



RÉPUBLIQUE DE DJIBOUTI  
Ministère de l'Agriculture, de l'Eau, de la Pêche, de l'Élevage et des Ressources Halieutiques  
UNITÉ DE GESTION DES PROJETS  
PROJET D'APPUI AUX FILIÈRES AGRICOLES RÉSILIENTES DE DJIBOUTI



# Référentiel technico-économique



## Production en Hydroponie à Djibouti



Financement IDA-P178836

Première édition Juillet 2025

# Référentiel technico-économique

## **Production en hydroponie à Djibouti**

Première édition - Juillet 2025

# Avant-propos

Ce référentiel technico-économique a été élaboré dans le cadre du Projet d'appui aux filières agricoles résilientes de Djibouti (FAR), afin de répondre aux défis posés par l'aridité, la rareté des ressources et la nécessité de renforcer la sécurité alimentaire.

Il met à disposition des porteurs de projets, agriculteurs, techniciens, décideurs et institutions un cadre pratique pour développer des unités de production hydroponique adaptées aux conditions locales. Grâce à un itinéraire technique optimisé, des outils pédagogiques et une base méthodologique favorisant la réplication, ce guide vise à encourager une agriculture innovante, économique en eau, durable et résiliente à Djibouti.

En contribuant à structurer une filière hydroponique durable, performante et résiliente, ce référentiel ambitionne de renforcer les capacités locales, d'encourager l'innovation agricole, et de soutenir les dynamiques de développement inclusif portées par le projet FAR.

---

**UGP PROJET FAR**

# TABLE DES MATIERES



06

Introduction

08

Contexte de développement de projet  
de production hydroponique et  
hypothèses clés du référentiel

II

10

Itinéraire technique de production  
hydroponique à Djibouti

III

11

Gestion de l'environnement  
contrôlé

A

17

Préparation et gestion  
de la solution nutritive

B

C	Gestion des cultures : de la germination à la récolte	25
D	Récolte et commercialisation	37
E	Nettoyage et replantation	40
IV	Schéma graphique de l'itinéraire technique de production hydroponique	42
V	Analyse économique du projet hydroponique	51
VI	Défis économiques majeurs	55
VII	Analyse critique et leviers d'amélioration	56
VIII	Recommandations pour l'appui au développement	57

59

Conclusion

IX

60

Glossaire

61

ANNEXES

X





## LISTES DES FIGURES

<i>Figure 1 : Itinéraire global du processus hydroponique</i>	10
<i>Figure 2. Étapes de mise en place et de la gestion de l'environnement contrôlé de la serre hydroponique</i>	12
<i>Figure 3. Etapes de la préparation et gestion de la solution nutritive et culture hydroponique</i>	18
<i>Figure 4. Processus de la conduite culturale de la production hydroponique</i>	25
<i>Figure 5. Étapes de la production des plants en pépinière</i>	26
<i>Figure 6. Etapes clés de la récolte à la mise sur le marché en culture hydroponique</i>	37
<i>Figure 7. Etapes de préparation d'un nouveau cycle de production</i>	40
<i>Figure 8. Processus global de la production hydroponique</i>	42
<i>Figure 9. Création d'un environnement contrôlé</i>	43
<i>Figure 10. Fournir à la plante une alimentation équilibrée via l'eau enrichie</i>	44
<i>Figure 11. Conduire les cultures selon leurs exigences spécifiques en système hydroponique</i>	45
<i>Figure 12. Semis et pépinière</i>	46
<i>Figure 13. Mise en culture</i>	47
<i>Figure 14. Soins culturaux</i>	48
<i>Figure 15. Récolte et commercialisation</i>	49
<i>Figure 16. Préparation de nouveau cycle de culture en assurant des conditions optimales</i>	50

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. Système de la serre hydroponique</i>	11
<i>Tableau 2. Préparation et gestion de la solution nutritive</i>	18
<i>Tableau 3 : Système de filtration primaire et prétraitement physique de l'eau</i>	18
<i>Tableau 4 : Système de traitement de l'eau par osmose inverse</i>	18
<i>Tableau 5 : Système de Désinfection de l'eau</i>	18
<i>Tableau 6. Contrôle de l'eau en hydroponie</i>	20
<i>Tableau 7 : Eléments nutritifs apportés par la solution nutritive</i>	22
<i>Tableau 8 : Besoins macronutriments par culture (ppm)</i>	23
<i>Tableau 9 : Besoins micronutriments par culture (ppm)</i>	23
<i>Tableau 10 : Protocoles de suivi de la solution nutritive</i>	24
<i>Tableau 11 : Etape de suivi de la solution nutritive</i>	25
<i>Tableau 12. Système hydroponique selon le type de culture</i>	30
<i>Tableau 13. Rendement moyen par système de culture (kg/m<sup>2</sup>/an)</i>	30
<i>Tableau 14. Paramètres à maîtriser pour la mise en culture en système hydroponique</i>	34
<i>Tableau 15. Soins culturaux en système hydroponique</i>	36
<i>Tableau 16. Moment de la récolte par type de culture</i>	38
<i>Tableau 17. Type d'emballage par type de produits</i>	39



# Introduction

## Contexte des défis agricoles à Djibouti

Dans un contexte marqué par une forte aridité, une pression hydrique très importante, une faible fertilité des sols et les impacts du changement climatique, les pratiques agricoles conventionnelles basées sur la culture en sol rencontre à Djibouti de sérieuses limites. Ces contraintes structurelles compromettent la capacité du pays à produire localement une part significative de son alimentation, le rendant fortement dépendant des importations pour les produits frais. Cette dépendance accentue la vulnérabilité du pays aux chocs externes et réduit l'accès régulier de la population à une alimentation saine, diversifiée et locale.

## L'hydroponie : une solution moderne et exigeante

Face à ces défis structurels, la culture hydroponique apparaît comme une alternative innovante et durable, qui pourrait être adaptée aux réalités agro-climatiques de Djibouti. Ce système de culture qui permet de produire hors sol en environnement contrôlé, permet d'optimiser la consommation en eau, d'augmenter significativement les rendements, réduit la dépendance aux terres arables et favorise une agriculture de proximité en milieu urbain ou périurbain.

Toutefois, l'adoption de la culture hydroponique à grande échelle reste tributaire de la nécessité de maîtriser un ensemble de compétences techniques spécifiques liées à la gestion et au pilotage des cultures en milieux contrôlé.

## Objectifs du référentiel technico-économique

Dans ce cadre, et à travers le projet d'appui aux filières agricoles résilientes de Djibouti (FAR), le développement de référentiel technico-

économique adapté au contexte local constitue une étape clé pour orienter les politiques agricoles vers ce type de culture, accompagner les producteurs et renforcer la durabilité de ce système de production. Ce référentiel a pour objectif de documenter les pratiques existantes, d'identifier les leviers d'amélioration, et de proposer un modèle à la fois techniquement maîtrisable et économiquement viable.

## Rôle et portée du présent référentiel

Le présent référentiel hydroponique se veut un outil opérationnel au service des producteurs, investisseurs et techniciens agricoles. Il s'adresse également aux institutions financières, aux investisseurs privés et aux coopératives agricoles engagés dans le développement des filières résilientes. Il accompagne la conception, la mise en œuvre et la gestion efficace de systèmes de culture hydroponique adaptés aux conditions spécifiques de Djibouti. En intégrant des itinéraires techniques détaillés, des schémas explicatifs, des recommandations pratiques et des supports pédagogiques, il vise à faciliter la diffusion des bonnes pratiques, à soutenir la vulgarisation de cette technique et à fournir un cadre favorisant la rentabilité économique indispensable à la pérennité des projets.

Le présent guide est destiné prioritairement aux jeunes agriculteurs, entrepreneurs en agriculture urbaine, et aux opérateurs souhaitant investir dans les cultures innovantes.

En apportant des repères clairs, à la fois techniques et économiques, ce référentiel servira pour la mise en place de mécanismes de soutien financier et logistique, destinés à accompagner les producteurs dans l'investissement et la réalisation des infrastructures nécessaires au développement de la production hydroponique.

Ce référentiel s'inscrit ainsi dans une démarche de renforcement de la sécurité alimentaire, de promotion des technologies agricoles durables et de développement économique territorial essentielles pour Djibouti.



## II- Contexte de développement de projet de production hydroponique et hypothèses clés du référentiel :

En raison du climat rigoureux et des conditions pédologiques défavorables, l'agriculture demeure peu développée à Djibouti. Elle représente toutefois une activité cruciale pour les populations rurales. La rareté de l'eau, le climat rigoureux et le manque de terres arables restreignent fortement la production végétale, qui se limite essentiellement à une agriculture pratiquée le long des oueds.

Dans ce contexte, Djibouti cherche à diversifier ses approches agricoles pour renforcer sa sécurité alimentaire et réduire sa dépendance aux importations. La production hydroponique, qui permet de cultiver sans sol en utilisant des apports nutritifs dans un environnement contrôlé, constitue une réponse innovante, à faire adaptée aux conditions extrêmes du pays. Elle doit être soigneusement adaptée au contexte djiboutien, tant sur le plan technique qu'économique.

L'émergence de cette technique répond à plusieurs enjeux stratégiques :

- **Optimisation de l'usage de l'eau**, ressource particulièrement rare et précieuse à Djibouti aggravés par le faible renouvellement des nappes phréatiques ;
- **Production agricole en milieux très contraignant**, avec peu de terres arables, un climat aride à semi-aride avec des températures élevées et des précipitations très faibles et irrégulières ;

- **Création d'opportunités économiques pour les jeunes**, les femmes et les porteurs de projets à travers des unités de production intensives, compactes et rentables.
- **Contribution à la souveraineté alimentaire**, en réduisant les importations de légumes frais et de produits horticoles.

Le développement de la filière hydroponique repose sur plusieurs hypothèses clés structurantes :

- **Disponibilité minimale en eau douce** ou possibilité de recours à la désalinisation à petite échelle ;
- **Accès à une énergie fiable et abordable**, pour alimenter les systèmes d'irrigation et de climatisation ;
- **Volonté politique et appui institutionnel** pour promouvoir les innovations agricoles durables ;
- **Formation et accompagnement technique des producteurs** pour assurer la maîtrise des itinéraires techniques et la viabilité des projets ;
- **Accès aux marchés locaux**, en particulier dans les zones urbaines et périurbaines à forte demande en produits frais.

À Djibouti, le coût élevé de l'électricité, environ 70 FDJ/kWh et les coupures fréquentes constituent une contrainte majeure pour la production hydroponique. L'intégration de systèmes solaires autonomes apparaît comme une solution stratégique, permettant de réduire les charges d'exploitation, l'énergie représentant près du quart des coûts, tout en assurant la continuité du fonctionnement des équipements. Ce choix renforce l'autonomie des unités et s'inscrit dans une démarche durable, alignée sur les objectifs de résilience climatique du pays.

Le présent référentiel vise à fournir un cadre clair et opérationnel pour accompagner la mise en œuvre de projets hydroponiques adaptés au contexte djiboutien. Il s'adresse aux porteurs de projets, techniciens agricoles, formateurs, acteurs publics et privés désireux de s'engager dans la production durable et performante de légumes et d'herbes aromatiques en environnement contrôlé.

Ce document présente :

- Les principes généraux et les bonnes pratiques des cultures hydroponiques ;
- L'itinéraire technique détaillé de production, étape par étape;
- Les exigences techniques, agronomiques, économiques et environnementales spécifiques ;
- Des supports pédagogiques variés pour faciliter l'appropriation du savoir-faire et sa diffusion.

Ce référentiel se veut un outil de référence pour appuyer la structuration d'une filière hydroponique résiliente, innovante et durable à Djibouti.

Dans cette optique un projet type de culture hydroponique a été modélisé, destiné à servir de référence et d'exemple pour les investisseurs et porteurs de projets dans ce secteur porteur. Ce projet vise à démontrer la faisabilité économique, la rentabilité et les bénéfices environnementaux d'une unité de production hydroponique adaptée aux conditions locales.

Ce projet pilote est conçu pour être un modèle reproductible, facilement adaptable à différentes échelles et conditions, destiné à encourager l'agriculture hydroponique à Djibouti. La fiche technique spécifique à ce projet qui couvre tous les aspects de sa

mise en œuvre est disponible en annexe 1.

Le présent référentiel vise à encadrer techniquement ce type d'initiative, en mettant à disposition :

- Un itinéraire technique optimisé, adapté au climat et aux réalités logistiques de Djibouti;
- Des fiches pratiques et outils pédagogiques pour accompagner les utilisateurs tout au long du cycle de production ;
- Une base pour la réPLICATION du modèle dans d'autres zones arides de la région.



Ce document s'adresse à un large public, porteurs de projets, techniciens agricoles, institutions, coopératives et centres de formation, et vise à accélérer l'émergence d'une filière hydroponique durable, efficiente et résiliente à Djibouti.



Cette section propose une revue des exigences et des bonnes pratiques techniques spécifiques aux différentes étapes de l'itinéraire technique en production hydroponique. Des informations supplémentaires sont regroupées dans des fiches techniques spécifiques qui couvrent les aspects par étape de production, disponibles en annexes.

Afin de faciliter l'assimilation et la mise en œuvre des techniques de production hydroponique, la section suivante de ce référentiel présentera l'itinéraire technique complet, structuré à l'aide de supports pédagogiques variés, schémas, organigrammes, fiches illustrées et tableaux synthétiques. Cette forme de présentation a pour objectif d'améliorer l'accessibilité et renforcer la transmission et l'appropriation des savoir-faire sur le terrain, auprès des porteurs de projets, des techniciens agricoles et des jeunes agriculteurs en formation.

Le processus de production hydroponique suit un itinéraire structuré, allant de la conception de l'infrastructure et l'installation des équipements jusqu'aux différentes phases de culture, de la germination à la récolte.

La figure 2 illustre les différentes étapes clés de la chaîne de production, depuis la planification et la mise en place des infrastructures jusqu'à la récolte et la commercialisation.

## 1 Gestion de l'environnement contrôlé

Le climat local impose des contraintes sévères, fortes températures diurnes souvent supérieures à 35°C, rayonnement solaire intense, vents chargés de poussières fines, et une humidité généralement faible. Ces facteurs combinés exposent les plantes à un stress thermique important, limitent leur développement physiologique et peuvent rapidement compromettre la qualité des récoltes.

À Djibouti, la maîtrise de l'environnement contrôlé au sein des serres hydroponiques est une condition indispensable pour assurer la pérennité et la productivité des cultures.

L'objectif est donc de créer un microclimat optimal pour les cultures hydroponiques sous climat chaud et aride, moyennant la mise en place du système suivant :

Tableau 1. Système de la serre hydroponique

Élément	Description
Serre	Structure en acier galvanisé, film plastique UV, filets anti-poussière/soleil
Contrôle climatique interne	Ventilateurs, cooling pads, brumisation, extraction d'air
Surveillance automatisée	Capteurs (T°, HR, pH, CE) + système de pilotage numérique



Rideau pare-soleil rétractable à l'intérieur d'une serre

L'organigramme ci-après illustre les étapes clés de la mise en place et de la gestion d'un environnement contrôlé pour la production hydroponique.

Structure de la serre :

- Serre galvanisée
- Film plastique anti-UV
- Filets brise-vent et d'ombrage

Refroidissement évaporatif :

- Cooling pads
- Ventilateurs extracteurs

Ventilation et Circulation d'air :

- Ventilation naturelle (ouvertures)
- Ventilation mécanique (turbines)

Systèmes d'humidification :

- Brumisation haute pression
- Gestion de la vapeur dans l'air

Chaudrage (si besoin) :

- Radiateurs électriques ou à gaz

Capteurs et automatisms :

- Température, humidité, lumière, CO<sub>2</sub>
- pH et conductivité de la solution
- Système connecté (pilotage automatisé)

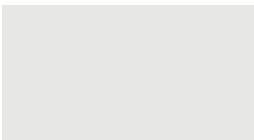
Supervision et alertes :

- Interface utilisateur (tablette, PC)
- Alertes SMS/email en cas de dérive
- Historique des données

Figure 2. Étapes de mise en place et de la gestion de l'environnement contrôlé de la serre hydroponique

## ► Conception des serres adaptées :

L'Objectif de la conception d'une serre adaptée aux conditions climatiques extrêmes est d'offrir un microclimat protégé contre la chaleur, le vent et les poussières tout en assurant un environnement de culture contrôlé. Les principaux éléments techniques et fonctionnels :



Serre hydroponique moderne, avec des cultures de laitues et d'herbes aromatiques

- **Structure métallique galvanisée :** La robustesse est primordiale face aux vents violents et aux tempêtes de sable. Une armature en acier galvanisé, résistante à la corrosion, garantit stabilité et durabilité. La structure multichapelle offre une meilleure répartition des charges et une meilleure gestion de l'espace

- **Hauteur minimum :** Une hauteur comprise entre 3 et 4 mètres est recommandée pour faciliter la circulation d'air, limiter l'accumulation de chaleur au sol et permettre une ventilation efficace.



Structure métallique galvanisée

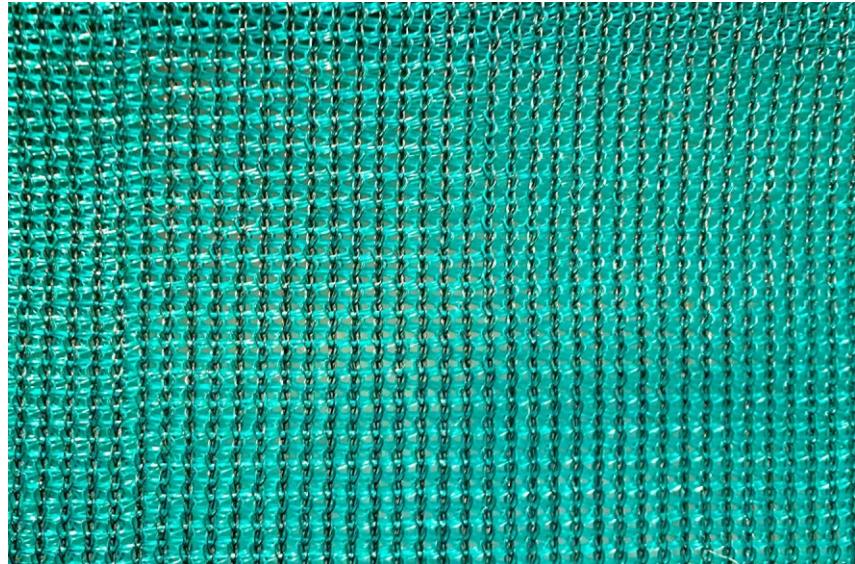
- **Matériaux de couverture UV-stabilisés :** Utiliser des films plastiques spécialement conçus pour les climats chauds est indispensable. Ces films doivent présenter une haute résistance aux rayons UV, une bonne transmission lumineuse

et une durabilité d'au moins 3 à 5 ans. Certains films sont traités anti-condensation pour limiter la formation de gouttelettes qui réduiraient la luminosité.

- **Filets d'ombrage (50 à 70 %) :** La pose de filets d'ombrage installés sur ou sous la couverture permet de réduire le rayonnement solaire direct et de limiter la température intérieure jusqu'à 8-10°C en moins, évitant le stress thermique des plantes.
- **Double-toit optionnel :** Pour une isolation thermique renforcée, un double-toit peut être mis en œuvre, créant une couche d'air isolante qui limite les échanges thermiques avec l'extérieur. Cette configuration est particulièrement adaptée pour atténuer les variations extrêmes de température entre jour et nuit.



Matériaux de couverture UV-stabilisés



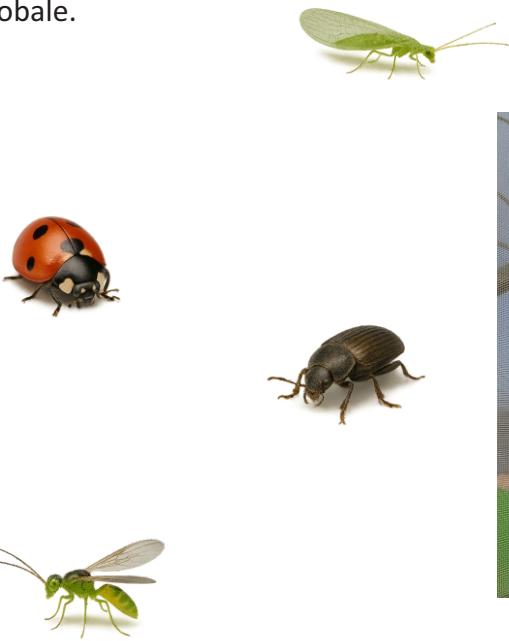
Filets d'ombrage

#### ► Protection contre la poussière et les insectes :

Les vents chargés de poussière nécessitent une protection efficace des cultures. L'installation de filets anti-insectes à mailles fines ( $mesh \leq 0,8$  mm) sur toutes les ouvertures, portes, fenêtres, aérations, est essentielle. Ces filets remplissent plusieurs fonctions:

- Barrière physique contre les insectes ravageurs tels que les pucerons, aleurodes et thrips.
- Filtration des poussières fines, limitant leur introduction dans la serre et évitant la contamination des feuilles, des racines et de la solution nutritive.
- Préservation d'un microclimat stable, en réduisant le flux d'air excessif et les variations brusques de température et humidité.

Cette protection prolonge la vitalité des plantes, diminue le recours aux traitements phytosanitaires et améliore la qualité sanitaire globale.



Filets anti-insectes

#### ► Contrôle climatique interne :

Le contrôle climatique interne est fondamental de la réussite en culture hydroponique. Il permet d'assurer des conditions constantes et optimales pour la croissance des plantes tout au long du cycle de production.

Le maintien de conditions climatiques internes favorables repose sur une combinaison de techniques :

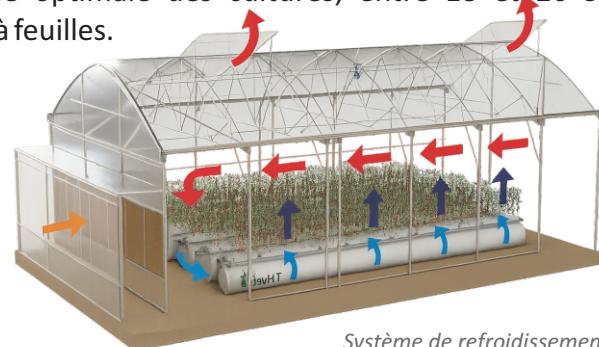
**Ventilation passive** : Elle utilise des ouvertures latérales larges et des lucarnes en toiture, idéalement automatisées, pour assurer un renouvellement naturel de l'air chaud et humide.

Cette circulation d'air naturelle diminue la température et augmente l'humidité relative sans consommation énergétique. La position et la taille des ouvertures doivent être calculées pour maximiser les échanges d'air transversaux.

**Ventilation forcée** : Des ventilateurs extracteurs placés stratégiquement assurent un flux d'air constant et contrôlé lorsque la ventilation passive ne suffit pas. Ils favorisent l'évacuation de l'air surchauffé et homogénéisent la température et l'humidité dans toute la serre.

**Système de refroidissement évaporatif (Cooling Pads & Fans)**: Ce système est particulièrement adapté aux climats chauds et secs comme Djibouti. L'air extérieur est aspiré à travers des panneaux humides (pads) où l'eau s'évapore, provoquant un abaissement significatif de la température de l'air aspiré avant son introduction dans la serre par les ventilateurs. Ce procédé consomme peu d'énergie comparé à un conditionnement d'air classique et permet d'abaisser la température intérieure de plusieurs degrés, limitant ainsi le stress thermique des cultures.

L'objectif est de maintenir une température compatible avec la croissance optimale des cultures, entre 18 et 26°C pour les légumes à feuilles.



Système de refroidissement évaporatif

- **Système de brumisation haute pression** : Des buses haute pression installées dans la serre, diffusent de très fines gouttelettes d'eau dans l'air. Cette brume d'eau augmente l'humidité relative lorsque celle-ci est trop basse (souvent < 30% dans les zones désertiques) et rafraîchit l'air ambiant. Cette technique complète le refroidissement évaporatif, surtout lors des pics de chaleur et contribue à réduire la transpiration excessive des plantes, le stress hydrique et la température foliaire favorisant la photosynthèse.
- **Chauffage d'appoint** : Bien que rarement requis à Djibouti, un chauffage léger peut être utilisé en pépinière lors des nuits fraîches (< 15°C) moyennant des radiateurs électriques mobiles ou un chauffage à gaz avec thermostat intégré.



Ventilateurs extracteurs



Système de brumisation



Ouvertures latérales et des lucarnes

## ► Surveillance et régulation automatisée

Pour optimiser l'environnement intérieur, la mise en place d'un système automatisé de contrôle climatique est nécessaire. Ce système repose sur des capteurs connectés, garantissant ainsi un ajustement précis et continu des conditions climatiques de la serre ainsi que de la solution nutritive:

- **Capteurs de température et d'humidité relative** : Ils surveillent les conditions ambiantes dans la serre, permettant d'adapter l'ouverture des aérations, le démarrage des ventilateurs, et l'activation des systèmes de refroidissement.
- **Capteurs de luminosité** : Pour réguler l'ombrage automatique, quand il est disponible, et ajuster éventuellement un éclairage complémentaire en cas d'ensoleillement insuffisant.



Capteurs de température et d'humidité relative



Capteur de luminosité

- **Capteurs de pH et conductivité électrique (CE) :** Ces capteurs mesurent en continu la qualité de la solution nutritive. Le pH doit être maintenu dans une plage optimale (5,5 – 6,5) pour favoriser l'absorption des nutriments, tandis que la CE indique la concentration des sels nutritifs. Ces données pilotent l'ajout automatisé d'engrais ou d'eau pour maintenir un équilibre nutritionnel idéal
- **Automatisation des équipements :** L'ouverture/fermeture des aérations, l'activation des ventilateurs, la commande du système de brumisation et cooling pads, ainsi que les pompes de circulation de la solution nutritive sont pilotées par le système automatique, réagissant aux données des capteurs sans intervention humaine permanente. Cette automatisation garantit la stabilité du microclimat et permet de limiter les erreurs ou délais dans la gestion des conditions de culture.
- **Contrôle climatique interne :** Ce système intégré de gestion environnementale est nécessaire pour réussir des cultures

hydroponiques performantes et durables dans un contexte climatique extrême de Djibouti, où le contrôle précis des paramètres limite les risques liés à la chaleur et aux agressions extérieures.



Capteurs de pH et CE



Automatisation des équipements

## 2 Préparation et gestion de la solution nutritive

La solution nutritive est le cœur même de la culture hydroponique, remplaçant le sol traditionnel par solution nutritive qui fournit à la plante une alimentation équilibrée à travers l'eau enrichie.

Elle doit apporter en continu tous les macro- et les micronutriments dans des proportions adaptées au développement de la culture, assurant un équilibre entre disponibilité, absorption et prévention des déséquilibres nutritionnels. La qualité et la gestion rigoureuse de cette solution conditionnent la productivité et la rentabilité du projet hydroponique.

Les étapes de préparation et de gestion de la solution nutritive peuvent être résumées comme suit :

Tableau 2. Préparation et gestion de la solution nutritive

01	02	03	04
Traitement de l'eau	Stockage de l'eau	Formulation nutritive	Contrôle de qualité
Osmose inverse pour éliminer sels et contaminants	Réservoirs opaques pour éviter lumière et chaleur	Mélange d'engrais A, B, C selon culture et stade	Mesures pH et CE quotidiennes avec instruments

L'ensemble du processus préparation et gestion de la solution nutritive peut être synthétisé selon l'organigramme suivant :

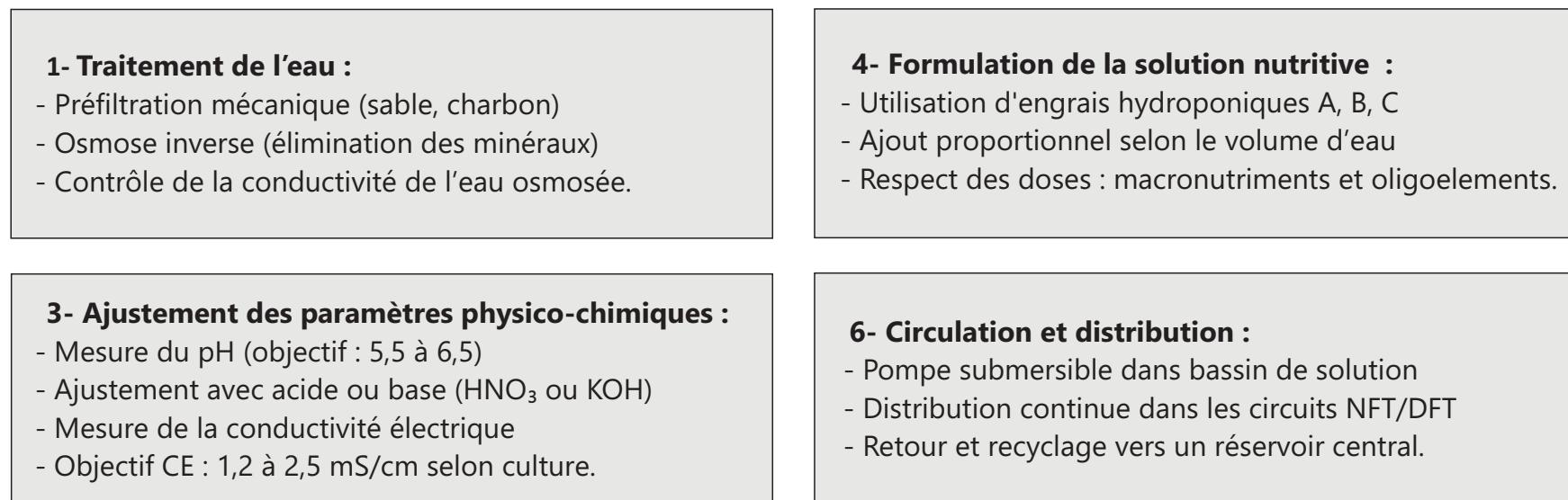


Figure 3. Etapes de la préparation et gestion de la solution nutritive et culture hydroponique

## ► Traitement de l'eau

L'eau est le vecteur principal des éléments nutritifs, elle doit donc être pure, stable et exempte de pathogènes, de sels indésirables ou de contaminants.

Les eaux brutes à Djibouti posent un véritable défi technique du fait qu'elles sont souvent caractérisées par :

- Une salinité élevée constituée principalement de chlorures, sulfates et sodium, qui peuvent s'accumuler et causer une toxicité pour les racines.
- Une dureté importante due à la présence de calcium et magnésium, favorisant des dépôts calcaires susceptibles d'obstruer les systèmes d'irrigation et d'altérer la composition nutritive.
- La présence de contaminants, sous formes de chlore libre, métaux lourds ou composés organiques qui peuvent nuire à la croissance des plantes ou déséquilibrer la solution nutritive.

Ces contraintes rendent indispensable une analyse préalable de l'eau pour évaluer sa composition physico-chimique et un traitement pour purifier l'eau avant son usage pour garantir une eau de qualité stable et sans contaminants, essentielle pour formuler une solution nutritive équilibrée, éviter les obstructions du système, protéger les plantes et assurer un rendement optimal.

Les étapes du traitement de l'eau sont les suivantes :

Tableau 3 . Système de filtration primaire et prétraitement physique de l'eau

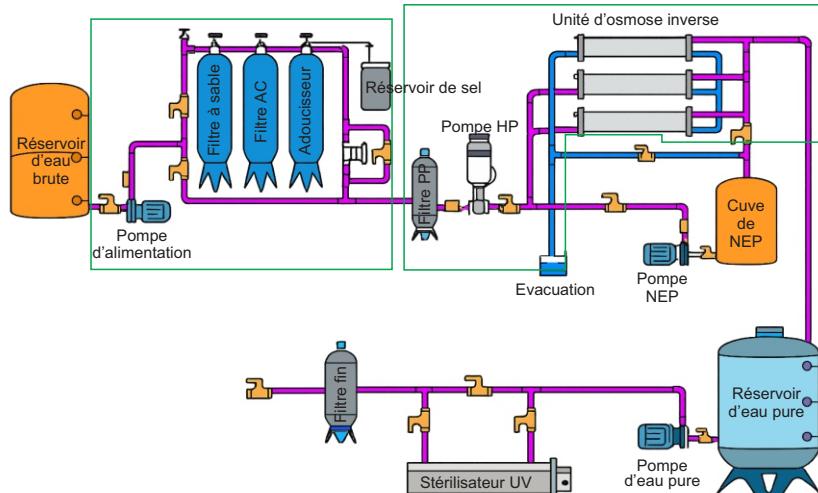
Equipement	Fonction
Filtre à sédiments	Retire les particules solides (sable, limon)
Filets de préfiltration	Protègent les pompes et circuits
Filtre à charbon actif	Retire les odeurs, le chlore et les contaminants organiques

Tableau 4. Système de traitement de l'eau par osmose inverse

Caractéristique	Détail
Principe	Séparation des sels minéraux et métaux lourds par une membrane semi-perméable
Rendement	70–90 % de purification, rejette le sodium, calcium, chlorures, etc
Utilité à Djibouti	Indispensable face à la salinité des eaux souterraines

Tableau 5. Système de Désinfection de l'eau

Méthode	Avantage
UV-C (ultraviolet)	Élimine bactéries, virus, algues sans produits chimiques
Chloration douce (si besoin)	Désinfection complémentaire, à neutraliser ensuite



Système de traitement d'eau par osmose inverse

## ► Stockage de l'eau traitée

Après traitement, l'eau pure est stockée dans des réservoirs adaptés :

- Réservoirs opaques** : en plastique alimentaire ou inox à l'abri de la lumière qui Protègent de la chaleur directe et empêchent le développement d'algues qui pourraient altérer la qualité de la solution nutritive et obstruer les circuits.
- Isolation thermique** : afin de minimiser les variations de température pouvant perturber la stabilité chimique des nutriments et accroître le stress thermique sur les racines.
- Capacité suffisante** : pour assurer une réserve constante et permettre une préparation homogène de la solution nutritive.
- Muni d'agitateurs**: pour maintenir l'eau oxygénée et homogène.



L'eau utilisée en hydroponie doit faire l'objet d'une surveillance constante afin de contrôler ses principaux paramètres. Les plages optimales recommandées sont : une conductivité électrique (CE) inférieure à 0,2 mS/cm avant l'ajout des nutriments, et un pH entre 5,5 et 6,5 après formulation de la solution nutritive.

Tableau 6. Contrôle de l'eau en hydroponie

Paramètre	Outil de mesure	Intervalle recommandé
CE (Conductivité)	Conductimètre	Quotidien
pH	pH-mètre étalonné	Quotidien
Turbidité	Inspection visuelle/photomètre	Hebdomadaire
Température	Thermomètre digital	Quotidien



Réservoirs opaques de stockage d'eau



Conductimètre



pH-mètre



Thermomètre digital

## ► Préparation et formulation de la solution nutritive

La solution nutritive a pour rôle de fournir à la plante l'ensemble des éléments minéraux essentiels à son développement, sous une forme directement assimilable.

L'efficacité de la solution nutritive repose sur le maintien de son équilibre ionique et de sa stabilité chimique.

La composition est adaptée selon :

- **Le type de culture** : légumes-feuilles (par ex. laitues), légumes-fruits (tomates cerises, concombres),
- **Le stade de développement** : germination, croissance végétative, floraison/fructification.
- **Les conditions climatiques locales** (chaleur, évaporation...)



Mélange de solutions nutritives



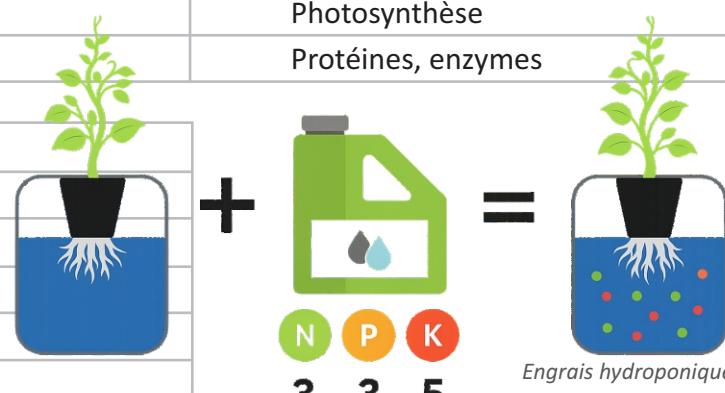
Les éléments essentiels à fournir dans des proportions adéquates :

Tableau 7. Éléments nutritifs apportés par la solution nutritive

	Forme courante utilisée	Rôle principal
Azote (N)	Nitrate de Calcium, nitrate de potassium	Croissance, feuilles
Phosphore (P)	Mono-potassium phosphate (MKP)	Racines, floraison
Potassium (K)	Nitrate/potassium sulfate	Qualité des fruits, tiges
Calcium (Mg)	Nitrate de calcium	Parois cellulaires, régulation
Magnésium (Mg)	Sulfate de magnésium (epsomite)	Photosynthèse
Soufre (S)	Soufre présent dans d'autres sels	Protéines, enzymes

	Chéléaté (Fe-EDDHA, Fe-DTPA)	
Fer (Fe)	Chéléaté (Fe-EDDHA, Fe-DTPA)	
Manganèse (Mn)	Sulfate de manganèse	
Zinc (Zn)	Sulfate de zinc	
Cuivre 5 (Cu)	Sulfate de cuivre	
Bore (B)	Acide borique	
Molybdène (Mo)	Molybdate de sodium	



*Engrais hydroponiques*  
**3 - 3 - 5**

Les oligoéléments sont généralement fournis avec un mélange d'oligo-éléments prêt à l'emploi.

#### Organisation des solutions mères :

Le protocole habituel consiste à préparer une solution mère concentrée, ensuite diluée dans le réservoir principal en respectant strictement les doses recommandées, en veillant à une homogénéisation complète par agitation ou circulation continue. En hydroponie, les engrains sont répartis dans deux solutions mères pour éviter la précipitation et la dégradation de certains éléments.

Solution A : contient nitrate de calcium + fer chéléaté.

Solution B : contient phosphate, sulfate de magnésium, potassium, oligo-éléments.

Les solutions mères ne sont pas mélangées directement, ils sont toujours dilués dans l'eau finale et les quantités sont à ajuster selon la concentration des engrains utilisés et les recommandations du fabricant.

La pratique de la préparation de la solution nutritive s'opère selon le protocole suivant :

- a** Remplir le réservoir d'eau purifiée (eau osmosée).
- b** Ajouter la solution A (diluée à part) puis bien agiter.
- c** Ajouter la solution B (diluée à part) ensuite.
- d** Mesurer et ajuster le pH (idéal : 5,8 à 6,2).
- e** Mesurer et ajuster la CE (Conductivité Électrique) :
  - | Pour laitue en croissance : 1,2 – 1,6 mS/cm
  - | Pour fructification ou cultures exigeantes : jusqu'à 2,2 mS/cm
- f** Vérifier la température de la solution (idéalement 18–24°C).

#### Besoins nutritifs par culture (ppm) :

Les besoins de nutriments varient essentiellement avec le type de culture adoptée. Ces concentrations seront adaptées au fur et à mesure de l'avancement du développement de la culture.

Tableau 8. Besoins macronutriments par culture (ppm)

Culture	N (azote)	P (Phosphate)	K (potassium)	Ca (calcium)	Mg (magnésium)	S (soufre)
Laitues	150	50	200	170	50	60
Basilic	180	40	200	150	40	50
Tomate	200	50	300	180	50	70
Concombre	180	40	250	150	40	60
Roquette	160	45	180	160	45	55

Tableau 9. Besoins micronutriments par culture (ppm)

Culture	FE (Fer)	Mn (Manganèse)	Zn (Zinc)	Cu (Cuivre)	B (Bore)	Mo (Molybdène)
Laitues	2.0	0.5	0.05	0.05	0.3	0.05
Basilic	2.5	0.6	0.10	0.05	0.4	0.05
Tomate	3.0	1.0	0.10	0.05	0.5	0.10
Concombre	2.5	0.8	0.10	0.05	0.4	0.10
Roquette	2.0	0.6	0.05	0.05	0.3	0.05

#### ► Contrôle de qualité et ajustements essentiels

Il est essentiel d'assurer un contrôle rigoureux et quotidien des paramètres clés de la solution nutritive:

**pH** : maintenu idéalement entre 5,5 et 6,5, intervalle optimal pour une absorption efficiente des nutriments. Des mesures journalières au moyen d'un pH-mètre calibré permettent de détecter toute dérive. En cas de déséquilibre, on ajuste en ajoutant des acides (acide nitrique, acide phosphorique) ou des bases (hydroxyde de potassium) pour réaligner le pH.

**Conductivité électrique (CE)** : indicateur de la concentration totale en éléments nutritifs. Chaque culture possède une fourchette spécifique (exemple typique : 1,2 - 2,5 mS/cm pour les laitues). Un CE trop élevé provoque une brûlure des racines, un CE trop faible traduit une carence nutritionnelle. Des contrôles fréquents permettent d'ajuster le dosage des nutriments, soit en dilution, soit en complément d'engrais concentré.

**Température de la solution :** doit idéalement rester inférieure à 25°C pour garantir une bonne oxygénation racinaire et prévenir les stress thermiques qui compromettent la croissance et favorisent les maladies. Des dispositifs de refroidissement (serpentins, échangeurs thermiques) peuvent être nécessaires pour stabiliser cette température dans le contexte chaud de Djibouti.

**Renouvellement :** La solution nutritive doit être renouvelée régulièrement, en général toutes les 1 à 2 semaines. Ce renouvellement prévient l'accumulation de sels indésirables, rééquilibre les éléments nutritifs épuisés par les plantes et évite la prolifération microbienne qui altèrerait la qualité du substrat liquide.

#### ► Importance des ajustements et optimisation continue

Le succès d'une production hydroponique réside dans la capacité à effectuer des ajustements précis et rapides en fonction de l'évolution des cultures, des symptômes culturaux et des résultats observés. Le suivi régulier permet d'optimiser l'assimilation des nutriments, d'anticiper les carences ou excès et de garantir un développement végétal satisfaisant.

Dans le cadre spécifique de Djibouti, cette exigence de contrôle s'avère d'autant plus cruciale que la ressource en eau est rare et coûteuse, obligeant à optimiser son usage, à recycler judicieusement la solution nutritive et à éviter tout gaspillage ou contamination pouvant compromettre la culture.

Ainsi, la préparation et la gestion rigoureuse de la solution nutritive représentent une maîtrise technique majeure, pilier de la

productivité et de la rentabilité du système hydroponique dans ces conditions difficiles. Une formation adéquate, associée à des équipements de mesure fiables et un protocole strict, est indispensable pour garantir la qualité et la pérennité de la production.

Le protocole de suivi des résume comme suit :

Tableau 10. Protocoles de suivi de la solution nutritive

Paramètre	Appareil utilisé	Fréquence
pH	pH-mètre	Quotidienne
Conductivité (CE)	Conductimètre	Quotidienne
Température	Thermomètre flottant	Quotidienne
Niveau du réservoir	Capteur ou manuel	2x/jour



Suivi continu de la solution nutritive



Ajustements de la solution nutritive

### 3 Gestion des cultures : de la germination à la récolte

Le succès d'une culture hydroponique repose également sur une conduite culturale adaptée à chaque étape, avec une attention particulière portée aux besoins spécifiques de chaque culture et contraintes techniques. Chaque étape du cycle de vie de la plante est contrôlée pour une production optimale.

Les étapes de préparation et de gestion de la culture sont résumées comme suit :

L'ensemble du processus de la conduite culturale de la production hydroponique peut être synthétisé selon l'organigramme suivant :

Tableau 11. Etape de suivi de la solution nutritive

Phase	Activité
Semis et pépinière	Semis en cubes de laine de roche + germination contrôlée
Mise en culture	Introduction dans systèmes NFT, DFT, ou goutte-à-goutte
Culture sur étagères	Culture verticale, gain de place, récolte rapide
Soins culturaux	Palissage, taille, pollinisation manuelle (tomates, poivrons)
Protection intégrée	Filets anti-insectes + introduction d'auxiliaires

#### 1 Semis et pépinière :

- Trempage et semis dans cubes de laine de roche
- Germination sous hygrométrie et température contrôlées
- Éclairage d'appoint si nécessaire
- Surveillance quotidienne

#### 2 Gestion intégrée de la protection phytosanitaire :

- Utilisation de filets anti-insectes
- Introduction d'auxiliaires biologiques
- Application de biopesticides en dernier recours
- Contrôles visuels réguliers des symptômes

#### 3 Conduite culturale quotidienne :

- Irrigation automatisée
- Palissage, effeuillage, taille (plantesfruits)
- Pollinisation manuelle (tomates, concombres)
- Relevé de croissance (hauteur, développementfoliaire)

#### 4 Mise en culture danshydroponique :

- Transfert dans gouttières NFT, bassins DFT ou plateaux superposés
- Positionnement adapté selon type de culture
- Connexion aux circuits nutritifs

#### 5 Récolte et Post-récolte :

- Récolte au stade optimal de maturité
- Tri, lavage, conditionnement (caisses, sachets, paniers)
- Stockage temporaire sous abri ventilé ou réfrigéré
- Commercialisation en circuit court ou structuré

#### 6 Nettoyage et Replantation :

- Vidange et nettoyage des circuits hydroponiques
- Désinfection des structures (gouttières, bassins, outils)
- Vérification du bon état des pompes et filtres
- Nouveau cycle de semis

Figure 4. Processus de la conduite culturale de la production hydroponique

## ► Semis et pépinière

L'opération de semis vise à produire des plantules vigoureuses, homogènes et saines, en assurant une germination rapide et uniforme. Elle permet de préparer les jeunes plants en vue de leur transplantation réussie dans le système hydroponique.

Les étapes suivantes détaillent le déroulement de cette phase, de la préparation du substrat au stade de transplantation.

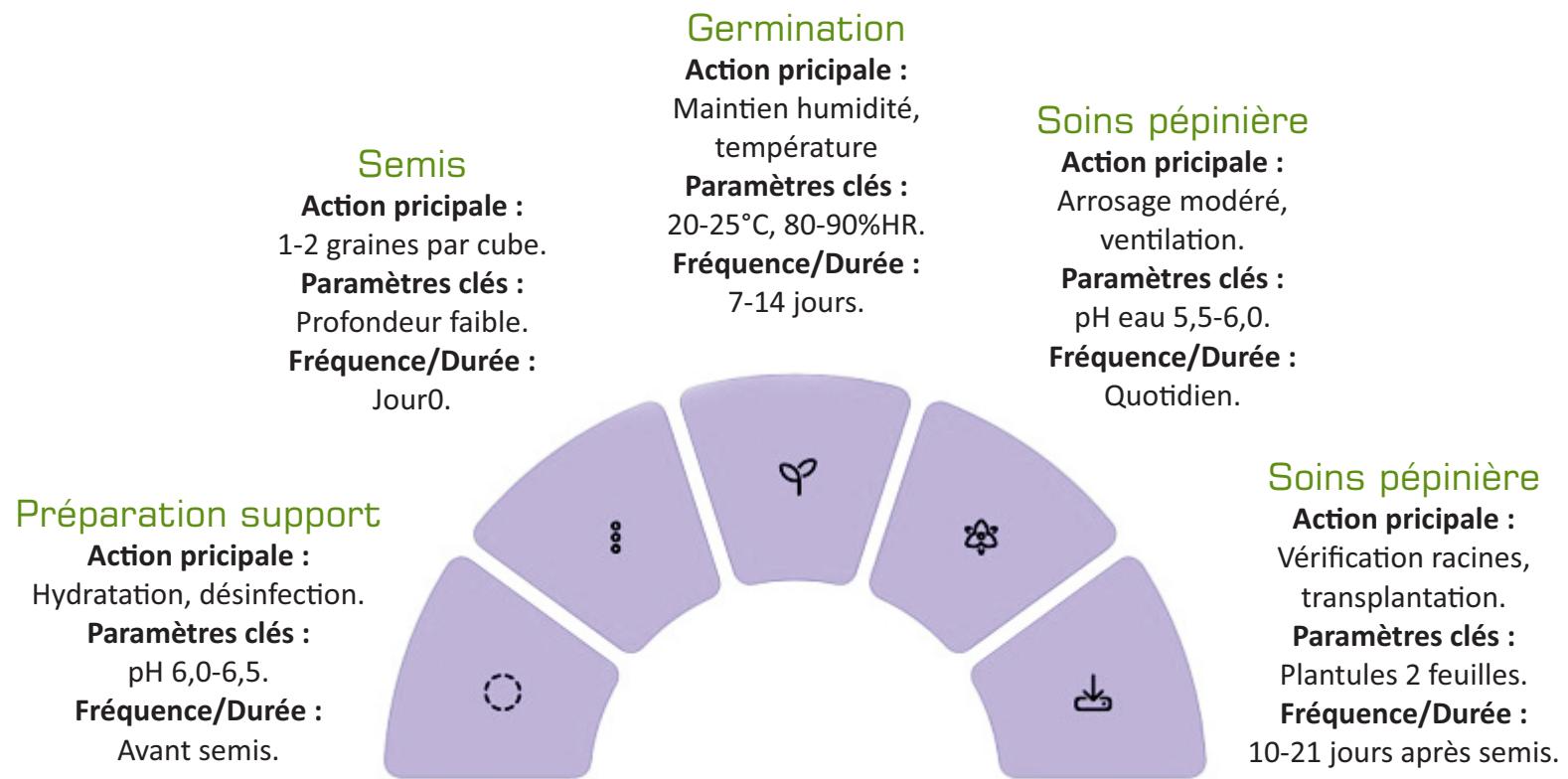


Figure 5. Étapes de la production des plants en pépinière

## Choix du matériel de semis

La production hydroponique débute avec la germination des graines dans des substrats stériles, essentiels pour limiter les risques sanitaires et favoriser un démarrage régulier des plants. Les supports couramment utilisés comprennent :

- ▶ **Laine de roche cubes ou plaques** : fibre minérale légère, inerte et parfaitement aérée, qui offre un excellent maintien des racines tout en assurant un bon drainage.
- ▶ **Mousses horticoles de polyuréthane** : supports synthétiques favorisant une humidité constante autour des graines, facilitant une levée homogène.
- ▶ **Plugs en tourbe ou fibre de coco** : petits cubes biodégradables ou réutilisables offrant un microenvironnement nutritif adapté, favorisant la croissance rapide des plantules.

Les contenants utilisés sont des paniers ou plateaux spécialement conçus pour la pépinière assurant un bon drainage et une aération optimale des racines.

Pour la qualité de semences, il est essentiel d'employer des semences certifiées, calibrées et préalablement traitées contre les maladies afin de garantir une germination saine et homogène.



Laine de roche cubes

Mousses horticoles de polyuréthane



Plugs en tourbe ou fibre de coco

## Préparation des supports

La préparation adéquate du substrat permet d'offrir aux graines un environnement favorable à une germination rapide et homogène.

- Hydrater les cubes de laine de roche à pH neutre (environ 6,0–6,5) avant le semis.
- Désinfection éventuelle des supports pour éviter la contamination microbienne.
- Positionner les supports dans les plateaux ou bacs de pépinière, bien espacés pour assurer une bonne circulation d'air.



Préparation des supports des semis

## Techniques de semis

Differentes techniques peuvent être utilisées en fonction des espèces cultivées, du type de substrat et des conditions de la pépinière.

- Semis direct dans les cubes : déposer 1 à 2 graines par cube pour assurer un plant unique ou permettre le repiquage.
- Enfouir légèrement la graine dans le substrat, sans trop l'enterrer pour faciliter la levée.
- Arroser délicatement avec de l'eau à température ambiante, sans excès.



Plateaux pour pépinière



Technique de semis

## Conditions de germination

Les conditions de germination sont strictement contrôlées :

- **Environnement contrôlé** : les semis sont placés dans une chambre de germination ou une zone de pépinière avec:
  - **Température optimale** : 20–25°C pour la plupart des légumes feuilles (laitue, épinard, basilic).
  - **Humidité relative** : maintenir un environnement humide (80–90%) avec couverture partielle(dôme plastique ou film).
- **Éclairage** : assurer un éclairage adéquat, naturel ou éventuellement artificiel par lampes LED, pour garantir la photosynthèse nécessaire au développement des plantules.
- **Ventilation** : assurer une bonne aération pour éviter la condensation excessive et le développement de maladies fongiques.



Chambre de germination

## Soins pendant la période de pépinière

Des soins rigoureux sont nécessaires pour assurer un développement vigoureux et homogène des jeunes plants.

- **Arrosage** : maintenir le substrat humide, en utilisant de l'eau légèrement acidifiée si possible (pH 5,5–6,0).
- **Aération régulière** : retirer les couvertures plusieurs fois par jour pour favoriser un échange d'air.
- **Contrôle sanitaire** : surveiller les signes de maladies (mousses, pourritures), agir rapidement en cas d'apparition.
- **Éclairage supplémentaire** : si la luminosité naturelle est faible, utiliser des lampes LED spécifiques pour stimuler la croissance des jeunes plants.



Arrosage



Éclairage supplémentaire



Contrôle sanitaire

## Durée en pépinière

La durée de la phase en pépinière varie selon l'espèce cultivée, les conditions de germination et la variété.

La période varie entre 10 à 21 jours selon la culture et la température.

Le repiquage est effectué lorsque les plantules ont au moins 2 vraies feuilles et un système racinaire bien développé.

## Transplantation vers le système hydroponique

Une fois que les plantules ont développé 2 à 3 vraies feuilles en général, elles sont transférées vers l'environnement de culture hydroponique définitif.

- ▶ Retirer délicatement les plants des cubes sans abîmer les racines.
- ▶ Vérifier la qualité racinaire (pas de racines blanches, absence de pourriture).
- ▶ Insérer les cubes dans les supports du système NFT, DFT ou goutte-à-goutte.
- ▶ Arroser immédiatement avec une solution nutritive équilibrée adaptée au stade postgermination.



Vérification de la qualité racinaire

La production des plants en pépinière suit un enchaînement d'étapes, ci-après synthétisées :

### ► Mise en culture dans les systèmes hydroponiques adaptés

L'objectif est d'assurer une transition optimale des plants de la pépinière vers le système hydroponique, de garantir une installation correcte pour maximiser la croissance et le rendement des cultures et d'optimiser l'utilisation des ressources (eau, nutriments, espace).

#### a- Choix du système hydroponique selon le type de culture

Le choix du système dépend du type de culture :

**Système NFT** (Nutrient Film Technique) : idéal pour les légumes-feuilles tels que laitues, épinards, basilic et menthe. Les plants sont placés dans des gouttières légèrement inclinées où un film continu de solution nutritive circule, assurant une oxygénation optimale et un accès efficace aux nutriments.

**Système DFT** (Deep Flow Technique) : convient pour les cultures ayant des racines plus volumineuses, notamment en phase de croissance des légumes-fruits. Les racines baignent dans une couche plus profonde de solution nutritive, offrant une stabilité et une réserve nutritive importante.

**Culture goutte-à-goutte** sur substrat inert : utilisée pour les tomates cerises, concombres et autres légumes-fruits. Les plantes sont cultivées dans des supports tels que laine de roche ou perlite, irriguées par des goutteurs, avec récupération et recyclage de la solution drainée.

Les systèmes NFT et DFT sont les plus productifs en environnement contrôlé et le NFT est plus simple à installer mais moins stable en température que le DFT.

Le rendement moyen observé par système de culture varie selon le système hydroponique choisi.

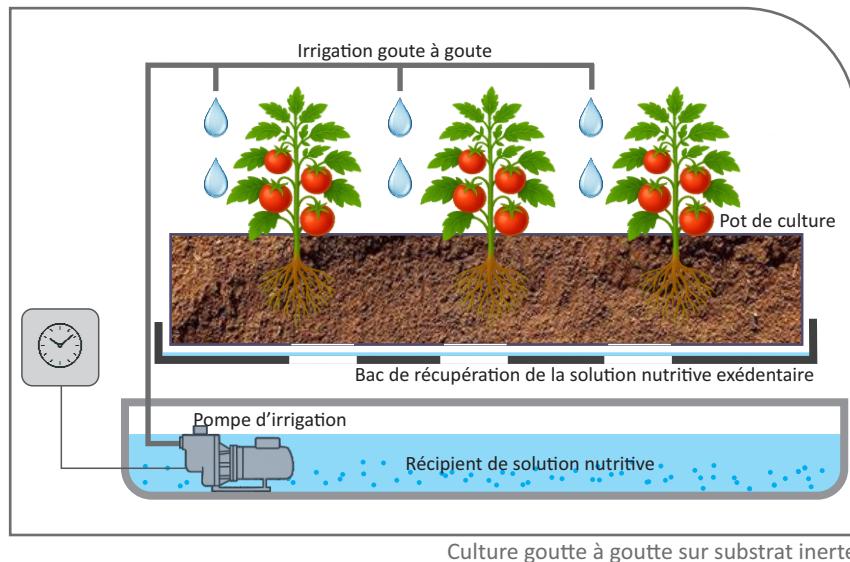
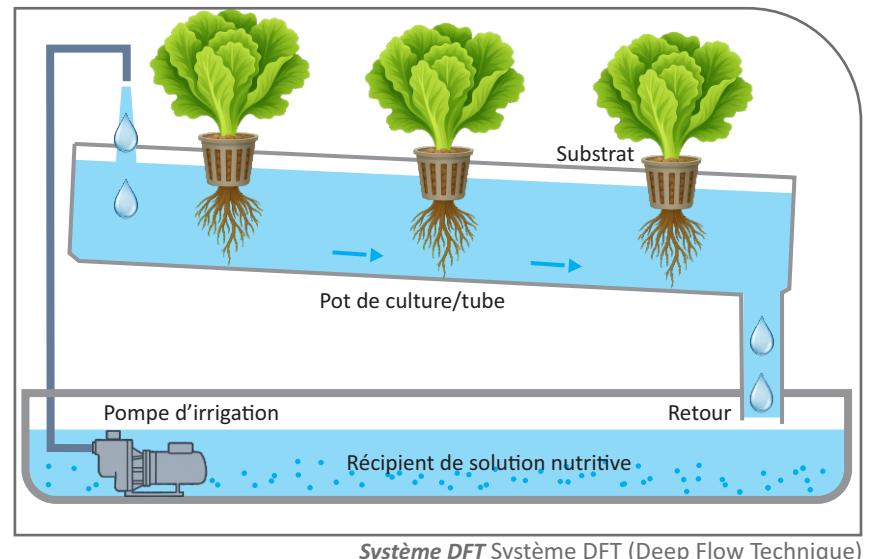
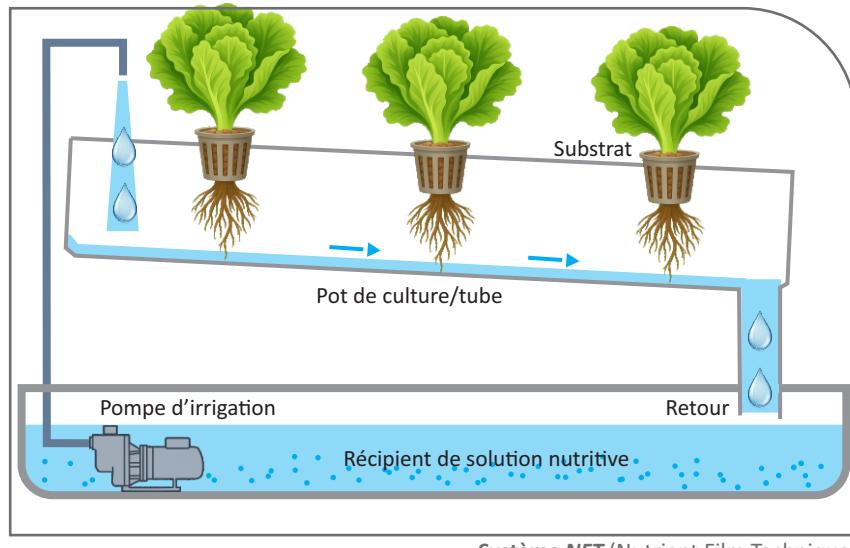
Tableau 12. Système hydroponique selon le type de culture

Type de plante	Système recommandé	Durée du cycle (jours)	Exigences racinaires
Légumes-feuilles (laitue, roquette, coriandre)	NFT ou DFT peu profond	30–45	Faibles, racines peu profondes
Légumes-fruits (tomate, poivron, concombre)	DFT profond ou substrat + goutte-à-goutte	60–90+	Importantes, racines volumineuses
Herbes aromatiques (basilic, menthe)	NFT ou DFT	35–55	Moyennes
Micro-pousses	Plateaux à écoulement ou DFT peu profond	7–21	Très faibles

Tableau 13. Rendement moyen par système de culture (kg/m<sup>2</sup>/an)

Système de culture	Rendement estimé (kg/m <sup>2</sup> /an)	Remarques techniques
NFT (Nutrient Film Technique)	45	Très efficace pour légumes-feuilles Faible consommation d'eau Système léger
DFT (Deep Flow Technique)	50	Haute stabilité thermique et nutritionnelle Requiert plus d'eau
Goutte-à-goutte en substrat	35	Polyvalent. Adapté à plusieurs types de cultures Requiert substrat (coco, perlite)





## b- Préparation du système hydroponique

La préparation adéquate du système hydroponique prépare l'environnement propice au développement des plantes.

**Nettoyage et désinfection** préalable des canaux NFT, bacs DFT, goutteurs, et autres supports.

**Vérification des équipements** : pompes, tuyauteries, réservoirs, capteurs, systèmes de contrôle climatique.

**Remplissage avec la solution nutritive** préparée selon la formulation adaptée au stade de croissance.

**Contrôle du pH et de la conductivité électrique (CE)** pour s'assurer qu'ils sont dans la plage optimale (ex. laitue : pH 5,8–6,2, CE 1,2–1,8 mS/cm).

- Mettre en marche le système d'irrigation : assurer un débit régulier et homogène.
- Surveiller les premiers jours pour détecter tout problème d'étouffement racinaire ou de stress.
- Adapter la fréquence d'irrigation et le renouvellement de la solution nutritive selon les besoins spécifiques.



Préparation du système hydroponique

## c- Installation des plants

L'installation des plants assure la transition vers la croissance et le développement des cultures.

- Retirer délicatement les plants en cubes ou substrats de la pépinière, en évitant tout dommage aux racines.
- Positionner chaque cube dans le support prévu (trous dans les canaux NFT, paniers sur bacs DFT).
- S'assurer que les racines soient bien en contact avec la solution nutritive tout en restant aérées pour éviter la pourriture.
- Maintenir un espacement adapté à la culture (exemple laitue : 20–25 cm entre plants).

## d- Démarrage de la culture

Cette opération doit être réalisée avec soin pour garantir un enracinement rapide, une bonne reprise végétative et le développement de la culture.



Installation des plants

#### e- Gestion des paramètres de croissance

Pour garantir une croissance optimale des cultures, une gestion rigoureuse des paramètres environnementaux est essentielle.

- Maintenir la température de la solution nutritive entre 18°C et 22°C pour favoriser l'absorption des nutriments.
- Veiller à la qualité de l'air dans la serre : ventilation suffisante, contrôle de l'humidité relative.
- Ajuster l'éclairage en fonction des besoins (photopériode et intensité lumineuse adaptées).

#### f- Suivi et ajustements

Un suivi régulier et des ajustements précis sont déterminants pour le succès d'une culture hydroponique. Cette vigilance permet de maintenir un environnement nutritif optimal et de réagir rapidement à tout déséquilibre.

- Mesurer quotidiennement le pH et la conductivité électrique (CE) de la solution nutritive.
- Effectuer un renouvellement partiel ou total de la solution toutes les 1 à 2 semaines pour éviter l'accumulation de sels.
- Surveiller les signes de carences ou d'excès nutritifs sur les plantes (chlorose, nécrose, croissance ralentie).
- Ajuster la formulation de la solution nutritive en fonction du stade végétatif et des observations.

#### g- Gestion des maladies et ravageurs

La gestion proactive des maladies et des ravageurs permet de préserver la santé des cultures et d'assurer un rendement optimal.

- Inspecter régulièrement les plants pour détecter les premiers symptômes.
- Mettre en place des mesures de lutte intégrée : filets anti-insectes, insectes auxiliaires, désinfection.
- Intervenir rapidement pour éviter la propagation des maladies.



Suivi et ajustements de paramètres de croissances



Gestion des maladies et ravageurs

Le tableau ci-dessous synthétise les paramètres essentiels à maîtriser pour la mise en culture en système hydroponique.

Tableau 14. Paramètres à maîtriser pour la mise en culture en système hydroponique

Etape	Action principale	Paramètre clés	Fréquence/durée
Nettoyage et préparation	Désinfection et vérification équipements	Propreté, fonctionnement	Avant chaque cycle
L'installation des plants	Placement des cubes dans les supports	Espacement -cm	Jour 0
Mise en marche irrigation	Débit et régularité de la solution	pH 5,8-6,2 ; CE 1,2-1,8 mScm	Quotidien
Suivi des paramètres	Mesure pH, CE, température, humidité	Conforme aux normes	Quotidien
Ajustements nutritifs	Renouvellement solution, corrections	Formulation adaptée	1 à 2 semaines
Surveillance phytosanitaire	Inspection, lutte intégrée	Santé des plants	Quotidien

### ► Pratiques culturales en serre : optimisation et soins

Pour maximiser la production, la qualité et afin d'anticiper et de gérer les éventuels stress biotiques (maladies, ravageurs) et abiotiques (chaleur, carences, excès), plusieurs opérations culturales tout au long du cycle sont essentielles :

#### a- Surveillance régulière

La surveillance régulière est l'opération la plus importante des soins culturaux efficaces. Elle permet de détecter rapidement tout signe de déséquilibre ou de maladie, afin d'intervenir de manière précoce et efficace.

- Inspection visuelle quotidienne des plantes : détection rapide de signes de stress, maladies, carences ou excès nutritifs.
- Observation des feuilles, tiges, racines (quand accessible), et substrats pour identifier tout problème.

#### b- Éclaircissement et éclairage

Pour assurer une croissance optimale, l'éclaircissement et la gestion de l'éclairage sont des pratiques nécessaires.

- Éclaircissement des plants si nécessaire, pour éviter la surdensité et améliorer la circulation de l'air.
- Ajustement de la hauteur et de l'intensité des éclairages artificiels selon la phase de croissance.
- Rotation éventuelle des plants pour une exposition homogène.



Éclaircissement et gestion de l'éclairage

#### c- Taille et palissage

La taille et le palissage sont des pratiques culturales qui permettent de maintenir la vigueur des cultures et maximiser leur rendement.

- Taille de formation : suppression des feuilles mortes, malades, ou en excès pour favoriser la pénétration lumineuse.
- Palissage (pour légumes-fruits) : fixation des tiges sur des supports pour éviter les chutes, améliorer la ventilation et la productivité.
- Respect des périodes adaptées pour ne pas stresser la plante.



Taille et palissage des plants

#### d- Gestion de l'irrigation

La gestion précise de l'irrigation est fondamentale pour la productivité des cultures hydroponiques.

- Contrôle strict de la fréquence et de la durée d'irrigation en fonction des besoins spécifiques des cultures et du stade de développement.
- Éviter l'engorgement racinaire qui peut provoquer des maladies.
- Surveillance du renouvellement et de la qualité de la solution nutritive.

#### e- Protection phytosanitaire

L'approche intégrée est recommandée pour prévenir et gérer efficacement les maladies et ravageurs.

- Mise en place de barrières physiques : filets anti-insectes, zones sanitaires.

- Introduction d'insectes auxiliaires pour la lutte biologique.
- Utilisation raisonnée de produits phytosanitaires compatibles avec la culture hydroponique et respectueux de l'environnement.
- Nettoyage et désinfection régulière des installations.

#### f- Apport complémentaire

En complément de la gestion de la solution nutritive principale, des apports complémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour soutenir au mieux la croissance des cultures.

- Application foliaire possible d'engrais ou stimulateurs de croissance en cas de besoin.
- Ajustement de la formulation nutritive selon l'évolution des plantes et les résultats observés.



Protection phytosanitaire

### **g- Gestion des déchets et résidus**

L'élimination contrôlée des parties végétales mortes ou malades permet d'éviter la propagation de maladies et des ravageurs au reste de la culture.

Le tableau suivant synthétise les soins culturaux.



*Contrôle et Gestion de l'irrigation*



*Ajustement de la formulation nutritive*

*Tableau 15. Soins culturaux en système hydroponique*

<b>Etape</b>	<b>Description / Actions</b>	<b>Fréquence</b>
Inspection	Observation des plantes et substrats	Quotidienne
Éclaircissement	Suppression des plants superflus	Selon besoin
Taille et palissage	Retrait feuilles mortes et fixation tiges	Hebdomadaire
Irrigation	Ajustement fréquence et durée	Quotidienne
Protection phytosanitaire	Barrières, lutte biologique, produits	Régulière
Apports complémentaires	Engrais foliaires, stimulateurs	Selon diagnostic
Nettoyage et désinfection	Hygiène des équipements	Après chaque cycle

## 4 Récolte et commercialisation

Cette étape devrait être menée d'une manière à garantir la qualité du produit et sa valorisation sur le marché avec une gestion fluide et efficace. L'organigramme suivant présente les étapes clés, de la récolte à la mise sur le marché.

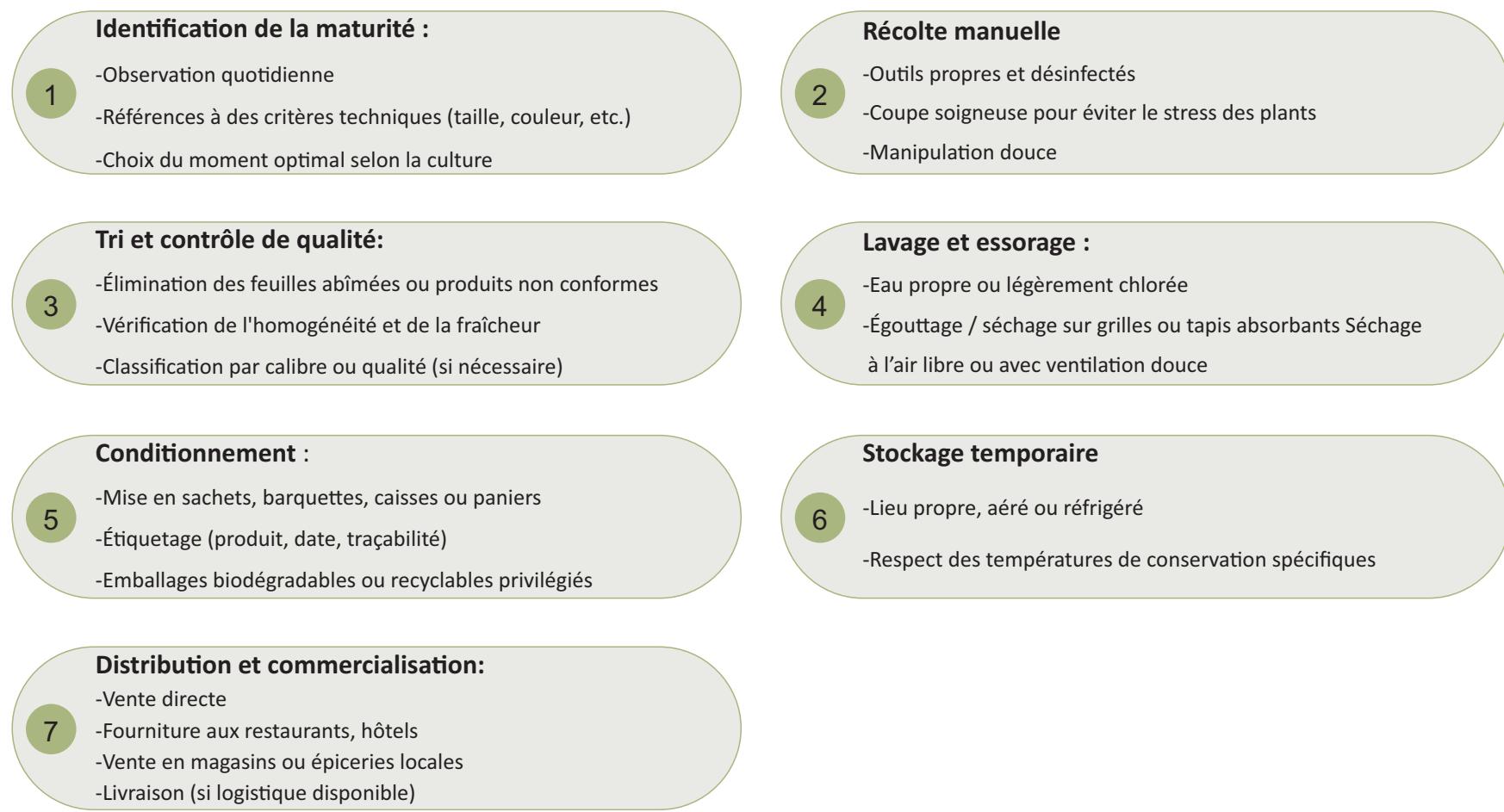


Figure 6. Etapes clés de la récolte à la mise sur le marché en culture hydroponique

## ► Récolte

La récolte est essentielle pour garantir la valeur des produits hydroponiques.

- Récolter au bon stade de maturité pour garantir fraîcheur, le goût et qualité nutritionnelle.
- Assurer une manipulation hygiénique et une traçabilité complète du produit.
- Réduire les pertes post-récolte.

### Stade optimal de récolte

Le moment de la récolte dépend du type de culture.

*Tableau 16. Moment de la récolte par type de culture*

Culture	Critères de récolte
Laitue	Rosette bien formée, feuilles tendres et fermes (25 à 35 jours après plantation)
Basilic	Tiges 15–20 cm, avant floraison
Tomate	Rouge uniforme, texture ferme mais souple
Concombre	Taille variétale atteinte, peau verte brillante



Une récolte trop tardive s'accompagne avec une amertume et flétrissement et une récolte trop précoce est synonyme de faible poids et de goût peu développé.

### Hygiène et conditions de récolte

Pour garantir la qualité et la sécurité alimentaire des produits hydroponiques, l'hygiène et le respect de conditions de récolte spécifiques sont primordiaux.

- Récolte manuelle avec des outils propres (ciseaux inox, gants à usage unique).
- Récolte aux heures fraîches (tôt le matin) pour limiter le stress hydrique et la flétrissure.
- Utilisation de bacs propres et ajourés pour éviter la condensation.
- Évacuation rapide des produits vers une zone ombragée ou climatisée.



*Rosette bien formée de laitue*



*Tomate rouge uniforme, texture ferme*

## ► Conditionnement

Le conditionnement est une opération déterminante pour la préservation de la fraîcheur et de la qualité.

### Refroidissement initial (pré refroidissement) :

Un refroidissement rapide est souvent nécessaire immédiatement après le conditionnement pour ralentir le métabolisme des plantes et prolonger leur durée de vie.

- Bains d'eau fraîche (<10 °C) ou chambres froides à circulation d'air.
- Objectif : Retirer la chaleur de champ et stabiliser la fraîcheur.

### Conditionnement :

Le conditionnement est une étape pour préserver la fraîcheur des produits hydroponiques jusqu'au consommateur final.

- Utilisation de barquettes ou sachets biodégradables
- Étiquetage : variété, date, origine
- Stockage au frais immédiat (5-10°C)

Tableau 17. Type d'emballage par type de produits

Type de produit	Conditionnement recommandé
Légumes-feuilles	Sachets perforés ou barquettes PLA
Herbes fraîches	Sachets sous atmosphère modifiée
Fruits-légumes	Barquettes rigides ou caisses ventilées



Caisse en carton de conditionnement



Barquettes ou sachets biodégradables

## ► Commercialisation

La commercialisation est l'étape finale qui assure la valorisation des produits hydroponiques et leur distribution aux consommateurs.

### Cibles potentielles :

- Restaurants et hôtels : produits frais, sans résidus, prêts à l'emploi.
- Marchés urbains et grandes surfaces : besoin de régularité et présentation soignée.
- Boutiques bio / circuits courts : consommateurs sensibles à la qualité locale.

### Stratégies :

- Positionnement sur la fraîcheur, production saine, traçabilité et la qualité constante.
- Mise en avant du mode de culture (hydroponie = sans pesticides, économique en eau).

## 5 Nettoyage et replantation

Cette phase comprend plusieurs étapes clés permettant de préparer un nouveau cycle de culture dans des conditions optimales.

Cet organigramme présente les étapes clés pour assurer un environnement sain et préparer un nouveau cycle de production.

### Déconnexion des systèmes :

- Arrêt de la circulation de la solution
- Vidange des bacs, gouttières et canaux
- Mise hors tension des pompes et automates

### Retrait des débris végétaux :

- Élimination des restes de racines et substrats usés
- Tri entre matières compostables et déchets
- Préparation du support pour le cycle suivant
- Rinçage abondant pour éviter les résidus chimiques

### Nettoyage mécanique et chimique :

- Brossage ou lavage à haute pression
- Désinfection avec produits autorisés (eau oxygénée, peroxyde)
- Rinçage abondant pour éviter les résidus chimiques

### Vérification des équipements :

- Inspection des gouttières, pompes, capteurs
- Remplacement ou entretien des éléments défectueux
- Test de bon fonctionnement

### Rechargement du substrat:

- Mise en place de nouveaux cubes de laine de roche, fibre coco
- Pré humidification ou trempage dans solution tampon

### Reconnexion des circuits :

- Rétablissement de la circulation de la solution nutritive
- Contrôle du pH, CE et du débit
- Lancement du nouveau cycle

### Replantation / mise en Place des plantules :

- Sélection des plants issus de la pépinière
- Placement dans les supports NFT/DFT ou substrats
- Vérification de l'alignement et espacement

Figure 7. Etapes de préparation d'un nouveau cycle de production

### ► Nettoyage post-récolte :

Le nettoyage est une étape essentielle pour garantir la santé des cultures hydroponiques et prévenir les risques phytosanitaires.

- **Retrait des résidus** : Il convient de retirer manuellement toutes les plantes, racines et débris végétaux présents dans les systèmes NFT, DFT ou goutte-à-goutte. Les substrats usagés, comme la laine de roche ou la fibre de coco, doivent être évacués dans un sac ou compostés si non traités.
- **Rinçage à l'eau claire** : l'intérieur des gouttières, canaux ou bacs flottants doit être rincé à l'aide d'un jet d'eau sous pression. Un brossage peut être nécessaire pour éliminer les dépôts d'algues.

### ► Désinfection :

La désinfection est une étape critique après le nettoyage, car elle élimine les agents pathogènes et prévient leur propagation.

- **Solutions recommandées** : utilisation du peroxyde d'hydrogène (3-5 %) ou de l'acide peracétique dilué. L'eau de Javel est à éviter en système fermé en raison de résidus chlorés.
- **Procédure** : application la solution désinfectante par pulvérisation ou à l'éponge sur toutes les surfaces (canaux, bacs, cuves, outils). Laisser agir 10 à 15 minutes puis rincer abondamment à l'eau claire pour éviter la phytotoxicité.
- **Fréquence** : cette désinfection est réalisée à chaque cycle de culture ou plus souvent en cas d'épidémie fongique ou virale.

### ► Nettoyage des réservoirs et pompes :

Cet entretien assure l'efficacité du système, la qualité et la sécurité de la production.

- Vider complètement les réservoirs de solution nutritive.
- Nettoyer les parois avec une brosse souple et une solution désinfectante.

- Faire circuler la solution désinfectante dans tout le système (circulation fermée) pendant 15 à 20 minutes.
- Rincer deux fois à l'eau claire avant remise en service.

### ► Contrôle et maintenance :

Un contrôle et une maintenance réguliers sont essentiels pour garantir la performance et la durabilité du système hydroponique.

- Vérifier les joints, les filtres, les buses d'irrigation et les pompes : les remplacer s'ils sont encrassés ou usés.
- Vérifier l'état des canaux ou des bacs : rechercher les fissures, les stagnations, les moisissures.
- Nettoyer ou recalibrer les capteurs de pH, de CE et de température.

### ► Replantation et lancement d'un nouveau cycle

#### Préparation :

- S'assurer que la serre est sèche, propre et désinfectée.
- Mettre en place les nouveaux cubes de substrat (laine de roche, etc.) préalablement humidifiés et pH ajusté (5,5 à 6).
- Préparer une nouvelle solution nutritive adaptée au stade de culture.

#### Transplantation :

- Introduction de nouveaux plants depuis la pépinière.
- Contrôle du positionnement et vérification des débits.
- Redémarrage du système.

#### Suivi post-transplantation :

- Surveiller étroitement les premiers jours le comportement des plants (acclimatation, reprise racinaire, stress thermique ou hydrique).

## IV - Schéma graphique de l'itinéraire technique de production hydroponique

Cette section détaille l'itinéraire technique intégral de la conduite des cultures hydroponiques à Djibouti, à travers des schémas explicatifs, des organigrammes illustrés pour faciliter la compréhension et la mise en oeuvre.

Le Processus global de la production hydroponique peut être illustré dans l'organigramme suivant :

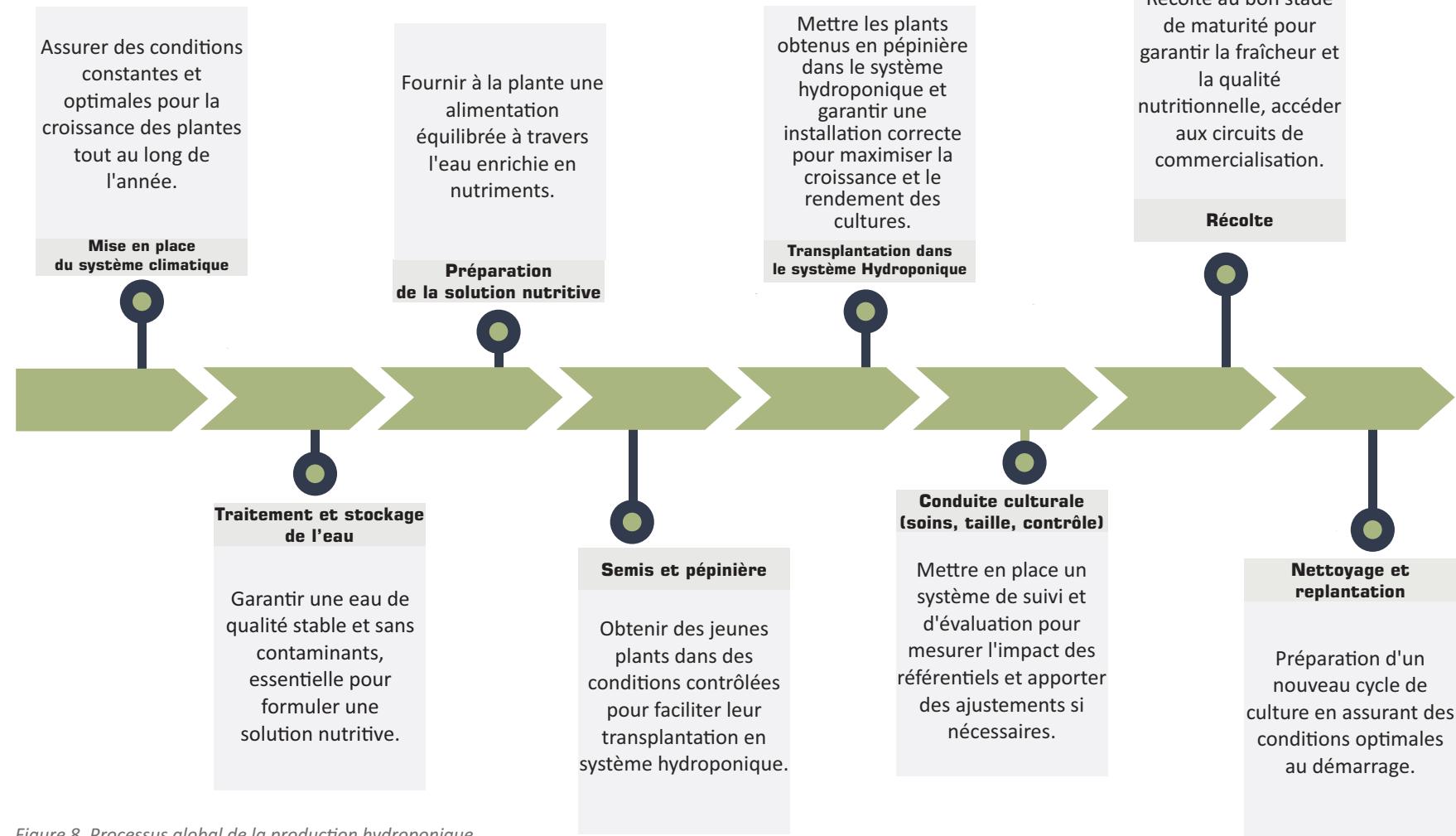


Figure 8. Processus global de la production hydroponique

## 1 Crédit de microclimat optimal pour les cultures hydroponiques sous climat chaud et aride

Création d'un environnement contrôlé qui protège les cultures des températures extrêmes, du rayonnement solaire intense et de la poussière

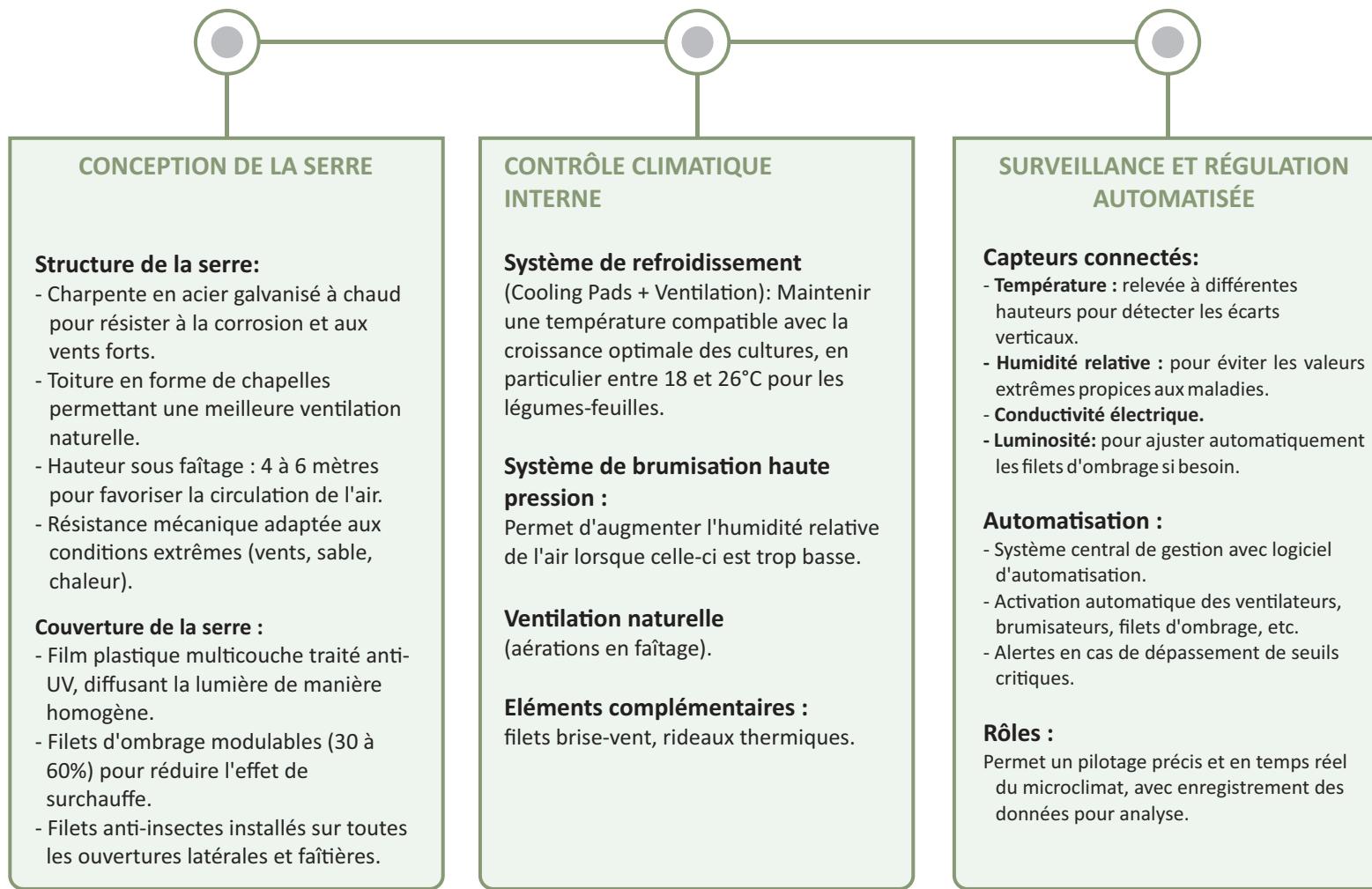


Figure 9. Crédit de microclimat optimal pour les cultures hydroponiques sous climat chaud et aride

## 2 Préparation et gestion de la solution nutritive

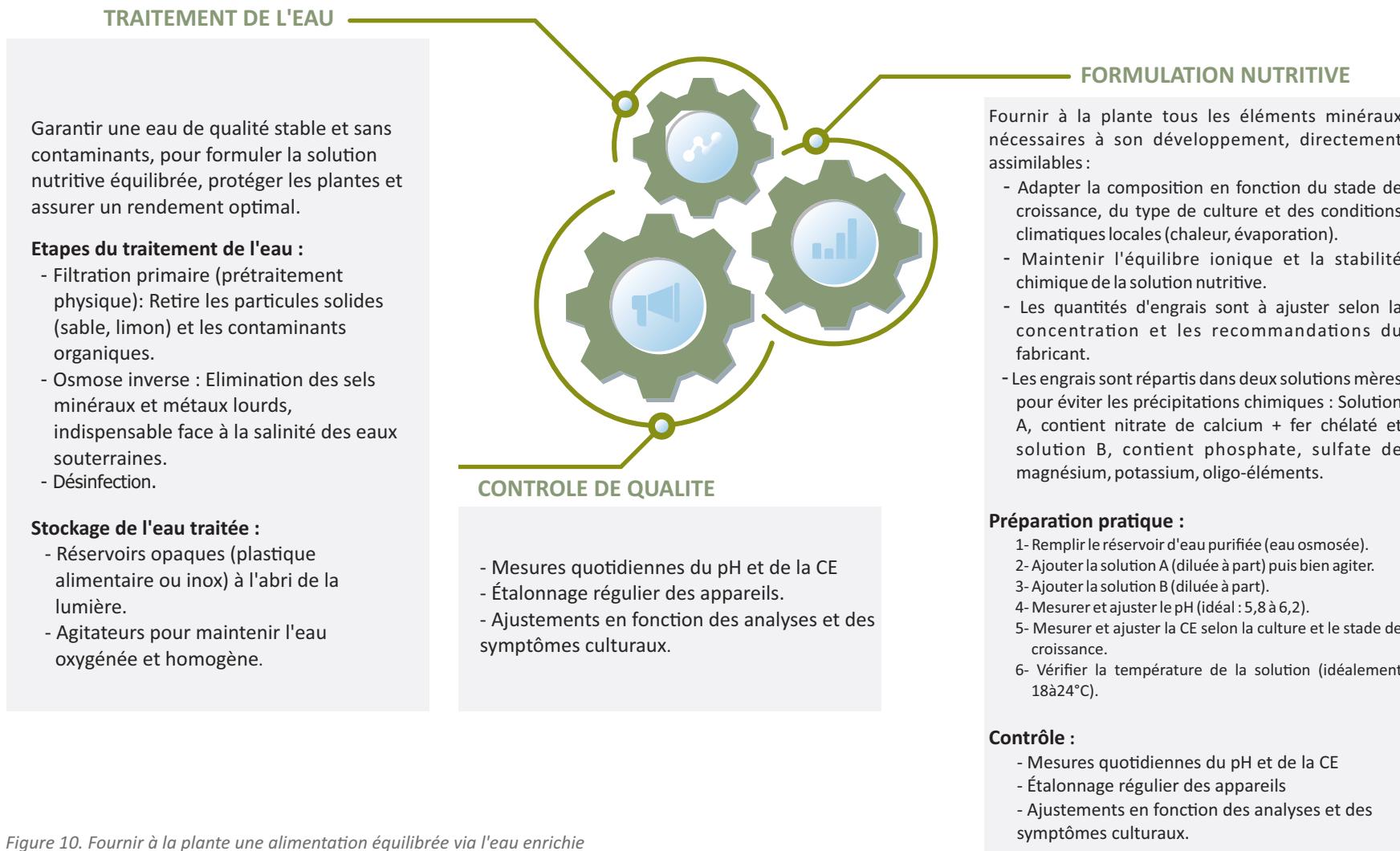


Figure 10. Fournir à la plante une alimentation équilibrée via l'eau enrichie

### 3 Gestions des cultures et itinéraire technique spécifique

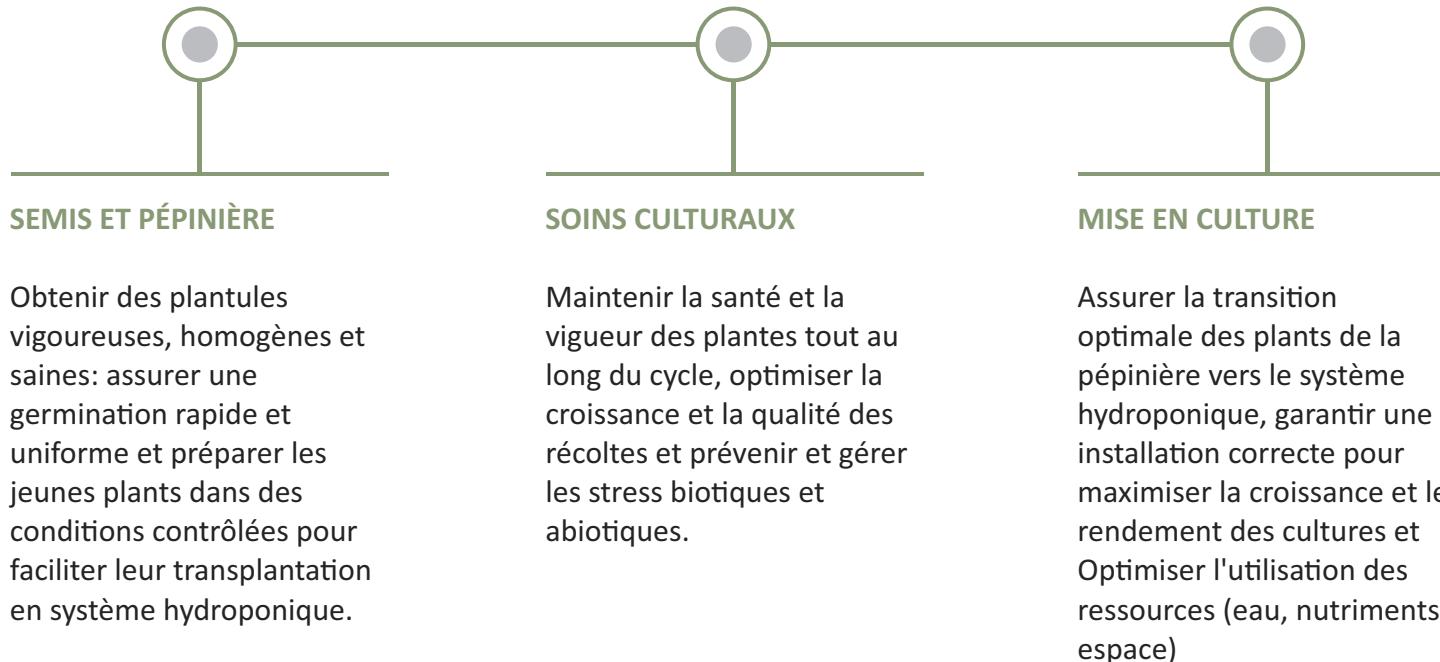


Figure 11. Conduire les cultures selon leurs exigences spécifiques en système hydroponique

### TECHNIQUE DE SEMIS

#### 1. Choix du matériel de semis :

- Supports de culture : Utilisation de cubes ou plaques en laine de roche, mousse de polyuréthane, ou substrats inertes stériles (ex., fibre de coco, billes d'argile).
- Contenants : Paniers ou plateaux spécifiques pour pépinière, permettant un bon drainage et une bonne aération.
- Qualité des graines : Utiliser des semences certifiées, calibrées et traitées contre les maladies.

#### 2. Préparation des supports :

- Hydrater les cubes de laine de roche à pH neutre (environ 6,0–6,5) avant le semis.
- Désinfection des supports pour éviter la contamination microbienne.
- Positionner les supports dans les plateaux ou bacs de pépinière, bien espacés pour assurer une bonne circulation d'air.

#### 3. Techniques de semis :

- Semis direct dans les cubes : déposer 1 à 2 graines par cube pour assurer un plant unique ou permettre le repiquage.
- Enfouir légèrement la graine dans le substrat, sans trop l'enterrer pour faciliter la levée.
- Arroser délicatement avec de l'eau à température ambiante, sans excès.

### MISE EN CULTURE

#### 4. Conditions de germination :

- Température optimale : 20–25°C pour la plupart des légumes-feuilles.
- Humidité relative : Maintenir un environnement humide (80–90 %) avec couverture partielle (dôme plastique ou film).
- Éclairage : Lumière diffuse suffisante, éviter l'exposition directe aux rayons intenses.
- Ventilation : Assurer une bonne aération pour éviter la condensation excessive et le développement de maladies fongiques.

#### 5. Soins pendant la période de pépinière :

- Arrosage : Maintenir le substrat humide mais non détrempé, en utilisant de l'eau légèrement acidifiée si possible (pH 5,5–6,0).
- Aération régulière : Retirer les couvertures plusieurs fois par jour pour favoriser l'échange d'air.
- Contrôle sanitaire : Surveiller les signes de maladies (mousses, pourritures), agir rapidement en cas d'apparition.
- Éclairage supplémentaire : Si la luminosité naturelle est faible, utiliser des lampes LED spécifiques pour la croissance des jeunes plants.

### CYCLE ET TRANSPLANTATION

#### 6. Durée de la pépinière :

- La période varie entre 10 à 21 jours selon la culture et la température.
- Le repiquage est effectué lorsque les plantules ont au moins 2 vraies feuilles et un système racinaire bien développé.

#### 7. Transplantation vers le système hydroponique :

- Retirer les plants des cubes sans abîmer les racines.
- Insérer les cubes dans les supports du système.
- Arroser immédiatement avec une solution nutritive équilibrée adaptée au stade post-germination.

## B MISE EN CULTURE

### CHOIX ET PREPARATION DU SYSTEME HYDROponique

#### 1. Choix du système hydroponique selon le type de culture :

Les systèmes NFT et DFT sont les plus productifs en environnement contrôlé à Djibouti.

#### 2. Préparation du système hydroponique :

- Nettoyage et désinfection préalable des canaux NFT, bacs DFT, goutteurs, et autres supports.
- Vérification des équipements : pompes, tuyauteries, réservoirs, capteurs, ...
- Remplissage avec la solution nutritive préparée selon la formulation adaptée au stade de croissance.

### MISE EN CULTURE DES PLANTS

#### 3. Installation des plants :

- Retirer délicatement les plants en cubes ou substrats de la pépinière, en évitant tout dommage aux racines.
- Positionner chaque cube dans le support prévu (trous dans les canaux NFT, paniers sur bacs DFT).
- S'assurer que les racines soient bien en contact avec la solution nutritive tout en restant aérées pour éviter la pourriture.
- Maintenir un espacement adapté à la culture.

#### 4. Démarrage de la culture :

- Mettre en marche le système d'irrigation : assurer un débit régulier et homogène.
- Surveiller les premiers jours pour détecter tout problème d'étouffement racinaire ou de stress.
- Adapter la fréquence d'irrigation et le renouvellement de la solution nutritive selon les besoins spécifiques

### GESTION DE LA CULTURE

#### 5. Gestion des paramètres de croissance:

- Maintenir la température de la solution nutritive entre 18°C et 22°C pour favoriser l'absorption des nutriments.
- Veiller à la qualité de l'air dans la serre : ventilation suffisante, contrôle de l'humidité relative (50–70%).
- Ajuster l'éclairage en fonction des besoins (photopériode et intensité lumineuse adaptées).

#### 6. Suivi et ajustements :

- Mesurer quotidiennement le pH et la CE de la solution nutritive.
- Effectuer un renouvellement partiel ou total de la solution toutes les 1 à 2 semaines pour éviter l'accumulation de sels.
- Surveiller les signes de carences ou d'excès nutritifs sur les plantes.
- Ajuster la formulation de la solution nutritive en fonction du stade végétatif et des observations.

#### 7. Gestion des maladies et ravageurs :

- Inspecter régulièrement les plants pour détecter les premiers symptômes.
- Mettre en place des mesures de lutte intégrée : filets anti-insectes, insectes auxiliaires, désinfection.
- Intervenir rapidement pour éviter la propagation des maladies.

Figure 13. Mise en culture

## C SOINS CULTURAUX

### TRAVAUX CULTURALES

#### 1. Surveillance régulière :

- Inspection visuelle quotidienne des plantes : détection rapide de signes de stress, maladies, carences ou excès nutritifs.
- Observation des feuilles, tiges, racines et substrats pour identifier tout problème.

#### 2. Éclaircissement et éclairage :

- Éclaircissement des plants si nécessaire, pour éviter la surdensité et améliorer la circulation de l'air.
- Ajustement de la hauteur et de l'intensité des éclairages artificiels selon la phase de croissance.

#### 3. Taille et palissage :

- Taille de formation : suppression des feuilles mortes, malades, ou en excès pour favoriser la pénétration lumineuse.
- Palissage (pour légumes-fruits) : fixation des tiges sur des supports pour éviter les chutes, améliorer la ventilation et la productivité.
- Respect des périodes adaptées pour ne pas stresser la plante.

### GESTION DE L'IRRIGATION

#### 4. Gestion de l'irrigation :

- Contrôle strict de la fréquence et de la durée d'irrigation en fonction des besoins spécifiques des cultures et du stade de développement.
- Éviter l'engorgement racinaire qui peut provoquer des maladies.
- Surveillance du renouvellement et de la qualité de la solution nutritive.

### PROTECTION CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS

#### 5. Apport complémentaire :

- Application foliaire possible d'engrais ou stimulateurs de croissance en cas de besoin.
- Ajustement de la formulation nutritive selon l'évolution des plantes et les résultats observés

#### 6. Protection phytosanitaire :

- Mise en place de barrières physiques : filets anti-insectes, zones sanitaires.
- Utilisation raisonnée de produits phytosanitaires compatibles avec la culture hydroponique.
- Nettoyage et désinfection régulière des installations.

#### 7. Gestion des déchets et résidus :

- Élimination contrôlée des parties végétales mortes ou malades.

Figure 14. Soins culturaux

## 4 Récolte et commercialisation :

### RÉCOLTE

- Récolter au bon stade de maturité pour garantir fraîcheur, goût et qualité nutritionnelle.
- Assurer une manipulation hygiénique et une traçabilité complète du produit.
- Réduire les pertes post-récolte.

#### Hygiène et conditions de récolte :

- Récolte manuelle avec des outils désinfectés (ciseaux inox, gants à usage unique).
- Récolte aux heures fraîches (tôt le matin) pour limiter le stress hydrique et la flétrissure.
- Utilisation de bacs propres et ajourés pour éviter la condensation.
- Évacuation rapide des produits vers une zone ombragée ou climatisée.

### CONDITIONNEMENT

#### Refroidissement initial (pré refroidissement) :

- Bains d'eau fraîche (<10 °C) ou chambres froides à circulation d'air.
- Objectif : Retirer la chaleur de champ et stabiliser la fraîcheur.

#### Conditionnement :

- Utilisation de barquettes ou sachets.
- Étiquetage : variété, date, origine.
- Stockage au frais immédiat (5-10°C).

### COMMERCIALISATION

#### Cibles potentielles :

- Restaurants et hôtels: produits frais, sans résidus, prêts à l'emploi.
- Marchés urbains et grandes surfaces : besoin de régularité et présentation soignée.
- Boutiques bio / circuits courts : consommateurs sensibles à la qualité locale.

#### Stratégies :

- Positionnement sur la fraîcheur, production saine, traçabilité et la qualité constante.
- Mise en avant du mode de culture (hydroponie = sans pesticides, économie en eau).

Figure 15. Récolte et commercialisation

## 5 Nettoyage et replantation:

### NETTOYAGE POST-RECOLTE

#### Retrait des résidus :

- Retirer toutes les plantes, racines et débris végétaux restants dans les systèmes NFT, DFT ou goutte-à-goutte.
- Évacuer les substrats usagés (laine de roche, fibre de coco).

#### Rinçage à l'eau claire :

- Rincer l'intérieur des gouttières, canaux ou bacs flottants avec un jet d'eau sous pression.
- Brosser si nécessaire pour éliminer les biofilms ou dépôts d'algues.

### DESINFECTION

#### Solutions recommandées :

- Peroxyde d'hydrogène ((H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à 3-5 %, ou acide peracétique dilué.
- Éviter l'eau de Javel en système fermé à cause des résidus chlorés.

#### Procédure :

- Appliquer la solution désinfectante à l'éponge ou à la pulvérisation sur toutes les surfaces (canaux, bacs, cuves, outils).
- Laisser agir 10 à 15 minutes.
- Rincer abondamment à l'eau claire pour éviter toute phytotoxicité.

#### Fréquence :

- À chaque cycle de culture.
- Plus fréquemment en cas d'épidémie.

#### Transplantation :

- Introduction de nouveaux plants.
- Contrôle du positionnement, vérification des débits
- Redémarrage du système
- Surveiller étroitement les premiers jours.

### NETTOYAGE DES SERVOIRS ET POMPES

- Vider complètement les réservoirs de solution nutritive.
- Nettoyer les parois avec une brosse souple et solution désinfectante.
- Faire circuler la solution désinfectante dans tout le système (circulation fermée) pendant 15–20 minutes.
- Rincer 2 fois à l'eau claire avant remise en service.

### CONTROLE ET MAINTENANCE

- Vérifier les joints, filtres, buses d'irrigation et pompes : les remplacer si encrassés ou usés.
- Vérifier l'état des canaux ou bacs : rechercher fissures, stagnations, moisissures.
- Nettoyer ou recalibrer les capteurs de pH, CE, température.

### REPLANTATION ET LANCEMENT D'UN NOUVEAU CYCLE

#### Préparation :

- S'assurer que la serre est sèche, propre et désinfectée.
- Mettre en place les nouveaux cubes de substrat préalablement humidifiés et pH ajusté (5,5–6).
- Préparer une nouvelle solution nutritive adaptée.

Figure 16. Préparation de nouveau cycle de culture en assurant des conditions optimales

## V- Analyse économique du projet hydroponique

La simulation économique d'un projet hydroponique type sur une surface de 500 m<sup>2</sup> permet d'évaluer la viabilité financière et de guider les décisions d'investissement et de gestion. Cette analyse présente en détail les investissements initiaux, les amortissements, les charges annuelles, les recettes attendues, ainsi que le bilan économique et la rentabilité nette annuelle. Elle inclut également une réflexion sur les axes d'amélioration pour optimiser la performance économique du projet.

### 1 Investissements initiaux

La mise en place d'un système hydroponique performant à Djibouti, pour une surface pilote de 500 m<sup>2</sup>, nécessite un investissement initial conséquent, réparti sur plusieurs postes clés:

Poste	Montant (FDJ)
Serre et structure	2 500 000
Système hydroponique complet (NFT, DFT, goutte-à-goutte)	1 800 000
Réservoirs, pompes et accessoires	700 000
Semences et substrats initiaux	250 000
Équipements de mesure (pH-mètre, conductimètre, capteurs)	300 000
<b>Total</b>	<b>5 550 000</b>

**Total des investissements initiaux : environ 5 550 000 FDJ**, un montant conséquent mais justifié par la robustesse des équipements et la technicité requise.

### 2 Répartition des amortissements

Pour répartir le coût initial dans la durée du projet, un amortissement annuel est calculé en fonction de la durée de vie estimée des équipements :

Poste	Montant (FDJ)	Durée d'amortissement (années)	Amortissement annuel (FDJ)
Serre et structure	2 500 000	10	250 000
Autres équipements (hydroponie, réservoirs, accessoires, mesures)	3 050 000	5	610 000
<b>Total Amortissement Annuel</b>	<b>5 550 000</b>		<b>860 000</b>

### 3 Charges annuelles

Le fonctionnement de l'unité génère des charges récurrentes incontournables :

Poste	Montant annuel (FDJ)
Main d'œuvre	1 800 000
Électricité et consommation d'eau	900 000
Intrants (nutriments, semences)	700 000
Maintenance, équipement et nettoyage	400 000
Divers (frais administratifs, accessoires)	200 000
<b>Total Charges Annuelles</b>	<b>4 000 000</b>

**Total charges annuelles : environ 4 000 000 FDJ**, ce qui souligne l'importance d'une gestion rigoureuse pour maîtriser le budget opérationnel.

## 4 Recettes annuelles estimées

Les recettes sont calculées sur la base d'une production répétée selon plusieurs cycles annuels, avec des volumes et prix moyens réalisables :

- **Laitues** : 15 à 20 cycles par an, avec environ 1 000 à 1 500 pièces récoltées par cycle. La moyenne est de 22 500 pièces par an. Un prix de vente moyen de 190 FDJ par pièce est retenu.

Calcul du chiffre d'affaires pour la laitue :

Recette annuelle laitues = 22 500 pièces × 190 FDJ/ pièces = 4 275 000 FDJ

- **Herbes aromatiques** : Production continue avec vente directe ou semi-directe, ce qui génère environ 1 020 000 FDJ par an.

Production	Hypothèse basse (FDJ)	Hypothèse haute (FDJ)
Laitues	2 550 000	7 500 000
Herbes aromatiques	240 000	600 000
<b>Total annuel</b>	<b>2 490 000</b>	<b>8 100 000</b>

**Total recettes annuelles estimées : 5 295 000 FDJ**

## 5 Résultat économiques annuel

Résultat économique annuel en FDJ	
Recettes annuelles	5 295 000
Charges annuelles	4 000 000
Résultat net brut (hors amortissement)	1 295 000
Amortissement annuel total	860 000
Résultat net après amortissement	435 000

### Analyse de la rentabilité économique du projet :

#### Calcul du TRI et scénarios

L'analyse présentée ici repose sur un scénario de base, complété par deux variantes (pessimiste et optimiste), permettant d'apprecier la sensibilité du projet hydroponique de 500 m<sup>2</sup> aux variations économiques.

#### Hypothèses générales :

Élément	Valeur retenue
Investissement initial	5 550 000 FDJ
Durée d'analyse	10 ans
Résultat net annuel (réaliste)	435 000 FDJ
Tri calculé (Scénario réaliste)	=7,8%

#### Scénarios de sensibilité:

L'évaluation par scénarios a permis d'estimer les impacts d'éventuelles variations de prix, de rendements, ou de charges d'exploitation sur la rentabilité du projet.

#### Scénario pessimiste (4,1 % de TRI)

Ce scénario reflète une situation défavorable : baisse de production ou prix, combinée à une hausse des charges. Bien que le TRI reste positif, il devient inférieur au taux d'intérêt usuel d'un emprunt (>5 %), ce qui rend le projet peu attractif pour les financeurs privés. Il souligne la vulnérabilité du modèle à des aléas

techniques ou économiques non maîtrisés essentiellement pour les charges en énergies.

#### Scénario réaliste (7,8 % de TRI) :

Ce scénario repose sur les hypothèses techniques et économiques de référence. Le projet y est économiquement viable, avec une rentabilité stable. Cette configuration convient particulièrement à des structures bénéficiant d'un soutien public ou d'un accès subventionné aux équipements.

#### Scénario optimiste (11,3 % de TRI) :

Dans un contexte favorable (valorisation haut de gamme, cycles intensifiés, optimisation énergétique), le projet devient hautement rentable. Le TRI dépasse 10 %, ce qui permettrait un remboursement de l'investissement en moins de 7 ans.

#### Résultat économique annuel en FDJ

Scénario	Hypothèse recettes	Hypothèse charges	Résultat net annuel estimé	TRI approximatif
Pessimiste	-20% (baisse rendement ou prix de vente)	+10% (hausse énergie ou entretien)	250 000 FDJ	4,1%
Réaliste	5 295 000 FDJ	4 000 000 + 860 000 amortissement	435 000 FDJ	7,8%
Optimiste	+20% (plus de cycles, meilleur débouché)	-10% (économie énergie/gestion)	695 000 FDJ	11,3%

#### Présentation des coûts par mètre carré (estimation indicative)

Pour l'évaluation technico-économique d'un projet de production hydroponique sur une surface type de 500 m<sup>2</sup>, il est utile de rapporter les principaux postes de coûts à l'unité de surface. Cette approche, bien que basée sur des moyennes estimatives, permet

Ce niveau de rentabilité est attractif pour des investisseurs à impact ou des structures cherchant un modèle économique robuste et reproductible.

L'analyse montre que le projet hydroponique peut atteindre une rentabilité intéressante, à condition de maîtriser les charges, de sécuriser les débouchés, et d'optimiser la production. Il présente un potentiel solide pour l'agriculture urbaine durable à Djibouti, avec une adaptabilité aux objectifs économiques, sociaux ou écologiques selon le contexte de mise en œuvre.

une meilleure lisibilité des données, facilite les comparaisons inter-projets et constitue un outil d'aide à la décision pour des développements futurs.

#### **a- Coût d'investissement initial par mètre carré :**

L'investissement total estimé pour l'installation complète du système hydroponique est de 5 550 000 FDJ, soit environ 11 100 FDJ par mètre carré. Il s'agit d'un chiffrage global et orientatif, qui peut évoluer en fonction du type de technologie hydroponique retenue (NFT, DFT, substrat), du niveau d'automatisation souhaité, et des cultures spécifiques sélectionnées (laitues, herbes aromatiques, légumes-fruits, etc.).

#### **b- Charges d'exploitation annuelles par mètre carré :**

Les dépenses d'exploitation sont estimées à 4 000 000 FDJ par an, soit 8 000 FDJ par mètre carré. Ces charges peuvent varier selon les cultures pratiquées, leur durée de cycle, les conditions climatiques et le niveau de technicité mis en œuvre.

Même si les données présentées restent indicatives, ce modèle de référence permet de démontrer une certaine cohérence économique, avec des coûts par mètre carré compétitifs et une structure technique adaptée au contexte djiboutien. Le potentiel de rentabilité peut être renforcé par plusieurs leviers :

- L'optimisation des calendriers de production (jusqu'à 20 cycles/an pour certaines espèces)
- La réduction des coûts énergétiques par l'intégration de sources renouvelables
- Le ciblage de débouchés à forte valeur ajoutée : restauration, hôtels, circuits courts urbains

#### **Conclusion :**

Le projet présente une rentabilité modérée mais stable dans sa configuration de base. Des gains significatifs sont possibles via l'optimisation des cycles, la réduction des charges fixes et la valorisation des débouchés. Le TRI est un indicateur pertinent pour orienter les décisions d'investissement et sécuriser les financements.

Cette simulation économique met en évidence que la rentabilité d'un projet hydroponique de 500 m<sup>2</sup> est envisageable dès la première année d'exploitation, à condition que la qualité, la régularité de la production et la commercialisation soient optimisées. Cependant, il convient de souligner que cet équilibre reste fragile et soumis à plusieurs paramètres critiques, notamment le contrôle strict des coûts énergétiques et la capacité à maintenir des prix de vente compétitifs sur un marché local adapté.

L'analyse économique du projet hydroponique à Djibouti révèle un potentiel intéressant en matière de rentabilité et de résilience, malgré un investissement initial relativement élevé. Bien qu'il s'agisse d'une estimation indicative, cette simulation permet de cerner les ordres de grandeur des coûts d'investissement et des charges de fonctionnement, tout en mettant en lumière les principales variables économiques à suivre.

Les détails de la simulation économique du projet sont consignés en Annexe 2.

## VI- Défis économiques majeurs

Malgré une technologie avancée, la production hydroponique à Djibouti rencontre des défis économiques spécifiques :

- Les coûts initiaux importants, surtout liés à l'adaptation des serres et au traitement de l'eau, exigent un financement suffisant et une planification rigoureuse.
- Les charges d'exploitation, en particulier celles relatives à l'électricité et à l'eau traitée, peuvent peser lourdement sur la rentabilité si elles ne sont pas maîtrisées.
- La commercialisation doit viser des segments à forte valeur ajoutée (hôtels, restaurants, expatriés) pour justifier les prix et pérenniser les recettes.

### Recommandations clés pour assurer la viabilité :

#### 1- Optimisation des coûts initiaux :

- Démarrer avec un module de production plus petit (100-200 m<sup>2</sup>) pour une montée en compétence progressive.
- Rechercher activement des subventions ou aides spécifiques aux innovations agricoles et aux projets verts.
- Intégrer des solutions d'énergie solaire photovoltaïque pour réduire de manière significative les frais énergétiques liés à la ventilation, pompage et refroidissement.

#### 2- Gestion rigoureuse des coûts opérationnels :

- Suivi précis de la consommation d'eau et d'énergie avec capteurs et automatisation.
- Négociation favorable des prix d'approvisionnement des intrants (engrais, semences).
- Formation du personnel local afin de réduire la dépendance à une main-d'oeuvre spécialisée coûteuse.

#### 3- Maximisation des rendements et valeurs ajoutées :

- Prioriser les cultures à cycle court et à forte demande locale (laitues spécialisées, herbes aromatiques, tomates cerises).
- Développer des partenariats directs avec des acteurs commerciaux prêts à payer une prime pour des produits frais et locaux.
- Envisager la diversification vers des produits transformés (exemple : huiles essentielles d'herbes aromatiques) pour valoriser les surplus.

#### 4- Étude de faisabilité approfondie :

- Avant investissement, réaliser une étude de marché poussée pour affiner la structure des prix et la demande réelle.
- Établir des projections financières détaillées prenant en compte différents scénarios, afin d'anticiper les risques et de piloter les adaptations.

## VII- Analyse critique et leviers d'amélioration

Bien que le projet soit viable dès la première année, plusieurs axes d'optimisation sont identifiés pour améliorer la rentabilité :

- **Optimisation des cycles** : accroître à 20 ou même 22 cycles annuels, notamment par la réduction des délais entre récoltes et par une gestion plus fine de la pépinière, permettrait d'augmenter la production et les recettes proportionnellement.
- **Diversification et valorisation des débouchés** : approcher les marchés à forte valeur ajoutée (hôtels, restaurants, marchés urbains premium) ou transformer partiellement la production pour de la vente en circuit court peut augmenter le prix moyen de vente.
- **Utilisation d'énergies renouvelables** : l'installation de panneaux solaires ou autres sources renouvelables pour l'électricité peut réduire le poste électrique qui représente environ 22,5% des charges annuelles, améliorant ainsi la marge opérationnelle.
- **Amélioration technique continue** : l'affinement de la gestion nutritive, le contrôle climatique et la lutte intégrée contre les maladies réduisent les pertes et améliorent la qualité, soutenant de meilleurs prix et des volumes stables.

Ces leviers, cumulés, contribuent à augmenter la profitabilité à moyen et long termes, renforçant la pérennité du modèle hydroponique dans le contexte spécifique de Djibouti.

L'adaptation de la production hydroponique au contexte djiboutien repose sur plusieurs leviers essentiels :

- **La maîtrise de la ressource en eau est cruciale** : il s'agit d'optimiser les apports tout en minimisant les pertes, en recourant à des systèmes de recirculation fermés et à une gestion efficace de l'irrigation.
- **Le choix des matériaux et des infrastructures** doit tenir compte des contraintes climatiques locales, telles que les températures élevées, l'ensoleillement intense et la poussière. L'utilisation de serres adaptées, de filets d'ombrage et de dispositifs de ventilation naturelle ou assistée est primordiale.
- **L'accès à une énergie fiable et abordable**, indispensable pour faire fonctionner les pompes, les éclairages ou les systèmes de contrôle, nécessite l'intégration de solutions solaires autonomes.
- **Le développement des compétences locales** par la formation et l'accompagnement technique est une condition pour assurer la bonne gestion des systèmes hydroponiques, garantir la qualité des productions et favoriser leur pérennisation.

## VIII- Recommandations pour l'appui au développement de la filière hydroponique

Pour assurer un développement pérenne de la filière hydroponique à Djibouti, il est essentiel de mettre en place un dispositif d'appui structuré autour de la formation, l'accompagnement technique, l'accès au financement et encadrement. La réussite de cette approche repose sur une coordination entre les acteurs publics, les partenaires techniques, les structures de recherche et les opérateurs privés.

### Renforcement des capacités techniques

L'appui technique adapté, combinant formation, conseil et suivi personnalisé, doit porter sur les bonnes pratiques agronomiques, la gestion sanitaire, l'utilisation rationnelle des intrants et la maîtrise des technologies disponibles.

Il est donc prioritaire de mettre en oeuvre :

- **Des programmes de formation initiale et continue**, ciblant les producteurs, techniciens, agents d'encadrement et jeunes entrepreneurs agricoles ;
- **Des modules pratiques** couvrant l'ensemble de l'itinéraire technique hydroponique : gestion des nutriments, suivi des paramètres physico-chimiques, prévention des maladies, entretien des équipements, récolte et replantation ;
- **La mise en place de fermes-écoles pilotes**, servant de centres de démonstration, d'expérimentation et de formation en conditions réelles ;
- **Le conseil technique individualisé**, accessible tout au long du cycle de production, permet de répondre aux besoins spécifiques des exploitations et d'anticiper les éventuelles difficultés.

### Accès au financement et à l'équipement

L'investissement initial élevé (serres, systèmes NFT ou DFT, pompes, équipements de contrôle) reste un obstacle :

- Élaboration de mécanismes de subvention ou de crédit adaptés, notamment à travers des partenariats public-privé ou des fonds d'appui aux jeunes agriculteurs ;
- Promotion de kits hydroponiques modulaires à faible coût, adaptés aux petits exploitants ;
- Soutien à l'installation de coopératives ou groupements d'intérêt économique, permettant l'achat mutualisé d'intrants, d'équipements et la commercialisation collective.

### Appui institutionnel

Pour créer un environnement favorable au développement du secteur :

- Intégration de l'hydroponie dans les politiques agricoles nationales, notamment en rapport avec la résilience climatique et la sécurité alimentaire ;
- Élaboration de normes pour encadrer la qualité des installations, des intrants et des produits.

### Recherche, innovation et transfert de technologie

Le développement d'une filière hydroponique durable nécessite un lien fort avec la recherche :

- Collaboration avec les instituts de recherche agronomique et les universités locales pour adapter les techniques aux conditions climatiques spécifiques de Djibouti ;
- Mise en place de projets pilotes d'innovation (serres solaires, recyclage de l'eau, capteurs connectés, intelligence artificielle pour le suivi des cultures) ;

- Favoriser le transfert de technologies éprouvées à l'échelle internationale, tout en les adaptant au contexte local.

### Stratégies de commercialisation

Les stratégies doivent privilégier la valorisation locale et régionale par la mise en place de circuits courts, la création de marques collectives pour garantir la qualité, ainsi que le développement de partenariats avec les marchés publics, les enseignes de distribution et les groupements de producteurs.

La viabilité économique du système passe par une bonne intégration dans les circuits de marché:

- Organisation de canaux de distribution locaux (marchés urbains, circuits courts) ;
- Appui à la certification qualité et traçabilité des productions hydroponiques ;
- Sensibilisation des consommateurs à travers des campagnes d'information sur la valeur nutritionnelle et sanitaire des produits hydroponiques.

### Modèles de partenariat

Les structures collectives, les fermes écoles et les plateformes d'innovation facilitent le partage des moyens de production, et le renforcement des capacités techniques et entrepreneuriales des producteurs. La coordination avec les institutions locales et les organisations professionnelles renforce la pérennité des actions d'appui.



## IX- Conclusion

La production hydroponique à Djibouti représente une opportunité stratégique face aux contraintes environnementales majeures qui sont l'aridité, le stress hydrique chronique et la faible fertilité des sols. Bien qu'elle nécessite des investissements de départ conséquents, liés à l'aménagement des serres, la gestion de l'eau et l'installation des infrastructures techniques, ce mode de production permet d'atteindre une intensification notable de la production agricole, offrant des rendements élevés et une consommation d'eau réduite de 80 à 90 % par rapport aux systèmes traditionnels.

Le modèle économique développé dans ce référentiel montre que, lorsqu'elle est bien conduite, une unité de production hydroponique peut atteindre une rentabilité rapide, en particulier avec des cultures à haute valeur ajoutée telles que les laitues et les herbes aromatiques. L'exploitation continue, planifiée et optimisée des installations permet un retour sur investissement à moyen terme, tout en garantissant une production régulière et de qualité.

Néanmoins, la réussite de ce type de projets dépend d'une maîtrise technique rigoureuse, soutenue par un accompagnement spécialisé et une formation continue des producteurs, indispensables pour garantir la gestion optimale des paramètres nutritifs, environnementaux et phytosanitaires. Ces compétences sont essentielles pour éviter les erreurs techniques coûteuses et assurer la stabilité de la production.

Par ailleurs, les contraintes financières, en particulier les coûts initiaux élevés et les charges de fonctionnement, notamment énergétiques, nécessitent une gestion maîtrisée et une stratégie commerciale ciblée pour maximiser la valeur des produits sur le marché local. Une telle approche économique, combinée à une organisation technique rigoureuse, permet de sécuriser les revenus, de renforcer la résilience des producteurs et de pérenniser les investissements dans ce contexte exigeant.

En définitive, le développement de l'hydroponie à Djibouti apparaît comme une solution techniquement réalisable, économiquement viable à moyen terme

et écologiquement adaptée. Ce modèle représente une opportunité pour améliorer la sécurité alimentaire, créer de l'emploi, encourager l'innovation agricole et renforcer l'autonomie productive du pays dans un cadre durable.



# Glossaire

## a

**Automate de gestion** : Système étapes de production d'une plante : une solution nutritive sans terre. informatique ou électronique pilotant semis, croissance, récolte, replantation. **Hygrométrie** : Taux d'humidité relative automatiquement les équipements (ventilation, arrosage, nutrition).

**pH** : Indicateur d'acidité ou de basicité (roche, perlite, billes d'argile, etc.).

**Surveillance automatisée** : Contrôle en l'air, essentiel pour le développement optimal des plantes.

**Protection intégrée** : Ensemble de pratiques combinées (prévention, lutte l'aide de capteurs et de logiciels.

## b

**Brumisation** : Pulvérisation de fines gouttelettes d'eau pour réguler stagnante ou circulante.. l'hygrométrie dans l'environnement de culture.

**Lutte biologique** : Utilisation d'organismes vivants (insectes auxiliaires) pour contrôler les parasites.

**Capteurs climatiques** : Instruments mesurant les paramètres de température, humidité, luminosité, pH, CE, etc.

**Étalonnage** : Réglage et vérification réguliers des instruments de mesure pour assurer leur précision.

**NFT (Nutrient Film Technique)** : Système où un mince film de solution nutritive circule sur les racines dans des gouttières inclinées.

**Conditionnement** : Emballage des produits récoltés dans des contenants appropriés pour leur conservation et leur vente.

**Filets anti-insectes**: Filets fins installés sur les ouvertures de serre pour empêcher l'intrusion d'insectes nuisibles.

**Osmose inverse**: Filtration de l'eau permettant d'éliminer les impuretés, sels et contaminants.

**Conductivité électrique (CE)** : Mesure de la concentration en sels préparation des doses d engrais pour (nutriments) dans la solution nutritive, assurer une nutrition équilibrée selon les stades de développement.

**Formulation nutritive** : Calcul et préparation des doses d engrais pour (nutriments) dans la solution nutritive, assurer une nutrition équilibrée selon les stades de développement.

**Palissage** : Méthode de soutien des plantes grimpantes ou lourdes à l'aide de filets, tuteurs ou cordes.

**Solution nutritive** : Eau enrichie en nutriments essentiels (macro et micronutriments) pour alimenter les parois.

**Cooling pad** : Panneau humide utilisé dans les serres pour refroidir l'air par évaporation.

**Hydroponie** : Culture de plantes hors- germination des graines et la croissance

germination des graines et la croissance Pépinière : Espace protégé pour la plantes.

**Substrat inerte** : Matériau de support de des systèmes hydroponiques pour culture sans valeur nutritive (laine de maintenance ou replantation).

## c

## d

**DFT (Deep Flow Technique)** : Méthode de culture dans laquelle les racines sont



**Lutte biologique** : Utilisation d'organismes vivants (insectes auxiliaires) pour contrôler les parasites.

## e

**Étalonnage** : Réglage et vérification réguliers des instruments de mesure pour assurer leur précision.

**NFT (Nutrient Film Technique)** : Système où un mince film de solution nutritive circule sur les racines dans des gouttières inclinées.

**Conditionnement** : Emballage des produits récoltés dans des contenants appropriés pour leur conservation et leur vente.

**Filets anti-insectes**: Filets fins installés sur les ouvertures de serre pour empêcher l'intrusion d'insectes nuisibles.

**Osmose inverse**: Filtration de l'eau permettant d'éliminer les impuretés, sels et contaminants.

**Conductivité électrique (CE)** : Mesure de la concentration en sels préparation des doses d engrais pour (nutriments) dans la solution nutritive, assurer une nutrition équilibrée selon les stades de développement.

**Formulation nutritive** : Calcul et préparation des doses d engrais pour (nutriments) dans la solution nutritive, assurer une nutrition équilibrée selon les stades de développement.

**Palissage** : Méthode de soutien des plantes grimpantes ou lourdes à l'aide de filets, tuteurs ou cordes.

**Solution nutritive** : Eau enrichie en nutriments essentiels (macro et micronutriments) pour alimenter les parois.

**Cooling pad** : Panneau humide utilisé dans les serres pour refroidir l'air par évaporation.

**Hydroponie** : Culture de plantes hors- germination des graines et la croissance

germination des graines et la croissance Pépinière : Espace protégé pour la plantes.

**Substrat inerte** : Matériau de support de des systèmes hydroponiques pour culture sans valeur nutritive (laine de maintenance ou replantation).

## f

## g

## h

## i

## j

## k

## l

## m

## n

## o

## p

## q

## r

## s

## t

## v

## w

## x

## y

## z



Annexe 1 Fiche Projet de culture Hydroponique Djibouti  
Annexe 2 Etude économique de projet de culture Hydroponique  
Annexe 3 Surveillance automatisée dans une serre hydroponique  
Annexe 4 Stockage de l'eau en hydroponie  
Annexe 5 Protocoles de désinfection entre deux cycles de culture

## Annexes

# Annexe 1

## Fiche Projet de production hydroponique à Djibouti

### Identification et contexte du projet hydroponique à Djibouti

**Intitulé :** Projet de production hydroponique de légumes et herbes aromatiques.

**Localisation :** implanté à Djibouti, ce projet profite d'un emplacement stratégique en zone urbaine ou périurbaine, proche des principaux marchés et centres de consommation. Cette proximité facilite l'accès aux clients et réduit les coûts logistiques tout en contribuant au dynamisme économique local.

**Promoteur :** destiné à de jeunes entrepreneurs agricoles ou à des coopératives locales, ce projet innovant entend stimuler l'agriculture urbaine durable et répondre aux enjeux alimentaires régionaux.

**Superficie :** la production est envisagée sur une surface de 500 m<sup>2</sup> en système hydroponique hors-sol, optimisant ainsi l'espace cultivable tout en permettant une production continue et contrôlée.

**Objectifs principaux :** l'essentiel est de produire localement des légumes frais et des herbes aromatiques toute l'année, garantissant fraîcheur et qualité à la consommation, avec une réduction significative de la consommation d'eau. Cette approche permet aussi de diminuer la forte dépendance aux importations alimentaires qui caractérise la région.

**Importance du projet :** en contexte urbain, ce projet vise à répondre aux besoins alimentaires croissants tout en limitant l'utilisation de l'eau ressource rare à Djibouti. L'utilisation de techniques

hydroponiques sous serre favorise une agriculture durable, économie en eau, et adaptée aux contraintes climatiques spécifiques de Djibouti.

Ce projet s'inscrit dans une logique de sécurité alimentaire locale, d'innovation technique et de développement économique durable.

### Description technique du système hydroponique

L'essentiel du projet repose sur une surface cultivée de 500 m<sup>2</sup> installée sous une serre tunnel. Cette structure transparente, équipée d'une couverture en polyéthylène résistante, offre une protection efficace contre les aléas climatiques (vents, fortes chaleurs, pluies) tout en permettant une ventilation naturelle contrôlée. Ainsi, la température et l'hygrométrie sont maîtrisées, assurant un microclimat optimal pour la croissance des cultures malgré les conditions arides de Djibouti.

Deux systèmes hydroponiques complémentaires sont prévus pour maximiser le rendement et la flexibilité du projet :

- **Système NFT (Nutrient Film Technique)** : Un mince film de solution nutritive circule en continu sur un plan incliné où se développent les racines des plantes. Ce procédé permet un apport constant en éléments nutritifs dissous, oxygénant les racines et favorisant une croissance rapide et uniforme des légumes feuilles.

- **Système sur substrat** : Les cultures sont établies dans un support inerte et aéré, tel que la fibre de coco ou les billes d'argile expansée. Ce substrat retient une humidité régulière tout en assurant une bonne aération, adapté aux plantes aromatiques exigeantes.

L'eau d'irrigation provient d'un forage local ou d'une citerne de récupération des eaux pluviales, avec contrôle strict de sa qualité (pH, salinité, absence de contaminants), garantissant une solution saine pour les cultures et le bon fonctionnement des équipements.

Les intrants essentiels au système comprennent :

- Solutions nutritives hydroponiques (engrais NPK et oligoéléments) spécialement formulées pour l'hydroponie.
- Semences certifiées adaptées au climat et à la culture hors-sol, assurant des cycles courts et des rendements élevés.
- Supports de culture neutres, selon le système choisi (fibre de coco ou billes d'argile) pour un enracinement optimal.
- Équipements techniques dédiés à la circulation, l'aération et le contrôle des paramètres nutritifs (pompes, réservoirs, sondes pH/EC).

Les cultures ciblées comprennent principalement des légumes feuilles (laitue, roquette) et des herbes aromatiques (basilic, coriandre, menthe, persil), sélectionnées pour leur forte demande locale et leur adaptation au système hydroponique. Chaque cycle de production dure entre 25 et 45 jours selon l'espèce, avec un rendement moyen par cycle d'environ 2 000 kg pour la totalité de la surface cultivée.

Cette configuration permet une production toute l'année, modulable et parfaitement adaptée aux contraintes thermiques et hygrométriques de Djibouti.

#### Données locales et hypothèses agronomiques :

Le projet hydroponique s'appuie sur des données climatiques typiques de Djibouti, où la température moyenne annuelle varie entre 28 et 35 °C, avec une hygrométrie située entre 40 et 60 % sous ombrière. La disponibilité en eau se base sur l'exploitation d'un forage ou d'une citerne, essentielle pour maintenir une irrigation constante, tandis que le coût moyen de l'électricité est estimé à 70 FDJ/kWh. L'accès aux marchés est facilité via les

centres urbains de Dikhil et Djibouti-ville. Toutefois, la main-d'œuvre qualifiée reste rare, rendant nécessaire une formation adaptée.

Les cultures sélectionnées répondent à des critères stricts : adaptation aux conditions locales, cycles de culture courts et forte demande sur le marché régional. Les principales variétés cultivées sont :

- Légumes feuilles : laitue romaine, roquette, coriandre
- Herbes aromatiques : basilic, menthe, ciboulette
- Légumes fruitiers : tomate cerise, poivron

Les rendements par cycle varient selon l'espèce, avec des cycles annuels allant de 3 à 6 selon la culture :

Culture	Rendement estimé (kg/m <sup>2</sup> /cycle)	Cycles/an	Rendement annuel (kg)
Laitues	3,0	3	1 800
Basilic	0,6	6	360
Menthe	0,5	6	300
Coriandre	0,6	6	360
Roquette	0,4	6	240
Ciboulette	0,4	5	200
Tomate cerise	6,0	2	1 200

Ces rendements sont basés sur un suivi agronomique rigoureux et un environnement contrôlé, garantissant la pérennité et la qualité de la production hydroponique dans le contexte climatique spécifique de la région.

## **Itinéraire technique et conduite de la production hydroponique**

Le cycle de production hydroponique à Djibouti suit des étapes précises pour optimiser la croissance et la qualité des légumes et herbes aromatiques.

### **Étapes clés du cycle de production**

- **Préparation des semis** : les graines certifiées sont mises en germination dans un substrat inerte sous conditions contrôlées d'humidité et température. Cette phase (2 à 5 jours) garantit une levée homogène et rapide.
- **Transplantation** : les plantules bien développées, avec racines aériennes solides et premières feuilles, sont transférées délicatement dans le système NFT ou sur substrat pour limiter le stress et favoriser l'enracinement rapide.
- **Suivi nutritionnel et sanitaire quotidien** : le contrôle régulier des paramètres du milieu nutritif est essentiel. Le pH doit être maintenu entre 5,5 et 6,5, tandis que la conductivité électrique (EC) est ajustée pour optimiser les apports nutritifs. Ce suivi s'effectue à l'aide de sondes et d'instruments adaptés.
- **Une surveillance phytosanitaire assidue** permet de détecter rapidement toute attaque ou maladie, en privilégiant des traitements biologiques doux comme le savon noir ou les purins végétaux.
- **Récolte** : la cueillette intervient généralement entre 25 et 45 jours après transplantation. Pour les légumes feuilles (laitue, roquette), on privilégie la coupe progressive des feuilles externes, afin d'autoriser plusieurs récoltes sur un même plant. Les herbes aromatiques sont récoltées en coupant la base pour stimuler la repousse.

- **Conditionnement et commercialisation** : le conditionnement utilise des emballages adaptés à la vente en circuits courts. La commercialisation se fait principalement auprès des hôtels, restaurants et marchés locaux, valorisant la fraîcheur et la qualité des produits tout en limitant les intermédiaires.

Cette maîtrise rigoureuse de chaque étape garantit non seulement un rendement optimal, mais aussi la pérennité et la durabilité du projet hydroponique dans le contexte climatique et économique de Djibouti.

### **Investissements initiaux et infrastructure nécessaires**

La mise en place du projet hydroponique sur 500 m<sup>2</sup> à Djibouti nécessite des investissements précis pour garantir la viabilité technique et économique. L'infrastructure principale repose sur une **serre tunnel** avec une couverture en polyéthylène durable, assurant protection et contrôle climatique.

Le **coût total estimé** : 5 550 000 FDJ. La durée de vie des équipements principaux, notamment la serre tunnel et le système hydroponique, est comprise entre **5 et 7 ans**, permettant un amortissement progressif et une exploitation durable du projet.

**Coût total estimé des investissements initiaux** : 5 550 000 FDJ.

Poste	Montant (FDJ)
Serre et structure	2 500 000
Système hydroponique complet (NFT, DFT, goutte-à-goutte)	1 800 000
Réservoirs, pompes et accessoires	700 000
Semences et substrats initiaux	250 000
Équipements de mesure (pH-mètre, conductimètre, capteurs)	300 000
<b>Total</b>	<b>5 550 000</b>

- Désinfectants et traitements biologiques : savon noir, purin végétal, peroxyde d'hydrogène, consommés à hauteur de 5 à 10 litres par mois pour la lutte phytosanitaire.

### Intrants annuels et estimation des charges d'exploitation

Pour assurer une production hydroponique performante sur 500 m<sup>2</sup> à Djibouti, plusieurs intrants sont nécessaires chaque année. Ces intrants incluent :

- Solutions nutritives hydroponiques (engrais NPK et oligoéléments) : environ 120 à 150 kg en solide ou 200 à 300 litres en liquide concentré, essentiels pour la croissance des cultures.
- Correcteurs de pH : produits acidifiants ou basifiants utilisés pour maintenir la solution entre pH 5,5 et 6,5, à hauteur de 10 à 20 litres par an.
- Semences certifiées : environ 500 à 800 grammes par mois pour les légumes feuilles et 100 grammes pour les herbes aromatiques.
- Substrats (fibre de coco, perlite, billes d'argile) : environ 1 m<sup>3</sup> pour 100 m<sup>2</sup> cultivés annuellement afin d'assurer enracinement et aération.
- Eau faiblement minéralisée, à raison de près de 250 m<sup>3</sup> par an, indispensable pour l'irrigation et le maintien de la qualité de la solution.
- Matériel consommable : pots filet, tapis de germination, raccords, nécessaires au fonctionnement continu du système.

Détails des intrants nécessaires pour la mise en œuvre d'un projet hydroponique à Djibouti

Catégorie	Intrant	Description / Fonction	Quantité indicative (500 m <sup>2</sup> )
Nutriments & Solutions	Solution nutritive hydroponique (NPK + microéléments)	Mélange soluble dans l'eau essentiel à la croissance des plantes (engrais spécialisés pour hydroponie)	120–150 kg/an (solide) ou 200–300 L (liquide concentré)
	pH Down / Up	Correcteurs de pH pour maintenir la solution entre 5,5 et 6,5	10–20 L/an
	EC/pH testeurs ou sondes	Contrôle de la conductivité électrique et de l'acidité de la solution	1 kit
Semences	Semences maraîchères (ex. laitue, basilic)	Semences certifiées adaptées à l'hydroponie (rapide cycle, rendement élevé)	± 500 à 800 g/mois
	Herbes aromatiques	Menthe, coriandre, persil, basilic, etc.	± 100 g/mois
Substrat (selon système)	Fibre de coco / perlite / billes d'argile	Support de culture neutre pour maintenir les racines (selon système utilisé)	1 m <sup>3</sup> /100 m <sup>2</sup>
Eau	Eau faiblement minéralisée (osmose inverse recommandée)	Eau de bonne qualité essentielle pour la réussite des cultures	± 250 m <sup>3</sup> /an pour 500 m <sup>2</sup>
Matériel consommable	Pots filet (net pots)	Réceptacles pour les plants	± 1 000 pièces
	Feutres / tapis de germination	Pour le démarrage des semis	50–100 unités/an
	Tuyaux, raccords, joints de remplacement	Remplacement ou maintenance de la circulation d'eau	Selon besoins
Conditionnement	Sachets, barquettes, cartons	Pour la vente au détail ou à la dégustation	Selon production
Désinfection & traitement	Peroxyde d'hydrogène, savon noir, huiles essentielles	Produits autorisés pour lutter contre champignons et insectes (en agriculture biologique de préférence)	± 5–10 L/mois

Les charges d'exploitation annuelles estimées s'élève à 4 000 000 FDJ

### Recettes estimées et perspectives économiques

La production annuelle estimée repose sur une rotation culturelle efficace, alternant légumes feuilles et légumes fruitiers avec 6 à 8 cycles par an selon les espèces :

Culture	Rendement annuel (kg)	Prix de vente moyen (FDJ/kg)	Recette annuelle (FDJ)
Laitues	1 800	400	720 000
Basilic	360	800	288 000
Menthe	300	750	225 000
Coriandre	360	700	252 000
Roquette	240	900	216 000
Ciboulette	200	850	170 000
Tomate cerise	1 200	500	600 000

Recette brute totale annuelle estimée : environ 2 471 000 FDJ.

Le modèle économique s'appuie sur une commercialisation en circuits courts, principalement auprès d'hôtels, restaurants et marchés locaux, garantissant la fraîcheur des produits et une meilleure valorisation. La rotation culturelle accélérée optimise l'utilisation de la surface disponible.

### Recommandations pour la durabilité et la commercialisation

Pour assurer la durabilité économique et écologique du projet, il est recommandé d'intégrer l'utilisation d'énergie solaire, notamment via des panneaux photovoltaïques pour alimenter pompes et éclairage, réduisant ainsi les coûts énergétiques.

La structuration des circuits commerciaux doit privilégier les circuits courts, en développant des partenariats solides avec hôtels, restaurants et marchés locaux. L'achat groupé d'intrants permet également de diminuer les coûts tout en sécurisant l'approvisionnement.

Enfin, la formation continue des exploitants est indispensable pour renforcer les compétences techniques, garantir la qualité des productions et valoriser localement les légumes et herbes aromatiques hydroponiques.

### Forces et contraintes du projet hydroponique à Djibouti

Le projet présente plusieurs atouts majeurs :

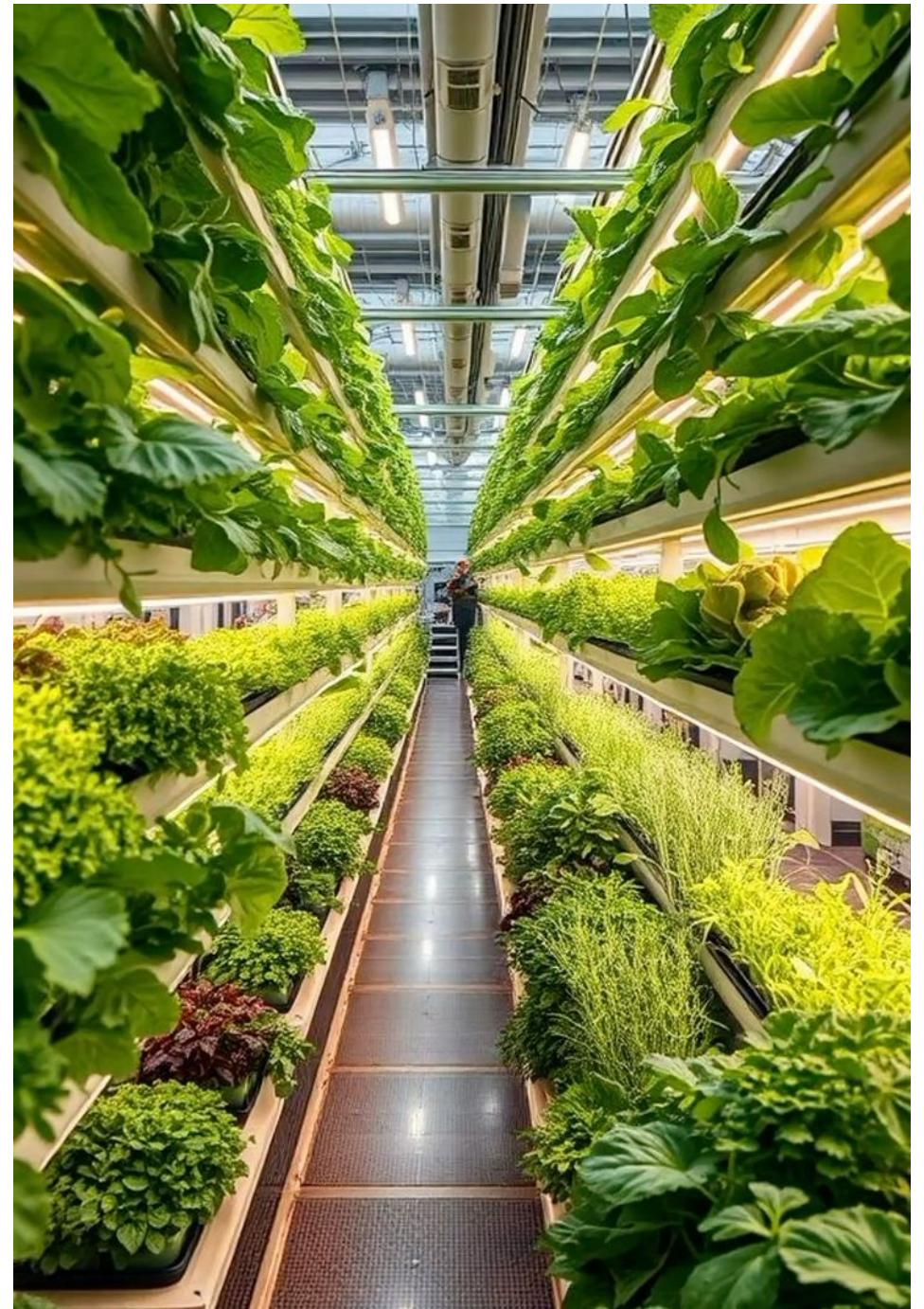
- **Faible consommation d'eau** grâce à un système hydroponique optimisé, très économique comparé à l'agriculture traditionnelle.
- **Production continue toute l'année** assurée par la maîtrise du microclimat en serre tunnel, adaptée au climat aride local.
- **Réduction des importations alimentaires**, renforçant l'autonomie alimentaire locale.
- **Création d'emplois directs** et formation de personnel qualifié.
- **Retour sur investissement** prévu en 3 à 4 ans, garantissant la viabilité économique.

Les contraintes concernent la **qualité de l'eau** à contrôler rigoureusement, la **maintenance technique** régulière des équipements, ainsi que la nécessité d'une **sensibilisation du marché local** pour l'acceptation et la valorisation des produits hydroponiques.

## Conclusion

Ce projet hydroponique à Djibouti allie faisabilité technique et rentabilité économique grâce à une infrastructure adaptée et un suivi rigoureux. L'utilisation d'un système hydroponique optimisé sous serre tunnel garantit une production locale stable, économisant significativement l'eau dans un contexte aride.

Son modèle économique, fondé sur la commercialisation en circuits courts, promet un retour sur investissement en 3 à 4 ans, tout en créant des emplois locaux qualifiés.



# Annexe 2

## Fiche Analyse économique du projet hydroponique à Djibouti

### 1. Introduction

La simulation économique d'un projet hydroponique type sur une surface de 500 m<sup>2</sup> permet d'évaluer la viabilité financière. Cette analyse présente en détail les investissements initiaux, les amortissements, les charges annuelles, les recettes attendues, ainsi que le bilan économique et la rentabilité nette annuelle.

### 2. Description technique du système hydroponique

Le système proposé est une culture hors-sol utilisant la technique de la NFT (Nutrient Film Technique) ou de la culture sur substrat (fibres de coco, billes d'argile). Il est prévu pour une surface de 500 m<sup>2</sup>, équipée d'un système d'irrigation en circuit fermé, réservoir de solution nutritive, pompes, canalisations et unités de culture.

### 3. Spéculations retenues

- Légumes feuilles : laitue, roquette, épinard
- Plantes aromatiques : menthe, basilic, coriandre
- Légumes-fruits : tomate cerise, piment doux

### 4. Itinéraire technique de production

Les principales étapes sont :

- 1- Préparation de la solution nutritive
- 2- Semis et production de plants
- 3- Transplantation en gouttières
- 4- Suivi de la croissance (pH, EC, température)
- 5- Récolte
- 6- Conditionnement et vente.

### 5. Simulation économique d'un projet type (500 m<sup>2</sup>)

**a- Investissements initiaux : 5,55 millions FDJ** (détails présentés dans l'annexe 1)

**b- Répartition des amortissements : 860 000 FDJ/an**

#### Investissements initiaux

Produit	Rendement annuel (kg)	Prix de vente moyen (FDJ/kg)	Recette annuelle (FDJ)
Serre et structure	2 500 000	10	250 000
Autres équipements (hydroponie, réservoirs, accessoires, mesures)	3 050 000	5	610 000
<b>Total Amortissement Annuel</b>	<b>5 550 000</b>		<b>860 000</b>

#### c- Charges annuelles

Pour assurer une production hydroponique performante sur 500 m<sup>2</sup> à Djibouti, plusieurs intrants sont nécessaires chaque année (nutriments et solutions, semences, substrats, eau, consommable, produits de désinfection et de traitement). Les détails ont été présentés au niveau de l'annexe 1.

Les charges d'exploitation annuelles estimées s'élèvent à 4 000 000 FDJ.

### Recettes annuelles estimées

Les recettes sont calculées sur la base d'une production répétée selon plusieurs cycles annuels, avec des volumes et prix moyens réalisables :

- Laitues : 15 à 20 cycles par an, avec environ 1 000 à 1 500 têtes récoltées par cycle. La moyenne est de 22 500 têtes par an. Un prix de vente moyen de 190 FDJ par tête est retenu.

Calcul du chiffre d'affaires pour la laitue :

$$\text{Recette annuelle laitues} = 22\ 500 \text{ pièces} \times 190 \text{ FDJ/tête} \\ = 4\ 275\ 000 \text{ FDJ}$$

- Calcul du chiffre d'affaires pour les Herbes aromatiques :

Production continue avec vente directe ou semi-directe, ce qui génère environ 1 020 000 FDJ par an.

Calcul du chiffre d'affaires pour les **Herbes aromatiques** :

- Production continue avec vente directe ou semi-directe, ce qui génère environ 1 020 000 FDJ par an.

Production	Hypothèse basse (FDJ)	Hypothèse haute (FDJ)
Laitues	2 550 000	7 500 000
Herbes aromatiques	240 000	600 000
<b>Total annuel</b>	<b>2 490 000</b>	<b>8 100 000</b>

**Recette brute totale annuelle estimée : environ 5 295 000 FDJ.**

### Résultat économique annuel

- Recettes annuelles : 5 295 000 FDJ
- Charges annuelles : 4 000 000 FDJ (voir chokri ; non conforme aux chiffres avancés)
- Amortissement annuel total : 860 000 FDJ
- Résultat net après amortissement : 435 000 FDJ

### Rentabilité

- Investissement initial : 5 550 000 FDJ
- Rentabilité nette annuelle :  $435\ 000 \div 5\ 550\ 000 \approx 7,8\%$

### Scénarios de sensibilité

L'évaluation par scénarios permet d'estimer les impacts d'éventuelles variations de prix, de rendements, ou de charges d'exploitation sur la rentabilité du projet.

Scénario	Hypothèse recettes	Hypothèse charges	Résultat net annuel estimé	TRI approximatif
Pessimiste	-20% (baisse rendement ou prix de vente)	+10% (hausse énergie ou entretien)	250 000 FDJ	~4,1%
Réaliste	5 295 000 FDJ	4 000 000 + 860 000 amortissement	435 000 FDJ	~7,8%
Optimiste	+20% (plus de cycles, meilleur débouché)	-10% (économie énergie/gestion)	695 000 FDJ	~11,3%

## Interprétation

### Scénario pessimiste (~4,1 % de TRI)

Ce scénario reflète une situation défavorable : baisse de production ou prix, combinée à une hausse des charges. Bien que le TRI reste positif, il devient inférieur au taux d'intérêt usuel d'un emprunt (>5 %), ce qui rend le projet peu attractif pour les financeurs privés. Il souligne la vulnérabilité du modèle à des aléas techniques ou économiques non maîtrisés.

### Scénario réaliste (~7,8 % de TRI)

Ce scénario repose sur les hypothèses techniques et économiques de référence. Le projet y est économiquement viable, avec une rentabilité modeste mais stable. Cette configuration convient particulièrement à des structures à visée sociale, éducative ou familiale, ou bénéficiant d'un soutien public ou d'un accès subventionné aux équipements.

### Scénario optimiste (~11,3 % de TRI)

Dans un contexte favorable (valorisation haut de gamme, cycles intensifiés, optimisation énergétique), le projet devient hautement rentable. Le TRI dépasse 10 %, ce qui permettra un

remboursement de l'investissement en moins de 7 ans. Ce niveau de rentabilité est attractif pour des investisseurs à impact ou des structures cherchant un modèle économique robuste et reproductible.

L'analyse du TRI, enrichie par des scénarios contrastés, montre que le projet hydroponique peut atteindre une rentabilité intéressante, à condition de maîtriser les charges, de sécuriser les débouchés, et d'optimiser la production. Il présente un potentiel solide pour l'agriculture urbaine durable à Djibouti, avec une adaptabilité aux objectifs économiques, sociaux ou écologiques selon le contexte de mise en œuvre.

## Présentation des coûts par mètre carré

Dans le cadre de la simulation économique d'un système hydroponique clé en main sur une surface de 500 m<sup>2</sup>, il est pertinent d'analyser les coûts en les rapportant à l'unité de surface. Cette approche permet une lecture plus simple, une comparaison avec d'autres modèles agricoles, et une meilleure planification pour d'éventuelles extensions ou répliques du projet.

## **Coût d'investissement initial par m<sup>2</sup>**

L'investissement global initial est estimé à 5 550 000 FDJ, ce qui correspond à un coût moyen de 11 100 FDJ par mètre carré. Ce montant comprend l'ensemble des équipements nécessaires à la mise en œuvre du système : serre tunnel, dispositif hydroponique complet (NFT), réservoirs, pompes, système d'irrigation, équipements de mesure (pH, EC), filets de protection, outils, formation du personnel, ainsi que les frais d'installation.

Cet investissement garantit une autonomie fonctionnelle de la ferme et un bon niveau de technicité, adapté aux conditions climatiques locales.

## **Charges d'exploitation annuelles par m<sup>2</sup>**

Les charges annuelles de fonctionnement sont évaluées à 4 000 000 FDJ, soit 8 000 FDJ par mètre carré et par an. Ces dépenses sont récurrentes et nécessaires au bon déroulement de la production sur plusieurs cycles culturaux par an, avec un accent particulier sur la qualité des intrants et la maîtrise technique des opérations.

## **Interprétation économique**

Avec un coût d'investissement raisonnable par unité de surface et des charges maîtrisées, ce modèle hydroponique montre une bonne efficience dans l'allocation des ressources. Le rapport entre les recettes attendues et les charges d'exploitation, rapporté au mètre carré, confirme la pertinence économique du projet, tout en

ouvrant la voie à une amélioration progressive de la rentabilité par :

- L'optimisation des cycles cultureaux
- L'introduction d'énergies renouvelables
- La diversification des débouchés commerciaux à forte valeur ajoutée (restauration, circuits courts)

## **Commentaires et analyse**

- Le projet dégage un résultat net positif dès la première année, même après amortissement.
- La rentabilité reste modeste mais encourageante dans un contexte d'installation initiale.
- Plusieurs leviers d'amélioration sont identifiés :
  - ▶ Optimisation des cycles de production (jusqu'à 20 cycles/an)
  - ▶ Réduction des charges fixes par mutualisation (pompes, matériel de mesure)
  - ▶ Accès à des débouchés à valeur ajoutée : hôtels, restaurants, marchés urbains
  - ▶ Utilisation d'énergies renouvelables pour réduire la facture énergétique.

# Annexe 3

## Surveillance automatisée dans une serre hydroponique

### Objectif

Assurer un contrôle précis, continu et réactif du microclimat et de la solution nutritive, pour optimiser la croissance des plantes, réduire les risques de stress et économiser eau et énergie.

### 1- Composants de la surveillance automatisée

Composant	Fonction principale
Capteurs de température	Mesurent en temps réel la température ambiante dans la serre
Capteurs d'humidité relative	Surveillent l'humidité de l'air, cruciale pour la photosynthèse et l'évaporation
Capteurs de Co <sub>2</sub>	Suivent la concentration de dioxyde de carbone, facteur clé de la productivité
Sondes pH et CE	Contrôlent l'acidité et la conductivité de la solution nutritive (qualité nutritive)
Capteurs de lumière (PAR)	Mesurent l'intensité lumineuse utile pour la photosynthèse
Débitmètres et niveaux d'eau	Surveillent le débit de solution et le niveau dans les réservoirs

### 2- Automates et interfaces de gestion

Equipement	Description
Contrôleur/automate central	Cerveau du système, collecte toutes les données et commande
Interfaces utilisateurs (tablette, PC, écran tactile)	Permettent le pilotage manuel ou automatique. Données visualisées sous forme de graphiques, alertes et historiques
Systèmes d'alerte automatisés	Envient des notifications (SMS, e-mail ou alarme sonore) en cas de dérive
Connexion cloud (en option)	Pour un suivi à distance, via Internet, sur smartphone ou ordinateur



### **3- Processus de surveillance**

#### **Climat interne**

- Température trop élevée → commande des ventilateurs et/ou système de brumisation.
- Humidité trop basse → déclenchement du refroidissement évaporatif (cooling pads).
- CO<sub>2</sub> insuffisant → activation du système d'enrichissement en CO<sub>2</sub> (si disponible).

#### **Solution nutritive**

- pH hors plage optimale (5,5–6,5) → injection automatisée d'acide ou de base.
- CE trop faible ou trop forte → ajustement automatique de la concentration nutritive (ajout d'eau ou d'engrais).
- Niveau de solution bas → remplissage automatique à partir du réservoir tampon.

#### **4- Visualisation et alerte**

- Tableaux de bord en temps réel : température, humidité, pH, CE, etc.
- Graphiques temporels : suivi de l'évolution des paramètres (jour/semaine/mois).
- Alertes visuelles et sonores si les seuils sont dépassés (ex. : température > 35 °C, CE < 1,5 mS/cm).

### **5- Avantages**

- Données précises et enregistrées (traçabilité complète).
- Réactivité rapide en cas de dérive.
- Autonomie accrue, moins de surveillance manuelle.
- Amélioration du rendement et réduction des pertes.

### **6- Exemple de scénario automatisé**

Un jour d'été à Djibouti, la température intérieure dépasse 35 °C.

- Le système détecte le dépassement, active automatiquement les ventilateurs + cooling pads.

Simultanément, le système surveille l'humidité et ajuste le débit du brumisateur si l'air est trop sec.

Le pH de la solution nutritive descend à 5,2, l'automate injecte une base pour revenir à 5,8.

Une alerte par SMS est envoyée à l'exploitant pour résumé de l'intervention automatique.

# Annexe 4

## Stockage en hydroponie

### Objectif

- Maintenir la qualité physico-chimique de l'eau après traitement (osmose inverse).
- Éviter toute recontamination ou dégradation (par algues, bactéries, chaleur, lumière...).
- Assurer un approvisionnement continu et sécurisé pour le système hydroponique.

### 1- Choix des réservoirs de stockage

Critère	Exigence spécifique
Matériau	Plastique alimentaire (PEHD), fibre de verre ou inox
Opacité	Indispensable : empêche la prolifération d'algues
Capacité	Adaptée à 2–3 jours de production minimum (selon superficie)
Couvercle hermétique	Pour empêcher poussière, insectes et évaporation excessive
Position	Élevée ou surélevée si gravité utilisée (sinon avec pompe)

À Djibouti, les fortes températures rendent impératif l'usage de réservoirs opaques, bien isolés thermiquement, et placés à l'abri du rayonnement direct.

### 2- Mesures de protection et conditions de stockage

Facteur de risque	Solution technique
Lumière solaire	Réservoirs noirs/verts, sous abri, bâchage
Chaleur	Isolation avec mousse ou mousse alu, ventilation passive
Pollution de l'air	Couvercles hermétiques, filtres à air si nécessaire
Stagnation prolongée	Renouvellement régulier, recirculation douce

### 3- Aération et homogénéisation de l'eau

- Intégration d'un agitateur lent ou système de bullage doux :
  - ▶ Évite les dépôts au fond.
  - ▶ Assure une homogénéité thermique et chimique.
  - ▶ Favorise l'oxygénation légère de l'eau (préventive contre l'anoxie racinaire).

**Remarques :** trop d'agitation peut dégrader les éléments nutritifs après formulation.  
Agitation légère uniquement avant ajout des engrais.

### 4- Gestion des volumes et autonomie

- Calcul de la consommation moyenne journalière (ex. : 3–5 L/m<sup>2</sup>/jour en moyenne à Djibouti).
- Exemple de dimensionnement :
  - ▶ Surface cultivée : 500 m<sup>2</sup>
  - ▶ Consommation moyenne : 4 L/m<sup>2</sup>/jour
  - ▶ Besoin quotidien : 2 000 L
  - ▶ Capacité du réservoir de stockage : minimum 3 000 à 4 000 L

## 5- Entretien et suivi sanitaire des réservoirs

Opération	Fréquence recommandée
Vidange complète	Mensuelle
Nettoyage mécanique (brossage)	Mensuel
Désinfection douce (eau + vinaigre blanc ou solution chlorée diluée)	Trimestrielle
Vérification couvercles et joints	Hebdomadaire
Opération	Fréquence recommandée
Vidange complète	Mensuelle
Nettoyage mécanique (brossage)	Mensuel
Désinfection douce (eau + vinaigre blanc ou solution chlorée diluée)	Trimestrielle
Vérification couvercles et joints	Hebdomadaire

## 6- Disposition dans l'unité hydroponique

- Placé en amont du système de fertilisation ou comme tampon entre le traitement de l'eau et les lignes NFT/DFT.
- À proximité de l'unité de commande pour intégration aux capteurs (niveau, température, etc.).
- Sécurisé dans une zone technique ventilée, accessible mais protégée.



# Annexe 5

## Protocoles de désinfection entre deux cycles de culture

Éliminer les agents pathogènes (champignons, bactéries, virus, algues), les résidus organiques et minéraux, et prévenir les infestations lors du cycle suivant.

### 1- Préparation du chantier de désinfection

Etape	Action à réaliser	Remarques
Arrêt du système	Couper l'arrivée d'eau, d'électricité et vidanger les bacs	Ne pas laisser de solution stagnante
Évacuation des résidus	Enlever substrats, racines mortes, débris de culture	Stocker les déchets végétaux en compostage ou incinération
Protection du personnel	Gants, lunettes, masques, bottes	Obligation de port d'équipement de protection individuelle

### 2- Désinfection des installations :

#### Canalisation et systèmes NFT / DFT

- Produit recommandé : peroxyde d'hydrogène stabilisé
- Application : faire circuler la solution pendant 30 à 60 minutes
- Rinçage : eau claire pendant au moins 15 minutes

#### Bacs, réservoirs et pompes

- Produit : eau de Javel diluée (2%) ou solution chlorée (100 ppm de chlore actif)
- Brossage manuel des parois internes
- Rinçage abondant pour éviter les résidus

### Tables de culture, supports et tuyaux

- Nettoyage haute pression + désinfection avec un désinfectant homologué pour l'agriculture

### 3- Désinfection de l'environnement (serre)

Éléments à traiter	Produit / Méthode	Fréquence
Sols, allées, structures	Chaux vive ou désinfectant de surface	Après chaque cycle
Parois internes / externes	Nettoyage à l'eau + désinfection	Minimum 2 fois/an ou par cycle
Filets anti-insectes	Bain désinfectant + séchage complet	Remplacement annuel recommandé
Atmosphère (optionnel)	Fumigation au formol ou à l'eau oxygénée	Si contamination suspectée

### 4- Fréquence recommandée

Critère	Exigence spécifique
Entre deux cultures	Obligatoire à chaque fin de cycle complet
Après culture contaminée	Désinfection renforcée avec quarantaine si besoin
En production continue	Entretien partiel mensuel des circuits

Tableau récapitulatif : Désinfection d'une installation hydroponique

Étape	Produit utilisé	Dosage / Concentration	Fréquence recommandée	Méthodologie
1. Nettoyage des surfaces	Savon noir liquide ou détergent neutre	50 ml / 10 L d'eau	Après chaque cycle de culture	Brosser manuellement les surfaces (tables, structures, bacs) avec la solution, puis rincer à l'eau claire.
2. Désinfection des gouttières, tuyaux, réservoirs	Peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) stabilisé à 35 %	3–5 ml / L d'eau	À chaque rotation culturale ou mensuellement	Faire circuler la solution dans le système fermé pendant 1–2 heures, puis rincer abondamment à l'eau claire.
3. Désinfection des outils	Alcool isopropylique ou $H_2O_2$	70 % (alcool) ou 5 % ( $H_2O_2$ )	Quotidienne / Après chaque usage	Tremper les outils (ciseaux, pinces, etc.) 5–10 minutes, puis sécher à l'air libre.
4. Désinfection du substrat (si réutilisé)	Vapeur ou peroxyde d'hydrogène dilué	10 ml / L d'eau	Avant nouvelle utilisation	Immerger ou traiter le substrat, puis laisser sécher complètement. Préférer substrat neuf si possible.
5. Désinfection de l'air (optionnel)	Huiles essentielles (tea tree, citron, eucalyptus) en diffusion	Quelques gouttes dans diffuseur ou nébuliseur	Hebdomadaire ou préventif	Utiliser un diffuseur dans la serre fermée pour limiter les contaminations aériennes.
6. Nettoyage des bacs de germination	Savon noir + eau chaude, puis rinçage $H_2O_2$	5 ml / L pour savon, 3 ml / L pour $H_2O_2$	Après chaque cycle	Brosser, rincer, désinfecter, puis sécher à l'air libre.

# BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES



- FAO (2020). "Hydroponics as an alternative production system for developing countries."
- Resh, H. M. (2012). "Hydroponic Food Production." CRC Press.
- Bugbee, B. (2004). Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. Proceedings of the Hydroponic Society of America
- Savvas, D., & Passam, H. C. (2002). "Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals."
- Rapports techniques internes et données collectées sur le terrain à Djibouti (2024-2025).
- Documentation technique des fournisseurs d'équipements hydroponiques (NFT, DFT, serres).
- Entrevues avec les techniciens et producteurs locaux impliqués dans le Projet FAR Djibouti.





SANIS CONSULTING 14 Bis, rue des mimosas, Nouvelle Ariana, 2080 Ariana - Tunisie  
Tél +216 71703738