



Fondation de la Maison de la Chimie



Mercredi 4 novembre 2020

RECUEIL DES RÉSUMÉS





RESUMES DE LA TABLE RONDE ET DES CONFERENCES

TABLE RONDE : *Vecteurs d'Innovation industriels.*

Débats animés par **Delphine GUEY**, **Armand LATTES** et **Nadine VIVIER**,
avec la participation de :
(par ordre alphabétique des auteurs)

Pages

Nicolas BROUTIN

03

Décarboner la chaîne de production alimentaire. Rôle des fertilisants minéraux.

Bruno DESPREZ

04

*Innovations en termes de protection des cultures
et apports de l'amélioration génétique.*

Olivier GUERRET

05

*Développement d'une technique de confusion sexuelle
grâce à un procédé d'encapsulation douce.*

Benoît RABILLOUD

06

Contribuer à la transformation de l'agriculture grâce à des solutions combinatoires.



CONFÉRENCES :

Pages

(par ordre alphabétique des auteurs)

Jean-Louis BERNARD	07
<i>Biocontrôle, chimie et protection des plantes. Opposition et complémentarité.</i>	
Delphine BOUTTET	08
<i>L'agriculture numérique, opportunités et perspectives en grandes cultures.</i>	
Thierry CAQUET	09
<i>Recherche agronomique et transition agroécologique.</i>	
André FOUGEROUX	10
<i>Quelle agriculture voulons-nous ?</i>	
François KEPES	11
<i>Apport de la biologie de synthèse.</i>	
Bernard Le BUANEC	12
<i>Les défis techniques de l'agriculture et l'apport des technologies.</i>	
Jean-Yves Le DEAUT	13
<i>Agriculture du futur : s'appuyer sur les savoirs et non sur les croyances.</i>	
Catherine REGNAULT-ROGER	14
<i>Agriculture et Chimie : une synergie plus que séculaire !</i>	
Marie-Emmanuelle SAINT-MACARY et Gilbert GARAPIN	15
<i>Biostimuler l'interface sol/plante pour l'amélioration des productions végétales.</i>	
Patrick SAINDRENAN et Jean-Marc SENG	16
<i>Nouvelles approches en protection des plantes : les défis de la recherche.</i>	





**Table ronde animée par Delphine GUEY, Armand LATTES
et Nadine VIVIER**

Vecteurs d'Innovation industriels.

(par ordre alphabétique des auteurs)

**Décarboner la chaîne de production alimentaire.
Rôle des fertilisants minéraux.**

Nicolas BROUTIN

Président Yara France

Les éléments minéraux des fertilisants, comme ceux du sol, aident les cultures à convertir l'énergie solaire et le CO₂ captés par les feuilles, en une biomasse verte qui nourrit les Hommes. Au-delà de la sécurisation des besoins alimentaires, et contrairement à une idée reçue, ils améliorent aussi le bilan carbone des cultures en développant la biomasse totale qui fixe davantage de CO₂. Une nutrition équilibrée est essentielle car toute déficience en nutriments réduit la quantité et la qualité des cultures produites.

Les nutriments azotés, éléments majeurs de la croissance des plantes, aident les cultures à produire mieux. Cependant, un surplus d'azote ne signifie pas nécessairement un surplus de rendement, car de nombreux autres facteurs interviennent, définissant la dose optimum au-delà de laquelle tout apport devient inutile et donc nuisible pour l'environnement. Les éléments minéraux du sol sont la source naturelle des minéraux qu'on retrouve dans la chaîne alimentaire, mais ils doivent être renforcés de manière raisonnée pour répondre à la demande d'une population mondiale en pleine expansion. Aujourd'hui, près de 50 % de la population mondiale est nourrie grâce aux engrais minéraux. Cette part n'a d'ailleurs jamais cessé de progresser, contribuant à réduire drastiquement le spectre de la famine. L'agriculture, la foresterie et le changement d'utilisation des terres contribuent à environ 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, et l'empreinte carbone des cultures dépend essentiellement des émissions de GES à la production et à l'utilisation des engrais azotés. Toutefois, si les rendements des cultures étaient aussi bas aujourd'hui qu'en 1961, les émissions de GES de l'agriculture seraient 4,5 fois plus élevées car il aurait fallu compenser cette moindre productivité par l'utilisation de nouvelles terres (Burney et al. 2010, Stanford University).

Au niveau de la production, la technologie Yara de réduction du protoxyde d'azote (N₂O), puissant gaz à effet de serre, réduit les émissions des usines d'acide nitrique, précurseur des engrais à base de nitrate, de plus de 90 %. Les émissions de GES d'une tonne de blé fertilisé avec un engrais azoté utilisant les meilleures technologies disponibles (MTD) sont ainsi réduites de 30 % par rapport à un engrais azoté standard. La mise en place de ce procédé étendue aux producteurs européens fait que les émissions de GES de la production d'engrais à base de nitrate sont beaucoup plus faibles en Europe que dans les autres régions du monde. La technologie avancée de la production européenne a ainsi réduit l'empreinte carbone par tonne de blé de 36 % depuis le début du siècle.

L'amélioration du bilan carbone des cultures est un véritable atout dont profitera toute la chaîne de valeur agroalimentaire. A ce titre, la perspective d'utiliser l'hydrogène pour la fabrication de l'ammoniac « vert » du futur proviendra de l'électrolyse de l'eau, qui ne produit par ailleurs pas de CO₂, ce qui devrait entraîner à terme une utilisation plus large des fertilisants à base de nitrate.

Mots clés : Fertilisation, Minéraux, Nutrition, GES, Alimentation.



Innovation en termes de protection des cultures et apports de l'amélioration génétique.

Bruno DESPREZ

*Président de l'Association des Sélectionneurs Français,
Président de Florimond Desprez Veuve & Fils*

La résistance des plantes cultivées a toujours été un sujet important et cet intérêt va en s'amplifiant. La création variétale et en particulier la résistance aux bioagresseurs est aujourd'hui un axe de recherche prioritaire dans le contexte de l'agroécologie.

Parmi les différents points à améliorer, il faut intensifier/optimiser la découverte de nouvelles sources de résistance/tolérance et que celles-ci se trouvent rapidement utilisables ou transférables. La durabilité des solutions proposées est également un souci majeur. Pour répondre à ces objectifs, de nouveaux outils sont à disposition, notamment ceux qui permettent de mieux identifier les gènes impliqués (séquençage haut-débit, puces, marqueurs...). Pour aboutir, le sélectionneur se doit d'effectuer des phénotypages plus fins, moins destructifs, plus précoces, offrant au final une vision plus précise de l'évaluation. C'est ainsi qu'il pourra assigner ses ressources génétiques.

A titre d'illustration (1), le programme AKER (PIA - ANR – 11 – BTBR – 0007 /2012-2020) a particulièrement contribué à ces innovations. Une des originalités est le développement de phénotypages dynamiques avec pour objectif de décortiquer les comportements de betteraves à sucre. La variabilité des réponses a permis de relier à des régions génomiques un nombre impressionnant de données cumulées, rendant possible la sélection dans des génomes déjà très performants. Pour éviter au mieux la cohabitation entre une ressource utile et un fardeau génétique et, surtout, pour cribler des ressources déjà plus proches d'un matériel dit élite et donc rapidement utilisable, une collection de référence performante a été constituée, permettant au sélectionneur d'y puiser de la variabilité utile. Pour soutenir ce processus, le phénotypage à la fois de haut débit et de précision a permis de cibler des zones génomiques fines. Grâce au séquençage complet des génomes et des croisements assistés par puce génétique, l'approche déployée permet d'atteindre à terme le ou les gène(s) impliqué(s) ouvrant d'autres perspectives. L'étude d'un gène de résistance à la Rhizomanie (utilisé dans les variétés commerciales) et sa distribution haplotypique au sein des accessions exotiques est ainsi un exemple de stratégie potentielle favorisant la recherche de nouvelles sources dans un contexte génétique proche variable. Connaître la séquence d'un gène peut aussi se révéler utile dans le cadre de la gestion spatio-temporelle des résistances. Une étude récente sur le gène Stb16q de résistance à la septoriose chez le blé montre ainsi que, bien que contournée, cette ressource pourrait redevenir une source intéressante.

Les connaissances génétiques accumulées ont aussi permis le développement d'une autre approche innovante, la Génétique Paysagère. En combinant les descripteurs environnementaux et la génétique (fréquences alléliques), elle s'est ainsi révélée accompagner la présélection de plantes ressources aux variabilités plus durables.

Référence :

1. Huyghe C., Desprez B., Laudinat V., La Betterave sucrière. L'innovation compétitive. Editions Quae, ISBN : 978-2-7592-3157-7, 152 pages, 2020.

Mots Clés : Création variétale, Protection des Plantes, Innovation, Génétique.



Développement d'une technique de confusion sexuelle grâce à un procédé d'encapsulation douce.

Olivier GUERRET

M2i Biocontrol - Groupe M2i, Saint Cloud

Le développement de technologies de biocontrôle implique de nombreuses compétences techniques pour concevoir, industrialiser, homologuer des solutions efficaces pour substituer tout ou partie des insecticides chimiques. Ces compétences vont de la chimie organique à l'agronomie en passant par la physico chimie, l'analyse chimique et la modélisation.

Le travail réalisé par les équipes de M2i venant de tous ces horizons, a consisté à développer une solution de lutte par confusion sexuelle contre l'eudémis (ver de la grappe) adaptée aux usages traditionnels des viticulteurs. La première étape du travail a permis d'assurer un accès industriel à une nouvelle qualité ultra pure du composant de la phéromone sexuelle. La technologie offre en plus une simplification drastique du procédé de fabrication.

Dans un second temps, la phéromone a été microencapsulée par une méthode douce permettant de préserver la qualité initiale de l'actif phéromonal. La microencapsulation conduit à des suspensions de capsules aux caractéristiques modulables en fonction du mode d'application choisi.

Des études de microscopie électroniques ont permis de caractériser ces microcapsules et de démontrer leur stabilité, depuis leur fabrication jusqu'à leur action de relargage dans les vignes.

A ce point, il a été nécessaire de mettre au point des nouvelles méthodes d'évaluation de manière à démontrer le caractère passif de l'action des microcapsules. Un système d'analyse dynamique a été développé au sein du laboratoire commun entre l'université de Pau Pays de l'Adour et le centre de recherche de M2i. Cette méthode d'étude nouvelle est une innovation majeure dans le domaine de l'étude environnementale des phéromones.

Enfin des séries d'essais en conditions réelles ont permis d'ajuster les protocoles d'utilisation des microcapsules dans les champs. La comparaison systématique des effets de protection des microcapsules a été réalisée vis-à-vis de systèmes alternatifs (diffuseurs passifs en plastiques ou vaporisateurs de phéromone et insecticides conventionnels). L'ensemble de ces résultats démontre l'efficacité de protection à un coût pour la première fois abordable par l'ensemble de la profession viticole.

Mots Clés : Confusion sexuelle, Phéromone, Catalyse, Eudémis, Microcapsules.



Contribuer à la transformation de l'agriculture grâce à des solutions combinatoires.

Benoît RABILLOUD

Président de Bayer France

Les attentes des consommateurs concernant leur alimentation et l'agriculture nourricière sont fortes et ont évolué très significativement ces dernières années. Les enjeux environnementaux sont de plus en plus présents, mais les Français sont-ils prêts à mettre en phase leurs convictions et leurs habitudes de consommation ?

Pour Bayer, il n'existe pas une mais DES agricultures qui peuvent tout à fait coexister. Quel que soit le type d'agriculture, Bayer cherche à accompagner les agriculteurs dans leurs missions au quotidien. Apporter des solutions aux agriculteurs, tout en répondant aux attentes des consommateurs, est possible. Ainsi, les piliers fondamentaux de nos activités (produits phytosanitaires, produits de biocontrôle, semences, agriculture digitale) nous permettront de répondre à l'attente écologique par l'innovation.

Tout comme la coexistence des agricultures que nous appelons de nos vœux, nous n'opposons pas la chimie et les substances naturelles, qui sont des solutions que l'on peut utiliser selon une approche combinatoire, particulièrement intéressante pour nombre de type de cultures. On oublie un peu trop vite que la chimie peut apporter de réels bénéfices sur le plan environnemental, et il ne faut pas penser que la nature est sans danger. Bien sûr, la nature regorge de ressources, qu'il convient d'exploiter avec responsabilité. C'est cette complexité qu'il nous faut embrasser pour apporter les solutions dont les agriculteurs ont besoin. Une grande partie de la R&D de Bayer est aujourd'hui consacrée au développement de solutions d'agriculture raisonnée, solutions d'avenir par excellence. Mais il est indispensable d'intégrer le pas de temps de l'innovation : les attentes sociétales exigent une réponse immédiate alors que l'on a besoin de 10 ans pour développer une innovation !

Mots Clés : Attentes des Consommateurs, Solutions Combinatoires, Chimie & Nature, Temps de l'Innovation.



Conférences Plénières et Sessions parallèles

(par ordre alphabétique des auteurs)

Biocontrôle, chimie et protection des plantes. Opposition et complémentarité.

Jean-Louis BERNARD

Académie d'agriculture de France

Le brouhaha médiatique qui entoure aujourd'hui l'agriculture ne doit pas masquer que, dans l'état actuel des techniques de protection des plantes, 25 à 50 % des récoltes sont perdues en moyenne dans le monde du fait des maladies, des animaux ravageurs ou des adventices. Dans les pays développés, toutes les formes d'agriculture s'efforcent donc de minimiser ces pertes par des moyens variés.

Pour cela, les agriculteurs utilisent tout d'abord des mesures agronomiques (ex : rotations, dates de semis...), puis font appel à des moyens d'intervention directe lorsque les mesures précédentes n'ont pas été suffisantes pour prévenir les pertes économiques. Ces moyens sont de type mécanique (labour, sarclage...), biologique (bactéries, auxiliaires...) ou chimique (herbicides, fongicides...). Ils sont employés en fonction de leur disponibilité et de leur efficacité. Or, il est courant de les voir opposés dans les médias, les cahiers des charges, voire dans les textes réglementaires selon des critères discutables et discutés.

Le Code Rural (art. L-253-6) reconnaît quatre catégories de solutions de biocontrôle : les macroorganismes, les microorganismes, les médiateurs chimiques et les substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale. Sur le plan national ou international, il existe d'autres définitions du biocontrôle pouvant exclure les substances minérales ou inclure les variétés résistantes (voire PGM), les substances élicitrices ou la lutte autocide.

Les atouts du biocontrôle dépendent de la nature des moyens utilisés. Bon nombre possèdent des impacts environnementaux modérés, bénéficient d'investissements croissants et d'une opinion publique porteuse mais peu rationnelle. Cette dynamique est contrebalancée par la prudence des utilisateurs qui demandent des preuves de la valeur de ces solutions, s'interrogent sur leur coût ou les surcoûts correspondants et expriment leurs attentes en matière de formation et de conseil.

En dépit de sa croissance, le biocontrôle ne propose encore qu'une petite partie des réponses au parasitisme. Sur la plupart des cultures en plein air et sauf à accepter de forts écarts de rendement, il ne peut répondre à l'ensemble des besoins. La plupart de ses solutions visent des ravageurs et les propositions pour le désherbage sont très rares. Mises ensemble, les solutions de biocontrôle des quatre groupes majeurs représentent environ 6 % du marché mondial en valeur.

Afin de protéger les cultures par des moyens efficaces et économiques en évitant les positions idéologiques, il conviendrait d'évaluer l'ensemble des solutions existantes avec les mêmes critères agronomiques, toxicologiques et environnementaux pour en cerner objectivement les avantages et les limites. Pour l'heure, nous devons assurer une cohabitation harmonieuse entre des solutions de biocontrôle en nombre croissant et celles issues d'une chimie de synthèse qui s'est largement renouvelée depuis vingt ans. C'est l'objectif de la protection intégrée des cultures dont la mise en œuvre s'étend avec régularité à défaut d'être partout le socle des pratiques agricoles.



L'agriculture numérique, opportunités et perspectives en grandes cultures.

Delphine BOUTTET^{a,*}, Caroline DESBOURDES^b, Olivier DEUDON^a, Emmanuelle GOURDAIN^a

^a Responsable Digifirme - ARVALIS - Boigneville

^b Spécialiste Agriculture de précision - ARVALIS - Ouzouer

^a Spécialiste données agro-climatiques - ARVALIS - Boigneville

^a Responsable Service innovations digitales et méthodologiques - ARVALIS - Boigneville

L'agriculture constitue un domaine d'application privilégié pour les technologies du numérique. Ces innovations numériques doivent contribuer à la multi-performance des fermes (performances : technique, économique, environnementale, sociale).

Le pilotage tactique des fermes s'est, depuis plusieurs années, amélioré grâce aux outils d'aide à la décision. Ces solutions numériques, qui reposent très souvent sur l'utilisation de données météo locales et fiables, permettent d'aider les agriculteurs à prendre les bonnes décisions au quotidien : contrôle des bioagresseurs, gestion de la nutrition des plantes, de l'irrigation, mais aussi du stockage des grains. Par ailleurs, la multiplicité des capteurs (embarqués, satellites, IoT, etc.) couplés à ces outils permet d'envisager la fourniture de conseils plus précis et spatialisés. Autrement dit le numérique contribue particulièrement à l'adage suivant : « la bonne dose, au bon endroit, au bon moment ». De nouveaux modèles, capteurs et des stations météo dites « connectées » sont actuellement testés sur la Digifirme[®] de Boigneville. Maillon essentiel de la chaîne de traitement, la qualité et la fiabilité des données météo sont étudiées à travers la comparaison de sorties d'outils d'aide à la décision utilisant données de référence vs données de la station « connectée ». Connectivité, transmission en temps réel, continuité des données sont autant d'aspects également regardés. À terme, ces stations connectées, plus abordables économiquement, permettront de démocratiser l'accès et l'utilisation des modèles agronomiques, et favoriser une agriculture plus responsable et plus résiliente. Par ailleurs, la digitalisation de l'agroéquipement fait l'objet de nombreux essais dans les Digifermes[®] d'ARVALIS. Technologies de guidage ou de localisation des intrants via des machines agricoles ou des robots sont testées, ce qui permet d'estimer leur maturité et donc leur date probable d'arrivée dans les fermes.

Dans un environnement de plus en plus instable (climat, disponibilité en intrants, prix), le développement de technologies permettant d'aider le producteur dans sa prise de décisions stratégiques devient indispensable.

La réussite du pilotage tactique et stratégique des exploitations agricoles passera par la valorisation en temps réel des données produites sur les fermes. La circulation, la maîtrise, la valorisation des Data agricoles est aujourd'hui un enjeu majeur.

Initié en 2016 par ARVALIS, le label Digifermes[®] regroupe aujourd'hui un réseau de 13 fermes expérimentales partenaires (www.digifermes.com) qui ont pour objectif la mise au point, l'évaluation et le déploiement d'innovations numériques au service de tous les agriculteurs. Chaque ferme est appuyée par une structure de Recherche, Développement et Innovation, ce qui lui permet de s'appuyer sur une excellence méthodologique pour mener des évaluations objectives avec rigueur des nouveautés technologiques.

Mots Clés : Digifermes[®], fermes numériques.



Recherche agronomique et transition agroécologique.

Thierry CAQUET

INRAE - Institut National de la Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

L'agroécologie vise à valoriser les processus biologiques pour couvrir à la fois les attentes de production et l'ensemble des autres services écosystémiques fournis par les agroécosystèmes. A travers les pratiques, il s'agit de favoriser les fonctionnalités écologiques qui garantissent la pérennité des systèmes, notamment en termes de reconstitution de stocks de nutriments et de maintien du potentiel productif. Une des motivations est de renforcer la résilience des agroécosystèmes face à un contexte changeant. La réduction de la vulnérabilité des agrosystèmes, autrefois permise par un recours de court terme aux intrants, peut désormais être pensée au travers d'une plus grande stabilité des productions dont la diversité serait un facteur essentiel. La transition agroécologique va donc notamment viser la substitution des intrants par des processus biologiques pour aboutir à des systèmes plus divers et résilients, mieux adaptés aux évolutions de l'environnement et aux attentes sociétales.

Un premier enjeu de la transition est de passer d'un paradigme fondé sur « l'individu idéal », qui vise à obtenir l'individu, animal ou végétal, le plus performant dans un environnement rendu optimal et qui a forgé les systèmes agricoles actuels, à un nouveau paradigme fondé sur les interactions entre individus et leur intégration dans des écosystèmes, qu'il s'agisse du champ ou du paysage. La recherche s'intéresse alors aux fonctions et services écosystémiques, en s'inspirant des recherches en écologie fonctionnelle, qu'il s'agit d'adapter et de mettre à profit.

Un second enjeu est de passer d'un paradigme basé sur des normes et des référentiels, qui permet leur utilisation partout et en toutes circonstances (pour le conseil, la vente, etc.), et qui était devenu l'objectif de l'accompagnement de la production agricole, à un paradigme de diversification sociotechnique, spécifique d'un milieu et aboutissant à des trajectoires des filières avec des transitions voire des ruptures. Les systèmes correspondants sont alors caractérisés par des valeurs, des dimensions humaines, économiques et sociologiques, assumées, reconnues voire aidées, dans les territoires.

Trois domaines prioritaires pour la recherche agronomique en appui à la transition agroécologique ont été identifiés [1] : (i) placer le vivant au cœur de la conception des agroécosystèmes, et ceci à toutes les échelles ; (ii) considérer la diversité des agroécosystèmes et l'hétérogénéité des produits ; et (iii) favoriser le changement d'échelle de l'agroécologie en prenant en compte des étendues spatiales supérieures à celles de la parcelle ou de l'exploitation. La transition agroécologique implique un processus adaptatif qui se construit en avançant, dans une trajectoire qui n'est pas totalement définie au préalable : la phase de transition apparaît donc aussi comme un objet de recherche en tant que tel.

[1] Caquet T., Gascuel C. & Tixier-Boichard M., *Agroécologie – Des recherches pour la transition des filières et des territoires*. Editions Quae, Versailles, 2020.

Mots Clés : Diversification, Reconception, Changement d'échelle, Trajectoire.



Quelle agriculture voulons-nous ?

André FOUGEROUX

Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France

Les questions relatives à la santé et l'alimentation font naturellement partie des préoccupations principales de nos concitoyens. Si notre alimentation dépend directement de notre agriculture, la santé, quant à elle, résulte de nombreux facteurs dont la qualité de notre alimentation et de notre environnement pour lesquels l'agriculture joue un rôle majeur. Au cours des siècles, l'agriculture française est passée par diverses étapes mais, pendant longtemps, la production agricole ne couvrait qu'insuffisamment les besoins alimentaires des français. Les famines succédaient régulièrement aux disettes avec le cortège d'horreurs qu'elles engendraient. Au XVIII^e siècle on compte 16 épisodes de famine qui ont conduit à la Révolution. Dès lors, la demande faite à l'agriculture fut simplement de nourrir la population. Les sciences ont été fortement sollicitées et l'amélioration progressive des productions a permis au milieu du XIX^e siècle d'atteindre la production moyenne de 2000 calories par habitant. Les rendements étaient encore faibles, mais les famines ont disparu des actualités métropolitaines. Cependant, la croissance exponentielle de la population mondiale et la mondialisation ont généré une nouvelle demande sociétale pour répondre à la demande alimentaire croissante des populations, faire de notre agriculture un secteur économique exportateur et améliorer la qualité et la diversité de notre alimentation. Au sortir de la guerre, et tout au long de la seconde moitié du XX^e siècle, parmi les défis liés au changement global et aux enjeux géopolitiques mondiaux, resurgit une question que l'on croyait résolue celle de la subsistance. Comment nourrir le monde dont la population a triplé en 70 ans et qui devrait atteindre 10 milliards d'habitants à la mi-temps de ce siècle ? Les grands pays agricoles se sont alors employés à satisfaire la demande mondiale en quantité d'abord mais aussi en qualité. Pour la France, il faudra attendre les années 70 pour devenir exportateur. Cette prouesse le doit pour beaucoup à l'amélioration génétique, au progrès de la mécanisation, de la fertilisation et de la protection des cultures, et dans toutes ces technologies la chimie, qu'elle soit organique, minérale ou biologique, est un levier majeur de progrès. Bien sûr le système agricole et alimentaire français reste perfectible, mais selon l'Index de durabilité des systèmes alimentaires et pour la troisième année consécutive, il est élu le plus durable au monde.

Ce progrès a été accompagné d'excès, d'erreurs et de nouveaux enjeux sont apparus : la gestion des ressources, la préservation de l'environnement, l'adaptation au réchauffement climatique, tout en augmentant la production alimentaire mondiale de 70 % selon les souhaits de la FAO et sans augmenter les surfaces agricoles. C'est un formidable défi pour lequel les sciences et les technologies doivent se mobiliser. Cet enjeu planétaire touche chacun d'entre nous et les orientations de notre agriculture font débat : agriculture industrielle, biologique, biodynamique, urbaine, agroécologie, abandon de l'élevage... Un contrat doit être passé entre la société devenue très urbaine et les agriculteurs afin que cesse cette défiance entre consommateurs et producteurs. Il n'y a pas de recette miracle mais il faut d'urgence une réponse à la question : Quelle agriculture voulons-nous et quel rôle la chimie doit-elle jouer ?

Mots clés : Agriculture, Alimentation, Durabilité.



Apport de la biologie de synthèse.

François KEPES^{a, b}

^a Membre de l'Académie des Technologies

^b Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France

La biologie de synthèse est l'ingénierie rationnelle de la biologie et le fer de lance des biotechnologies. Plus précisément, elle a été définie par le réseau de l'espace européen de recherche en biologie de synthèse (ERASynBio) comme le design délibéré et la construction de systèmes, basés sur ou inspirés par la biologie, pour mettre en place de nouvelles fonctions à des fins utiles, en s'appuyant sur des principes élucidés en biologie et en sciences de l'ingénieur.

Or les biotechnologies entretiennent depuis longtemps de fructueuses interactions avec les travaux d'amélioration et adaptation dans l'agriculture. Notre propos est ici plus étroit et embrasse préférentiellement les apports de la biologie de synthèse. De nombreuses modifications pourraient en principe être apportées aux plantes dans le but d'améliorer leur photosynthèse et leur croissance, de recourir à moins de produits phytosanitaires, ou d'altérer leur composition pour faciliter leur usage. Nous distinguons ci-dessous six cibles d'action :

1. choix et amélioration des plantes pour une croissance maximisant la biomasse ;
2. amélioration de la saccharification ;
3. amélioration du processus de photosynthèse par le photosystème de type II ;
4. modification du riz pour produire des composés photosynthétiques à 4 carbones ;
5. résistance des plantes aux parasites et à la sécheresse ;
6. fixation de carbone par une voie optimisée totalement synthétique.

Cependant, il est trop tôt pour savoir quelles seront les avancées qui mèneront à des innovations à grande échelle, parmi celles qui viennent d'être discutées ou d'autres qui n'ont pas encore percé. Mais il est déjà certain, par analogie avec le passé récent, et au vu de la situation planétaire évoquée en introduction, que les adaptations variétales des plantes, les modifications plus complexes des plantes, et l'usage raisonné de la biomasse, vont occuper dorénavant une place croissante dans les préoccupations techniques, scientifiques, énergétiques, économiques, politiques, et éthiques de l'humanité. La pression démographique rendra de plus en plus intenable les positions de principe visant à interdire les méthodes les plus efficaces pouvant être utilisées pour réaliser ces adaptations. Alors les gains en efficacité et rapidité que permet le domaine mouvant de la biologie de synthèse et ses futurs épigones ne constitueront plus un atout pour certains, mais une nécessité pour tous.

Mots Clés : Biologie de synthèse, Biotechnologie, Photosynthèse, Amélioration des plantes.



Les défis techniques de l'agriculture et l'apport des technologies.

Bernard Le BUANEC

Académie d'agriculture de France, Académie des technologies

Les agricultures française et européenne font face à de nombreux défis tant sociétaux que techniques. Face à ce constat, les Académies d'agriculture de France et des technologies ont établi un groupe de travail commun fort de trente-deux membres de différentes disciplines pour analyser la situation, essentiellement sur les aspects techniques.

Dans une première étape le groupe a auditionné dix agriculteurs et agricultrices représentant des productions diverses sous différents modes de culture, conventionnels et biologiques. Les trois défis techniques principaux présentés, quel que soit le type d'agriculture, ont été le parasitisme, maladies et ravageurs avec un regard particulier sur le changement climatique et les maladies émergentes, la maîtrise des plantes adventices et les effets de la sécheresse. Les années 2019 et 2020 confirment bien ce dernier problème de plus en plus préoccupant

Ces défis ont été ensuite présentés à des chercheurs et des industriels du secteur agricole pour réfléchir aux solutions que pourraient apporter les développements récents des innovations.

Plusieurs approches peuvent être envisagées telles que le choix de la rotation, l'amélioration variétale, les traitements phytopharmaceutiques qu'ils soient de synthèse ou biologiques, la robotique, l'agriculture de précision et l'irrigation. Elles ne s'excluent pas les unes des autres mais sont complémentaires. Des progrès sont en cours dans tous ces domaines mais ils sont incrémentaux. Il faut toutefois noter une révolution en cours : l'apparition des données massives et leur application à l'agriculture grâce au développement du numérique. Cette révolution a un effet d'accélération dans tous les domaines techniques de l'agriculture. En plus d'innovations techniques nous allons aussi vers une innovation organisationnelle.

Les pistes de progrès sont donc nombreuses. Pour qu'elles se développent il faudra faire les bons choix techniques, politiques et réglementaires en étant conscient du facteur temps. L'évolution d'un agrosystème, organisme vivant, ne peut se faire sans un temps minimum d'adaptation.

Les détails de ces travaux ont été publiés en mai 2019¹.

Mots Clés : Agriculture défis techniques, Parasitisme, Désherbage, Sécheresse, Réglementations.

¹ Bernard Le Buanec (Dir) 2019 : L'agriculture face à ses défis techniques, l'apport des technologies, Presses des Mines éditeur, 282 pages.



S'appuyer sur les savoirs et non sur les croyances.

Jean-Yves LE DEAUT

Biochimiste, Professeur des Universités et Parlementaire Honoraire,
ex-Président de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques
et Technologiques (Opecst) et membre de l'Académie d'agriculture de France

La chimie et les biotechnologies sont compatibles avec l'agriculture durable. La perception des citoyens reste cependant très éloignée de l'apport que l'innovation pourrait apporter au progrès. Depuis une vingtaine d'années, l'utilisation de produits de protection des cultures ainsi que les nouvelles technologies en agriculture sont mises au banc des accusés, responsables pour certains de la perte de la biodiversité, du réchauffement climatique, des pollutions environnementales, de la malbouffe et d'impacts sur la santé humaine.

Je développerai l'exemple des nouveaux outils apportés par la « modification ciblée du génome » qui illustre cette problématique. Les traits recherchés permettent la création de nouvelles plantes, moins consommatrices en intrants et notamment en engrais, utilisant mieux l'azote, allongeant la durée de consommation, mieux adaptés aux changements climatiques, améliorant la qualité nutritionnelle des aliments.

Ces techniques de sélection permettent des modifications beaucoup plus ciblées, plus sûres, plus précises, plus rapides pour la sélection des plantes. Les méthodes traditionnelles de mutagenèse chimique ont consisté en une sélection de mutations effectuées au hasard, et n'ont jamais été réglementées. Il serait illogique de préconiser plus de réglementations pour des technologies ciblées où les modifications du génome sont parfaitement connues que pour des techniques aléatoires utilisées depuis 80 ans sans impact en matière sanitaire. Mais les controverses successives, le pilonnage et l'activisme de certains groupes organisés ont frappé l'opinion publique sur des risques sanitaires qui, aujourd'hui, avec vingt ans de recul, ne sont pourtant pas avérés. Les plus hautes instances juridiques, comme le Conseil d'Etat en France, qui tranche les litiges relatifs aux actes de l'administration ou encore la Cour de Justice de l'Union Européenne ont rendu des décisions incohérentes, influencés par ces agitateurs qui entretiennent une confusion de plus en plus marquée entre ce qui relève des savoirs issus d'une démarche scientifique et rigoureuse et ce qui relève des croyances ou des manipulations. Cette dérive conduit à ce que le débat public soit approprié par ceux qui cultivent la peur et qui traduisent cette peur non par le principe de précaution, mais par le principe d'inaction, empêchant de fait toute recherche, menaçant les fondements de la recherche scientifique et notre démocratie. Que signifie le droit s'il ne prend pas en compte les évolutions de la science ?

La vraie question de fond est de savoir comment dès la deuxième moitié du 21^{ème} siècle, on pourra nourrir près de 10 milliards d'individus sans prélèvements et destructions supplémentaires pour la planète. Pour y parvenir, il faut impérativement réconcilier biotechnologies et agro-écologie.

Les risques ne doivent pas être balayés d'un revers de main, mais plutôt évalués rationnellement, en tenant à distance les croyances, les partis pris idéologiques, la propagande et les discours sectaires. Car, comme le disait fort justement le mathématicien, philosophe et prix Nobel de littérature Bertrand RUSSEL : « La science n'a jamais tout à fait raison, mais hélas elle a rarement tout à fait tort et, en général, elle a plus de chance d'avoir raison que les théories non scientifiques. Il est donc rationnel de l'accepter à titre d'hypothèse ».

Mots clés : Agriculture durable, Modification du génome, Savoirs, Croyances, Démocratie.



Agriculture et Chimie : une synergie plus que séculaire !

Catherine REGNAULT-ROGER

Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA E2S)
Académies d'agriculture de France et nationale de Pharmacie

Délaissant les ressources aléatoires de la cueillette et de la chasse pour mettre en œuvre une production plus pérenne d'espèces végétales ou animales sélectionnées pour se nourrir, l'Homme inventa l'agriculture. Basée sur des observations judicieuses, celle-ci s'enrichit au fil du temps d'un savoir, au départ pragmatique, puis de plus en plus raisonné reposant sur la compréhension des phénomènes et du fonctionnement des milieux agricoles et des organismes vivants que sont les plantes cultivées et le bétail. Le développement d'une agriculture moins tâtonnante et plus productive repose dès le XIX^e siècle sur l'essor des connaissances en chimie, physique et biologie, au XX^e siècle en génétique, biochimie, biologie moléculaire avec la découverte de la structure chimique de l'ADN qui ouvrit la porte à la génomique, aux biotechnologies et au génie génétique, et au XXI^e siècle sur l'informatique.

La structure physico-chimique des organismes vivants, le fonctionnement intime des cellules et des organes, les métabolismes ont pu être appréhendés grâce à de nouveaux appareils de mesure, d'observation et d'analyse des constituants chimiques. Les réactions biochimiques en sont la clef. La chimie analytique qui se perfectionne avec des instruments de mesure de plus en plus précis et sophistiqués (spectromètre, chromatographe etc.) contribue à mieux comprendre les phénomènes de transformation au sein des organismes vivants. Ainsi, on sait aujourd'hui que les engrais à base d'azote, de phosphore et de potassium sont indispensables au développement des plantules. La protection des cultures contre leurs bio-agresseurs que sont les micro-organismes pathogènes, les insectes ravageurs ou encore les adventices indésirables, nécessite de comprendre l'essence des interactions et les mécanismes des relations au sein des populations ou d'une espèce, et entre les espèces. La communication entre les organismes au sein des écosystèmes met en jeu des médiateurs chimiques qui sont étudiés par une nouvelle discipline, l'Ecologie chimique, qui vit le jour en 1970.

À la moitié du XX^e siècle, fort des succès remportés par le DDT (dichloro-diphényle-trichloro-éthane), un insecticide organochloré utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour juguler des épidémies et maladies (typhus, malaria), le contrôle des insectes ravageurs et des maladies par les produits phytopharmaceutiques de synthèse a permis de sauver des récoltes, de libérer les écoliers des campagnes d'hannetonnage, d'assainir les milieux et d'améliorer les conditions de vie des agriculteurs. Mais ces succès se sont accompagnés dans certains cas d'effets environnementaux négatifs par manque de connaissances. Aujourd'hui une compréhension plus étayée des phénomènes développe de nouvelles façons d'interagir, les démarches agro-écologique, biotechnologique et numérique afin de limiter les nuisances de ces bioagresseurs tout en préservant au mieux les milieux physico-chimiques dans lesquels nous vivons.

De ce survol historique, une évidence s'impose : la chimie est bien la discipline-clef pour appréhender l'évolution de l'agriculture et un des outils nécessaires à sa durabilité.

Mots clés : Agriculture, Chimie, Évolution, Interactions.



Biostimuler l'interface sol-plante pour l'amélioration des productions végétales.

M.E. SAINT-MACARY^{a,*}, G. GARAPIN^a, G. DESBROSSES^b, O. DEMARLE^a

^a Centre de Recherche Frayssinet, La Mothe

^b UMR BPMP, INRAe Montpellier

Longtemps oublié ou considéré comme simple substrat, le compartiment sol apparaît aujourd'hui comme élément essentiel de l'agriculture et de son impact environnemental. Or, l'appauvrissement des sols agricoles en matières organiques conduit à des sols improductifs, plus sensibles aux aléas climatiques et aux stress biotiques. Ainsi, la restauration des sols par la réintroduction d'un stock de carbone (humus) et l'apport d'éléments organiques favorisant la vie apparaît désormais un levier majeur pour une production agroécologique.

En production végétale, les interactions biochimiques qui composent les organismes vivants sont soumises à des contraintes biotiques à l'échelle de l'agrosystème et plus localement aux spécificités pédologiques faisant intervenir la physico-chimie des sols. De plus en plus, les recherches en agronomie se focalisent sur la rhizosphère et son rôle écosystémique. En effet, les échanges moléculaires de ce compartiment apparaissent cruciaux tant pour les échanges nutritionnels (chaîne trophique) que pour le dialogue entre les organismes qui le compose (antibiose, symbiose...)¹. Au niveau de la plante, ces interactions, positives ou négatives, font appel à des composés chimiques que sont des métabolites secondaires (flavonoïdes, acides phénoliques...). Au niveau des organismes symbiotiques, la famille chimique des lipo-chitoooligosaccharides (LCO) a été identifiée comme source de signaux (facteurs Nod / Myc) permettant l'établissement de symbioses avec la racine². Les acides organiques excrétés par les racines sont également des molécules jouant un rôle dans la solubilisation des éléments de la rhizosphère, de même que certains métabolites issus des exsudats racinaires façonnent le microbiote de la rhizosphère. La réintroduction de microorganismes bénéfiques dans les sols agricoles, pratique développée ces dernières décennies, présentent un certain nombre de limites en termes d'efficacité³. Le développement de biostimulants ciblant la rhizosphère est donc un enjeu majeur pour l'agriculture. A titre d'exemple, la molécule OSYR® (Frayssinet), de par son effet de stimulation de la croissance racinaire, promeut l'établissement ou l'implantation des cultures, limitant les effets négatifs des stress environnementaux sur les rendements. Ainsi, des produits de stimulation visant chacun de ces organismes et/ou de leurs interactions apparaissent des outils moléculaires prometteurs permettant une meilleure adaptation / productivité de la plante cultivée.

¹Lemanceau P, Mazurier S., Pivato B., Avoscan L. Compréhension et valorisation des interactions entre plantes et microorganismes telluriques : des enjeux majeurs en agroécologie. Chapitre 10, p 207. Les sols et la vie souterraine. Quae 2017

²V. Saint Ges, 2014. Facteurs Nod et Myc : des molécules signal au champ pour un gain de productivité des cultures. Executive Summary. ASPIRA. INRA.

³Alabouvette C. & Cordier C., 2018. Fertilité biologique des sols : des microorganismes utiles à la croissance des plantes. Innovations Agronomiques 69 (2018), 61-70

Mots Clés : Agroécologie, Sol, Biostimulant, Rhizosphère, Agronomie.



Nouvelles Approches en Protection des Plantes : les défis de la recherche.

Jean-Marc SENG^{a*} et Patrick SAINDRENAN^b

^aUniversité Paris Saclay

^bCNRS, membre du Haut Conseil des Biotechnologies et expert auprès de l'ANSES

Il existe depuis un certain nombre d'années, une volonté accrue de réduire la dépendance de l'agriculture aux pesticides de synthèse par la mutation profonde des systèmes de production et des filières. L'un des objectifs du plan Ecophyto II+ qui vise à réduire les usages de produits phytopharmaceutiques de 50 % d'ici 2025, passe par une amplification des efforts de recherche, développement et innovation.

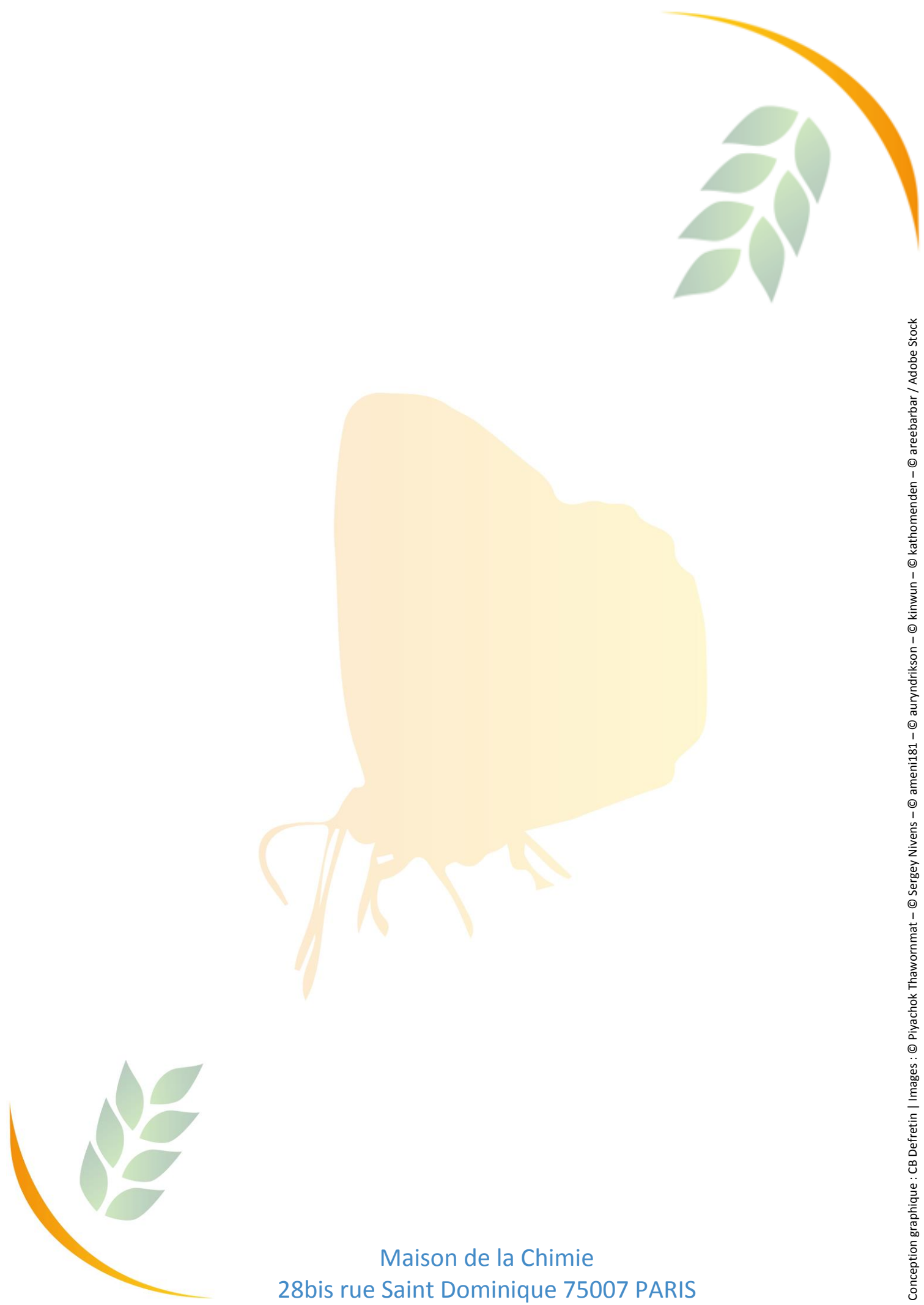
On assiste ainsi au développement de nouvelles approches en protection des plantes que l'on regroupe sous le terme de méthodes alternatives. Elles se différencient d'autres solutions à action directe (apport de fongicides, d'engrais, etc.) considérées comme plus conventionnelles.

Nous décrivons ici l'intégration de connaissances fondamentales autour d'une finalité pratique, à travers l'utilisation du biocontrôle des cultures par des microorganismes et par la lutte contre les Oomycètes à l'aide de Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP). On s'intéressera ensuite aux limites posées par ces deux méthodes alternatives et aux obstacles à franchir lors du passage au champ, des connaissances acquises au laboratoire.

Enfin, la place des méthodes alternatives par rapport aux méthodes conventionnelles sera discutée en fonction des avancées à venir de la recherche/développement.

¹Massoud, K., Barchietto, T., Le Rudulier, T., Pallandre, L., Didierlaurent, L., Garmier, M., Ambard-Bretteville, F., Seng, JM., Saindrenan, P. (2012) Dissecting phosphite-induced priming in *Arabidopsis* infected with *Hyaloperonospora arabidopsidis*. *Plant Physiol.* 159, 286-298.

Mots Clés : Biocontrôle microorganismes, Stimulateurs de défense des plantes, Oomycètes.



Maison de la Chimie
28bis rue Saint Dominique 75007 PARIS