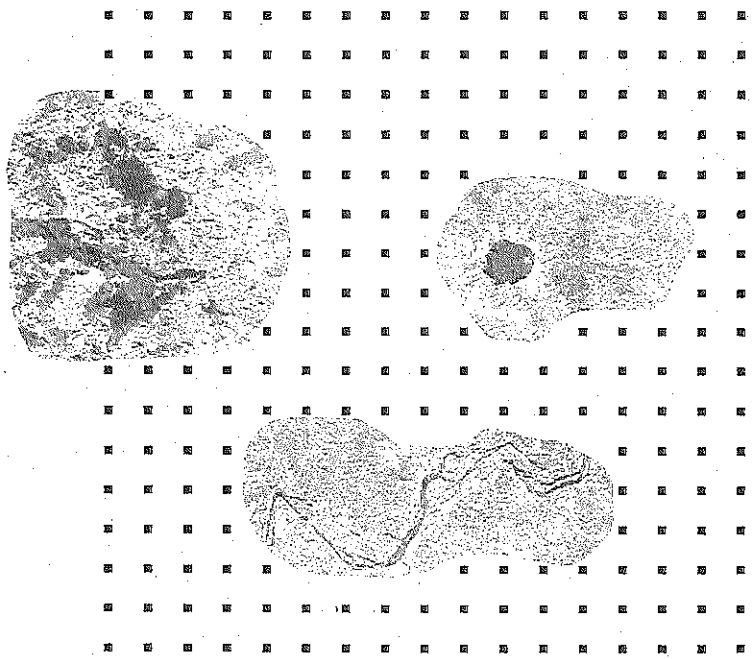


Dessin Louise Tanant

× UNE AUTRE ORGANISATION DES TERRITOIRES

# V

# La gestion agro-environnementale

## *Les atouts de la synécoculture*

MASATOSHI FUNABASHI

### I. La civilisation au prisme de l'agriculture

Un des plus beaux exemples de synergie qui fait le fondement de la société durable se trouve dans le monde des êtres vivants. La biodiversité de la Terre, qui a évolué au travers de 4,6 milliards d'années d'histoire, est la principale pourvoyeuse des ressources naturelles et des services écosystémiques pour la vie des humains. C'est un véritable système complexe où les fonctions des écosystèmes et la maintenance de la diversité s'exercent spontanément par l'auto-organisation. La coexistence de différentes formes de vie à l'état naturel, d'où naquirent les êtres humains, résulte de forces sous-jacentes et de mécanismes autogérés dont l'ensemble du vivant bénéficie à titre gracieux.

Pour comprendre où nous en sommes aujourd'hui, retraçons une rapide histoire de l'agriculture. L'histoire des civilisations humaines commence tout d'abord par la lutte pour la survie en milieu sauvage. Lors de l'introduction de l'agriculture, il y a 10 000-12 000 ans, nous avons appris à creuser le sol et à cultiver les plantes utiles en les isolant des écosystèmes d'origine, au moyen de simples outils en pierre. L'humanité a ensuite, pendant longtemps, mené une vie assez sobre, développant une diversité socio-culturelle vis-à-vis de la survie dans les environnements divers dans le monde. L'incitation principale de la société était la survie, couplée avec les valeurs religieuses. Avec la société moderne, l'invention des sciences et la révolution industrielle, interviennent des changements majeurs. Ainsi, la population connaissant une croissance forte, la mécanisation de l'agriculture a-t-elle stimulé massivement la production. Le développement de l'économie et de l'industrie a engendré une compétition mondiale et des conflits relatifs aux ressources naturelles.

Après les guerres, l'accélération des transferts technologiques et des reconversions industrielles engendrent des transformations importantes jusque dans le monde agricole : ainsi les tracteurs empruntent aux chars

leur nouvelle apparence et l'usine de poudre explosive se transforme en usine d'engrais chimique. Des armes chimiques et gaz toxiques sont à l'origine des pesticides, puis les organismes génétiquement modifiés (OGM) sont développés parallèlement aux pesticides. Ces composants technologiques, héritages détournés de l'histoire, constituent le fondement de l'agriculture intensive sous forme de monoculture largement mécanisée.

La construction du système agricole d'aujourd'hui est loin de l'incitation au développement durable. La sixième extinction massive actuellement en cours dans l'histoire planétaire, résulte des activités humaines, notamment de l'agriculture. La vitesse d'extinction des plantes vasculaires est 500 à 1 000 fois plus élevée que le taux d'extinction naturel. L'effet négatif sur la biodiversité de la conversion des terres, en réponse aux besoins agricoles, est plus signifiant que l'effet du changement climatique (Pereira *et al.*, 2010). Cela a produit le paysage monotone, l'écosystème homogène mais vulnérable des champs agricoles, fondement de la mondialisation. C'est le système socio-écologique dans son ensemble qui s'est modifié sous la pression de l'économie mondiale, et qui se résume aujourd'hui en Europe par exemple à l'Accord commercial bilatéral entre le Canada et l'Union européenne, le CETA (*Comprehensive Economic and Trade Agreement*) et à l'Accord de partenariat économique avec le Japon, EPA (*Economic Partnership Agreement*).

Mais nous approchons aussi de la limite de croissance de notre système économique. Les principaux débats politiques font craindre une stagnation de la croissance économique, surtout dans le secteur agricole. Au cours des dernières décennies, l'évolution du monde agricole en France s'est orientée vers une consolidation à grande échelle pour élargir l'impact économique et devenir plus concurrentiel au niveau international. Mais récemment, la régulation en faveur de la reprise économique du marché mondial devient trop contraignante pour les paysans. Malgré le syndicalisme qui s'est développé et reste actif dans la société française, on est en train de voir s'effondrer la « population saine » des producteurs agricoles. Dans la société de consommation d'aujourd'hui, la condition « normale » courante requiert de s'appuyer sur des produits et des services commercialisés de plus en plus sophistiqués, de plus en plus coûteux. Ce qui conduit à une nouvelle forme de pauvreté relative, voire absolue pour ceux qui n'arrivent pas à suivre l'accélération du cycle de consommation.



L'innovation technologique n'est plus suffisante. L'épuisement des ressources naturelles et les coûts environnementaux dépassent la capacité de l'écosystème global. La pollution de l'air et de l'eau, les dégâts sur la santé qui l'accompagnent, la diminution de la biodiversité, la désertification, les conflits provoqués par les crises alimentaires, les météos anormales sont plus fréquents à court terme, et on peut déjà observer les effets du réchauffement climatique à long terme. La stratégie de croissance capitaliste exponentielle devient impossible dans divers endroits. La société doit s'adapter à la limite des ressources et se convertir à une société durable de la croissance dite « sigmoïde » qui maintient le fardeau environnemental dans la capacité de l'écosystème. Pour ce faire, il est urgent de reconsidérer les habitudes de consommation actuelles, en particulier par la transformation massive du système alimentaire. Il convient de faire une évaluation de l'état actuel des Objectifs d'Aichi adoptés par les Parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB), visant à réaliser une société où l'humanité coexiste avec la nature d'ici 2050 (Nations Unies, 2015).

## II. Problématiques de l'agriculture moderne

À l'origine de ces problématiques actuelles, se situe le paradigme d'une agriculture conventionnelle qui s'est développée autour de la capacité de contrôle de la nature. La rationalité de la monoculture intensive à grande échelle a conduit le système agricole vers de simples protocoles linéaires qui éliminent les interventions de l'environnement externe. La méthodologie de l'agriculture conventionnelle élimine les adventices en commençant par le labourage, qui anéantit la structure du sol, puis utilise les fertilisants pour gagner en rendement, et emploie les pesticides pour protéger les cultures. Tous ces processus produisent un impact environnemental massif et requièrent des ressources pétrolières comme matière première.

Nous en sommes arrivés à une situation véritablement paradoxale du point de vue du solde énergétique : malgré le fait que toutes les matières organiques sont produites par la photosynthèse qui ne nécessite aucun investissement artificiel d'énergie, la moyenne des calories fournies par les produits agricoles est inférieure à l'énergie investie pour le contrôle de culture, au Japon comme dans les pays occidentaux (Nihei 2011 ; Bomford et Heinberg 2009 ; Aubin 2004).

De plus, la durabilité du système conventionnel ne peut pas être justifiée par rapport au cycle des matériaux : du point de vue de

l'écosystème global, un tel travail du sol revient à une dissipation des matériaux. Les ressources sont perdues par pénétration souterraine et polluent les nappes phréatiques. La régression et la dégradation du sol entraînent une décharge de carbone et d'azote dans l'atmosphère, ce qui est considéré comme la cause du réchauffement climatique.

L'agriculture, au sens propre de ce terme, engendre un conflit fondamental entre les humains et la nature. Le système conventionnel s'est développé d'une manière heuristique dans l'histoire, selon un biais économique qui a conduit vers la monoculture intensive, sans considération pour les conséquences globales. Les méthodes de production créent un cercle vicieux par rapport à l'impact environnemental et impliquent des conflits entre le développement et la conservation. Au niveau du traitement symptomatique, l'acte de conservation comme la jachère reste toujours en arbitrage contradictoire avec la production.

En réalité, la plupart des civilisations anciennes qui ont développé l'agriculture d'une manière intensive se sont épuisées et ont disparu par la surexploitation de l'écosystème environnant. L'agriculture n'a jamais été durable à grande échelle dans l'histoire humaine. Notre civilisation fondée sur les sciences et technologies n'est pas une exception. Au contraire, c'est le pire exemple en raison de l'ampleur de son impact environnemental. En somme, on peut considérer l'agriculture conventionnelle comme une activité humaine qui consomme des ressources pétrolières pour, *in fine*, abaisser la diversité de l'environnement et des aliments par la monoculture. Cela n'est plus durable à long terme, surtout par rapport aux ressources naturelles et à l'environnement (IAASTD 2009). Il nous faut passer à un autre mode de production alimentaire, une alternative qui maintienne voir développe de façon inséparable la diversité de l'environnement et des aliments et maintienne une économie locale saine sans dépendre principalement des ressources pétrolières.



## III. Le concept de synécoculture

Jardin du Champ de Mars à Paris, France

Sanctuaire d'Issé au Japon.

Figure 1. Les deux cultures contrastantes de l'Occident et de l'Orient

Essayons de prendre du recul et de changer de perspective, en privilégiant le vivre ensemble à la domination aveugle de la nature. La figure 1 à gauche, est une image du jardin du Champ de Mars à Paris. Tous les plannings des végétations sont sous le contrôle du sens esthétique des jardiniers. C'est la nature qui obéit à notre esprit. À droite, une image du sanctuaire d'Issé au Japon qui existe depuis plus de 2000 ans. Ici, tous les êtres vivants sont considérés comme sacrés et incarnent l'esprit des dieux indigènes. Il est donc strictement interdit de couper ces arbres même si cela interfère avec les chemins et les bâtiments. C'est notre esprit qui respecte la dynamique de la nature.

Je considère que ces deux cultures ne sont pas forcément en opposition, mais possèdent un grand potentiel d'intégration. Quelle serait la meilleure conséquence si l'on faisait converger ces deux esprits ? Non seulement le respect de la nature, mais aussi en comprendre la dynamique et la contrôler afin de mieux s'en servir pour l'humanité et l'écosystème global. C'est le point de départ de la synécoculture, ou l'agriculture synécologique, dont la première expérience commença au Japon en 2010 (Funabashi 2011 ; Funabashi 2016a).

Nous avons commencé par la construction d'un écosystème. Pas de destruction. Sans labourage, sans fertilisant, sans pesticide ni herbicide. Dans un champ expérimental, la biodiversité a été provoquée d'une manière extrême et intensive : sur environ 3 000 m² au total, nous avons introduit plus de 400 espèces comestibles mélangées en polyculture de haute densité (images des champs dans les figures 2). Des légumes, des herbes médicinales, des arbres fruitiers, au total plus de 1 000 variétés. Cette biodiversité intense dépasse largement celle de l'état naturel. En concurrence avec les végétations spontanées, ces cultures forment des niches écologiques de façon planifiée pour les récoltes efficaces au fil du temps. On appelle cela l'agriculture synécologique, ou simplement la synécoculture.

Comme son nom l'indique, la synécoculture repose sur l'intégration de larges connaissances de la synécologie. La synécologie est une discipline qui étudie l'auto-organisation de la communauté des plantes, surtout au niveau des interactions entre les espèces et l'environnement. Ce fut l'une des premières conceptions des sciences de systèmes complexes au début du XXe siècle (Webb et Williams 1973). Aujourd'hui cette discipline est appelée plus souvent « l'écologie des communautés ».

Les premières expériences de synécoculture consistaient en une transposition de l'agronomie à la synécologie, qui s'est cristallisée dans le manuel de synécoculture (Funabashi 2016b). C'était une vraie création de l'agroécologie vis-à-vis de la nature : commençant par le labour, observant visuellement les autres plantes et les animaux, restant cependant destructrice de l'écosystème, surtout de la surface la plus riche de la terre. Mais la disturbance même est présente partout dans la nature, et contribue à la diversité de la communauté. En écologie, on appelle cela « disturbance positive » à la biodiversité (Catford *et al.*, 2012). Par exemple, le renouvellement de la forêt se fait plus rapidement par les disturbances partielles, d'intensité modérée. En synécoculture, cela se traduit par la méthode et la modalité des récoltes : l'éclaircissage des communautés denses et mixtes, l'effeuillage des pousses concurrentes, cela donnant une bonne solution pour le contrôle de la diversité de culture.

En ce qui concerne les fertilisants, ils n'existent pas dans la nature. L'utilisation empirique des engrais, apparue à la suite de la révolution industrielle, n'a que moins de 200 ans d'histoire. Ce sont les humains qui ont inventé les fertilisants, pour le développement de l'agriculture.



Auparavant, le renouvellement de la productivité des champs s'obtenait par le principe de la jachère ou par l'utilisation des sédiments d'inondations. Dans la nature, ce n'est pas avec un fertilisant que les plantes croissent : c'est le cycle des matériaux dans l'écosystème tout entier qui soutient le développement de la communauté, au sein duquel chaque plante individuelle trouve sa place. Le terrain « fertilisé » n'existe pas dans la nature. C'est juste la succession écologique qui génère un état du sol, dit fertile.

De même, il n'existe ni ravageurs, ni mauvaises herbes dans la nature. C'est en fonction du système agricole adopté, selon les moyens très limités de l'expérience humaine, que l'on juge l'utilité des espèces. On élimine les espèces que l'on « croit » être inutiles. En réalité, toutes les espèces existantes contribuent à la biodiversité qui soutient plusieurs fonctionnalités des écosystèmes. C'est la source de robustesse et de résilience distribuée en diverses formes de vie, et les humains n'ont pas encore compris cette perfection.

Il existe déjà cependant des évidences scientifiques (Funabashi 2017a) : dans un champ de synécoculture, par l'association des diverses plantes en haute densité, la biodiversité est provoquée au-delà de l'état naturel. La structure de sol formée par les racines et l'activité de divers micro-organismes augmente en richesse. Pour protéger l'environnement souterrain, il faut éviter de labourer le sol. Quand la végétation est établie sans labourage, la croissance est écologiquement optimisée au niveau de la communauté par les interactions symbiotiques. À partir de la végétation mixte des cultures, on peut obtenir diverses sortes de produits tout au long de l'année, sans se limiter à la récolte d'une seule espèce. La productivité totale résultant de la fréquence de récolte nous permet de supprimer l'utilisation des fertilisants. Supprimer la fertilisation de toute sorte évite aussi la pollution des nappes phréatiques et la perturbation du cycle des matériaux dans le sol. La végétation complexe abrite la chaîne alimentaire avec beaucoup de prédateurs, qui remplacent les pesticides.

Cette stratégie d'organisation de l'écosystème au niveau de la communauté aboutit à plusieurs points positifs pour la production et la consommation locales. Bien que chaque plante individuelle reste petite et sa croissance lente, la récolte par éclaircissage de la polyculture mixte y gagne par la fréquence de récolte et la densité de culture. L'expérience de ferme pilote sur 1 000 m² à Issé au Japon a atteint un rendement 4 fois plus élevé sur une durée de 4 ans, par rapport

au système de production maraîchère conventionnel de même taille au Japon. Il faut noter cependant que la récolte de synécoculture fluctue beaucoup plus pour chaque produit par rapport au système conventionnel, mais comme les coûts sont minimisés, la rentabilité totale devient plus élevée. Les données concernant les récoltes démontrent aussi une réaction positive dans la diversité des produits par rapport à la variance de l'environnement : la variété des récoltes augmente avec les fluctuations de la météo. À partir de la petite ferme pilote d'Issé, 80 sortes de produits majeurs ont été récoltés et vendus entre 2011 et 2014, ce qui est équivalent à la diversité régionale des produits distribués par les coopératives agricoles. En fait, la diversité des espèces introduites dans 3 000 m² de champs de synécoculture a dépassé la diversité régionale des produits du système traditionnel, reconnu pour sa valeur de protection de la biodiversité (Funabashi *et al.*, 2017b).

Cette productivité est soutenue par la biodiversité hautement provoquée : nous avons observé plus de 1 000 espèces, plantes et insectes, dans nos champs et leur environnement. Beaucoup de papillons qui agissent comme pollinisateurs, et des insectes rares même dans les zones protégées, y compris ceux de la liste rouge en voie d'extinction. On pourrait alors penser que la biodiversité la plus intensive dans l'histoire de la vie peut se réaliser grâce à l'assistance humaine (Funabashi 2016a).

Dans un cas plus concentré et un petit champ de 250 m² situé au milieu de la ville de Tokyo, environ 400 espèces et 1 000 variétés ont été observées en 6 ans (Figure 2 : champ de Todoroki). C'est une augmentation exceptionnelle de biodiversité réalisée dans la métropole, beaucoup plus que ce qui est normalement relevé dans l'agriculture urbaine (Funabashi 2018a).

Ferme pilote d'Issé (nov. 2011)

Champs expérimentaux d'Oiso, Kanagawa (mai 2018)

Champs expérimentaux d'Oiso, Todoroki, Tokyo (mai 2016)

La variété des récoltes des champs de synécoculture

Figure 2. Images de champs expérimentaux de synécoculture au Japon.

## IV. Augmentation des systèmes agro-alimentaires par la synécoculture

Comme décrit dans l'introduction, la chute de la biodiversité qu'on observe aujourd'hui est due à une forme d'agriculture homogénéisatrice, qui produit 90 % d'aliments par la culture de seulement 30 espèces

de plantes. En revanche, il existe plus de 30 000 espèces des plantes utiles qui sont répertoriées dans l'histoire de l'agriculture (Yong *et al.*, 2006). Si l'on introduit cet héritage génétique par l'expansion de la synécoculture, soit 1 000 fois plus de diversité, alors la biodiversité associée sera potentiellement mobilisée pour palier l'extinction massive des espèces.

Pour ce faire, il faut repenser la distribution et promouvoir la consommation de proximité de produits variés, avec un lien direct entre les producteurs et les consommateurs. À cette fin, notre culture culinaire devient le principal enjeu. Pour aller dans le sens de l'augmentation de la biodiversité par la synécoculture, il devient nécessaire d'inventer de nombreuses nouvelles recettes afin de découvrir de nouvelles utilisations des plantes comestibles. Comme dans les restaurants haut de gamme, proposer des plats inconnus et qui n'existent pas encore dans notre alimentation quotidienne est possible grâce à la grande diversité résultant de la synécoculture. Cette idée d'adaptation écologique par la diversification culinaire est en cours de réalisation au Japon, en collaboration avec la cantine de l'entreprise Sony.

Quel en serait l'effet sur la santé ? La richesse gastronomique est fortement liée à notre métabolisme, qui se fonde sur la richesse des aliments et des nutritions. Ce qui est essentiel à long terme en vue d'un effet protecteur sur la santé, ce sont les micronutriments comme les minéraux et les phytochimiques, qui sont les produits des interactions écologiques entre les plantes et les animaux.

Dans les produits de la synécoculture, nous avons observé que l'effet de biodiversité intense a augmenté la concentration des minéraux (Funabashi 2013). En synécoculture, même si les terrains étaient pauvres selon les critères conventionnels, les produits ne manquaient pas de minéraux. L'effet de biodiversité a augmenté la concentration des minéraux.

Pour les substances phytochimiques, la hausse des expressions des composants bénéfiques pour la santé est observée. Dans le thé vert produit en synécoculture, parmi les 600 composants détectés par l'analyse de métabolome, environ 200 substances ont montré une expression particulière et amplifiée, la majorité étant les substances pharmacologiques qui soutiennent le fonctionnement de notre métabolisme. La figure 3 montre une partie des composés phytochimiques résultant de la synécoculture, affichés sur les voies métaboliques de base. L'effet de biodiversité se répercute sur la diversification de notre métabolisme, lequel assure une meilleure santé à long terme.



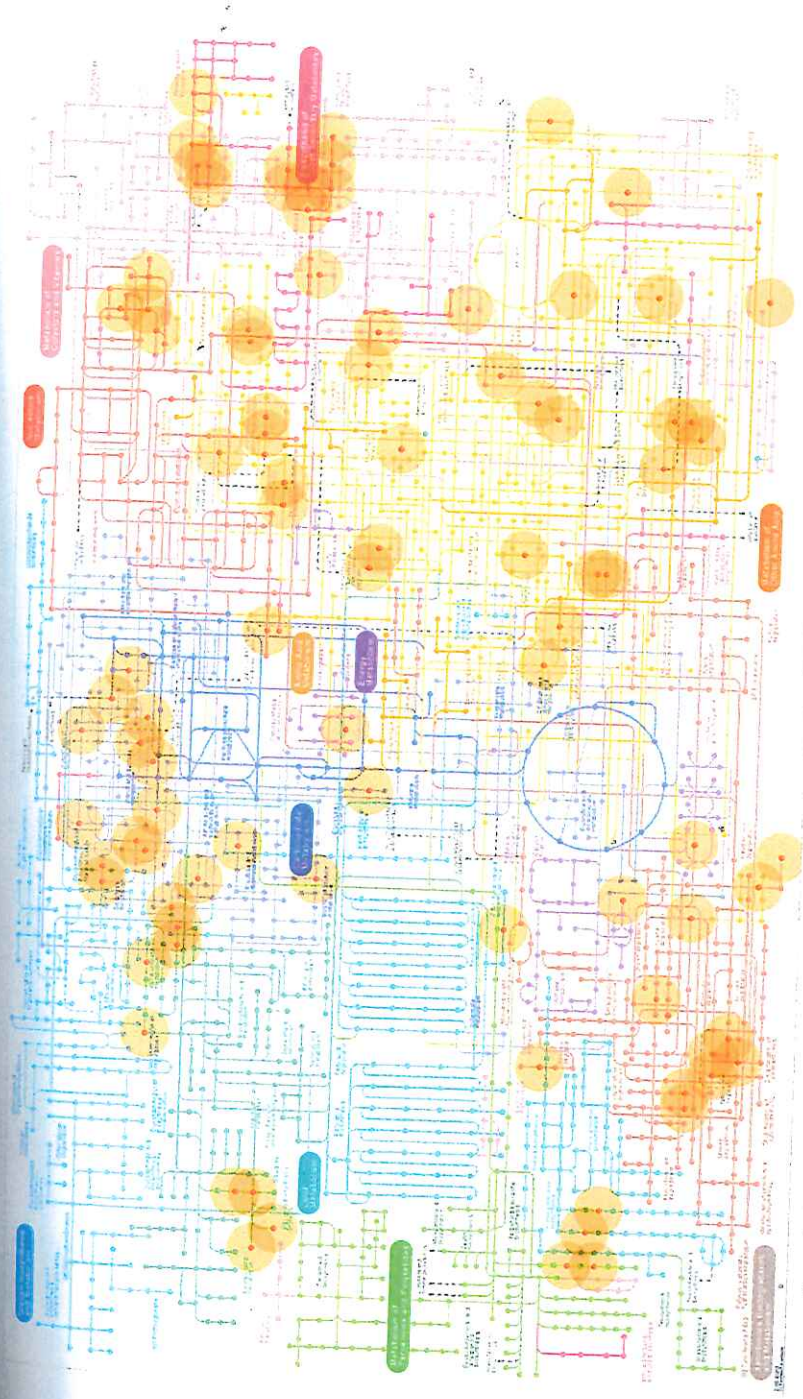


Figure 3. Les composés phytochimiques spécifiquement augmentés dans le thé vert produit de la synécoculture comparés au produit conventionnel des champs voisins sont affichés avec les points rouges (soulignés avec les cercles orange transparents) sur les chemins de métabolisme de base des Eucaryotes. La carte métabolique est la *Map* 01100 de la base de données.

Dans des études randomisées en double aveugle (Double-Blind, Randomized, Controlled Trial, DBRCT), on a observé des bénéfices équivalents entre la consommation du thé vert issu de la synécoculture et un haut niveau d'exercice physique chez les femmes en bonne santé (Funabashi 2018b). Il a aussi été montré des effets significatifs d'amélioration de motricité et de fonctions cognitives chez les personnes âgées, d'après des mesures d'indépendance fonctionnelle (FIM) lors de protocoles de rééducation (Funabashi 2018c).

Ces résultats suggèrent que la qualité des produits végétaux est corrélée à la biodiversité de l'environnement, dans lequel ils sont cultivés. Nous avons besoin de biodiversité riche pour améliorer notre santé à long terme. C'est une dimension substantielle pour évaluer la vraie qualité de la nourriture.

## V. Expériences de synécoculture dans la zone semi-aride en Afrique

Les atouts de la synécoculture se distinguent plus encore, face au changement climatique. En quatre ans d'expérience au Japon, nous avons construit un modèle de croissance basé sur une communauté dense et mixte de plantes, en comparaison avec la monoculture (Funabashi 2016a). L'estimation de ce modèle suggère que le mode de production en synécoculture excelle dans les conditions marginales comme les zones arides et la qualité faible du sol. Aujourd'hui, la pression démographique pèse sur les surfaces cultivables et les pratiques inappropriées d'agriculture appauvrissent les sols cultivés. 70 % des terres arables dans les zones arides sont en voie de désertification, et un milliard de personnes souffre de cette situation (UNEP 1991). On attend, en particulier dans les pays asiatiques et sub-sahariens, deux tiers de croissance globale de la demande alimentaire d'ici 2050 (FAO 2012). Ce sont les plus grands secteurs agricoles par rapport aux émissions à effet de serre (EPA 2012). Ces régions font déjà l'expérience de la détérioration sérieuse du sol et de l'effet négatif du changement climatique, avant les autres pays développés. Ce sont donc les zones qui représentent une sorte de préfiguration de la Terre de demain.

J'ai importé la synécoculture au Burkina Faso en 2015, un pays qui se situe dans le Sahel, au sud du Sahara. Depuis, nous avons collaboré avec une ONG locale, l'AFIDRA (Association de Formation et d'Ingénierie du Développement Rural Autogéré) sur la mise en pratique de la synécoculture dans le Sahel. Nous avons commencé



la première expérience en mars 2015, en associant 150 espèces des plantes comestibles dans 500 m² suivant les règles de la synécoculture. Les résultats se sont révélés au-delà de nos meilleures attentes (Tindano et Funabashi 2017; Tindano et Funabashi 2018) : seulement un an après l'installation, le terrain inculte s'est transformé en une forêt de diverses plantes comestibles. Sur la terre pauvre et épuisée, émerge une communauté de plantes introduites qui rétablit un fonctionnement sain de l'écosystème. La figure 4 montre l'étape d'installation de synécoculture et l'évolution de la végétation.

La productivité des dix-huit premiers mois atteint environ 1000 euros par mois grâce à la vente des produits sur les marchés locaux. Cela signifie que nous avons gagné 20 fois plus que le revenu national brut par habitant du Burkina Faso, ce qui correspond à 40 à 150 fois plus de productivité que l'agriculture maraîchère conventionnelle dans ce pays. L'impact économique rural est essentiel afin de résoudre la pauvreté dans cette région. Cette expérience a procuré 50 fois plus de revenus que le seuil de pauvreté absolu pour la vie à la capitale. Cela veut dire que juste 10 m² de champ en synécoculture peut soutenir la vie économique minimale d'une personne adulte à Ouagadougou.

En comparaison aux autres modes de cultures testés simultanément, la synécoculture permet de sortir du conflit entre la productivité et la dégradation de l'environnement. C'est la biodiversité hautement provoquée qui génère la synergie entre la production et la construction de l'écosystème en même temps. Au meilleur de nos connaissances, cette sorte de corrélation positive entre la biodiversité et la productivité n'a jamais existé dans l'agriculture de cette région à un tel niveau d'impact économique.

Forts de ces résultats, nous avons organisé trois conférences internationales et une conférence pour les enseignants universitaires sur la synécoculture. Le défi a été la mise en place de la synécoculture en Afrique, en commençant par les régions sahéliennes. Nous avons établi en 2017 le Centre Africain de Recherche et de Formation en Synécoculture (CARFS), avec le soutien de trois ministères burkinabés et de l'ambassade du Japon (CARFS 2017). Notre simulation montre qu'il n'est pas impossible d'atteindre certains des objectifs piliers d'Aichi en 2020 (CBD 2010) et de contribuer substantivement aux objectifs de développement durable à l'horizon 2030 de l'Organisation des Nations unies qui relèvent les défis pour éradiquer la pauvreté, protéger la planète et garantir la dignité de tous (UN 2015).

Figure 4. Les étapes d'installation de synécoculture
à la ferme pilote de Mahadaga, province de la Tapoa, au Burkina Faso.



À la suite du Japon et de l'Afrique sub-saharienne, les pratiques de synécoculture commencent à s'étendre dans le monde. Par l'ouverture à la participation libre en tant qu'*open source* et avec l'aide des sciences citoyennes, nous espérons pouvoir couvrir la plupart des zones climatiques arables du monde dans un futur proche.

## VI. Utilisation des TIC (Technologies de l'information et de la communication)

Contrairement aux problématiques des pays développés, pour la révolution de l'agriculture, il faut cibler les petits paysans qui sont la majorité des producteurs dans le monde. Ce sont les petites productions inférieures à 2 hectares, à l'échelle de la famille qui produisent 70 % des aliments dans le monde, qui cultivent 80 % des terrains agricoles, et qui occupent la moitié de la population mondiale (FAO 2014; FIR 2013). Elles sont petites en taille, mais nombreuses. Les petits ruisseaux font les grandes rivières. Les petits actes peuvent avoir de grandes conséquences. Notre planète ne peut plus tolérer une pratique de l'agriculture trop consommatrice des ressources et des matériaux (IAASTD 2009). Le bilan du cycle des matériaux dans l'écosystème mondial est déjà mis à mal par l'agriculture, et il nous faut passer par un autre chemin (Steffen *et al.*, 2016), un choix alternatif qui consomme peu d'énergie et de matériaux.

Un des domaines qui est devenu récemment accessible par le biais des technologies de l'information et de la communication (TIC) est l'intelligence collective, les informations virtuelles partagées dans une grande partie de la population de manière collaborative sur l'Internet. Ces informations peuvent servir à amplifier les synergies dans les organisations écosystémiques hautement complexes. À Sony CSL, nous développons des bases de données, des outils d'analyse, et des interfaces pour la gestion de la synécoculture. La robotique et les drones, les véhicules et les bras mécanisés sont aussi une autre solution complémentaire pour accéder à une production de plus grande échelle. Les jungles comestibles et l'élaboration d'écosystèmes de grande taille pourraient tirer profit d'une aide de la technologie qui reste encore peu exploitée.

Le développement et l'utilisation des TIC consomme certes des ressources pétrolières, mais différemment. Dans l'agriculture conventionnelle, ces ressources sont investies directement pour la production et disparaissent dans les sols, dans un cercle vicieux non durable.

En combinant les TIC avec la synécoculture, nous cherchons une dimension plus durable en utilisant ces ressources afin que les êtres humains acquièrent et partagent des connaissances et se mettent en accord pour la réalisation d'un système socio-écologiquement durable avant l'épuisement des ressources non-renouvelables.

*

Revenons maintenant à la situation des pays développés, surtout en ce qui concerne les problématiques liées au mode de production intensif à grande échelle. Il est bien difficile de remplacer le système conventionnel ancré massivement dans la société. Mais le changement vers une société durable peut venir des petits producteurs et de l'agriculture urbaine. Dans beaucoup de pays européens, les citoyens ont commencé à réfléchir et à agir sur ce qu'il est possible de faire dans notre petit jardin, dans les métropoles. Aujourd'hui, un espace vert, un jardin de quartier et une toiture végétale sont à la mode en agroécologie urbaine. La Ville de Paris, par exemple, lance une grande campagne de projets « Parisculteurs » avec l'objectif de 100 hectares pour la végétalisation d'espaces urbains utilisés pour la production alimentaire (Mairie de Paris, 2016). Bien que ce genre de mouvement contribue à la sauvegarde du climat et de l'alimentation locale, quel serait l'apport à l'objectif de résilience globale ? Suffit-il de jouer à l'écologie dans les cités pour atteindre les objectifs du développement durable ?

Si nous étendons l'échelle de l'objectif à la durabilité mondiale, l'agriculture urbaine doit encore franchir un pas et diffuser l'information relative aux pratiques dans les zones rurales, ou encore dans d'autres pays. L'agriculture urbaine dans les pays développés peut jouer le rôle de pôle expérimental et d'intelligence pour soutenir toutes les micro-fermes qui sont majoritairement dépourvues de ressources et d'information dans le monde entier. Comme l'expérience à Tokyo l'a montré, le milieu urbain fournit des conditions favorables pour une expérience d'agroécologie intensive, avec l'accessibilité aux marchés des graines, l'instrumentation d'observation électronique et une conscience écologique loin des conflits de l'agriculture conventionnelle, tout en bénéficiant d'une proximité avec les intellectuels et les dirigeants politiques. Par l'agriculture urbaine, on peut augmenter non seulement l'autosuffisance, la qualité et l'efficacité du système alimentaire, mais on peut tester le bénéfice des multiples associations de plantes dans



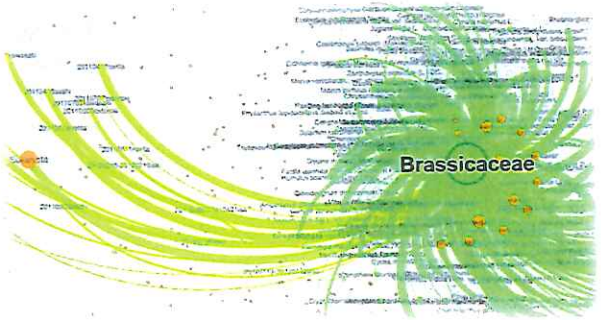
divers environnements. Effectivement, notre expérience montre que le réseau de connaissances sur la biodiversité et les services écosystémiques dans les champs de synécoculture au Japon peut servir à développer la version européenne de synécoculture en zone tempérée, et réciproquement, l'expérience en Europe peut fortifier les pratiques au Japon (Funabashi *et al.*, 2017b).

Dans cette perspective, nous avons développé un système de partage d'information distribué qui vise à connecter les pratiquants à l'échelle planétaire, du nom de *Megadiversity Management Systems* (Figure 5). La première version est utilisable en *open source* (MMS 2018). L'implémentation de ce système peut connecter les cités du monde entre les producteurs, distributeurs et consommateurs, entre pairs, en favorisant l'économie collaborative et la distribution équitable. Par rapport aux chaînes alimentaires actuelles qui sont dominées par un petit nombre d'intermédiaires, comme les grands supermarchés, les coopératives agricoles et les sociétés semencières, le réseau pair à pair possède un grand potentiel pour réduire les déchets alimentaires, les marges des intermédiaires et les coûts environnementaux sous forme d'échange direct des produits et des services. Cette nouvelle forme de chaîne alimentaire deviendra plus efficace et favorisera la diversité socio-écologique suivant l'intégration de la nouvelle technologie de l'Internet, comme la transaction monétaire distribuée par le protocole *Blockchain*.

Par exemple, les informations obtenues dans les jardins divers de synécoculture peuvent être partagées globalement entre les régions, selon la similitude des conditions environnementales. Notre projet a déjà permis d'effectuer un échange d'expériences et de graines pour une expérimentation mutualisée en différents endroits à partir de semences mise en commun. Les mêmes espèces sont testées dans des conditions différentes de zone tempérée et tropicale, en vue d'enrichir les banques de plantes cultivables face au changement climatique (Funabashi 2018a). Compte tenu des risques typiquement partagés dans le monde, comme les ouragans et inondations, il apparaît pertinent de coordonner le dépistage de variétés résistantes, à partir de l'expérience de régions sensibles. De plus, les zones où les espèces sauvages sont menacées par les activités humaines (où la biodiversité est menacée) se chevauchent fortement avec les zones ou Internet est accessible, ce qui facilite les observations et interventions pour la conservation et l'enrichissement de la biodiversité avec l'aide des TIC (Figure 6).

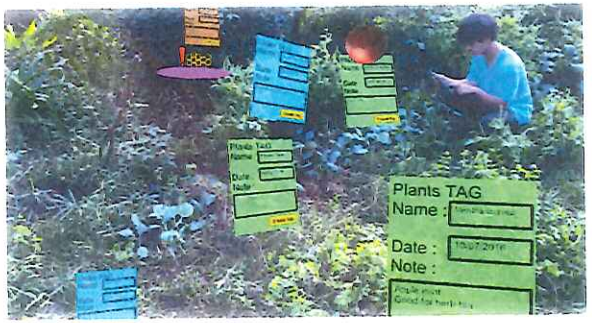
Le MMS comprend des systèmes de gestion de contenu pour l'enregistrement et le traitement de données massives :

– l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique pour les analyses et les suggestions, et des interfaces interactives pour l'exploration




Représentation des données de champs par le graphe interatif

– et la gestion en temps réel sur site.




Le système de réalité augmentée

Il constituera des applications web pour soutenir le fonctionnement des organisations autonomes décentralisées en vue de la réalisation de réseau pair-à-pair de production, distribution, transaction, consommation, recyclage, et de décision collective, basé sur l'économie collaborative.



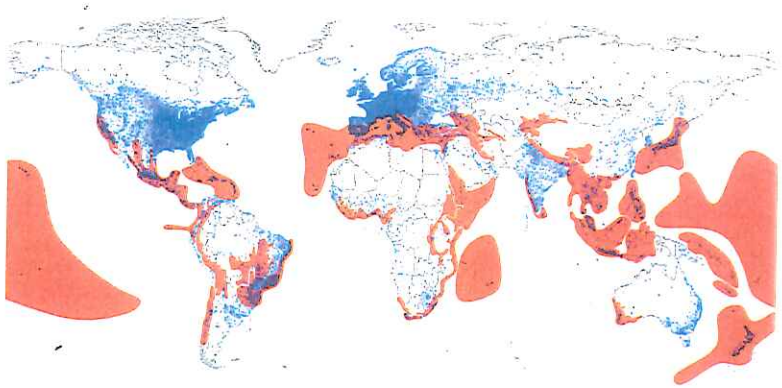


Figure 6. Le chevauchement mondial entre l'adresse IP et les points chauds de la biodiversité. La distribution géographique estimée de l'adresse IP est représentée par des points bleus et les points chauds de la biodiversité sont représentés avec des surfaces rouges. Les zones de chevauchement sont des zones potentiellement applicables d'intervention efficace par la synécoculture avec le support de *Megadiversity Management Systems*.

Le partage des données sur la propriété synécologique des plantes est essentiel pour limiter les risques de notre système alimentaire. Quand nous discutons sur l'autosuffisance alimentaire, deux mesures existent : l'autosuffisance en calories et en valeur de production. La France, par exemple, atteint plus de 100 % d'autosuffisance alimentaire sur la base calorique, mais cette mesure est trop simpliste. L'autosuffisance en valeur de production n'était que de 83 % en 2013, cela veut dire au niveau économique que la France est dépendante de l'importation pour 17 % de la valeur de ses aliments. Si l'on examine chaque catégorie de produits alimentaires, on observe que la moitié des fruits consommés dépend de l'importation. Cela dit, même en ce qui concerne la mesure globale d'autosuffisance calorique qui dépasse 100 %, on est toujours dépendant de l'importation au niveau de la diversité des produits. L'autosuffisance par rapport à tous les spectres des aliments de base doit se définir comme la vraie mesure de résilience (Funabashi 2018a). C'est bien dans ce but que la synécoculture s'appuie sur une production locale de variétés suffisamment nombreuses pour soutenir la résilience en matière de culture et de production alimentaire, ainsi que la diversité des produits tout au long de l'année.

## Conclusion : vers l'augmentation anthropogénique des écosystèmes

La perspective de 2050, nous place en face d'un vrai changement de société et d'écosystème. On estime que la pression anthropogénique devrait aboutir à la détérioration globale de la biodiversité vers 2045, quand la population dépassera 9 milliards d'habitants (Barnosky *et al.*, 2012). La situation observée aujourd'hui dans les pays subsahariens deviendrait plus courante dans notre futur.

Si la croissance démographique est inévitable, il faut construire un écosystème aussi divers et résilient que la population humaine. Cela conduit à la conception d'une augmentation anthropogénique des écosystèmes, ou à un impact écologique positif et original par les humains, notamment par la conversion vers une agriculture majoritaire de petite échelle (Funabashi 2016a). Théoriquement, si on arrive à convertir l'agriculture pour soutenir et construire la biodiversité, et en particulier l'agriculture à petite échelle qui produit la majorité des aliments mondiaux, on arrivera à atténuer les risques, voire il sera possible d'éviter l'effondrement de l'écosystème global. La méthodologie et les outils primaires sont là, avec la synécoculture, qui est ouverte à tous les citoyens de bonne volonté pour mieux développer cette activité.

## Remerciements

*Illustrations et retouche d'images par Akira Tamaki.*
*Cette étude est financée par Sony Computer Science Laboratories Inc.*
*« Synecoculture » est une marque commerciale de Sony.*



## Références

AUBIN Jean, *Croissance : l'impossible nécessaire*, Paris, Planète bleue, 2004.

BARNOSKY Anthony D., HADLY Elisabeth A., BASCOMPTE Jordi *et al.*, « Approaching a state shift in Earth's Biosphere », *Nature*, vol. 486, n° 7401, 6 juin 2012, p. 52-58.

BOMFORD Michael et HEINBERG Richard, *The Food and Farming Transition. Toward a Post Carbon Food System*, Santa Rosa, Californie, Post Carbon Institute, 2009, <http://www.postcarbon.org/publications/food-and-farming-transition/>.

CARFS, Centre Africain de Recherche et de Formation en Synécoculture, <https://www.facebook.com/carfs.org/>.

CATFORD Jane A., DAEHLER Curtis C., MURPHY Helen T., SHEPPARD Andy W. *et al.*, « The intermediate disturbance hypothesis and plant invasions : implications for species richness and management », *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 14, n° 3, 20 juin 2012, p. 231-241.

CDB, Convention on Biological Diversity, Aichi Biodiversity Targets, 2010, <https://www.cbd.int/sp/targets/>.

EPA, United States Environmental Protection Agency, « Global Anthropogenic Non-$CO_2$ Greenhouse Gas Emissions : 1990-2030 », 12 janv. 2012.

FAO, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, « World Agriculture towards 2030/2050. The 2012 revision », ESA Working Paper n° 12-03, 2012.

FAO, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, « The State of Food and Agriculture », 2014.

FIR, Fair Trade International, « Powering up Smallholder Farmers to Make Food Fair », 2013.

FUNABASHI Masatoshi, « Fondation de la Synécoculture. Vers une agriculture de synthèse écologique et rentable », Actes du colloque « Les transversalités de l'agriculture biologique », Strasbourg 23 et 24 juin 2011, p. 500-506, 2011.

— « Comparison of major minerals uptake between conventional and non-tillage/non-fertilizer/nonchemical vegetables in Japan », *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 72, n° OCE5, 2013, <doi :10.1017/S0029665113003479>.

— (2016a), « Synecological farming : Theoretical foundation on biodiversity responses of plant communities », *Plant Biotechnology*, vol. 33, n° 4, p. 213-234.

— (2016b), *Synecoculture Manual 2016 Version (English Version)*, Research and Education material of UniTwin Unesco Complex Systems Digital Campus, e-laboratory : Open Systems Exploration for Ecosystems Leveraging, n° 2.

— (2017a), « Synecological Farming for Mainstreaming Biodiversity in Smallholding Farms and Foods : Implication for Agriculture in India », *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, vol. 30, n° 2, p. 99-114, <doi : 10.5958/0976-1926.2017.00016.X>.

— (2018a), « Augmentation of Plant Genetic Diversity in Synecoculture : Theory and Practice in Temperate and Tropical Zones », in N. Dilip, *Genetic Diversity in Horticultural Plants*, coll. « Sustainable Development and Biodiversity », Springer.

— (2018b), en collaboration avec Japan Anti-Aging Food Association et Energy Metabolism Laboratory, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japon.

— (2018c), en collaboration avec iMARe Life Rehabilitation Support Center, Tokyo, Japon.

— HANAPPE Peter, ISOZAKI Takashi *et al.* (2017b), *Foundation of CS-DC e-Laboratory : Open Systems Exploration for Ecosystems Leveraging*, First Complex Systems Digital Campus World E-Conference 2015, p. 351-374.

IAASTD, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, « Synthesis report with executive summary : A synthesis of the global and sub-global », IAASTD reports, 2009.

MAIRIE DE PARIS, « Les Parisculteurs », 2016, <www.parisculteurs.paris>.

MEGADIVERSITY MANAGEMENT SYSTEMS, 2018, <megadiversity.net>.

NIHEI Takaaki, *Energy Efficiency and Agricultural Regions in Japan*, Japon, University of Tsukuba Press, 2011.

PEREIRA Henrique M., LEADLEY Paul W., PROENÇA Vânia, ALKEMADE Rob *et al.*, « Scenarios for global biodiversity in the 21st century », *Science*, vol. 330, 2010, p. 1496-1501.

STEFFEN Will, RICHARDSON Katherine, ROCKSTRÖM Johan *et al.*, « Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet », *Science*, vol. 347, n° 6223, 2015, <doi : 10.1126/science.1259855>.

TINDANO André et FUNABASHI M., « Actes du 1er Forum African sur la Synécoculture », matériel éducatif et de recherche du Complex Systems Digital Campus, programme UniTwin de l'Unesco, laboratoire en ligne : Exploration en systèmes ouverts pour l'effet de levier écosystémique, n° 4, 2017.

— « Actes du 2e Forum Africain sur la Synécoculture », matériel éducatif et de recherche du Complex Systems Digital Campus, programme UniTwin de l'Unesco, laboratoire en ligne : Exploration en systèmes ouverts pour l'effet de levier écosystémique, n° 6, 2018.

UNITED NATIONS SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS, <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>.



UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, « Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification : Report of the Executive Director », UNEP/GC/SS.III/3, Nairobi, 1991.

WEBB Len et WILLIAMS Bill, « Synecology-Cinderella finds her coach », *New Scientist*, vol. 59, n° 858, 26 juil. 1973, p. 195-196.

YONG Raymond N., MULLIGAN Catherine N. et FUKUE Masaharu, *Geoenvironmental Sustainability*, États-Unis, CRC Press, 2006.