

## ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES

Durée : 2 heures 30 minutes

*L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.*

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, le candidat doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Chaque candidat doit aussi vérifier que le sujet qui lui est donné **correspond à la thématique qu'il a choisie lors de son inscription au concours**. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Ce sujet comporte la présente page de garde et un texte de 5 pages numérotées de 1 à 5.

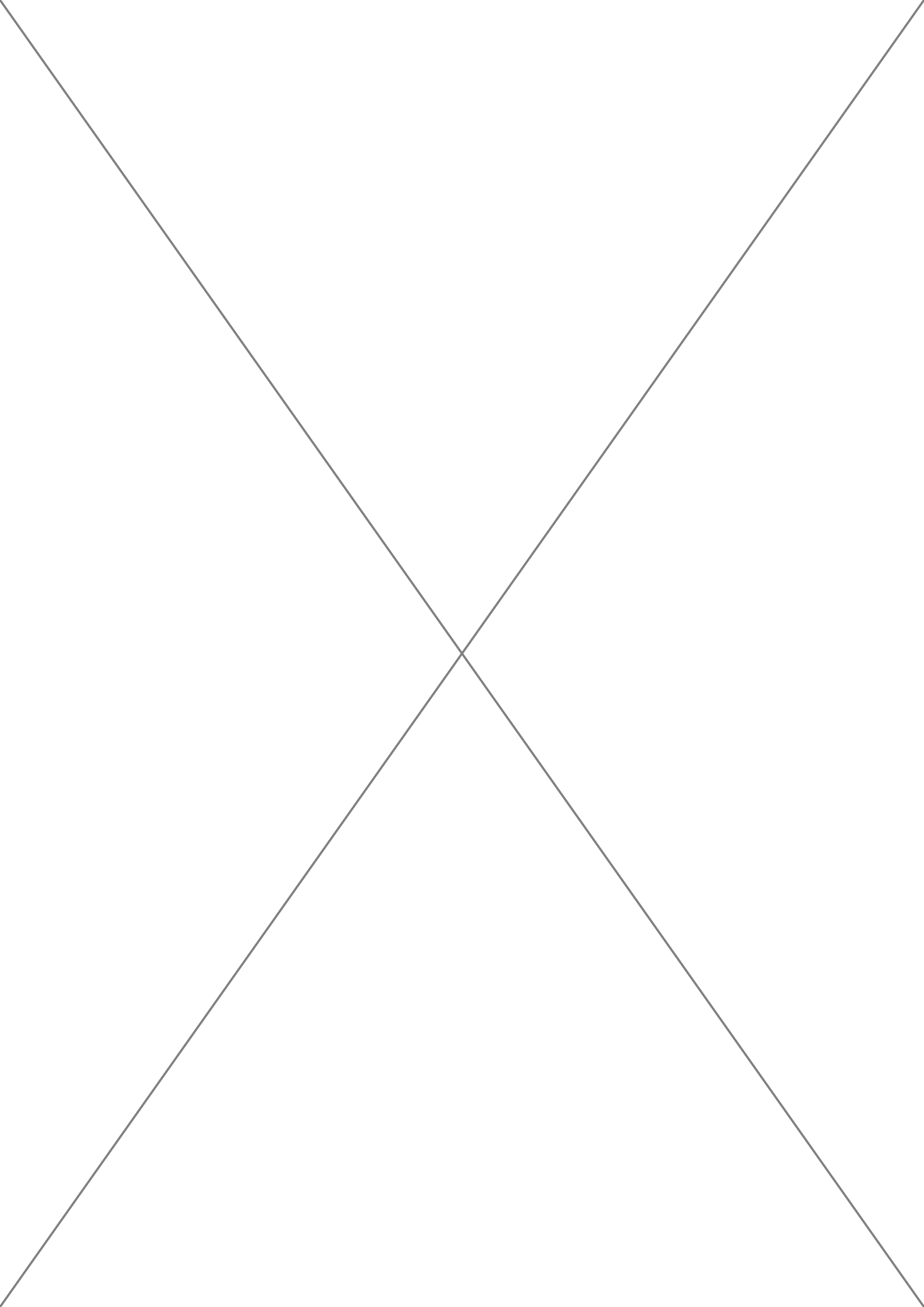
### **Thématique agroalimentaire :**

LES FERMES VERTICALES, UN MODÈLE D'AGRICULTURE  
EN INTÉRIEUR VIABLE POUR LES VILLES

La revue de l'institut Veolia 2019

**L'épreuve est composée de deux parties :**

- **1<sup>re</sup> partie (sur 10 points) : faites l'analyse et la synthèse des idées fortes du document ;**
- **2<sup>e</sup> partie (sur 10 points) : développez une des idées importantes du document en l'illustrant et en valorisant vos connaissances techniques et scientifiques.**



# LES FERMES VERTICALES, UN MODÈLE D'AGRICULTURE EN INTÉRIEUR VIABLE POUR LES VILLES

Dickson Despommier est professeur émérite de microbiologie et de santé publique et environnementale à l'Université Columbia (New York, États-Unis). Après avoir mené des recherches sur l'écologie et le parasitisme intracellulaire, il développe le concept d'agriculture verticale depuis 1999 avec ses étudiants de deuxième cycle, dans le cadre de son cours d'écologie médicale. Il est l'auteur de *The Vertical Farm : feeding the world the 21 st Century*, paru en 2010 et est ici interrogé pour le magazine de Véolia.

**Vous travaillez depuis plusieurs années sur le concept de l'agriculture verticale. Pouvez-vous nous en dire plus sur ce que l'on appelle une « ferme verticale » ? En existe-t-il différents modèles ?**

Dickson Despommier : Les fermes verticales sont une forme d'« agriculture en environnement contrôlé ». L'idée n'est pas neuve, puisqu'on en parlait déjà dans les années 1700. Autrefois, il s'agissait de serres, qui ont largement contribué à l'approvisionnement alimentaire dans le monde au cours des dernières décennies. Les fermes verticales se distinguent des serres par leur hauteur. En effet, la ferme verticale peut être décrite comme un ensemble de serres empilées les unes sur les autres. Ainsi, pour la même emprise au sol, la surface cultivée est multipliée par le nombre d'étages de la ferme verticale : plus la ferme verticale est élevée, plus sa production est importante, jusqu'à plusieurs millions de tonnes par an pour les plus grandes.

Les fermes verticales diffèrent les unes des autres en fonction des technologies qu'elles utilisent.

1. La première, l'hydroponie, consiste à cultiver sur un substrat neutre et inerte (sable, argile et roche), régulièrement irrigué par un liquide enrichi en minéraux et nutriments nécessaires à la croissance des plantes. Les systèmes hydroponiques utilisent 60 à 70 % moins d'eau que l'agriculture classique en plein air et sont utilisés par des centaines de milliers de serres commerciales et de fermes verticales à travers le monde.

2. Un autre processus couramment utilisé : l'aéroponie, par laquelle les plantes sont cultivées sans terre (ni substrat de remplacement). Les racines, suspendues en l'air dans un récipient fermé, sont exposées à de l'eau enrichie en nutriments, pulvérisée sous forme de brume par une buse, à intervalles réguliers.

Cette méthode, qui existe depuis 1983, est assez nouvelle pour la culture agroalimentaire.

3. Enfin, une méthode hybride, l'aquaponie, intègre la production piscicole à la culture hydroponique. Plus précisément, elle utilise les déchets rejetés par les poissons (après traitement) comme une source de nutriments pour les plantes, ce qui en fait un écosystème en circuit fermé pour l'élevage en intérieur. Cependant, la complexité et le coût élevé de ce système entravent sa généralisation. Les deux premières méthodes sont les formes les plus courantes d'agriculture en environnement contrôlé.

**Selon vous, quel système d'agriculture verticale vous semble le plus prometteur ?**

D.D. : Sur le plan de la méthode, l'aéroponie présente deux avantages par rapport à l'hydroponie : elle utilise environ 70 % d'eau douce en moins et l'aération de la solution de nutriments n'est pas nécessaire avec cette technologie, donc le système est plus rentable et plus facile à contrôler. L'aéroponie est donc un processus plus efficace. Toutefois, jusqu'à maintenant, les exploitants qui optaient pour ce système étaient confrontés à un problème récurrent : les buses pulvérisant l'eau enrichie en nutriments avaient tendance à se boucher régulièrement. Aujourd'hui, l'entreprise AEssenceGrows, basée à Shanghai, a développé une nouvelle buse évitant ce problème, améliorant ainsi la fiabilité du système de pulvérisation. AEssence fournit aujourd'hui un système breveté, conçu en interne, permettant aux fermes verticales de faire pousser divers types de légumes.

Toutefois, au-delà des considérations technologiques, pour être porteur, le modèle de la ferme urbaine verticale doit être viable économiquement. Par exemple, l'entreprise Infarm propose un modèle commercial à fort potentiel pour les fermes ver-

ticales. Infarm conçoit des jardins intérieurs high-tech destinés aux rayons fruits et légumes des supermarchés, en recourant aux systèmes hydroponiques et à la conception biomimétique pour ses plateaux de culture, qui sont empilés verticalement et placés dans un environnement protégé. L'application Infarm surveille tous les aspects technologiques de la culture, comme les niveaux de pH.

Des supermarchés comme Metro se sont associés à Infarm pour installer de petits modules agricoles à LED dans leurs magasins afin que les clients puissent choisir eux-mêmes les légumes frais qu'ils veulent consommer. Toutefois, ces derniers sont plus chers et concernent surtout une clientèle de la classe moyenne supérieure.

### **Quels facteurs ont contribué à l'émergence des fermes verticales, sur le plan historique et géographique ?**

D.D. : Il me semble que la première ferme verticale est apparue au Japon en 2010, conçue comme une ferme expérimentale par le Dr. Kozai et son équipe de recherche. En 2011, suite au tremblement de terre, au tsunami et à la crise nucléaire qui s'en est suivie, 5 % de la production agricole était détruite ou impropre à la consommation en raison de l'eau de mer ou de la pollution nucléaire. Pour trouver une solution, le gouvernement a lancé un appel au public. Dr. Kozai a alors proposé son modèle d'agriculture verticale permettant de cultiver des aliments dans un environnement intérieur contrôlé et sûr, sans risque de contamination de l'eau ou du sol. Le gouvernement japonais a alors soutenu les exploitations agricoles verticales, qui se sont multipliées. En 2018, on comptait plusieurs centaines de fermes commerciales verticales réparties sur l'ensemble des îles du Japon, comme Spread Co. Particulièrement faciles à cultiver dans ce type d'environnement, les légumes-feuilles sont devenus un élément clé des habitudes alimentaires japonaises.

Un autre cas connu d'agriculture verticale est un bâtiment de trois étages dans l'ancien quartier des abattoirs de Chicago. Chaque étage est dédié à un produit particulier : poisson, légumes verts, aliments pour poissons et orges. Cette initiative a débuté en 2013 à des fins éducatives.

Depuis lors, les fermes verticales se sont multipliées à travers le monde. Leur nombre a doublé en un an et elles connaissent, depuis lors, une croissance incroyablement rapide. Au cours des cinq à dix prochaines années, le nombre de fermes verticales pourrait augmenter à un rythme exponentiel. Les fermes verticales pourraient bientôt devenir un élément familier de nos paysages urbains et les villes seraient alors en mesure de nourrir plus de 60 % de la population urbaine.

Selon moi, cette évolution récente s'explique par deux principaux facteurs :

- Le premier est qu'il s'agit du bon moment pour innover en agriculture urbaine. En effet, si l'idée des fermes verticales était déjà bien présente avant 2010, elle n'avait sans doute pas retenu l'attention nécessaire pour se concrétiser. En revanche, le marché est aujourd'hui réceptif aux fermes verticales, ce qui contribue à leur succès.

- Le phénomène est accentué par un deuxième facteur : la rapidité du changement climatique. Il n'est pas étonnant que le nombre de fermes verticales évolue au même rythme que le changement climatique anthropique. Ceux qui misent sur les fermes verticales ont bien conscience du fait que l'environnement et le climat sont perturbés par les modes actuels de production alimentaire et que des alternatives innovantes s'imposent. Pour

les mêmes raisons, les consommateurs et citoyens soucieux de l'environnement accueillent volontiers les produits de l'agriculture verticale dans leurs habitudes. Le changement climatique s'accroît, la population augmente, les villes s'étendent... et aucun de ces phénomènes n'est parti pour ralentir. Les fermes verticales ont ici un rôle central à jouer. Elles devraient donc continuer à se développer dans le monde entier.

### **Vous décrivez souvent l'agriculture classique en plein air comme un modèle non durable. Dans quelle mesure et comment l'agriculture verticale peut-elle contribuer à la durabilité des systèmes alimentaires ?**

D.D. : L'agriculture verticale offre une bonne solution aux problèmes posés par l'agriculture clas-

***Les fermes verticales se sont multipliées à travers le monde. Leur nombre a doublé en un an. Les fermes verticales pourraient bientôt devenir un élément familier de nos paysages urbains***

sique en plein air. Surtout pour les aspects environnementaux. Le consensus selon lequel le système agricole actuel, en plein air et basé sur la culture de la terre, n'est pas durable et en grande partie responsable du changement climatique est partagé par les chercheurs, les autorités, les organisations internationales et la société en général. La moitié des arbres du monde, c'est-à-dire l'équivalent de la superficie du Brésil, ont été coupés pour l'agriculture. Or, comme nous le savons, les arbres jouent un rôle essentiel en absorbant le dioxyde de carbone et en produisant de l'oxygène. La destruction des forêts à des fins agricoles a donc énormément contribué au changement climatique. L'agriculture en intérieur, notamment l'agriculture verticale, nous permettrait de réduire les surfaces cultivées pour nourrir une population mondiale en constante augmentation, estimée à 9,8 milliards en 2050. Les fermes verticales pourraient même contribuer à la restauration de 60 à 70 % des forêts (deux billions d'arbres), ce qui permettrait de capter suffisamment de dioxyde de carbone pour inverser le rythme du réchauffement climatique. De toute évidence, l'agriculture en intérieur ne remplacera pas la totalité des 1,87 milliard d'hectares consacrés à la production agro-alimentaire. Le riz, par exemple, revient trop cher en intérieur et il est quasiment impossible de produire du bœuf selon ces méthodes. Toutefois, cette agriculture peut devenir une source d'alimentation importante, ce qui permettrait de limiter l'utilisation des terres agricoles. En effet, d'autres animaux tels que les crustacés, les poissons et les volailles peuvent être produits dans des fermes verticales, ainsi que des aliments pour le bétail, sachant que la culture du soja en intérieur pourrait avoir un impact majeur sur la déforestation. Ces nouveaux systèmes, même s'ils ne remplacent pas totalement l'agriculture classique, peuvent constituer un complément intéressant au système alimentaire, face à la pression démographique et à la raréfaction des terres cultivables. De plus, l'agriculture verticale peut reposer sur des systèmes « zéro pollution » où les ressources entrent dans un système circulaire de réutilisation. Les exploitations agricoles urbaines limitent donc le besoin de terres cultivables mais aussi l'utilisation d'autres ressources naturelles, comme l'eau et l'énergie, et contribuent à la réutilisation des déchets organiques. Par ailleurs, les cultures agro-alimentaires en intérieur pourraient avoir un impact significatif sur la santé mondiale. En effet, l'agriculture classique est l'une des principales causes de maladies dans le monde. La moitié de la popula-

tion mondiale souffre en effet de pathologies liées à la contamination des légumes par les excréments humains. Cultiver des aliments dans un environnement contrôlé permettrait de veiller à ce qu'ils soient sains et salubres et de réduire ainsi le nombre de maladies dans le monde. Les fermes verticales contribuent à décentraliser le système alimentaire et à démocratiser l'approvisionnement en augmentant l'offre, en faisant baisser les prix et en donnant accès à une nourriture saine à toutes les couches de la population, y compris les plus pauvres. Et plus l'accès aux produits alimentaires sera équitable et généralisé, plus les systèmes urbains seront durables. Il est intéressant de comparer les avantages des fermes verticales avec ceux d'autres types d'agriculture urbaine. Par exemple, les jardins partagés sont couramment utilisés pour cultiver des aliments en milieu urbain, comme à La Paz (Bolivie). Toutefois, dans ce système, les jardins sont à proximité des routes et les gaz d'échappement pénètrent dans la terre, sont absorbés par les légumes et consommés par les gens. La construction de jardins sur les toits est un autre exemple, envisageable uniquement dans les régions du monde où les températures hivernales sont douces. Bien que les serres offrent une solution à ce problème, elles ne sont pas suffisantes pour les besoins d'une population urbaine en constante augmentation. Les fermes verticales peuvent être considérées comme la méthode idéale pour l'agriculture urbaine : elles optimisent l'utilisation des terres et renforcent la densité alimentaire de l'espace cultivé.

### **Que faut-il faire pour favoriser l'expansion de l'agriculture verticale ?**

D.D. : L'agriculture verticale doit surmonter des difficultés de plusieurs ordres.

1. Tout d'abord, il y a la question essentielle de la formation et des compétences dans le domaine de l'agriculture d'intérieur. Les fermes verticales commerciales ont un fonctionnement en tous points comparable à celui des autres entreprises. Elles sont soumises aux mêmes risques. Il faut veiller en permanence à tous les aspects de l'environnement de croissance et pouvoir s'appuyer sur un personnel qualifié et expérimenté, capable d'identifier et de corriger les éventuels dysfonctionnements. Je pense que les établissements d'enseignement agricole pourraient proposer des cursus spécialisés en agriculture verticale. En plus de former les citoyens au travail dans les fermes urbaines, cela pourrait créer des vocations et favoriser ainsi la croissance du secteur.

2. La viabilité commerciale fait partie des grands enjeux de l'agriculture verticale. Si l'on estime qu'elle peut devenir durable à grande échelle, son coût énergétique trop élevé constitue, pour certains, un frein à la réalisation de profits. Toutefois, la baisse progressive du coût de l'électricité et des LED devrait favoriser une hausse de la rentabilité des fermes verticales. La diversification des cultures pourrait également faire partie des facteurs de réussite de ces exploitations, qui se focalisent aujourd'hui, pour la plupart, sur les légumes-feuilles au rendement très élevé.

3. En outre, les citoyens et les autorités politiques ont aujourd'hui tendance à rejeter l'agriculture urbaine. Beaucoup pensent que l'environnement dense, surpeuplé et pollué des villes n'est pas approprié à la culture maraîchère. Néanmoins, la maturation du secteur devrait accroître la visibilité de l'agriculture d'intérieur et mettre en évidence les avantages de l'agriculture verticale. Petit à petit, les projets de construction obtiendront plus facilement l'aval des urbanistes et des autres parties prenantes, permettant ainsi aux fermes verticales de se faire une place dans les centres urbains sur le long terme.

4. Enfin, les fermes verticales demeurent assez chères à construire, entretenir et soutenir. Elles sont très présentes au Japon, à Singapour, à Taïwan et aux États-Unis, où les habitants ont un fort pouvoir d'achat. Le défi consiste maintenant à les diffuser auprès des populations moins favorisées. Dans des régions telles que l'Inde, l'Afrique, l'Asie du sud-est ou l'Amérique latine, l'agriculture urbaine ne cesse de progresser. Mais ce n'est pas le cas des fermes verticales, qui nécessitent des technologies plus coûteuses. Un élargissement à une plus grande partie de la population pourrait attirer de grands producteurs et des organisations internationales, qui chercheront alors à l'encourager pour la rendre plus accessible. Ce n'est qu'une question de temps. Quand la classe moyenne

***La viabilité commerciale fait partie des grands enjeux de l'agriculture verticale. La diversification des cultures pourrait également faire partie des facteurs de réussite de ces exploitations, qui se focalisent aujourd'hui, pour la plupart, sur les légumes-feuilles au rendement élevé***

***Les bâtiments de l'avenir auront des caractéristiques similaires à celles des arbres et participeront à un système de production alimentaire décentralisé, sans rapport avec les réseaux actuels***

a accès à quelque chose, les classes défavorisées espèrent pouvoir l'acquérir au prix du marché. C'est à ce moment-là que l'agriculture verticale se développera sous des formes plus accessibles.

**L'agriculture verticale est souvent perçue comme étant un modèle « futuriste » de l'agriculture urbaine. Selon vous, à quoi ressembleront les villes dans cinquante ans ?**

D.D. : Les citoyens doivent repenser l'urbanisme et les bâtiments en s'appuyant sur les avancées technologiques actuelles, qui permettent d'ores-et-déjà des modes de production alternatifs.

Je pense que d'ici à cinquante ans, les bâtiments auront acquis de nouvelles fonctions. Aujourd'hui, ce sont de grandes colonnes d'acier, de verre ou de béton, sans fonction apparente,

qui consomment inlassablement des ressources telles que l'électricité pour la climatisation et le chauffage. Les architectes devraient plutôt développer des bâtiments intégrant des systèmes agricoles verticaux constitués de matériaux alternatifs, tels que le bois (comme le stratifié).

Un exemple : le Sunqiao Urban Agriculture District, un plan directeur de 1000 hectares conçu par Sasaki Architects à Shanghai. Le principe serait celui d'un mode de consommation hyper-local, dans

lequel les citoyens achètent et consomment des produits provenant de leurs propres bâtiments. Ils pourraient également être équipés de leur propre infrastructure d'économie circulaire, par exemple, avec

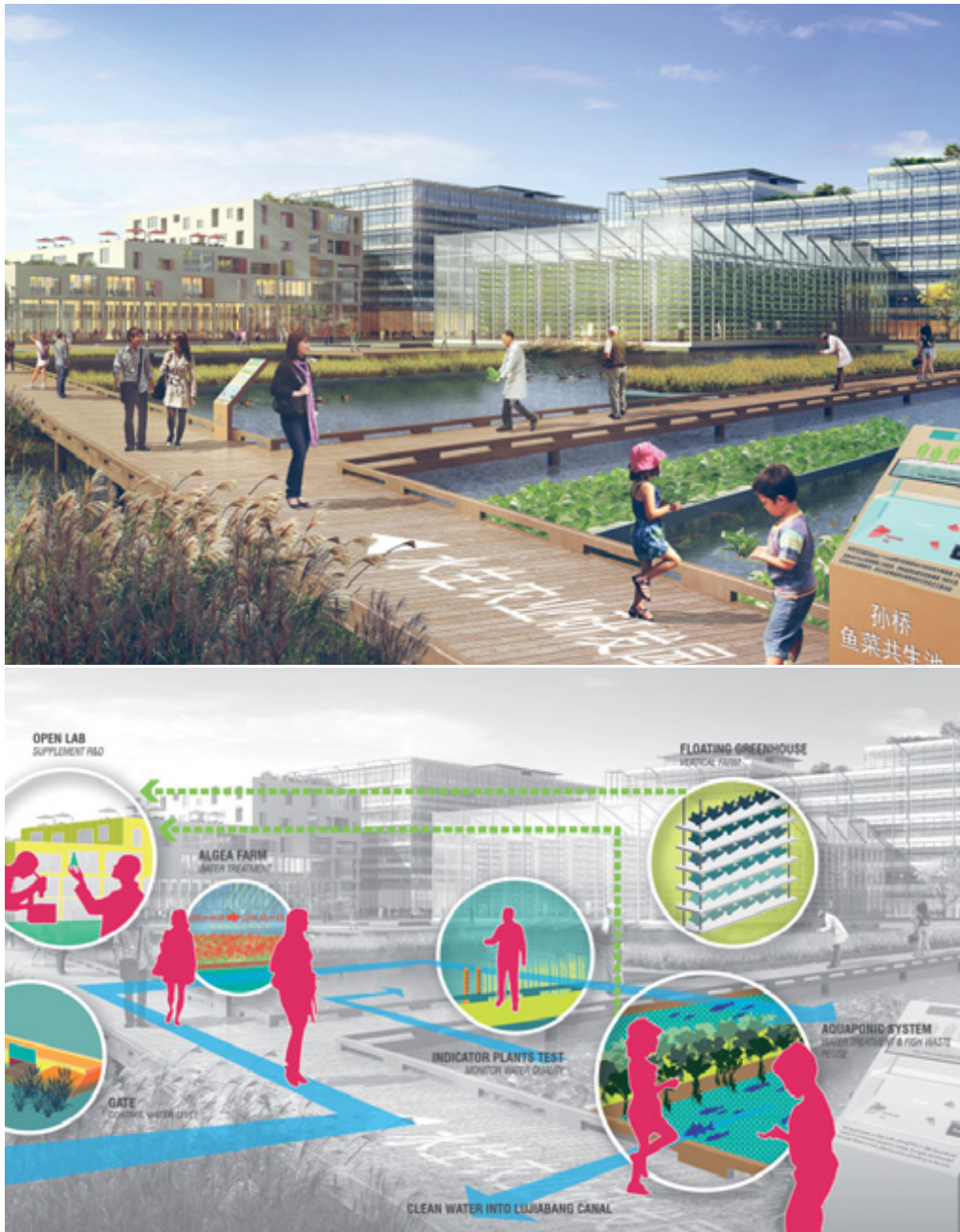
des systèmes de collecte qui captent et stockent l'eau de pluie, ce qui contribuerait à réduire la consommation et le gaspillage d'eau potable. De plus, les panneaux solaires pourraient être intégrés, surtout dans les régions du monde où l'ensoleillement est abondant tout au long de l'année.

En résumé, les bâtiments de l'avenir auront des caractéristiques similaires à celles des arbres et participeront à un système de production alimentaire

décentralisé, sans rapport avec les réseaux actuels. Nous sommes actuellement en train de développer cette possibilité, adoptée par les architectes, les universitaires et les responsables politiques, comme l'a montré la conférence Réinventer Paris, pour laquelle j'ai eu l'occasion de faire partie du jury. SOA Architects a également conçu un bâtiment de ce type, La Tour Vivante, qui centralise production agricole, habitat et activités. Les supermarchés, pour leur part, pourraient bénéficier des avantages d'AEssence et d'InFarm : des systèmes de culture en in-

térieur situés directement dans les magasins pourraient produire des légumes en permanence, remplaçant les sachets, boîtes et emballages d'aujourd'hui, tandis que les clients pourraient commander via une application les légumes dont ils ont besoin, et les obtenir fraîchement cultivés et récoltés.

Ainsi, l'agriculture verticale permettrait de lutter contre le changement climatique, de limiter l'utilisation et le gaspillage des ressources, d'améliorer la santé et la productivité des populations, et d'envisager l'avenir des villes sous un angle plus positif.



Le Sunqiao Urban Agriculture District de Shanghai intègre dans un même quartier des systèmes d'agriculture verticale et des installations destinées à la recherche et au public.

FIN DU SUJET