les racines n'absorbent pas suffisamment de nutriments et la croissance s'en ressent.
- Manque de lumière : les feuilles voisines font obstacle et la quantité de lumière reçue par plant diminue.
- Risque accru de maladies : la résistance baisse et les maladies se déclarent plus facilement.

Quand les plants ont grandi, les déplacer dans un espace plus large leur permet d'absorber suffisamment de nutriments et accélère la croissance.

La plantation définitive

La plantation définitive, c'est le dernier repiquage pratiqué en vue de la récolte. En répétant le repiquage par étapes, on améliore à la fois le volume et la qualité de la récolte.

Le problème d'un espacement entre plants trop étroit a déjà été évoqué, mais à l'inverse, s'il est trop large, voici ce qui se passe.

- Espace gaspillé : on n'exploite pas l'espace de culture, lui-même limité.
- Baisse du volume de récolte : le volume de récolte par unité de surface diminue.

La ferme verticale est un dispositif qui améliore l'efficacité de la production en empilant les bacs de culture à la verticale. On veut utiliser l'espace à plein, mais trop serrer entrave la croissance. C'est ce double impératif qui compte.

La clé de la plantation définitive, c'est de trouver « l'espacement entre plants optimal » qui permet aux cultures de pousser sans stress tout en maximisant le nombre de plants. Pour chaque combinaison de culture et d'équipement, c'est sur le terrain que l'on affine.

La récolte et le parage



L'étape finale de la culture, c'est la récolte et le parage. C'est le moment où les graines que l'on a semées soi-même deviennent des légumes aboutis, mais c'est en même temps le point de départ d'une nouvelle série d'opérations tournées vers la vente.

Comment mener la récolte en ferme verticale

Le travail de récolte en ferme verticale est assez différent de la culture en plein champ. La base, c'est de répartir les tâches en travail à la chaîne.

- Récolte : récolter les légumes depuis les bacs de culture.
- Transport : acheminer les légumes récoltés vers la zone de parage.
- Parage : retirer les feuilles qui ne deviendront pas produit.

L'image est proche d'une ligne de production industrielle : la répartition des tâches joue un rôle décisif dans l'efficacité.

Qu'est-ce que le parage

Le parage, c'est l'opération qui consiste à mettre en forme les légumes récoltés. Ce n'est pas seulement une question d'apparence : cela touche à la valeur commerciale elle-même.

Des légumes bien formés et proprement parés donnent les effets suivants :

- ils paraissent frais et appétissants
- ils inspirent confiance
- ils donnent une impression de haute qualité.



Les bases du parage

Dans le parage, on garde en tête les trois points suivants.

- Retirer les feuilles abîmées ou décolorées
- Remettre en forme
- Respecter le standard

Pour les légumes-feuilles, on retire quelques feuilles extérieures abîmées et l'on conserve les feuilles propres au centre. Les critères portant sur le nombre de feuilles, la longueur, le poids, la forme, etc., sont parfois définis dans le détail selon la ferme et le client.

Un parage négligé rogne la rentabilité

Un parage négligé se répercute directement sur la rentabilité, comme suit.

- Baisse de rendement : on retire plus de feuilles que nécessaire et la quantité vendable diminue.
- Baisse de qualité : on blesse ou on déchire des feuilles, et la valeur commerciale chute.
- Baisse d'efficacité au travail : un travail négligé entraîne des reprises et finit par prendre plus de temps.

Le parage est une étape qui touche directement au rendement, à la qualité et à l'efficacité au travail.

La récolte et le parage, aboutissement de la culture

La récolte et le parage sont la touche finale du terrain. Il faut à la fois rapidité et précision.

Même si la gestion des cultures jusque-là a été soignée, une finition négligée gâche tout.

Les opérations post-récolte

Les légumes récoltés ne peuvent pas simplement être laissés en place. C'est l'ensemble des opérations jusqu'à l'expédition qui détermine la qualité.



La course contre le temps pour préserver la fraîcheur

Dès l'instant où le légume est récolté, sa fraîcheur décline. Quand la fraîcheur baisse, les changements suivants surviennent.

- Apparence : l'éclat disparaît et le légume se flétrit.
- Goût : l'arôme faiblit, l'amertume et l'âpreté augmentent.
- Valeur nutritionnelle : les vitamines et les minéraux diminuent.
- Risque sanitaire : les bactéries prolifèrent plus facilement et le risque d'intoxication alimentaire augmente.

Pour préserver la fraîcheur, il faut traiter correctement les opérations post-récolte.

Les quatre étapes post-récolte

Les opérations post-récolte se divisent globalement en quatre étapes.

1. **Transport** : acheminer les légumes depuis la zone de culture vers la zone de travail.

- Gestion de la température : maintenir une température appropriée pendant le transfert.
- Protection contre les chocs : utiliser conteneurs et chariots pour absorber les chocs.



2. Pesée et calibrage : viser l'homogénéité de la qualité. Les critères de taille, de forme, de poids, etc., varient selon la ferme et le client. Les légumes hors calibre sont retirés. Le travail manuel est possible, mais l'introduction d'une calibreuse automatique améliore l'efficacité.

3. Conditionnement et emballage : placer les légumes dans des sachets ou des barquettes.

- Conservation de la fraîcheur : le conditionnement ralentit la respiration et la perte d'eau.
- Protection : à l'abri des chocs et des blessures pendant le transport.
- Valorisation : mise en forme de l'apparence, transmission d'informations par le matériau d'emballage.
- Matériaux d'emballage : film, barquette, filet, etc., choisis selon la culture et le mode de vente.

4. Stockage : conserver à la température et à l'humidité appropriées.

- Maintien de la fraîcheur : le froid freine la respiration.
- Prévention de la dégradation : la gestion de l'humidité évite dessèchement et pourriture.
- Lieu de stockage : utiliser une chambre froide ou une armoire réfrigérée à la température et à l'humidité adaptées à la culture et à la durée de conservation.

Les points du contrôle qualité

Pour que les opérations post-récolte se traduisent bien en qualité, quatre points sont à retenir.

- **Gestion de la température** : maintenir la température depuis la récolte jusqu'à l'expédition. En particulier, multiplier les entrées-sorties de la chambre froide provoque de la condensation à l'intérieur et à l'extérieur de l'emballage, ainsi qu'à la surface des légumes, et la dégradation s'accélère brutalement. C'est un point souvent négligé sur le terrain.
- **Maîtrise sanitaire** : hygiène rigoureuse des locaux de travail et des outils.
- **Enregistrement** : consigner les quantités en stock et les dates et heures de récolte permet, en cas de problème, d'en remonter la cause.
- **Système de contrôle** : vérifier l'état avant expédition et s'assurer que les critères de qualité sont respectés.

2024/5/11		2024/5/11																														
項目	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	ロメイン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン	グリーン			
製品規格	L	M	M	S	PB	5kg	1kg	500g	200g	L	M	M	S	PB	1kg	L	M	M	S	PB	1kg	L	M	M	S	PB	1kg	500g	200g			
ケース入数	10	1	12	12	12	1	1	1	10	1	12	12	12	1	10	1	12	12	12	1	10	1	12	12	12	1	1	1	1			
総量(kg)	110	90	75	80	80	6500	1300	600	110	90	90	75	80	1300	110	90	90	75	80	1300	110	90	75	80	80	6500	1300	600	300			
1.製造数				8	92	2				8					8						8	92										
2.出荷数						2																										
3.在庫数				6	12	92			8	66	29	8	58	37	3	4			8	100	58	29	3	11		16	92	5				
4.廃棄数											2			2								2		5								
出荷前在庫																																
5月11日																																
5月10日				1					42	5		42	5	3	4						42	5	2	2						42		
5月9日				6	3				8	16	12	8	16	12							8	16	12		4					8	16	
5月8日																							1									
5月7日										10				10											1							
5月6日											2			2												2		5				
合計	0	0	6	4	0	0	0	0	8	58	29	8	58	29	3	4	0	0	8	58	29	3	11	0	0	8	0	0				
A社																																
B社									2																							
C社																																
D社																																

Les opérations post-récolte sont l'étape finale qui livre la qualité de la culture sous forme de qualité du produit.

La gestion et la formation du personnel

	9	10	11	12	13	14	15	16	17																							
	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
朝礼 準備等	20																															
収穫・トリミング	9	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
収穫補助	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
計量	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
包装	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
検品	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
梱包	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ピッキング・在庫管理	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
清掃・洗浄	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
定植										3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
移植1																																
移植2																																
播種																																
昼休憩A																																
昼休憩B																																
午前シフト人数	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
全日シフト人数	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
合計	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Nous avons parcouru jusqu'ici les connaissances et les techniques de la gestion des cultures, mais la technique et les équipements seuls ne suffisent pas à exploiter une ferme verticale. Former les personnes qui les font fonctionner est indispensable.

Les connaissances et les compétences requises

Dans les offres d'emploi en ferme verticale, « débutants bienvenus » est fréquent, mais les connaissances nécessaires sur le terrain sont étendues.

Cela va des connaissances sur la croissance des plantes à la technique de culture, à la conduite et à la gestion des équipements, à la maîtrise sanitaire, au contrôle qualité, à l'analyse de données et à la capacité de résolution de problèmes.

Les deux piliers de la formation du personnel

On pense la formation en deux étapes, base et spécialisation.

Formation de base : pour l'ensemble du personnel

Elle s'adresse aux nouveaux entrants et aux débutants. Elle pose les connaissances de base sur la ferme verticale et les procédures de travail fondamentales.

- Vue d'ensemble de la ferme verticale : différences avec les autres formes d'agriculture
- Bases de la gestion des cultures : température, humidité, lumière, CO₂, solution nutritive, etc.
- Systèmes de culture hydroponique : principe, types, avantages et inconvénients
- Procédures de travail : étapes du semis, de la production de plants, du repiquage, de la plantation définitive et de la récolte
- Maîtrise sanitaire : moyens de prévenir l'apparition de maladies et de ravageurs
- Contrôle qualité : méthodes pour fournir de façon stable des légumes de haute qualité
- Gestion de la sécurité : consignes de sécurité au travail

Aux nouveaux entrants en particulier, on fait étudier de manière prioritaire la maîtrise sanitaire et le contrôle qualité. À partir du moment où ils participent au travail, un socle minimal de connaissances est indispensable.

Formation spécialisée : principalement pour les responsables

Destinée aux membres du personnel ayant achevé la formation de base, elle vise l'acquisition de connaissances et de compétences spécialisées.

- Technique de culture : méthodes de culture et contrôle de l'environnement pour des cultures spécifiques
- Gestion des équipements : conduite et maintenance des systèmes de culture hydroponique, de l'éclairage et des équipements de climatisation
- Analyse de données : exploiter les données de culture pour détecter les problèmes et améliorer
- Contrôle qualité : méthodes de contrôle qualité plus avancées et techniques d'inspection

La gestion et la formation du personnel sont des éléments qui pèsent fortement sur les résultats d'une ferme verticale. Face à l'investissement en équipement, cela paraît discret, mais en réalité c'est ce qui agit le plus.

La maîtrise sanitaire, sans compromis

Sur le terrain de la ferme verticale, la cohabitation avec les pathogènes et les ravageurs est permanente.



Pourquoi la maîtrise sanitaire est-elle importante

Comme la ferme verticale est un espace clos, dès qu'une maladie se déclare, elle se propage d'un seul coup. Pour les moisissures et les bactéries qui aiment la chaleur et l'humidité, une ferme verticale dont la gestion laisse à désirer est un terreau idéal.

Les trois piliers de la maîtrise sanitaire

1. Zonage hygiénique (définition de zones propres)

Découper l'intérieur de la ferme en zones selon le niveau de propreté est la base de la maîtrise sanitaire.

- Zone sale : extérieur de la ferme, zone de réception des consommables, vestiaires, etc., zones en contact fréquent avec l'extérieur
- Sas sanitaire : zone où l'on se prépare avant d'entrer dans la zone de culture. On y change de tenue, on se lave les mains et on se désinfecte.
- Zone propre : zone de culture, etc., où il faut tenir le plus haut niveau de propreté

On fixe le flux de circulation dans un sens unique, zone sale → sas sanitaire → zone propre, et, avant d'entrer en zone propre, on passe obligatoirement par le sas sanitaire pour y éliminer les sources de contamination par le changement de tenue, le lavage des mains et la désinfection, puis on entre en zone propre (on ne traverse pas le sas sanitaire sans s'arrêter pour entrer en zone propre). Quand chacun se contente de « faire attention », l'environnement sanitaire se dégrade rapidement. Il est important de le mettre en ordre par des règles et par un dispositif.

2. Nettoyage et désinfection

Tous les lieux et équipements de la ferme sont régulièrement nettoyés et désinfectés. Le principe est d'effectuer d'abord le nettoyage (lavage physique), puis la désinfection (élimination des micro-organismes). Pulvériser un désinfectant sur des matières organiques ou des résidus végétaux encore présents en réduit fortement l'efficacité : on n'inverse pas l'ordre des étapes.

- Nettoyage (lavage) : rincer physiquement saletés et résidus végétaux. La zone de culture, la zone de travail, les équipements de culture hydroponique, le sol, les murs, les luminaires, les équipements de climatisation, etc., le champ d'action est large.
- Désinfection (élimination des micro-organismes) : après le nettoyage, éliminer à l'aide d'un désinfectant les pathogènes que le lavage ne peut pas retirer.
- Principes de fréquence : nettoyer à fond chaque jour, partout, n'est pas réaliste. On donne la priorité aux endroits où l'humidité est élevée, à ceux qui se salissent facilement et à ceux qui subissent de nombreux contacts humains.

- Enregistrement : consigner les lieux nettoyés et les dates et heures aide à prévenir les oublis et à remonter aux causes.

名前ボックス (Ctrl + J)		B	C	D	E	F	G	H	I
1			【日次・週次】栽培室						
2	清掃実施期間:	から	まで						
3	清掃箇所	詳細	清掃方法	月	火	水	木	金	土
4	栽培ラック	プラスチック部	ゴミ取り→ワイパー						
5	栽培ラック	金属部	アルコール拭き						
6	高所作業車	全般	ゴミ取り						
7	コンベア	全般	アルコール拭き						
8	計量器	全般	アルコール拭き						
9	計量台	全般	アルコール拭き						
10	脚立	全般	アルコール拭き						
11	床	全般	ほうきがけ→水洗い→ワイパー						
12	排水溝	全般	ゴミ取り→水洗い						
13	ゴミ箱	本体	ゴミ取り→水洗い						
14	除湿機	フィルター	水洗い						
15	除湿機	内部	アルコール拭き						
16	除湿機	外装	アルコール拭き						
17	高所作業車	全般	アルコール拭き						
18	スイッチ	全般	アルコール拭き						
19	清掃用具	全般	アルコール拭き						
20	清掃用具ラック	全般	アルコール拭き						
21									
22			清掃担当者						

Les légumes-feuilles ne sont, dans de nombreux cas, pas lavés après récolte : l'environnement sanitaire durant la culture devient donc tel que l'état sanitaire du produit.

3. Maîtrise sanitaire au niveau du personnel

Les comportements de chaque personne qui travaille sur le terrain conditionnent l'entrée et la propagation des pathogènes et des ravageurs.

- Lavage des mains : avant d'entrer dans la ferme, avant et après le travail, après passage aux toilettes, etc., se laver les mains de façon rigoureuse et fréquente.
- Port de vêtements dédiés : porter une tenue de travail, un couvre-chef, un masque et des gants dédiés.
- Gestion de la santé : en cas de rhume ou de baisse de forme, ne pas forcer et se reposer.



Cela dit, pour que chacun partage un haut niveau de conscience sanitaire, il faut du temps et de la formation. À court terme, l'approche réaliste consiste à sécuriser le résultat par le dispositif.

Les points critiques de la maîtrise sanitaire

Les endroits auxquels prêter une attention particulière dans la ferme sont les suivants.

- **Accès** : voie d'entrée par laquelle personnes et objets circulent fréquemment. Prévenir les intrusions à l'aide de rideaux d'air et de pièges collants.
- **Sol** : les saletés et gouttelettes s'y accumulent facilement et en font un foyer. Nettoyage et désinfection réguliers, et bon drainage, sont importants.
- **Murs** : les moisissures se développent facilement à cause de la condensation. Garder en tête prévention de la condensation et assèchement.
- **Équipements de culture hydroponique** : le réservoir de solution nutritive et la tuyauterie sont propices à la prolifération des pathogènes. Les débris de feuilles et de racines s'y accumulent facilement et ce sont des endroits difficiles à nettoyer. Les nettoyer et les désinfecter systématiquement.
- **Équipements de climatisation** : un colmatage des filtres ou un encrassement interne est à l'origine de baisses d'efficacité et de pannes. Réaliser régulièrement le nettoyage et le remplacement des filtres, ainsi que le nettoyage intérieur.
- **Plans de travail et consommables de culture** : les saletés et les résidus qui y adhèrent deviennent des sources de prolifération de pathogènes et de ravageurs. Les nettoyer et les désinfecter systématiquement après usage.

La maîtrise sanitaire est un travail discret, mais c'est la tâche qui soutient en profondeur la qualité et la sécurité sanitaire de la ferme verticale.

L'analyse de données

L'autre pilier de la gestion des opérations sur le terrain, c'est l'analyse de données. Le mot « analyse » peut intimider, mais l'idée de fond est simple.

Pourquoi l'analyse de données est-elle importante

En ferme verticale, on peut recueillir toutes sortes de données : température, humidité, lumière, concentration en CO₂, composants de la solution nutritive, etc.

L'agriculture traditionnelle reposait surtout sur une gestion des cultures fondée sur l'expérience et l'intuition. En ferme verticale aussi, l'expérience et l'intuition comptent, mais elles ne suffisent pas. Les données permettent :

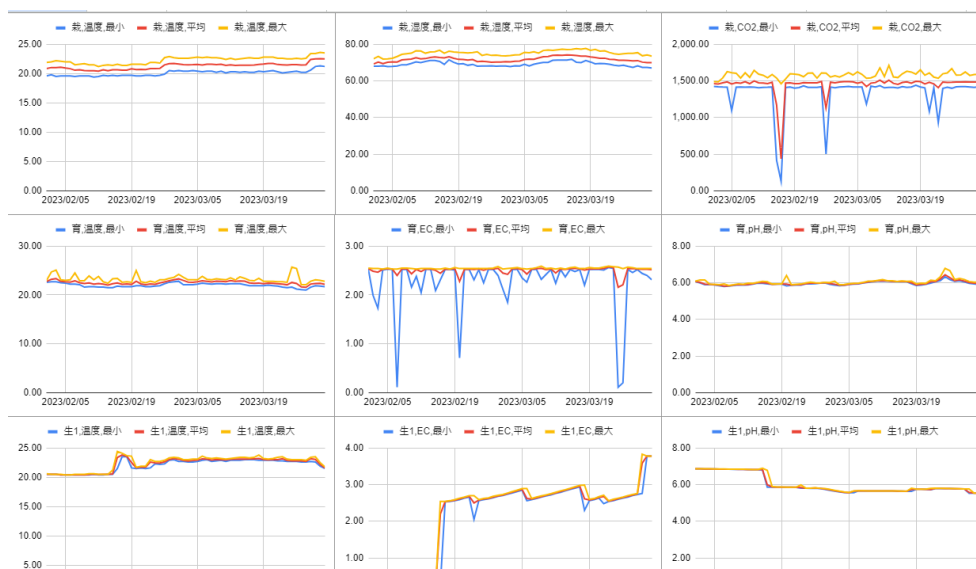
- Détection précoce des problèmes : repérer rapidement les troubles de croissance ou les signes de maladies.
- Identification des causes : en cas de souci, cerner la cause par les données.
- Mise en œuvre d'améliorations : les améliorations fondées sur les données sont aussi plus faciles à vérifier.
- Accumulation de savoir-faire : l'accumulation des données devient le savoir-faire propre à la ferme.

Les données à recueillir en ferme verticale

On collecte principalement trois types de données.

1. Données d'environnement : elles chiffrent l'environnement intérieur de la ferme. 2. Données de croissance : elles chiffrent la croissance et l'état des plantes. 3. Données de travail : le registre du contenu des tâches liées à la gestion des cultures.

En les gérant dans un cahier dédié ou un tableur comme Excel, on constitue la « fiche clinique » de la ferme. (Ce qui précède en sont les exemples représentatifs ; il en existe beaucoup d'autres.)



Les bases de l'analyse de données : d'abord la « mise en visibilité »

Recueillir des données ne suffit pas. Le premier pas, c'est de les rendre visibles par des graphiques.

- Courbe : adaptée pour observer les évolutions dans le temps
- Diagramme en barres : adapté pour comparer l'ampleur de plusieurs données
- Nuage de points : adapté pour examiner la relation entre deux données

N'importe quel outil convient, mais les tableurs comme Excel sont peu coûteux et accessibles à tous : ils permettent de se lancer facilement.

Un exemple pratique d'analyse de données

Comment raisonner lorsque le tip burn se multiplie

Supposons qu'en culture de laitue, le tip burn se multiplie.

On rassemble les données d'environnement et les résultats d'analyse de la solution nutritive de la zone concernée et on les met en regard de leur évolution dans le temps. Une tendance apparaît, par exemple : « l'apparition coïncide avec les périodes où l'humidité est élevée ».

En consultant la littérature, on trouve qu'en environnement à forte humidité la transpiration diminue et le transport du calcium vers les feuilles est entravé. Une fois que l'on a compris que la cause est la combinaison humidité-calcium, on arrive à des contre-mesures concrètes : introduction d'un déshumidificateur, révision de la gestion de l'humidité.

C'est l'enchaînement type de l'analyse de données. On avance dans l'ordre hypothèse → données → vérification → action.

En résumé

L'analyse de données est la méthode qui introduit reproductibilité et vérifiabilité dans un monde agricole qui fonctionnait à l'expérience et à l'intuition. Pour tirer parti des atouts de la ferme verticale, elle est indispensable.

Les « modèles de gestion des opérations sur le terrain » que je propose sur mon site sont des outils pour la collecte et l'analyse de données.

[Gratuit] 13 modèles à utiliser dans la gestion des opérations sur le terrain en ferme verticale
<https://pfboost.com/fr/templateform/>

Résumé du chapitre 3

- La planification de la production s'établit en trois étapes, « prévision de la demande → élaboration du plan → suivi »
- Du semis à la production de plants, au repiquage, à la plantation définitive et à la récolte, chaque étape influe sur la qualité ultérieure
- Les opérations post-récolte, transport, tri, conditionnement, stockage, sont le dernier rempart qui protège la « fraîcheur »
- La formation du personnel avance sur deux piliers, « formation de base » et « formation spécialisée »
- La maîtrise sanitaire repose sur trois piliers : « zonage hygiénique », « nettoyage et désinfection » et « maîtrise sanitaire au niveau du personnel »
- L'analyse de données rend possibles la détection précoce et l'identification des causes

Au-delà des connaissances de base, comment bâtir une ferme verticale qui rapporte

Nous avons expliqué jusqu'ici les connaissances de base de la gestion des opérations sur le terrain. Tous ces contenus sont importants dans le travail, mais ce que l'on attend finalement d'un responsable sur le terrain, c'est la « rentabilité ». C'est l'indicateur qui mesure combien de bénéfice l'activité peut dégager.

Le fossé entre connaissances de base et rentabilité

Quand on a appris les connaissances de base, le type de questions qui vient ensuite est le suivant.

Par exemple, pour les parades contre l'étiollement, les orientations « augmenter l'intensité lumineuse », « ajuster la densité de plantation », « rigueur dans la gestion de la température » ont été exposées dans *Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant*. Mais concrètement, sur le terrain, les questions suivantes se posent :

- à quel niveau d'intensité lumineuse régler précisément ?
- existe-t-il des moyens d'augmenter l'intensité tout en contenant la facture d'électricité ?
- comment décider de l'ajustement de la densité de plantation au regard du volume de récolte ?
- comment trouver l'équilibre entre rigueur dans la gestion de la température et coûts ?

Pour augmenter la rentabilité, il faut résoudre ces questions en les adaptant à la situation de sa propre ferme.

Les points qui se discutent concrètement sont multiples :

- concevoir finement le procédé de culture et supprimer les gaspillages
- ajuster dans le détail les composants de la solution nutritive et réduire les coûts d'engrais
- introduire outils et systèmes qui améliorent l'efficacité au travail
- construire ses propres canaux de vente et vendre à prix élevé

et ainsi de suite.

Vers l'étape suivante

Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant a pour objectif de permettre, en peu de temps, de couvrir les connaissances de base d'un responsable de ferme verticale, en sélectionnant rigoureusement les points à retenir.

Comme étape suivante, il existe un autre ouvrage qui rassemble, en un volume, le savoir-faire spécialisé sur la rentabilité.

172 conseils pour accroître la rentabilité de la ferme verticale - savoir-faire affiné sur le terrain pendant plus de 10 ans - <https://pfboost.com/fr/profitability-of-plant-factories/>

Postface

Nous avons parcouru, jusqu'ici, l'ensemble des bases de la ferme verticale. Qui a lu jusqu'au bout n'est déjà plus un débutant.

« La pratique », au-delà des connaissances de base

Cela dit, les connaissances d'*Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant* ne sont qu'un point de départ. Elles ne suffisent pas, à elles seules, pour faire réussir une ferme verticale.

- À partir des connaissances sur la gestion de la température, trouver les consignes de température optimales pour chaque culture
- À partir des connaissances sur la gestion de la solution nutritive, améliorer la formulation d'engrais et concilier réduction des coûts et progression de la qualité
- À partir des connaissances sur la maîtrise sanitaire, bâtir un dispositif de maîtrise sanitaire sans compromis

Faire siennes ces connaissances par la pratique, voilà le chemin le plus court vers la progression.

Pour aller plus loin

Même après avoir terminé cet ouvrage, bien des zones d'ombre demeureront. *Exploitation d'une Ferme Verticale : Guide du Débutant* s'en tient à un contenu basique : il n'entre presque pas dans le détail de la manière concrète de faire tourner le terrain.

Ce qui est directement relié aux revenus, c'est la partie savoir-faire pratique, située au-delà des bases.

Si vous souhaitez apprendre un savoir-faire plus opérationnel, ou savoir concrètement comment accroître les revenus, visitez mon site.

Certains disent de la ferme verticale qu'« elle ne rapporte pas », mais je considère qu'il existe encore, selon la manière de s'y prendre, une marge d'amélioration. J'ai vu à maintes reprises, sur le terrain, de petites améliorations se traduire en résultats importants.

<https://pfboost.com/fr/>