

# TELECOM

LA REVUE DE L'ASSOCIATION TELECOM PARIS ALUMNI

DOSSIER

## AGRITECH



**Page 44**



PRIX DES  
TECHNOLOGIES  
NUMÉRIQUES

**Édition 2025**

**Page 72**

**Michel Devoret (1975),  
lauréat du prix Nobel  
de Physique 2025**



INSTITUT  
POLYTECHNIQUE  
DE PARIS

VOTRE RÉSEAU **POUR LA VIE**

**#218**  
NOVEMBRE 2025



## TELECOM n°218 - NOVEMBRE 2025

est édité par l'Association Télécom Paris alumni.  
Dépôt légal à parution.

### Directeur de la publication :

Hélène Haverbeke (1993)

**Direction de la rédaction :** Marylin Arndt (1981) et  
Michel Cochet (1973)

**Secrétaire de rédaction :** Néhémie Monteiro

### Rédacteurs en chef du dossier *Agritech* :

Michel Cochet (1973) et Romain Faroux

### Rédacteurs en chef du dossier *Le Prix des technologies numériques* :

Corine Garcia et Néhémie Monteiro

**Comité de rédaction :** Marylin Arndt-Vincent (1981),  
Marc Bethenod (1981), Gérard Cambillau (1973),  
Michel Cochet (1973), Wilfred Doré (2014), Alexis  
Ferréro (1987), Louis-Aimé de Fouquières (1982),  
Grégoire Galievsky (2000), Philippe Ginier-Gillet (1985),  
Wenceslas Godel (2015), Paul Jolivet (1995), René Joly  
(1979), Sylvain Lamblot (1996), Jean-Marie Pillot (1978),  
Aude Schoentgen (2015), François Vanheckehoet  
(1978) et Michelle Wetterwald (2012)

**Conception et réalisation :** Agence Megalyte

**Photographies et illustrations :** Unsplash, Pexel. Les  
illustrations des articles sont fournies par les auteurs,  
sous leur responsabilité concernant les droits de  
reproduction. Les idées exprimées dans cette revue  
engagent la seule responsabilité de leurs auteurs.  
Reproduction autorisée avec mention d'origine après  
accord de la publication.

### Rédaction & Abonnements :

Télécom Paris alumni - L'association des diplômés de  
Télécom Paris

19 place Marguerite Perey 91120 PALAISEAU

Site : [www.telecom-paris-alumni.fr](http://www.telecom-paris-alumni.fr)

### Régie Publicitaire :



Edif Éditions d'Île-de-France  
102 avenue Georges Clemenceau  
94700 Maisons Alfort  
Tél. : 01 43 53 64 00

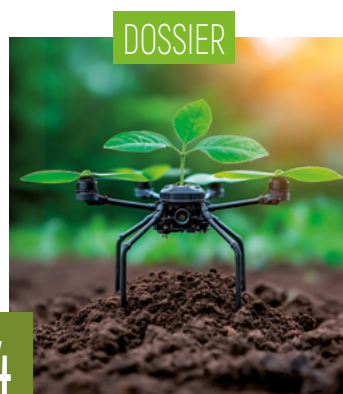
Imprimé en France par Duplprint Mayenne

**Abonnement annuel 2025 :** 40 € TTC

**Prix au numéro :** 10 € TTC

**S'abonner en ligne :** <https://url.me/Kut4DS>  
ISSN 0040-2478

# Dans ce numéro



04

## AGRITECH

### 05 ÉDITORIAL

### 06 ENTRETIEN AVEC MARC-ANDRÉ SELOSSE, PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

Michel Cochet (1973)

### 08 DE L'AGRICULTURE INTENSIVE EN INTRANTS À L'AGRICULTURE INTENSIVE EN CONNAISSANCES

Hervé Pillaud

### 10 L'AGRITECH, NOUVELLE RÉVOLUTION DU SYSTÈME ALIMENTAIRE ?

Christian Couturier

### 12 TERRE DE LIENS, OU L'APPRENTISSAGE DE LA FERTILITÉ

Jean-François Simonin

### 15 LES BIO-SOLUTIONS, DES *DEEPTech* VIVANTES !

Romain FAROUX

### 17 DE L'ÈRE DES PESTICIDES À CELLE DES STRATÉGIES COMBINATOIRES

Damien Cariou

### 18 BIOCONTRÔLE ET MICRO-ENCAPSULATION : UNE NOUVELLE ÈRE POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Franck Guichet

LE PROCHAIN NUMÉRO SERA CONSACRÉ À :  
FINTECH ET AU : JUMENTAUX NUMÉRIQUE.



## VOUS SOUHAITEZ PARTAGER VOTRE POINT DE VUE AVEC NOS LECTEURS ?

Chaque revue TELECOM se compose de dossiers thématiques dont vous pouvez être le pilote en coordination avec le comité de rédaction. Envoyez-nous vos propositions d'articles ou de dossiers.

[revue@telecom-paris-alumni.fr](mailto:revue@telecom-paris-alumni.fr)

### 20 AXIOMA BIOLOGICALS : INNOVER POUR UNE AGRICULTURE RÉSILIENTE FACE AUX DÉFIS CLIMATIQUES

Clément Soulier

### 22 ENTRETIEN AVEC CHRISTOPHE VASSEUR, CRÉATEUR ET CEO D'INNOFENSO

Michel Cochet (1973)

### 24 INCÉRÈS. DES HUILES ESSENTIELLES POUR REMPLACER LES INSECTICIDES DE SYNTHÈSE ?

Inès Taurou

### 25 DES ODEURS NATURELLES DE PLANTES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

Ené Leppik

### 27 AGRITECH, PHOTOBIOLOGIE ET DONNÉES : ASCLEPIOS TECH AU SERVICE DU VIVANT !

Patrick Roynette

### 29 HYGO : LA FIN DES ILLUSIONS TECHNOLOGIQUES DANS LA RÉDUCTION DES PESTICIDES ?

Edita BEZEG

### 32 LES FRAISES DU FUTUR ARRIVENT PLUS TÔT, GRÂCE À L'IA

Souhaieb Aouayeb

### 34 À LA DÉCOUVERTE DE WOODLIGHT QUAND LA LUMIÈRE S'INSPIRE DE LA NATURE POUR ÉCLAIRER LE FUTUR

Ghislain Auclair

### 36 SUBLINE ENERGIE

Bruno Adémar et Jules Vasse

### 38 ENERGY, FOOD AND AGRICULTURE: THE EFFICIENCY OF ENERGY USE IN GAINING AND USING FOOD

Charles A. S. Hall

## PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

# 44

## LE PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES 2025

### 45 ÉDITORIAL

Olivier Mellina-Gottardo (2001)

### 46 VERS UNE AGRICULTURE CONNECTÉE ET DURABLE

Gaspard Vibert (2026)  
et Arthur Soufi (2026)

### 48 ALVIE

Lauréate du Prix de la Start-up

### 50 WEENAT

Lauréate du Prix de la Scale-up

### 52 ENTRETIEN AVEC OLIVIER MELLINA-GOTTARDO, PRÉSIDENT DU JURY DU PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

### 54 LE JURY

Prix des Technologies Numériques 2025

### 56 LE PALMARÈS DES LAURÉATS 1998-2024

Prix des Technologies Numériques

# 58

## LES ACTUALITÉS DU RÉSEAU

### 59 ASSOCIATION

*Hello Palaiseau 2025*  
Mentorat

### 64 DES NOUVELLES DE NOS ÉTUDIANTS

*Forum Télécom Paris 2025*  
*Télécom Business & Finance*  
*Télécom Étude*

### 67 FONDATION MINES-TÉLÉCOM

### 68 ÉCOLE

*Le numérique est un levier incontournable pour propulser l'AgriTech. Entretien avec Ons Jelassi, Directrice de Télécom Paris Executive Education*

### 70 CONFÉRENCE

*Les français ont-ils peur des véhicules autonomes ?*

### 72 LIVRES

*The Connected Autonomous Vehicle and its Environment*  
Jacques Ehrlich (1993)  
*Bienvenue dans le Dataïsme*  
Laurent Darmon

### 73 PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2025

*Information et physique : où est l'ordinateur quantique ?*  
Michel Devoret (1975)

### 78 MUSICOLOGIE

*Les Grandes Intégrales Symphonique : Schumann*  
Marc Darmon (1988)



DOSSIER

# AGRITECH





# Éditorial

**D**epuis qu'elles existent les espèces d'hominidés n'ont eu d'autre contrainte tout comme la nature dont elles font partie que celle d'évoluer en s'adaptant en permanence aux contraintes climatiques, environnementales, alimentaires et de vivre en bonne santé. Parmi les espèces qui ont vu le jour, seule homo sapiens a survécu. Pourquoi elle ? Aucun élément nous permet de percer ce mystère.

Apparus en Afrique (comme les autres hominidés) il y a environ 200 000 à 300 000 ans, homo sapiens va voyager et conquérir la planète pour arriver en Europe il y a pratiquement 40 000 ans et depuis il n'a cessé de se développer tant au niveau intellectuel, économique, spirituel que scientifique et technologique. La population n'a pas cessé de croître pour atteindre actuellement de l'ordre de huit milliards d'êtres vivants.

Une espèce passée du statut de « Chasseur cueilleur » au statut de sédentaire : « agriculteur, éleveur, artisan », au statut de citadin, villageois, campagnard puis d'industriels, d'urbains et de péri-urbains. Actuellement nous serions dans la quatrième révolution industrielle : celle de la valorisation et du traitement des données et à une ère nommée : anthropocène.

Si la planète « bleue » qui nous héberge est limitée, elle doit pouvoir nourrir cette population toujours croissante qui devrait approcher les 10 Milliards vers 2050.

Ce dossier destiné aux Agritechs rappelle d'abord certains points fondamentaux liés au développement des civilisations humaines, à leur développement harmonieux au sein d'un système en permanente évolution dont le changement climatique est un des paramètres les plus prégnants sans oublier le pillage des énergies, la mécanisation, l'automatisation et l'intensification de l'utilisation d'engrais et de pesticides chimiques dans les systèmes agricoles et halieutiques.

Les aliments, les engrais chimiques, les pesticides, les antibiotiques ont permis de révolutionner les rendements d'augmenter les productions au détriment des faunes, des flores et des biotopes naturellement protecteurs et régulateurs.

Sans véritablement lancer de cri d'alarme, ce dossier a pour objectif premier de réveiller les consciences et de montrer qu'il est possible de réagir pour prendre en compte chacun des éléments présents sur ce globe. Il n'est pas question de les figer mais d'accompagner leur évolution ce qui devrait permettre à l'être humain de vivre encore de nombreux siècles si ce n'est plus à moins qu'un cataclysme vienne une nouvelle fois modifier la Terre et supprimer une fois encore plus de 80 % des espèces vivantes.

Excellente lecture. ■

# ENTRETIEN AVEC MARC-ANDRÉ SELOSSE

## PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

Par **Michel Cochet (1973)**

**M**arc-André Selosse a publié en 2024 un ouvrage ; « Nature et Préjugés (Convier l'humanité dans l'histoire naturelle) » dans lequel il déconstruit les grandes erreurs et bien des préjugés que des siècles de culture occidentale ont développé et propagé dans notre compréhension de la nature et dans notre comportement vis à vis du monde du vivant dont nous faisons intégralement partie.

De nouveau (voir le n°212 de la Revue), nous avons eu le plaisir et la joie d'échanger avec Marc-André Selosse que je remercie pour sa grande disponibilité.

*[Michel Cochet]* **Merci Marc-André pour vous plier à cet exercice de vulgarisation destiné à nos lecteurs. Pourriez-vous nous rappeler ce que signifie : un être vivant.**

*[Marc-André Selosse]* Notre perception du « vivant » repose essentiellement sur des images, des contes, l'héritage de nos cultures religieuses et classiques, et des on-dit. Notre formation scolaire sur le « vivant » est tellement faible qu'elle ne permet toujours pas de rétablir la réalité. En fait, dans le monde du vivant :

- › Il n'y aucun équilibre, que des dynamiques,
- › Tout être vivant génère des déchets,
- › Et cette vision occidentale classique qui place l'Homme en haut (au-dessus du « vivant ») est totalement erronée.

Ainsi, nous faisons n'importe quoi en utilisant mal les :

- › Produits nettoyants,
- › Pesticides,
- › Engrais,
- › Antibiotiques, etc.

En plus, nous mettons en œuvre des pratiques complètement à l'opposé de ce qu'il faudrait faire.

Les conséquences sont catastrophiques :  
› Explosion des coûts liés à la santé.

*[Michel Cochet]* **Ce défaut d'adaptation au vivant peut-il se régler et comment y parvenir ?**

*[Marc-André Selosse]* Des méthodes sont connues pour faire différent et mieux en respectant le « vivant » :

- › Il existe des combinaisons d'antibiotiques qui évitent le développement de résistance à leur mise en œuvre conjointe,
- › Il ne faut pas supprimer les pesticides mais les utiliser de façon complémentaire à des méthodes biologiques (haies, cultures mélangées et/ou alternées, etc.) donc de façon moindre.

L'Homme peut mieux faire mais il existe encore trop de mauvaise foi de la part des filières de production qui utilisent notre ignorance des contraintes, mais aussi trop d'ignorance des solutions alternatives.

Alors, comment mieux faire : bien certainement en utilisant des bribes de mode d'emploi du monde vivant mises au point par des scientifiques. Mais la science n'est pas là pour gouverner mais de donner des possibles pour orienter les choix.

Il faudrait :

- › D'abord lire « Nature et Préjugés » pour remettre clairement en place des éléments essentiels allant de la nourriture à la sexualité, en passant par l'économie, l'histoire, etc.
- › Et lutter pour améliorer et développer la formation scolaire aux sciences du vivant et de l'environnement.

Tous les supports et les moyens sont à utiliser, que ce soit la Télévision, les podcasts, les influenceurs, et la vulgarisation.

Il faut aller à la rencontre des citoyens pour leur proposer d'autres perspectives. C'est un combat multiforme et permanent : j'ai déjà réalisé 250 conférences et cours entre janvier et juillet de cette année.

Il faut être présent partout mais c'est de l'artisanat car nous sommes peu nombreux à jouer cette fonction de passeurs de science.



*[Michel Cochet]* **Quelles seraient les actions à engager auprès du monde politique ?**

*[Marc-André Selosse]* Les lois récentes sont de plus en plus toxiques avec :

- › Un recul sur la « zéro-artificialisation »,
- › Une annulation des zones à faible émission (diminution de la qualité de l'air),
- › Mise sous contrôle de l'ANSES (L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire)
- › Loi Duplomb sur les pesticides et l'élevage intensif.

Comme pour tous les corps de la société, il faut aussi envisager des formations et admettre qu'il y a des exemples vertueux (en particulier sur l'Ordonnance Verte de la Communauté de Communes de Strasbourg) parmi les élus ; il faut faire passer plus de messages dans l'Assemblée Nationale.

Certains élus sont sensibilisés mais ils résonnent trop souvent avec un électorat totalement ignorant des faits et des alternatives possibles.

Dans « Nature et Préjugés », à la page 275, par rapport au paradoxe de Fermi, je propose une hypothèse : « peu de civilisations sont éternelles : le rythme de l'évolution culturelle beaucoup plus rapide que celui de l'évolution biologique ne serait-il pas la cause de la destruction de toute vie civilisée, rendant les individus inadaptés à l'environnement qu'ils se créent ? ».

N'y aurait-il une issue possible et des perspectives positives à condition que notre société puisse cheminer vers un futur plus clair en développant d'autres antibiotiques, des alternatives aux pesticides, réduire la part des plastiques et des PFAs (les polluants éternels) dans nos vies.

Mais le plus grand obstacle sera celui de globaliser ces solutions.

*[Michel Cochet]* **Et maintenant, dans quel chemin allez-vous vous engager ?**

*[Marc-André Selosse]* Plusieurs options s'offrent à moi qui suis résolument optimiste. Même si l'ampleur des catastrophes à venir est énorme, il faut

que nos enfants vivent. L'environnement va continuer à évoluer mais pourrions-nous vivre aussi bien ? Il faut être conscient de ces changements de mode de vie et donc se préparer à prendre des mesures.

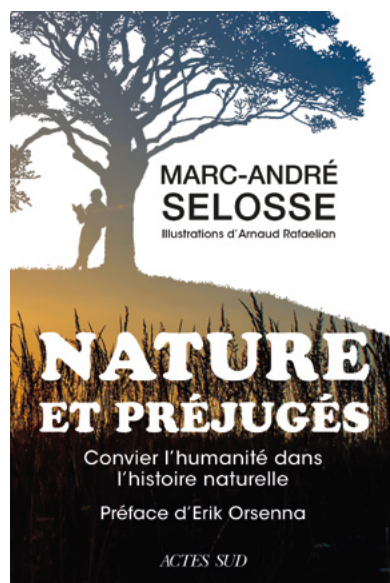
Des industries (CEC) font des actions. Je fais partie de comités scientifiques de start-up qui cherchent à mieux produire. C'est déjà une évolution même si c'est encore trop peu.

Ne cherchons pas des bouc-émissaires mais aidons les agriculteurs à utiliser moins de pesticides. Il faut défendre et répandre les progrès effectués récemment et maintenant par la science et ainsi s'attaquer aux dogmatismes de ceux qui ne croient qu'en la science du passé.

Même si certains ont du mal à accepter le changement permanent, heureusement, il existe des soubresauts en matière de changement de paradigme.

N'oublions pas le « VIVANT ».

*[Michel Cochet]* **Merci Marc-André Selosse et excellente continuation dans vos actions de vulgarisation du monde du Vivant, notre Monde. ■**



## BioGée

BioGée, mouvement créé en 2019 au Muséum d'Histoire Naturelle regroupe six académies (Sciences, Agriculture, Médecine, Pharmacie, Vétérinaire et des Technologies), six fondations/fédérations d'entreprises, 41 sociétés scientifiques, 23 associations liées à l'enseignement et 18 associations pour la protection de l'environnement et le développement durable.

BioGée veut promouvoir un message vers la société sur les sujets de santé, d'environnement, de durabilité et d'éducation citoyenne. Loin d'être seulement disciplinaire, BioGée souhaite penser et soutenir les interdisciplinarités rendue davantage encore indispensables, en réponse aux questions sociétales et environnementales complexes en émergence.

Le nom de BioGée, emprunté à Michel Serres en hommage à son œuvre, vise à illustrer cette démarche interdisciplinaire.



**Marc-André SELOSSE**  
Professeur au Muséum national d'Histoire naturelle, Marc-André Selosse enseigne dans plusieurs universités en France et à l'étranger. Ses recherches portent sur les associations à bénéfices mutuels (symbioses) impliquant des champignons, et ses enseignements, sur les microbes, l'écologie et l'évolution. Éditeur de revues scientifiques internationales et d'Espèces, une revue de vulgarisation dédiée aux sciences naturelles, il est aussi l'auteur de plusieurs ouvrages publiés chez Actes Sud.



Hervé Pillaud

# DE L'AGRICULTURE INTENSIVE EN INTRANTS À L'AGRICULTURE INTENSIVE EN CONNAISSANCES.

**S**écheresses et crues, crises géopolitiques, effondrement de la biodiversité : jamais l'agriculture n'a été autant sous pression. La réponse ne viendra pas d'une fuite techno-solutionniste. La *deeptech* n'est pas l'illusion d'une solution miracle, mais une approche globale qui invite à repenser l'agriculture à partir des besoins réels : bâtir une agriculture viable et vivable, capable de nourrir un monde sans faim sans dévaster ni la planète, ni les agriculteurs qui en vivent, ni les équilibres territoriaux qui font société.

## Un secteur en première ligne

Jamais l'agriculture n'a été confrontée à autant de bouleversements simultanés. Les aléas climatiques se multiplient : sécheresses records, pluies diluviennes, gels imprévisibles. Les sols perdent leur fertilité, les ressources en eau se déséquilibrent, et de nouveaux virus fragilisent les cultures comme les élevages sans compter les insectes dévastateurs.

À ces défis environnementaux s'ajoute une instabilité géopolitique croissante. La guerre en Ukraine a révélé la dépendance des marchés mondiaux. Dans le même temps, de nouveaux géants agricoles – Brésil, Russie, Inde – s'imposent, souvent avec des modèles productivistes peu durables. L'Europe, longtemps pionnière, voit son avance s'éroder.

Dans ce contexte, se contenter de résister ne suffit plus. « S'adapter ne veut pas dire subir ». Il s'agit de transformer en profondeur les pratiques et les outils. Et c'est là que la *deeptech*, lorsqu'elle est bien pensée, peut ouvrir des perspectives inédites. Cette transformation ne peut s'envisager de manière uniforme.

## La richesse des pluralités

Les réponses aux crises ne seront pas les mêmes selon les filières, les territoires ou les modèles d'exploitation. Les diversités de l'agriculture française et européenne constituent non pas un frein, mais une ressource précieuse à valoriser. Ces diversités sont plurielles : diversité des filières – grandes cultures, élevage, vigne, maraîchage, etc. mais aussi productions émergentes comme les algues, les

insectes ou les espèces oubliées ; diversité des modèles d'exploitation – de la ferme familiale à la grande exploitation sociétaire, en passant par les collectifs urbains ; diversité enfin des missions assignées à l'agriculture – nourrir, mais aussi séquestrer du carbone, entretenir les paysages, fournir de l'énergie ou des biomatériaux.

Cette pluralité est une garantie de résilience. Mais elle appelle des outils capables d'épouser cette complexité, et non de l'écraser. Les technologies matérielles (capteurs, robotique, *biotechs*) et logicielles (IA générative, modélisation numérique, plateformes ouvertes) doivent être pensées pour s'adapter à la variété des contextes, des besoins et des usages. C'est cette approche systémique qui distingue la *deeptech* de l'illusion solutionniste.



“

*La deeptech constitue la prochaine étape. Mais la vraie question n'est pas si elle transformera l'agriculture : c'est comment, au service de qui, et avec quel degré de souveraineté.*

”

## Une nouvelle manière d'innover

Plus encore que les outils, c'est la méthode qui doit changer. Trois principes guident cette nouvelle approche :

- › **L'usage d'abord.** L'innovation doit partir des besoins concrets. L'éleveur qui veut réduire son temps d'enregistrement, le technicien qui doit simplifier sa veille réglementaire, l'enseignant qui adapte ses cours à la diversité de ses élèves.
- › **La co-construction.** L'innovation se bâtit avec les utilisateurs. Les hackathons agricoles, les Cafés IA ou les ateliers dans les coopératives et les lycées seront autant de lieux d'expérimentation collective.
- › **L'open source.** Seule condition d'une souveraineté réelle, il permet la transparence, la mutualisation et l'essaimage. Un agent IA conçu pour la viticulture peut inspirer une adaptation pour le maraîchage ou l'élevage.

Cette démarche crée de la confiance. Et la confiance, dans un secteur souvent méfiant face aux promesses technologiques, est la clé de l'adoption. Elle marque aussi une rupture avec le taylorisme agricole et financier, qui privilégiait la spécialisation et les profits immédiats. Ici, la valeur naît du collectif, de la coopération et du temps long.

## L'agriculture, toujours au cœur du progrès

Face à ce tableau, l'optimisme peut sembler audacieux. Pourtant, il est indispensable.

Depuis les premières irrigations mésopotamiennes jusqu'à l'agriculture de précision, chaque rupture agricole a permis de repousser la famine et d'accompagner un changement de civilisation.

La deeptech constitue la prochaine étape. Mais la vraie question n'est pas si elle transformera l'agriculture : c'est comment. Au service de qui ? Selon quelles règles ? Avec quel degré de souveraineté ou de dépendance ?

Deux principes s'imposent :

- › **Rejeter le manichéisme.** Les problèmes complexes du vivant n'ont pas de solutions simples.
- › **Accepter le temps long.** La logique d'urgence permanente empêche les transformations profondes. Comme une vigne qui prend racine ou un sol qui se régénère, l'innovation agricole a besoin de cycles longs.

C'est à ces conditions que pourra émerger une agriculture « intensive en connaissances » : économe en ressources, respectueuse des territoires, protectrice de ceux qui la font vivre. Une agriculture qui nourrit sans dévaster, qui construit au lieu de subir, et qui demeure au cœur de nos équilibres collectifs. ■



Hervé PILLAUD

Acteur majeur de la transition agricole et numérique. Ancien éleveur laitier en Vendée et engagé à la FNSEA et dans les Chambres d'Agriculture, il a siégé de 2018 à 2021 au Conseil national du numérique, portant la voix du monde rural dans les débats nationaux sur la technologie. Il figure dans l'annuaire Numérikissimo.

Précurseur de la transformation digitale en agriculture, il est à l'origine d'initiatives structurantes comme le salon Tech Élevage et Agreenstartup. Président du Groupe Etablières, et président honoraire de La Ferme Digitale, il œuvre aujourd'hui à la formation des jeunes générations aux nouveaux défis agricoles.

Auteur de quatre ouvrages de référence – *Agronuméricus* (2015), *AGREEN STARTUP* (2017), *Cultivons l'avenir ensemble* (2021) et *Vers un monde sans faim* (2024) – il développe une pensée articulant innovation ouverte, durabilité, souveraineté et humanisme. À travers ses écrits, ses conférences et ses engagements, il défend une agriculture intensive en connaissances, capable de réparer la planète tout en nourrissant durablement l'humanité.



À travers un récit mêlant expériences vécues, réflexions prospectives et portraits d'innovateurs, Hervé Pillaud explore une conviction : l'agriculture est au cœur de notre avenir commun. De son bocage vendéen aux plateaux africains, il retrace une histoire de résilience et d'innovation, montrant comment l'humanité s'est toujours réinventée pour se nourrir et préserver sa liberté.

Ce livre affirme qu'un monde sans faim n'est pas une utopie, mais le fruit d'une transition agricole heureuse, fondée sur la pluralité des modèles, la vitalité des écosystèmes et la créativité des jeunes générations. Loin de tout catastrophisme, Hervé Pillaud invite à construire une agriculture intensive en connaissances, ouverte aux biotech, au numérique et aux nouvelles alliances, capable de réparer la planète sans renoncer à nourrir l'humanité.

Plus qu'un essai, *Vers un monde sans faim* est un manifeste optimiste : croire en l'innovation et en l'intelligence collective pour bâtir une agriculture durable, vivable et souveraine.

# L'AGRITECH, NOUVELLE RÉVOLUTION DU SYSTÈME ALIMENTAIRE ?

Par Christian Couturier



Christian COUTURIER  
Ingénieur ENSEIHT, rejoint en 1987  
Solagro, société spécialisée en conseil  
agricole, il en est devenu directeur en  
2019. Engagé dans la transition écologique  
du « secteur des terres », il a été  
président de négaWatt et est à l'origine du  
scénario Afterres2050, régulièrement mis  
à jour et maintenant étendu à l'Europe.

[in/christian-couturier](https://www.linkedin.com/in/christian-couturier)

[solagro.org](https://www.solagro.org)

[afterres.org](https://www.afterres.org)

[afterres.org/2024/12/un-scenario-  
afterres-pour-leurope/](https://www.afterres.org/2024/12/un-scenario-afterres-pour-leurope/)

Après la mécanisation et la chimie, notre système alimentaire - qui va « de la fourche à la fourchette » - entame la révolution du numérique. Capteurs, satellites, intelligence artificielle, plateformes de données irriguent désormais les fermes et les magasins, promettant de réduire les intrants, d'optimiser l'énergie, de choisir ses achats ou de faciliter les tâches administratives. Ces innovations peuvent-elles contribuer à la transition agroécologique dont dépend l'avenir de nos systèmes alimentaires et à répondre aux défis planétaires – sols, biodiversité, eau, climat ?

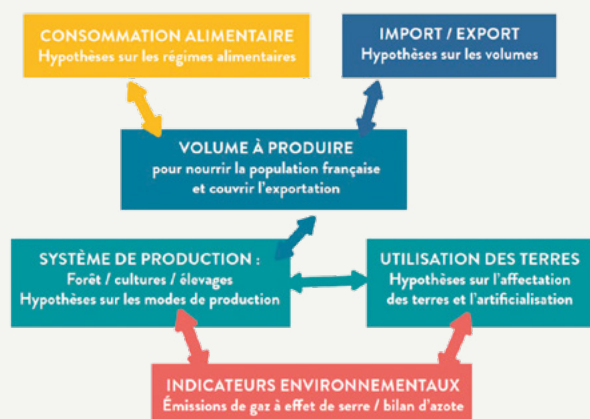
La transition agroécologique selon le scénario AFTERRES, conçu par SOLAGRO, propose un **changement de paradigme** : régénérer les sols, diversifier les systèmes, rééquilibrer les surfaces entre agriculture, nature et usages artificiels. AFTERRES repose sur l'amplification de pratiques éprouvées – diversification des cultures, agroforesterie, réduction de la consommation de produits animaux, sans reposer sur des ruptures technologiques spectaculaires.

C'est dans ce contexte que les technologies numériques doivent trouver leur juste place, comme leviers au service du vivant. Les technologies numériques (capteurs, drones, outils prédictifs, monitoring) offrent déjà des gains mesurables : réduction des intrants, meilleures estimations du rendement, optimisation de l'irrigation ou de la ventilation des serres. Les outils de suivi de santé animale, de réduction des antimicrobiens, ou de gestion intégrée des élevages ouvrent une possibilité pour que l'élevage revienne à des densités, des races et des pratiques moins intensives, plus résilientes, et mieux intégrées aux cycles écologiques locaux.

## CRITIQUES DU TECHNICISME : VIGILANCE ET CONDITIONS DE RÉUSSITE

Cependant les alertes sur les limites ou les dangers d'une technicité non réfléchie sont nombreuses et dépassent les seuls enjeux environnementaux, encore très mal connus. Le risque de perte d'autonomie, l'un des concepts majeurs de l'agroécologie – est majeur, si le numérique repose sur des modèles centralisés au détriment des territoires ou des pratiques locales. Les





MoSUT : un outil de modélisation robuste et transparent.

technologies très spécialisées ou coûteuses peuvent favoriser les exploitations déjà bien équipées, au risque d'accentuer les inégalités. La rentabilité immédiate des solutions numériques est incertaine, et leur diffusion exige des investissements publics ainsi que des dispositifs de mutualisation à l'échelle des coopératives ou des structures collectives. Les notions de confidentialité, propriété, partage, transparence, posent aussi de nombreuses questions. Les données agricoles constituent désormais un actif stratégique, et leur usage doit être encadré pour servir des trajectoires agro écologiques plutôt que renforcer les dépendances envers quelques acteurs privés. La formation et l'accompagnement restent insuffisants, si bien que seule une minorité d'agricultrices et d'agriculteurs dispose réellement des moyens de s'approprier ces innovations.

Ces défis, pris ensemble, déterminent si les technologies numériques deviendront de véritables alliées de la transition ou si elles risquent de se transformer en facteurs de verrouillage technologique et social. Il ne suffit pas que ces solutions apportent des optimisations incrémentales : il faut qu'elles permettent une transformation systémique, qu'elles soient conçues avec les acteurs de terrain, adaptables et appropriables localement.

La transition agroécologique ne saurait être réduite à une question de technologies : elle suppose avant tout un cadre collectif et politique adéquat.

## VERS UNE AGRITECH AU SERVICE DES COMMUNS ?

Le numérique agricole, souvent présenté comme une nouvelle révolution, doit être replacé dans une vision plus large. La transition agroécologique, telle que modélisée par Afterres2050, ne repose pas sur une fuite en avant technologique, mais sur la combinaison de sobriété, de diversification, de relocalisation et de régénération des écosystèmes. Dans ce cadre, le rôle des outils numériques est d'accélérer et de fiabiliser des pratiques déjà identifiées. ■

## Bibliographie

Afterres2050 : Un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050, brochure Solagro, 2014. (PNR Sud Documentation)

Gibert C., *La transition agroécologique en pratique : le scénario Afterres2050*, Le Nouveau Praticien Vétérinaire – Élevage & Santé, avril 2024. (elevages-et-sante.le-nouveau-praticien-veterinaire.org)

Foley J.A. et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478: 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>

Tilman D., Clark M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515: 518-522. <https://doi.org/10.1038/nature13959>

Rockström J. et al. (2020). Planet-proofing the global food system. *Nature Food*, 1: 3-5. <https://doi.org/10.1038/s43016-019-0010-4>

FAO (2022). *The State of Food and Agriculture: Leveraging automation in agriculture*. Rome. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2210en>

HLPE (2019). *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems*. FAO High Level Panel of Experts. <https://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>

Klerkx L., Rose D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0. *Global Food Security*, 24: 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

Bronson K. (2019). Looking through a responsible innovation lens at agritech futures. *Journal of Responsible Innovation*, 6(2): 210-215. <https://doi.org/10.1080/23299460.2019.1608781>

Stilgoe J., Owen R., Macnaghten P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*, 42(9): 1568-1580. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>

ECPE Project (2024-2029). Upscaling Payments for Environmental Services to support farmers. Horizon Europe CL6-2025. <https://cordis.europa.eu/project/id/101135688>

Wezel A. et al. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 40: 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>

Meynard J.M., Messéan A., Charrier F. et al. (2018). Design and adoption of crop diversification strategies: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38: 66. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0547-4>

Levidow L., Pimbert M., Vanloqueren G. (2014). Agroecological research: conforming—or transforming the dominant agro-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(10): 1127-1155. <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.951459>

# TERRE DE LIENS, OU L'APPRENTISSAGE DE LA FERTILITÉ

Par Jean-François Simonin

## Qu'est-ce que Terre de Liens - TDL ?

Dans un contexte de forte pression ou spéculation sur les terres agricoles, Terre de Liens est une initiative citoyenne apportant une réponse aux enjeux de préservation des surfaces agricoles sur le long terme, ainsi que d'accès au foncier. Le Mouvement, articulé entre un réseau associatif, une fondation reconnue d'utilité publique, et une foncière agricole solidaire, collectant de l'épargne

citoyenne, achète des terres agricoles et les met à disposition d'agricultrices et agriculteurs biologiques via un bail rural environnemental.

En favorisant le maintien ou le développement d'exploitations agricoles biologiques, à taille humaine et distribuant leurs produits en circuits courts, les paysans Terre de Liens participent à la redynamisation des campagnes par des créations d'emplois et le développement d'une agriculture de proximité. Né au

début des années 2000, TDL représente aujourd'hui environ 40 000 donateurs ou souscripteurs, 2 000 bénévoles et 150 salariés qui ont participé à l'acquisition de 12 000 ha de terres agricoles, et l'installation de paysans et/ou de collectifs sur 400 fermes sur le territoire français. L'enjeu est notamment de permettre l'installation des NIMA (Non Issus du Monde Agricole), désireux de s'investir dans l'agriculture, mais ne disposant pas eux-mêmes des moyens financiers d'accès au foncier.



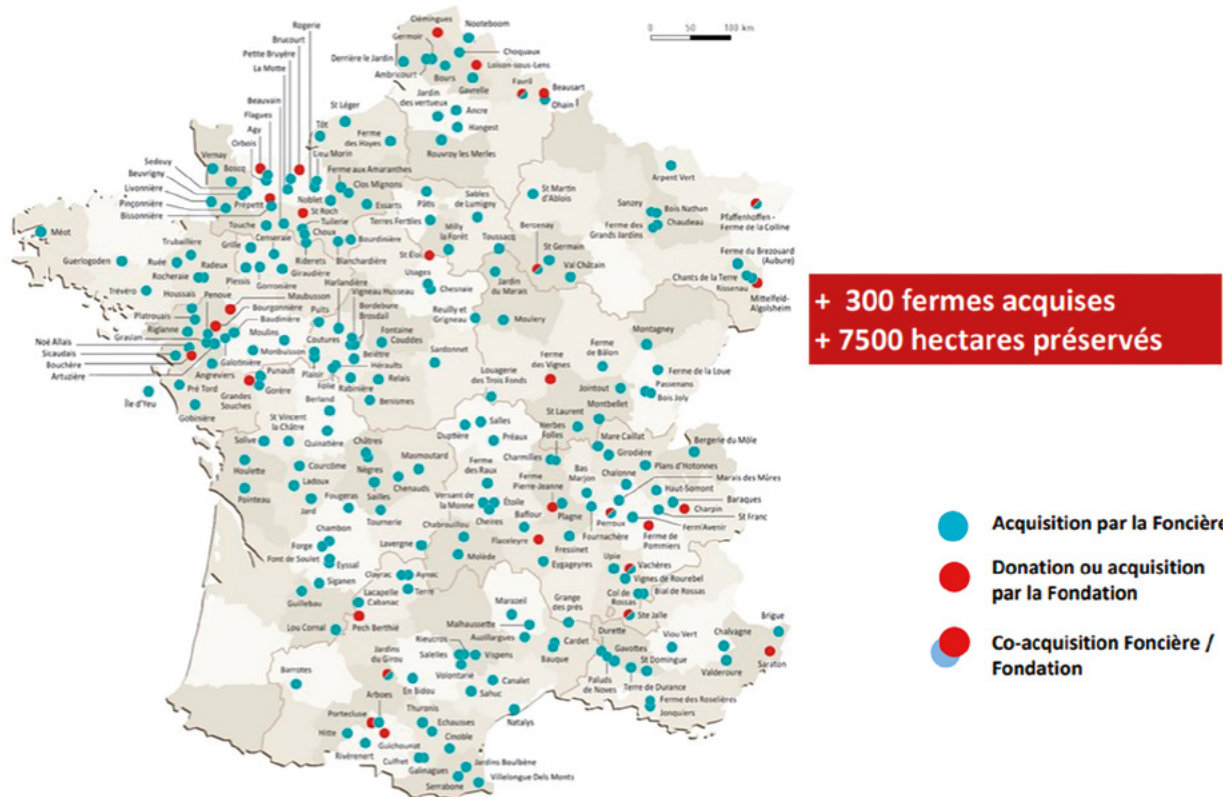
- Valeur de l'action : 104 €
- Réduction fiscale : 25 %
- Durée de conservation : 7 ans
- Collecte début d'année puis après l'AG
- 300 fermes/ 110M€ collectés
- 50M€ de trésorerie immobilisée
- dont 30M€ en réserve statutaire
- 8000ha préservés



- + 9 000 donateurs en 2021
- Don déductible de l'IR : 66%







Cartographie des fermes Terre de Liens (mise à jour janvier 2022).

## Objectifs et valeurs de TDL

L'objectif premier de TDL est la lutte contre la **déprise agricole**, terme générique regroupant la chute drastique du nombre d'agriculteurs, l'accaparement du foncier par de puissants acteurs nationaux ou internationaux, l'artificialisation des terres, la perte en fertilité consécutive à l'extension de l'agrobusiness, l'extension de la malbouffe, la baisse des revenus agricoles, la détresse des conditions de vie dans le milieu agricole et la concentration des richesses produites chez les industriels de l'agroalimentaire et les circuits quasi monopolistiques de la distribution.

La vocation de TDL est de lutter contre toutes ces dérives qui conduisent à des reculs civilisationnels et à l'épuisement de la fertilité de la terre. On pourrait dire que TDL regroupe les acteurs souhaitant œuvrer

à la constitution de petites oasis de fertilité dans un monde en voie d'épuisement.

**Le résultat de ces expérimentations est bluffant.** Il suffit de visiter des fermes TDL ou de participer à des réunions du mouvement pour s'apercevoir que de nouveaux modes de vie sont possibles, crédibles tant du point de vue agricole, économique qu'écologique, et peuvent conduire à un **nouvel art de vivre**, fait de qualité, de mise en commun de moyens, de circuits courts et de renforcement de la biodiversité.

## Le progrès selon TDL

Les acteurs du mouvement sont intéressés et concernés par les progrès de la connaissance et des techniques relatives à la chose agricole, mais pas selon les critères communément admis. TDL n'a rien d'une *start-up au service du vivant*. Personne ne cherche à faire fortune chez TDL. Atterrés par les dégâts

causés par plusieurs décennies de politique agricole dévastatrice de leurs milieux de vie, (dont l'adoption récente de la loi Duplomb est la dernière émanation), les paysans TDL ont développé une franche résistance aux promesses de la technologie et de la libre concurrence. Ils n'ont que faire d'un surcroît de mécanisation, de robotisation, ou d'installation de capteurs qui proposent d'observer leur ferme à leur place – tous ces prétendus « progrès » suscitent plutôt la hantise d'une nouvelle couche d'artificialisation et de dépendance à l'égard d'acteurs qui veulent les prolétarianiser davantage encore. J'imagine que nombre d'acteurs du mouvement se retrouvent bien dans l'analyse critique déployée avec verve et concision dans le livre publié en 2021 par l'Atelier Paysan, dont le titre exprime à lui seul toute la perspective ambitieuse : *Reprenre la terre aux machines – Manifeste pour une autonomie paysanne et alimentaire*<sup>1</sup>.



Jean-François SIMONIN

Docteur en philosophie, spécialiste de l'anticipation. Il dirige l'Institut du Temps Long (ITL), laboratoire d'idées et d'expérimentations philosophiques et prospectives sur les enjeux de long terme. Ses publications introduisent à une nouvelle conception de l'agir en contexte anthropocène. Il est aussi bénévole chez Terre de Liens, impliqué dans plusieurs groupes de travail nationaux ou en région Occitanie.

Si les acteurs du mouvement sont intéressés par le progrès des connaissances et des techniques, c'est dans une tout autre perspective, qui est malheureusement restée très embryonnaire jusqu'à présent. Ils aimeraient par exemple comprendre ce qui permet d'accroître la fertilité d'un sol sur le temps long. Savez-vous qu'une agriculture à base d'intrants chimiques et de pesticides peut en un demi-siècle épuiser les capacités régénératrices qu'un sol a mis un millénaire à constituer ? En d'autres termes, le sol, comme l'eau ou la biodiversité, sont des ressources non renouvelables à l'échelle d'une vie humaine.

## De nouvelles attentes au plan scientifique et technique

Terre de Liens a un rapport sélectif et critique avec la technologie : elle ne s'y oppose pas par principe, mais privilégie les outils et technologies appropriées à une agriculture paysanne, durable et humaine. Son approche technologique est orientée par ses valeurs : respect de l'environnement, autonomie des agriculteurs, sobriété, et participation citoyenne. Or, les connaissances scientifiques restent très parcellaires sur ces sujets fondamentaux, ils sont souvent de moindre pertinence que les savoirs ancestraux. Qu'est-ce qu'un sol ? De quoi est-il composé ? Comment stimuler sa fertilité ? Quels sont les types d'échanges entre les vivants et les non vivants dans un milieu de vie ? Quels sont les indicateurs de bonne santé d'un écosystème ? Quelles sont les techniques permettant de les faire évoluer positivement. Et positivement pour qui ? Les humains, les vivants, les non humains ? Nos savoirs, nos techniques, nos droits sont dramatiquement pauvres sur ces questions qui déterminent nos propres conditions d'existence.

Nous disposons de nombreux outils pour triturer la terre, mais très peu pour la cultiver. Or, l'urgence n'est plus de matter le monde à coups de nouvelles intrusions dans le tissu

du vivant. Nous avons besoin d'une nouvelle palette de savoirs et de techniques. Une forme d'exploitation de la terre reste possible sans détériorer l'état de la biosphère, notamment si elle sait rester mesurée et contrainte dans le cadre des lois de l'entropie et des limites planétaires, d'une part, et d'autre part selon des axes de développement compatibles avec l'idée d'une nécessaire coévolution entre l'humain et le non humain, en d'autres termes dans le cadre d'une agriculture qui n'accentue pas le caractère invasif de l'espèce humaine à l'égard de ses propres milieux de vie, c'est-à-dire d'une agriculture et d'une économie productrices de ressources.

Je résumerais la question en disant que TDL reste très intéressé par tout savoir ou technique qui permettrait à ses fermes de devenir de petites oasis de fertilité dans un monde en cours d'épuisement. De beaux projets de développement pour les chercheurs et les ingénieurs, de belles perspectives de carrière en perspective, dans l'idée d'amorcer dans le domaine agricole le renouveau dont l'ensemble des sociétés modernes ont grand besoin.

Diverses possibilités de participer, aussi, à cette aventure en visitant le site Terre de Liens<sup>2</sup>. ■

---

## Références

<sup>1</sup> Atelier Paysan, *Reprenre la terre aux machines – Manifeste pour une autonomie paysanne et alimentaire*, Seuil, 2021.

<sup>2</sup> <https://terredeliens.org/>

Romain Faroux

# Les Bio-solutions, des *Deeptech* vivantes !

**L'**agriculture fait face à un double défi : nourrir une population croissante tout en réduisant son impact environnemental.

Dans ce contexte, les bio-solutions – notamment le biocontrôle et les biostimulants – offrent des alternatives prometteuses aux intrants de synthèse ou chimiques conventionnels. Matières actives extraites du vivant, micro ou macro-organismes vivants, leur gamme est large, leurs procédés de fabrication diversifiés, et leurs usages variés. Leur adoption se développe mais reste limitée, nous verrons pourquoi, et par quels moyens elle peut accélérer !

Parallèlement, l'agriculture de précision et les outils connectés transforment la gestion des exploitations, permettant une utilisation plus ciblée et efficace des intrants.



**Romain FAROUX** est un entrepreneur de l'innovation agricole de 45 ans. Il a œuvré dès 2010 à l'émergence du drone en agriculture, avec la start-up AIRINOV cofondée sur sa ferme familiale du Poitou, puis cédée à Parrot. Il est aujourd'hui à la tête d'une association fondée par ses pairs en 2016, La Ferme Digitale. Pour transformer l'agriculture par l'innovation, son ambition est de remettre l'agriculteur au centre, de lui redonner davantage de poids dans la chaîne de valeur, et de renforcer son rôle dans l'animation des territoires ruraux.

Ces deux leviers de transformation sont amenés à se rencontrer, à se renforcer, et ensemble, à permettre de transformer durablement notre modèle de production agricole.

## Quelles sont les différences entre produits de biocontrôle et biostimulants ?

**Produits de Biocontrôle** : Utilisation de mécanismes naturels (micro-organismes, phéromones, extraits végétaux, macro-organismes) pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies.

**Biostimulants** : Substances ou micro-organismes stimulant les processus naturels des plantes (absorption des nutriments, résistance au stress, croissance).



## Quels sont les bénéfices reconnus de ces produits ?

Certes les bio-solutions sont des produits encore minoritaires, mais qui ont de fervents adeptes, certains depuis très longtemps ! Leurs témoignages de terrain recoupent des analyses plus globales, réalisées par exemple par les instituts techniques agricoles, concernant les bénéfices de ces produits :

- › La réduction des intrants chimiques : moins de résidus dans les sols et les aliments.
- › La conformité aux réglementations : plans Ecophyto, Green Deal européen, etc.
- › Le renforcement de la résilience des cultures par une meilleure adaptation aux stress abiotiques (sécheresse, chaleur).
- › L'enrichissement des sols grâce à l'utilisation de produits moins nocifs pour la biodiversité.
- › La baisse des effets de résistance aux produits chimiques ou de synthèse.
- › La diversité des solutions en réponse à des problématiques précises, adaptées à différentes cultures et à de nombreux contextes pédoclimatiques.

## Les produits de biocontrôle ont-ils des limites ?

Traiter le vivant par le vivant plutôt que par la chimie est implacablement plus subtil ! Il convient souvent de respecter des consignes d'utilisation plus strictes, et de revoir la conduite technique de certains travaux de la ferme pour ne pas entraver leur efficacité (travail du sol, autres produits pouvant se retourner contre les bio-solutions...).

On a coutume de dire qu'un itinéraire technique basé sur des bio-solutions est plus complexe qu'un itinéraire conventionnel, qu'il ne s'agit pas simplement de remplacer un bidon par un autre. C'est toute son organisation et sa stratégie de protection des cultures qu'un agriculteur doit faire évoluer pour réussir sa transition. Cela suppose d'aligner une partie de son agenda d'investissement, de revoir certains choix d'équipement, de monter en compétence et de se rendre plus agile pendant certaines périodes clés.

*Les bio-solutions émergent à l'heure où les outils d'agriculture de précision se font toujours plus précis. La complémentarité entre les deux est l'une des clés de réussite de la transition de notre modèle de production agricole !*

## L'agriculture de précision : un levier pour faciliter l'adoption des bio-solutions

L'agriculture de précision se caractérise par l'utilisation de technologies (capteurs, drones, satellites, IoT) pour :

- › Monitorer, mesurer les paramètres de production
- › Adapter les pratiques culturales à la variabilité intra-parcellaire ou les pratiques d'élevage à l'état de forme de chaque individu

Exemples d'équipement d'agriculture de précision :

- › Drones et capteurs : cartographies de sol, de végétation, de rendement, mesures de paramètres physiologiques et détection de pathogènes
- › Stations météo connectées : prévision des conditions météo et des risques sanitaires
- › Robots agricoles : applications localisées

Ces dispositifs visant essentiellement à optimiser les charges d'une exploitation sans en revoir les bases stratégiques, est un excellent point de départ pour une transformation de l'outil de production dans son ensemble.

Pour accompagner la transition d'un modèle conventionnel vers un modèle agroécologique, plus résilient, basé sur davantage de bio-solutions que de produits chimiques ou de synthèse, l'étape de l'agriculture de précision et la mise en place des outils de monitoring inhérents à cette optimisation des pratiques, est un levier à double effet :

- › Étape 1 : ces outils permettent de mieux connaître les paramètres à l'œuvre

autour de son outil de production, de les documenter et d'en faire une base de connaissances.

- › Étape 2 : une fois en maîtrise d'un parc d'équipement produisant des mesures dynamiques, un agriculteur :
  - peut profiter d'alertes sur l'apparition de conditions à risques (pression sanitaire, stress hydrique...);
  - détermine avec une grande finesse les conditions optimales d'application de ses bio-solutions (vent, hygrométrie, ensoleillement, température).

## Conclusion

Les bio-solutions, associées à l'agriculture de précision et à un monitoring accru des paramètres de production, offrent une voie crédible pour une agriculture plus durable, résiliente et performante => l'approche combinatoire à mi-chemin entre digital et vivant !

Leur adoption massive passera par la formation, l'accompagnement technique et la démonstration de la rentabilité à terme, mais aussi par davantage de soutiens financiers à l'investissement dans ces équipements et services.

Ces soutiens peuvent être publics au titre des bénéfices environnementaux et de santé publique, mais aussi privés, au titre de la création de valeur produite en aval par une meilleure qualité des matières premières. ■

# DE L'ÈRE DES PESTICIDES à celle des stratégies combinatoires

**A**près des décennies centrées sur l'efficacité immédiate des produits phytosanitaires, l'agriculture doit aujourd'hui repenser ses modèles.

Entre impératifs de production, pression environnementale et retrait progressif de solutions conventionnelles, l'avenir repose sur des stratégies diversifiées, agronomiques et collectives.

## Héritage d'un modèle productiviste

Durant plus d'un demi-siècle, l'agriculture a répondu à une demande claire : produire toujours plus pour nourrir une population croissante. Les intrants chimiques et les phytosanitaires puissants ont permis des gains de productivité considérables. Mais cette logique simplifiée – un problème, une solution, un résultat – a fini par montrer ses limites. Résistances, pression environnementale, retrait de molécules et hausse des intrants fragilisent aujourd'hui la rentabilité des exploitations.

## Des alternatives autrefois marginales, désormais incontournables

Au début des années 2000, les alternatives aux pesticides étaient perçues comme anecdotiques. Elles concernaient surtout les cultures spécialisées sous serre ou à forte valeur ajoutée, capables de supporter le surcoût et l'incertitude de solutions nouvelles. Vingt ans plus tard, ces alternatives sont devenues des références. Reste que les grandes cultures, soumises à des contraintes économiques fortes, affrontent aujourd'hui le même dilemme : produire autant, rester rentables, mais sans leviers phytosanitaires aussi puissants qu'avant.

## Vers une approche multifactorielle et combinatoire

Aucune solution naturelle ne remplacera, seule, un produit phytosanitaire conventionnel. L'expérience du maraîchage nous l'a montré : les réussites reposent sur la combinaison de leviers génétiques, agronomiques et techniques. Cette logique doit s'imposer progressivement aux grandes cultures. De nombreuses solutions émergent, portées par des sociétés françaises et

internationales, et le marché mondial des produits de substitution progresse de plus de 20 % par an. Pourtant, en France, cette dynamique marque le pas depuis quatre ans, faute de vision claire et partagée à long terme.

## Le rôle clé de l'accompagnement collectif

Changer de modèle ne se décrète pas. Les syndicats, coopératives, acteurs du conseil et de la recherche sont encore largement structurés autour de la distribution et promotion de produits phytosanitaires. Or, la transition exige d'autres repères : formation, accompagnement et sécurisation des agriculteurs. Les démarches de progrès nécessitent de dépasser les logiques individuelles pour s'inscrire dans un cadre collectif, filière par filière.

## Une agriculture en mouvement, à la croisée des chemins

L'agriculture a toujours évolué pour survivre et nourrir les populations. La transition actuelle ne fait pas exception, mais elle est plus complexe, car elle remet en cause un modèle productiviste solidement ancré. L'enjeu est désormais d'accélérer cette mutation, en mobilisant à la fois l'innovation agronomique, les connaissances scientifiques et les outils numériques. Des structures comme SYNDEV explorent déjà cette voie en travaillant sur des approches combinatoires, intégrant leviers génétiques, agronomiques et techniques, pour renforcer la performance des biosolutions.

## Le rôle des outils numériques dans l'accompagnement

Changer de modèle ne se décrète pas : les agriculteurs doivent être accompagnés et sécurisés dans leurs choix. Les outils numériques deviennent essentiels pour rendre lisible cette complexité et aider à combiner plusieurs leviers. Des plateformes comme SynApps illustrent cette évolution en proposant un suivi intégré, capable d'accompagner les agriculteurs dans la mise en place de stratégies multifactorielle et dans la transition vers un modèle plus durable et rentable. L'intelligence artificielle, en analysant de multiples données, pourrait à terme accélérer encore ce processus.



Damien CARIQOU

Fondateur de SYNDEV, une start-up dédiée à l'accompagnement de la transition agricole. Depuis 20 ans, il s'investit dans le développement et l'évaluation de biosolutions comme alternatives aux pesticides, en lien avec les filières, la recherche et les acteurs du conseil.

[in/damien-cariou-b1960366/](https://in.damien-cariou-b1960366/)

## À retenir

- › Le modèle « un problème -> une solution » atteint ses limites dans un contexte de retrait des molécules et de pression environnementale.
- › Les biosolutions, moins puissantes individuellement, nécessitent des approches combinatoires (génétique, agronomie, techniques culturales).
- › Le marché mondial progresse rapidement (+20 %/an), mais la dynamique française ralentit faute de vision commune.
- › La réussite passera par l'accompagnement, la formation et l'organisation collective des filières.
- › L'IA et les outils numériques peuvent accélérer la transition vers une agriculture performante et durable.



Franck Guichet

# BIOCONTRÔLE ET MICRO-ENCAPSULATION : une nouvelle ère pour l'agriculture durable.

**F**ace aux défis environnementaux et à la nécessité de réduire l'usage des produits phytosanitaires conventionnels, l'agriculture vit une transformation profonde. La recherche de solutions capables de protéger efficacement les cultures tout en respectant la biodiversité est devenue une priorité. Parmi ces alternatives, le biocontrôle s'impose comme une voie d'avenir. Associé à une technologie de pointe comme la micro-encapsulation développée par M2i, il ouvre la voie à une protection des plantes plus durable, performante et adaptée aux besoins des agriculteurs.

## Vers une agriculture durable.

L'essor des produits chimiques et des pesticides au XXe siècle a permis d'augmenter fortement les rendements mais a aussi entraîné des impacts environnementaux, sanitaires et une résistance accrue des ravageurs. Aujourd'hui, l'agriculture s'oriente vers des approches plus respectueuses des écosystèmes. Le biocontrôle en est l'illustration : il regroupe des méthodes de protection des cultures qui exploitent

des mécanismes naturels pour réguler la présence des ravageurs, réduisant ainsi la dépendance aux pesticides tout en préservant sols, eau et santé humaine.

## Les solutions de biocontrôle et le rôle central des phéromones.

Le biocontrôle s'appuie sur la biodiversité et utilise différentes approches, insectes auxiliaires (tel que la solution Bene Pro Spray M2i attirant les coccinelles pour

lutter contre la présence de pucerons), micro-organismes, substances naturelles ou médiateurs chimiques. Parmi ces derniers, les phéromones occupent une place centrale. Ces molécules, sécrétées par les insectes pour communiquer entre eux (regroupement, accouplement, fuite) peuvent être reproduites en laboratoire et intégrées à des diffuseurs.

En agriculture, elles permettent d'attirer les ravageurs pour les piéger ou perturber leur reproduction par confusion sexuelle



## Des bénéfices multiples pour les agriculteurs et l'environnement.

La micro-encapsulation offre des avantages économiques en réduisant les doses nécessaires et les interventions. Elle s'adapte à une grande diversité de cultures (vignes, vergers, maraîchage, grandes cultures, espaces verts) et assure une mise en œuvre simple, flexible et pratique.

Sur le plan environnemental, les formulations sont exemptes de solvants, microplastiques, résidus et intrants, totalement compatibles avec l'agriculture biologique. Elles préservent les sols, les pollinisateurs et la biodiversité tout en répondant aux attentes sociétales en matière de sécurité alimentaire.



**Franck GUICHET**

Chargé de communication interne et externe chez M2i Group, qu'il a rejoint en 2022. Il est en charge de la coordination et de l'accompagnement de la diffusion des messages afin de valoriser les activités et les projets de l'entreprise auprès des collaborateurs, des partenaires et du grand public. Il contribue également à renforcer l'image de marque de M2i, en veillant à la cohérence des contenus et à l'impact des communications sur les différents supports internes et externes.

Titulaire d'un Master Grande École en Management de la Marque de EXCELIA Business S.

## Une reconnaissance internationale

Les solutions de biocontrôle à base de phéromones issues de cette technologie sont homologuées dans de nombreuses régions du monde. Elles se distinguent par leur efficacité, leur durabilité et leur conformité aux normes environnementales. M2i propose aujourd'hui plus de 60 solutions de biocontrôle à base de phéromones, mélangeant piégeage et confusion sexuelle, couvrant une large gamme de cultures.

Ces innovations illustrent le rôle croissant du biocontrôle dans la transition agricole, en apportant aux producteurs des outils fiables, performants et respectueux de l'environnement pour protéger durablement leurs cultures et plantations. ■

afin de limiter leur prolifération. Sélectives, non toxiques, sans résidu et sans risque de résistance, elles constituent un levier essentiel pour une agriculture durable.

## La micro-encapsulation : une innovation au service du biocontrôle.

Pour exploiter pleinement le potentiel des phéromones, M2i a développé une technologie brevetée de micro-encapsulation. Elle consiste à enfermer la molécule active dans des capsules microscopiques à base de cire et d'eau, naturelles et biodégradables. Cette formulation brevetée protège les phéromones et en contrôle la libération progressive dans l'environnement.

La diffusion régulière et prolongée, pouvant durer plusieurs mois, limite le nombre d'applications nécessaires et réduit de ce fait la charge de travail des agriculteurs. Les molécules conservent leur pureté et leur efficacité, rendant les solutions de piégeage et de confusion sexuelle plus fiables que les formulations classiques.

### M2i

PME industrielle française, leader européen de la conception et la production de phéromones et de solutions biologiques pour la protection des plantes et des cultures de substitution des pesticides conventionnels. Notre société comporte trois groupes bien distincts : un site de production de nos phéromones du mg au kg à Salin-de-Giraud tout près d'Arles, notre centre de recherche et développement et récemment de production à Lacq ainsi que notre usine de conditionnement à Parnac situé au cœur du département du Lot, pays du Malbec. Nos trois sites cumulent 180 salariés ce qui nous permet d'être efficace et sur tous les fronts.

in [company/m2i-group](https://www.m2igroup.com)  
 x [@m2iifsciences](https://www.m2iifsciences.com)  
 @ [@m2i\\_group\\_](https://www.m2i_group.com)  
 @ [@m2igroup138](https://www.m2igroup138.com)  
 \* [m2igroup](https://www.m2igroup.com)

## À retenir

Le biocontrôle, et en particulier l'utilisation des phéromones, offre une alternative durable et respectueuse de l'environnement aux pesticides conventionnels. Grâce à sa technologie de micro-encapsulation, M2i propose des solutions performantes, économiques et compatibles avec l'agriculture biologique, déjà reconnues à l'international.

# AXIOMA BIOLOGICALS :

INNOVER  
POUR UNE  
AGRICULTURE  
RÉSILIENTE  
FACE AUX  
DÉFIS  
CLIMATIQUES

Par Clément Soulier

**F**ace aux bouleversements climatiques et à la nécessité de produire une alimentation durable, AXIOMA Biologicals s'impose comme un acteur clé de la biotechnologie agricole. Retour sur une démarche scientifique et industrielle qui conjugue innovation, impact environnemental et adaptation aux besoins des agriculteurs.





## L'INNOVATION BIOLOGIQUE AU SERVICE DE L'AGRICULTURE DURABLE

Depuis sa création en 2012 à Brive-la-Gaillarde, AXIOMA Biologicals s'est donné pour mission de répondre à l'équation complexe « Agriculture, Alimentation et Climat ». L'entreprise développe des biosolutions – biostimulants et produits de biocontrôle – conçues pour limiter l'impact des stress climatiques sur les cultures, tout en maintenant des rendements élevés. Ces solutions, issues de la combinaison unique de plus de 350 extraits de plantes, sont adaptées à une large gamme de cultures (céréales, oléagineux, vigne, légumes, etc.) et sont utilisables en agriculture biologique.

La force d'AXIOMA Biologicals réside dans sa capacité à concevoir des produits sur-mesure, en intégrant les besoins spécifiques des agriculteurs et les contraintes géographiques. L'approche scientifique et agronomique, éprouvée par des partenariats institutionnels et des essais terrain, garantit l'efficacité et la sécurité des solutions proposées.

## DES SOLUTIONS CONCRÈTES POUR DES ENJEUX GLOBAUX

Dans un contexte où la sécurité alimentaire et la réduction de l'empreinte carbone deviennent prioritaires, AXIOMA Biologicals multiplie les collaborations internationales. L'entreprise a récemment étendu ses activités au Brésil et à l'Australie, afin de mieux appréhender les défis locaux

et d'adapter ses innovations à des contextes agricoles variés. Un partenariat scientifique avec Kersia, leader mondial de la biosécurité, vise à faire évoluer les standards de sécurité alimentaire grâce à des solutions innovantes et durables.

Les produits AXIOMA sont conçus à base d'extraits végétaux et stimulent le métabolisme des plantes (photosynthèse, développement racinaire, tolérance aux stress abiotiques). Cette approche permet d'améliorer la vigueur, la croissance et la qualité des récoltes, tout en limitant l'usage d'intrants chimiques.

## IMPACT, PERSPECTIVES ET LIMITES

Lauréate du plan France 2030, AXIOMA Biologicals dispose d'une capacité industrielle de plusieurs millions de litres par an, ce qui lui permet de répondre à la demande croissante en biosolutions homologuées et certifiées bas carbone. L'entreprise poursuit sa dynamique d'innovation, en investissant dans la recherche et le développement, et en adaptant ses produits aux exigences réglementaires internationales (Europe, Amérique latine, Asie).

Cependant, la généralisation des biosolutions se heurte encore à des freins réglementaires et à la nécessité d'accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique. AXIOMA Biologicals mise sur la pédagogie, la transparence et la collaboration pour accélérer cette mutation. ■

## Chiffres clés AXIOMA Biologicals (2024)

- › Année de création : 2012.
- › Siège social : 8 boulevard Voltaire, 19100 Brive-la-Gaillarde.
- › Site de production : Saint-Pantaléon-de-Larche (capacité : 5 000 000 L/an).
- › Effectif : entre 20 et 49 salariés (2022).
- › Présence internationale : filiales en Australie et au Brésil.
- › Nombre de plantes utilisées dans les formulations : plus de 350.
- › Marchés adressés : agriculture conventionnelle et biologique.
- › Filiale dédiée à la nutrition animale : Breed (100 %).
- › Certification : produits disposant d'une Autorisation de Mise sur le Marché, utilisables en agriculture biologique.
- › Clients : réseaux de distribution agricole, partenaires industriels.

 [company/axioma-biologicals](https://www.linkedin.com/company/axioma-biologicals)

## À retenir

- › AXIOMA Biologicals développe des biosolutions innovantes pour une agriculture plus résiliente et durable.
- › L'entreprise s'appuie sur une expertise scientifique, des partenariats internationaux et une capacité industrielle forte.
- › Les défis à venir concernent l'adaptation réglementaire et l'accompagnement des acteurs du secteur vers l'agroécologie.



**Clément SOULIER**

Deputy Chief Executive – Innovation & Industry chez AXIOMA Biologicals, engagé dans la transition agroécologique et le développement de solutions biotechnologiques pour l'agriculture de demain.

 [in/csoulier19](https://www.linkedin.com/in/csoulier19)



# ENTRETIEN AVEC CHRISTOPHE VASSEUR CRÉATEUR ET CEO D'INNOFENSO

Par **Michel Cochet (1973)**

*[Michel Cochet]* **Bonjour Christophe, comment vous est venue l'idée de créer Innofenso, start-up spécialisée dans la lutte naturelle contre les insectes ravageurs et dont le nom est révélateur de son action (inoffensive).**

*[Christophe Vasseur]* Avec mon associé, Nicolas Ris, nous avons fait le constat de l'utilisation systématique de pesticides de synthèse depuis les années 50's à raison, en 2022 d'environ 230 000 T par an en Europe alors qu'il existe des solutions naturelles pour lutter contre les insectes ravageurs de cultures.

Innofenso, créée en Janvier 2024, a bénéficié de dix années de recherches au sein de l'INRAE où Nicolas Ris a dirigé des équipes de recherche dans le domaine de la « génétique des insectes auxiliaires » et de la R&D en lutte biologique.

Nous élaborons ainsi des solutions uniques de biocontrôle. Des cocktails d'insectes auxiliaires, inoffensifs pour le sol, la plante et l'homme, qui vont lutter spécifiquement contre l'invasion de lépidoptères ravageurs.

Notre force, grâce à ces recherches, est d'assembler des combinaisons d'insectes indigènes ne nécessitant pas de procédures d'autorisation de mise sur le marché (longues et coûteuses) car les insectes épanus sont déjà naturellement présents sur notre territoire.

*[Michel Cochet]* **Comment et quand sont mis en œuvre ces cocktails ?**

*[Christophe Vasseur]* L'épandage par drone est demandé par nos clients, les agriculteurs. Le cocktail dépend de la plante, de la spécificité du ravageur et des conditions pédoclimatiques et météorologiques. L'agriculteur repère les vols des ravageurs ce qui donnent le signal de lancement du traitement.

Dès qu'il y a ponte des ravageurs, il y a épandage des souches d'insectes auxiliaires qui sont efficaces en moins de 48h. La solution Innofenso permet d'intervenir, au stade œuf, soit très tôt dans le cycle de vie des insectes ravageurs évitant ainsi les dégâts causés par les chenilles de lépidoptères. Les insectes auxiliaires (rampants) sont sélectionnés par vidéo-phénotypage pour les traits de vie qui vont les rendre efficace sur la culture à protéger. Ces insectes auxiliaires dits parasitoïdes vont pondre dans les œufs des lépidoptères ravageurs pour s'en nourrir, et empêcher leur émergence, tout naturellement.

La technologie Innofenso combine de nombreuses technologies et exploite en particulier les principes de thermo-biologie afin, entre autres, de pouvoir synchroniser l'ensemble des souches et espèces assemblées dans le cocktail pour être toutes efficaces en même temps dès le jour des lâchers au champ.



Christophe VASSEUR

Président. Docteur en Sciences de l'environnement (2003) et ancien chercheur en océanographie & spécialiste en biotechnologie. Christophe possède près de 15 années d'expérience en tant qu'entrepreneur au sein de sociétés de biotechnologies (France & US). En 2011 Christophe VASSEUR quitte le CNRS et part diriger un département de R&D de la start-up américaine Algenol Biofuels sur les marchés des biocarburants. Après trois ans, convaincu que l'innovation est un moteur de la création de valeur, il rentre en France. En 2014, il contribue en tant que Directeur de la plateforme de production du projet *Phycoventure* et développe des actifs naturels sur le marché des compléments alimentaires. Puis entre 2015 et

2022, Il complète son profil par une formation en Management de l'innovation (HEC Paris), cofonde et dirige initialement une société de biotechnologie qui valorise des actifs issus de la recherche publique et qui développe des ingrédients durables pour le marché de l'aquaculture. Il sécurise 7M€ pour le développement de la société et recrute 20 talents. En 2022, après un exit stratégique il fonde Terra Mare Nova, société de conseil en stratégie d'entreprise. Il accompagne une dizaine de néo-entrepreneurs, sur leur stratégie de financement, *go-to-market*, besoin de structuration et surtout l'exécution de leur roadmap sur des industries variées : agro-industrie, agriculture, nutrition animale, santé, spatial. Enfin, en 2024 il cofonde et dirige une troisième entreprise de

biotechnologie. La société Innofenso formule des solutions naturelles qui protègent les cultures contre les insectes ravageurs. Son expérience dans l'industrie et la biotechnologie lui ouvre un réseau important qu'il mobilise pour les partenariats industriels et la recherche de financements. Sur les 10 dernières années, en tant que manager puis dirigeant de jeunes entreprises innovantes, il participe au pilotage de la stratégie globale des entreprises. Christophe apporte une expertise en termes de création & développement de sociétés biotechnologiques, de Business Développement, de stratégie financière et commerciale et de management de l'innovation.

*[Michel Cochet]* **Quelles sont vos capacités, les zones et les types de traitements que vous réalisez ?**

*[Christophe Vasseur]* Nous avons la capacité de produire suffisamment d'insectes auxiliaires pour protéger 5.000 ha de cultures. Nos produits sont actuellement introduits dans trois régions en France : Provence - Alpes - Côte d'Azur, Nouvelle Aquitaine et Bretagne. Nous développons des produits sur-mesure et traitons les filières qui font face au retrait de substances actives de synthèse et qui se retrouvent dans une impasse technique pour protéger leur culture spécialisées. Ce qui rend un traitement alternatif impératif. La société répond aux enjeux des filières de (i) plantes à parfums aromatiques et médicinales en travaillant sur la Lavande (ii) de la culture de l'olive, (iii) de la tomate, (iv) des fruits & légumes (haricots, chou-fleur et brocoli), et enfin (v) des herbages (prairies pour les brebis).

Nous travaillons de concert avec les instituts techniques et les agriculteurs sur l'efficacité de nos cocktails en sélectionnant les espèces indigènes les plus efficaces. Les solutions Innofenso ne nécessitent pas l'obtention d'autorisation de mises sur le marché. Ceci représente un avantage concurrentiel déterminant car les demandes d'autorisations peuvent être pénalisantes (cinq à sept années en Europe contre deux à trois ans au Brésil et trois à cinq ans aux États-Unis).

*[Michel Cochet]* **Quels types d'insectes auxiliaires utilisez-vous et comment s'effectue la régulation après épandage et traitement ?**

*[Christophe Vasseur]* Nous utilisons des trichogrammes, des micro-hyménoptères, dont les larves peuvent migrer sur 5 à 10m maximum durant leur durée de vie qui est de sept à dix jours selon la température de la parcelle. Les trichogrammes adultes pondent dans les œufs des lépidoptères ravageurs. À l'extinction des œufs de lépidoptères la population de trichogramme s'éteint.

Il n'y a ainsi pas d'accumulation ni de migration de ces insectes auxiliaires qui subsistent après la régulation des insectes ravageurs.

*[Michel Cochet]* **Comment sont établis les cocktails d'insectes auxiliaires ?**

*[Christophe Vasseur]* Les cocktails sont conçus sur-mesure pour chaque filière. Nous assemblons la meilleure combinaison d'insectes auxiliaires, adaptée à la plante, aux conditions climatiques rencontrées sur la parcelle à protéger et spécifique du ou des ravageurs à réguler. Par exemple pour des champs de lavande situés dans deux régions différentes, nos cocktails sont différents car la météo et le climat ne sont pas identiques. Il est indispensable d'optimiser les traitements dits de biocontrôle pour garantir leur efficacité.

Nous pouvons ainsi avec nos cocktails lutter contre plusieurs espèces de lépidoptères.

*[Michel Cochet]* **Comment envisagez-vous le développement d'Innofenso dans les deux à trois prochaines années ?**

*[Christophe Vasseur]* Après cette première phase de validation de nos traitements, nous envisageons d'aller vers d'autres cultures qui occupent de plus grandes surfaces comme les céréales (blé, maïs par exemple), la betterave et le soja.

*[Michel Cochet]* **Merci Christophe. Excellente réussite à Innofenso dans le développement et la mise en œuvre de cette solution naturelle de traitement des insectes ravageurs en remplacement des pesticides de synthèse. ■**





Inès Taurou

# INCérès

## Des huiles essentielles pour remplacer les insecticides de synthèse ?

L'histoire d'INCérès évoque les réussites les plus brillantes de la technologie. En 2021, Inès Taurou, ingénieure agronome forte de dix ans d'expérience dans l'agrofourniture, lance ses travaux de R&D depuis un simple garage. Son objectif : développer des biosolutions à base d'huiles essentielles pour répondre aux impasses techniques de l'agriculture française.

### Une urgence agricole réelle : des filières françaises menacées

Le scénario n'a plus rien de fictif : nos fruits rouges, pommes de terre et betteraves sucrières origine France pourraient disparaître de nos rayons. Face à la raréfaction des solutions conventionnelles (produits phytosanitaires) et à la pression montante des ravageurs, de nombreux producteurs sont dans l'impasse. « Si rien n'est fait pour accélérer l'innovation, ce sont nos filières agricoles qui disparaîtront », alerte Inès Taurou.

### Se concentrer sur les filières les plus en péril

Plutôt que de viser un marché global, INCérès se concentre sur des urgences spécifiques :

- › Mouches des fruits, dont *Drosophila suzukii*, cette mouche asiatique qui décime les vergers de cerises et fruits rouges,
- › Pucerons tels que *Myzus persicae*, le puceron qui menace la filière sucrière depuis le retrait des solutions conventionnelles telles que les néonicotinoïdes.
- › Insectes piqueurs suceurs tels que les punaises, Psylles...

### Les « superpouvoirs » des huiles essentielles

Largement utilisées en santé humaine, mais sous-exploitées en agriculture, les huiles essentielles présentent des propriétés remarquables : action insecticide et insectifuge, richesse en composés organiques encore méconnus, biodégradabilité, action antioxydante, biostimulation et limitation des résistances.

### Une belle montée en puissance de la start-up française

Là où l'industrie compte habituellement cinq ans entre R&D et premiers tests, INCérès a testé ses solutions sur le terrain dès 2023, soit moins de deux ans après sa création ! Après deux levées de fonds, la startup a quitté son garage pour des laboratoires à Uzès et compte désormais 18 collaborateurs répartis entre commerce, technique et R&D.

### La réglementation comme principal challenge

Actuellement classées comme biostimulants, les solutions INCérès ont pu débiter leur développement commercial sur la campagne 2024/2025 avec le soutien des filières agricoles, des prescripteurs, des distributeurs et surtout des agriculteurs à la recherche d'alternatives efficaces. Mais l'objectif principal de cette entreprise

prometteuse reste l'obtention de l'homologation en tant que solution de biocontrôle, processus pouvant s'étendre jusqu'à dix ans et couter plusieurs millions d'euros. « Nous œuvrons avec des syndicats professionnels, tels que France Biocontrôle, IBMA Global pour faire évoluer la réglementation européenne », précise Judie Henry, responsable réglementaire chez INCérès.

### Les solutions de Biocontrôle ont besoin du numérique !

Pour INCérès, l'efficacité des biosolutions naturelles passe par un monitoring précis de la pression des ravageurs dans les parcelles. « L'une des clés de voute d'une bonne efficacité sera le monitoring des pressions des insectes dans les champs en couplant les phénomènes météorologiques, les comptages, les vols, l'hygrométrie, ainsi que le cycle de vie des pucerons pour intervenir au bon stade. C'est ici que le numérique peut demain nous accompagner en créant des OAD performants nous permettant d'intervenir les plus précisément sur les parcelles pour maximiser l'efficacité. », explique Inès Taurou. ■

### INCérès

- › Start-up française basée à Uzès (30).
- › Développement et mise en marché de biosolutions innovantes.
- › Créée en 2021.
- › 18 collaborateurs.



Inès TAUROU

est la fondatrice et dirigeante d'INCérès, une entreprise spécialisée dans le développement de biosolutions agricoles. Forte de plus de dix ans d'expertise dans la

mise en marché de solutions biologiques pour l'agriculture, elle a créé INCérès avec la conviction que les agriculteurs peuvent opérer leur transition écologique sans compromettre leur niveau de production.

Face aux retraits progressifs des produits phytosanitaires du marché, Inès Taurou développe des alternatives naturelles et efficaces, testées en conditions réelles. Son approche privilégie des produits facilement intégrables dans les itinéraires techniques existants des exploitants agricoles.





Ené Leppik

# DES ODEURS NATURELLES DE PLANTES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

**E**t si l'odorat devenait un allié de taille pour protéger les cultures ? Dans la nature, les interactions chimiques entre plantes et insectes jouent un rôle fondamental. Comprendre ce langage invisible ouvre la voie à une agriculture moins dépendante des pesticides et plus respectueuse de l'environnement. C'est le challenge que relève Agriodor.

## L'odorat, un sens universel mais crucial pour les insectes

Chez l'humain, le nez capte les odeurs ; chez l'insecte, ce sont les antennes. Ces dernières sont recouvertes de milliers de capteurs sensoriels reliés à des neurones spécialisés. Ils détectent les composés organiques volatils (COV), de petites molécules qui se diffusent naturellement dans l'air à température ambiante.

Les plantes exploitent ces signaux chimiques depuis des centaines de millions d'années pour communiquer entre elles et interagir avec leur environnement. Elles peuvent, par exemple, attirer des prédateurs naturels pour se défendre contre des insectes nuisibles. Cette coévolution insecte-plante a façonné un langage complexe que l'écologie chimique commence à décrypter.

## Comprendre et détourner la communication chimique

En écologie chimique, on distingue plusieurs familles de signaux odorants :

- › **Les phéromones**, utilisées au sein d'une même espèce,
- › **Les allomones et kairomones**, de la catégorie des allélochimiques, qui servent à la communication entre espèces différentes.

Ces molécules sont de véritables messages codés. En les identifiant et en les reproduisant, il devient possible d'influencer le comportement des insectes, et de les guider.

## Quand la recherche se fait « parfumeur d'insectes »

Agriodor s'est spécialisé dans ce domaine : nous analysons la réponse comportementale des ravageurs ciblés à différentes odeurs naturelles de plantes. L'idée : concevoir des solutions naturelles capables de protéger les cultures. C'est un changement de paradigme : on ne tue plus les nuisibles, on modifie leur comportement : on les repousse, limite leur reproduction...

Pour y parvenir, une équipe pluridisciplinaire (chimie analytique, neurophysiologie, sciences du comportement) met au point des formulations à base d'odeurs naturelles. Ces dernières sont testées dans des dispositifs expérimentaux sophistiqués : des olfactomètres, des électropénétrogrammes (qui mesurent l'alimentation des pucerons en temps réel), ou encore des analyses chimiques des molécules odorantes.



Ené LEPIK

Docteur en écologie chimique, elle travaille pendant plus de 20 ans sur la relation plantes-insectes, la manière dont ces derniers trouvent leur plante-hôtes, et comment utiliser ces mécanismes naturels en agriculture. Une démarche initiée sur au sein de l'INRAE et ARVALIS sur le sujet « Communication chimique de la bruche de la féverole ». Elle s'est ainsi spécialisée dans le domaine des insectes ravageurs, des odeurs naturelles de plantes et des phéromones des insectes et co-détient les brevets des solutions de lutte biologique développées dans ce cadre. Convaincue que la transition agroécologique passera par la mise à disposition aux agriculteurs de biosolutions, elle intègre en 2017 l'incubateur IncubAlliance avec le projet de créer une société pour porter cette nouvelle technologie de pointe. Il y rencontrera Alain Thibault pour fonder Agriodor en 2019. Elle dirige aujourd'hui une équipe scientifique multinationale et spécialisée en écologie chimique. Ensemble, ils développent des outils de biocontrôle basés sur les sémio-chimiques (allomones et kairomones) pour protéger les cultures.

### À retenir

- › 70 % des insectes ravageurs sont sensibles aux odeurs.
- › Les allomones sont répulsives, les kairomones attractives, et régissent la communication entre différentes espèces.
- › INSIOR GR A est une première mondiale, la première allomone déployée en grandes cultures.

**AGRIODOR** s'inspire de la nature et crée des mélanges d'odeurs à partir de molécules émises naturellement par les plantes, pour modifier le comportement des insectes ravageurs et protéger les cultures.



## Un cas concret : INSIOR GR A, la betterave sucrière

Les pucerons verts – *Myzus persicae* - représentent un fléau majeur pour cette culture, car ils transmettent le virus de la jaunisse, réduisant à la fois le rendement et le taux de sucre. En imitant certaines odeurs répulsives de plantes, Agriodor a obtenu un triple effet :

- › **Repousser** les pucerons.
- › **Réduire leur alimentation**, donc la transmission de virus.
- › **Limiter leur reproduction**, ce qui freine la croissance des populations.

Ces odeurs sont intégrées à des supports adaptés aux systèmes de culture pour faciliter leur utilisation. En betterave sucrière, c'est un granulé qui diffuse les odeurs pendant plusieurs semaines, qui s'épand facilement avec du matériel déjà présent dans les exploitations agricoles. Une solution qui permet de diviser par deux les populations de pucerons et d'apporter une protection longue durée. Dans les régions à très forte pression de ravageurs, INSIOR GR A vient en complément des pratiques agricoles pour assurer la protection des plantes. Dans d'autres, où la pression est standard, elle permet de limiter l'utilisation d'insecticides. Une solution utilisée par les betteraviers depuis le printemps 2025 sous dérogation.

## Une innovation durable à portée mondiale

Agriodor étend aujourd'hui ses travaux sur les principales familles de ravageurs dans le monde, qui touchent aujourd'hui tous les systèmes de culture : grandes cultures, arboriculture, maraîchage, plein champ et sous serre, que ce soit en zones tempérées ou tropicale. La technologie olfactive permet d'adresser 70 % des insectes ravageurs dans le monde. ■

# Agritech, photobiologie et données : Asclepios Tech au service du vivant

Par **Patrick Roynette**



**Patrick ROYNETTE**  
Ingénieur Arts et Métiers, Centrale-Supélec et MBA ESCP, a mené une carrière internationale chez Thales, dans des start-up et PME technologiques. Conseiller du commerce extérieur de la France, il a dirigé des réseaux sur quatre continents et remporté plus de 10 projets collaboratifs innovants.

[in company/asclepios-tech](https://www.asclepiostech.com)

[www.asclepiostech.com](https://www.asclepiostech.com)

## Une biotech tournée vers l'impact

Fondée en 2019 à Toulouse, Asclepios Tech, biotech jaune à impact économique écologique et sociétal (Impact Score 92 %, egapro 86 %), développe une technologie singulière : Boxilumix une solution de rupture de traitement photobiologique par LEDs modulées pré- et post-récolte. Elle ambitionne de transformer la gestion de la qualité et de la conservation des produits agricoles. Labellisée Solar Impulse, lauréate de French Tech Agri20, Innovation & Alimentation durable et responsable d'Occitanie, PhD Talent, Booster Agrinest, Seal of Excellence de la communauté européenne et incubée HEC Creative Destruction Lab et Hectar, la société vise l'industrialisation en 2026.

## Un enjeu vital pour les filières

Les chiffres parlent d'eux-mêmes : près de 50 % des fruits et légumes produits sont perdus avant consommation, tandis que la densité nutritionnelle décline. Les distributeurs, confrontés à la double contrainte de la sécurité sanitaire et de la réduction des intrants, cherchent des solutions non chimiques. L'ambition d'Asclepios Tech est claire : **diviser par deux l'usage d'agrochimiques et réduire les pertes post-récolte jusqu'à 50 %, tout en augmentant vitamines, minéraux et métabolites (+200 % à +1000 % mesurés selon les matrices).**



## Le cœur technologique

La solution éco-conçue conforme au futur **Digital Product Passport** (DPP) repose sur quatre piliers :

- › **Émission LED modulée (260–850 nm)** conçue pour stimuler précisément les photorécepteurs végétaux. Cette modulation est trois à dix fois plus efficace qu'une lumière continue, à très basse puissance, sans stress ni risque de phytotoxicité.
- › **Protocoles photobiologiques propriétaires**, qui orchestrent stimulation des défenses naturelles, photomorphogenèse et biosynthèse de métabolites secondaires.
- › **Boxibrain**, base de connaissance couplée à un moteur logiciel qui capitalise plus de 100 essais sur 45 matrices. Comparable à un **jumeau numérique agricole**, elle délivre des émissions lumineuses adaptées, traçables et répliquables.
- › **Connectivité industrielle native**, via bus CAN (CAN FD, CANopen) pour le pilotage en temps réel des modules PTU et des capteurs, et interfaces IEC (61158, 61784, 61131-3) pour intégration fluide aux automates et systèmes de supervision avec passerelles vers Modbus/TCP, Profinet. L'interopérabilité avec automates et systèmes de supervision est immédiate, ouvrant la voie à des déploiements IoT agricoles sécurisés.

## Des preuves expérimentales

En partenariat avec la recherche académique, les validations sont solides : réduction d'un facteur 1000 des pathogènes (*Fusarium*) en quelques secondes, augmentation de la vitamine D dans les champignons shiitake (+66%), stimulation de la rhizogenèse du persil en conditions sèches, multiplication par 2,5 de la coumarine dans *Melilotus officinalis* par exemple. En collaboration avec l'INRAE, des marqueurs génétiques (qPFD)<sup>1</sup> ont confirmé l'activation des voies de défense.

## Une gamme adaptée à toute la chaîne

La technologie se décline en trois formats complémentaires :

- › **Boxistick®** pour la serre, le laboratoire ou les micro-traitements ciblés.
- › **Boxitunnel®** pour les lignes industrielles et stations de conditionnement fruits et légumes.
- › **Boxirover®** pour la mobilité en conditions de terrain.

Chaque système est écoconçu, modulaire, compatible avec les systèmes existants, et pensé pour limiter CAPEX et temps d'arrêt.

## Un actif immatériel consolidé

La protection repose sur un brevet français étendu dans 34 pays associé à une stratégie en droit d'exploitation (FTO) pilotée par Plasseraud IP. L'entreprise structure un nouveau segment de marché : le **Photobiology Agricultural Lighting Treatments** (PALT) pour l'agriculture, la cosmétique, la nutrition et la santé, au croisement de l'opto-électronique, de la biologie végétale et de l'IA.

## Impact et perspectives

La prophylaxie lumineuse, définie comme prévention par lumière modulée, s'inscrit dans le Pacte vert européen et la stratégie *Farm to Fork*. L'absence de résidus, la traçabilité et la faible empreinte énergétique positionnent cette approche comme une alternative crédible aux intrants.

Prochaine étape : montée en puissance de **Boxibrain** avec intégration de capteurs connectés, automatisation des protocoles et renforcement de la **cybersécurité des données agricoles**. Des pilotes pépinières, stations de conditionnement, distributeurs et fabricants de lignes post-récolte sont en cours.

## Conclusion

Au-delà d'une alternative aux intrants, Asclepios Tech propose un changement de paradigme : passer d'un contrôle chimique réactif à une prophylaxie lumineuse programmable et connectée, où la donnée et l'opto-électronique deviennent des outils industriels au service du vivant. Pour les ingénieurs Télécom, le message est net : la convergence lumière – IA décentralisée – communication industrielle interopérabilité, cybersécurité, *edge computing* ouvre une nouvelle frontière de l'AgriTech, durable, mesurable, traçable et scalable. ■

### Référence

<sup>1</sup> Marolleau, B., Staub, J., Brisset, M.N. [2013]. La qPFD, un outil de criblage des SDP alias stimulateurs de défense des plantes. *Phytoma*, (664). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/257606312>

Edita Bezeg

# HYGO : LA FIN DES ILLUSIONS TECHNOLOGIQUES DANS LA RÉDUCTION DES PESTICIDES ?

**C**haque année, l'usage mondial des pesticides atteint près de quatre millions de tonnes d'ingrédients actifs. Et malgré toutes les innovations techniques, ce chiffre ne baisse pas. Pourquoi ? Parce que la réduction des pesticides n'est pas une affaire de promesse technologique. C'est une affaire d'agronomie, de complexité, d'acceptabilité, et de réalité de terrain. HYGO, notre solution logicielle développée chez Alvie, est née de ce constat. Ce n'est ni un gadget futuriste ni une application de données « génériques ». C'est un outil agronomique, pratique, conçu pour les réalités de terrain des exploitations agricoles.



## Le fantasme technologique : *spot spraying*, satellites et autres mirages

De nombreuses solutions sont vantées comme capables de réduire drastiquement les pesticides : pulvérisation ciblée (*spot spraying*), images satellites, modèles épidémiologiques, etc. Ces technologies apportent une valeur, mais à des niveaux souvent surestimés ou limités dans leur portée.

Prenons la pulvérisation ciblée par caméra, comme celle de Bilberry (dont le CEO est d'ailleurs business angel chez Alvie). Cette technologie permet une réduction jusqu'à 90 % pour des désherbages très spécifiques (par ex. les chardons en patches). Son impact est donc majeur dans ces cas-là, et c'est une avancée incontestable. Mais cela ne concerne qu'une fraction des traitements herbicides, et son impact global à l'échelle de la ferme reste modeste (5 à 10 % des produits totaux). De plus, son coût (souvent >200 k€) en limite fortement l'adoption, surtout dans les structures agricoles de l'Europe de l'Ouest. Elle constitue donc une excellente solution... pour une partie du problème.

Autre exemple : les satellites. En protection des plantes, ils sont quasi inutiles. Pourquoi ? Parce que la détection de maladies ou d'insectes doit être précoce et fine. Or, les satellites n'ont ni la résolution ni la fréquence pour repérer des maladies avant qu'elles ne soient trop avancées. Quant aux insectes, ils sont souvent invisibles à l'œil nu. Comment les détecter depuis l'espace ?

Enfin, les modèles épidémiologiques sont utiles (par ex. : Mileos pour le mildiou, Septolys pour le septoriose), mais ultra-spécifiques, complexes à utiliser et d'un gain souvent faible.

## L'approche agronomique : trois piliers pour réduire les pesticides

Pour qu'une technologie ait un impact systémique, elle doit reposer sur trois piliers agronomiques :

- › **Optimisation agronomique** : Choisir le bon produit, le bon adjuvant, le bon moment, en fonction des conditions de l'application. Par exemple, certaines matières actives peuvent être réduites de 60 % en conditions optimales sans perte d'efficacité. Mais encore faut-il connaître ces conditions et les anticiper.
- › **Substitution** : Intégrer des produits de biocontrôle. Plus techniques, moins persistants, souvent moins efficaces, ils nécessitent une application parfaitement maîtrisée pour fonctionner.
- › **Mécanique de précision** : Pulvériser avec les bons débits, les bons équipements. Mais cela reste incomplet sans la logique d'optimisation préalable.

## HYGO : transformer la science en actions concrètes sur le terrain

L'adoption massive de HYGO par les agriculteurs eux-mêmes confirme que nous répondons à un vrai besoin : plus de **50 000 utilisateurs** en Europe, dont **10 000 actifs** chaque semaine, et une croissance de notre chiffre d'affaires récurrent annuel de +8 % cette année. Cette utilisation intensive est la meilleure preuve que notre technologie fonctionne, est simple à utiliser, et apporte une valeur concrète sur le terrain.

Nous proposons ainsi une solution SaaS, utilisable par tout agriculteur muni d'un pulvérisateur. Elle fonctionne grâce à une application pour téléphone portable qui se couple avec un récepteur GPS intégré, sans installation nécessaire. Elle propose :

- › des conseils pour préparer un mélange de traitement adapté aux objectifs et aux conditions,





- › une analyse des fenêtres optimales d'application (météo, hygrométrie, vent, etc.),
- › un calcul de la réduction de dose possible jusqu'à 30 %, avec ROI moyen en moins de trois mois.

HYGO n'est pas un outil de préconisation variétale ou de calendrier, c'est un **assistant agronomique en temps réel**.

## Une base scientifique unique

HYGO repose sur :

- › une base de plus de **50 000 produits** référencés (pesticides, bio contrôles, adjuvants), avec leur composition chimique, leurs interactions et leur efficacité,
- › plus de **75 000 traitements analysés** (data collectées via GPS, météo, observations sur le terrain...),
- › des données enrichies par les usages réels de clients et d'utilisateurs,
- › des tests de terrain montrant jusqu'à **60 % de réduction de doses sans perte de rendement ou de qualité**.

## Le futur : du pulvérisateur au robot

HYGO est déjà utilisé sur le terrain. Mais sa vraie rupture viendra demain : les robots de pulvérisation autonomes auront besoin d'un cœur logiciel agronomique pour gérer les produits, les doses, les timings. HYGO est cette brique.

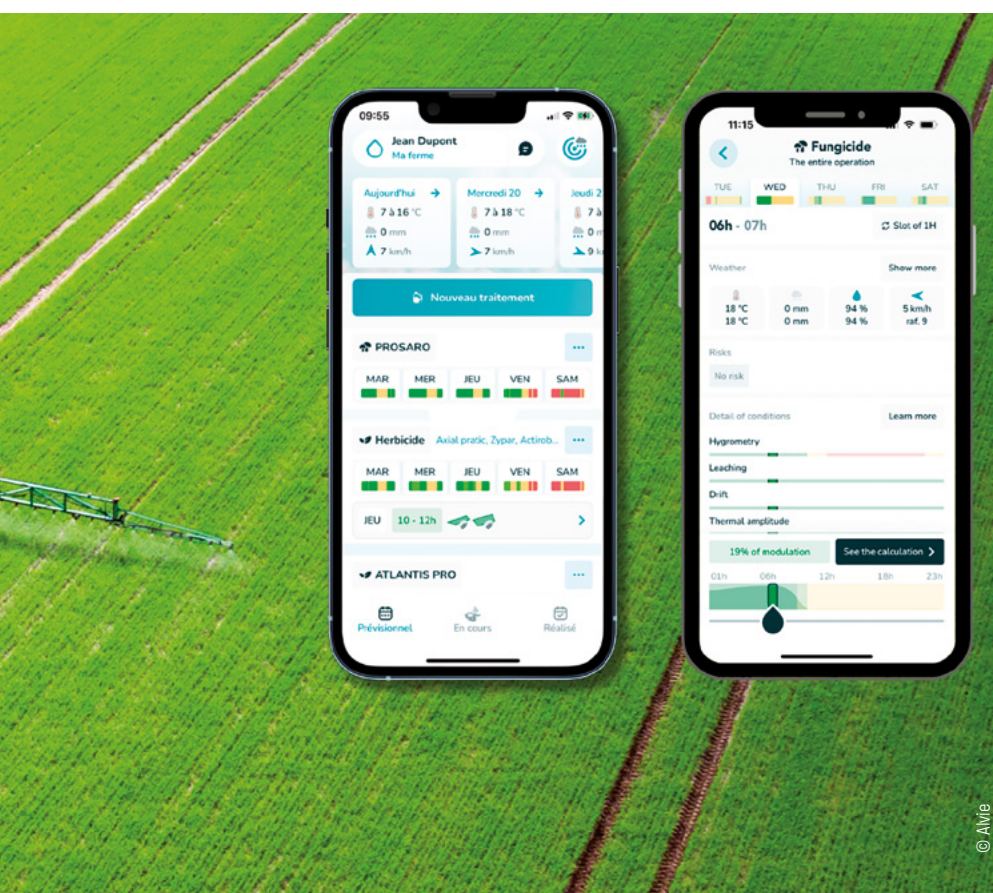
Dans un futur où la pulvérisation sera robotisée et la main-d'œuvre rare, **HYGO sera la tour de contrôle de la protection des plantes**.

## Une réussite issue de l'écosystème Télécom Paris

HYGO n'aurait pas existé sans l'écosystème de Télécom Paris : notre cofondateur, Nadir Ghrous est alumni Télécom Paris (2012), l'entreprise a été incubée à IMT Starter, et plusieurs de nos investisseurs proviennent du réseau. Nous levons actuellement des fonds pour accélérer notre internationalisation et consolider notre leadership en Europe.

## Conclusion

Réduire les pesticides ne se fera pas à coup de slogans. Cela passera par des solutions robustes, acceptables, aptes à être mises à l'échelle. HYGO en fait déjà partie. Ce n'est peut-être pas la technologie la plus « sexy » du secteur, mais c'est celle qui fonctionne. Et dans un monde agricole en tension, c'est ce qui compte. ■



Edita BEZEG

CEO. Originaire de République tchèque, issue d'une famille agricole, Edita a commencé sa carrière dans la diplomatie (ONU, Commission européenne) avant de rejoindre l'univers des start-up à Paris (nam.R, Metron). Elle fonde Alvie en 2020 avec la conviction que la tech doit simplifier la vie des agriculteurs et accompagner la transition écologique.

Souhaieb Aouayeb

# Les fraises du futur arrivent plus tôt, grâce à l'IA

**G**ôteuses, résistantes et productives : les fraises de demain doivent tout avoir. Mais mettre au point de nouvelles variétés prend du temps et constitue un processus particulièrement exigeant pour les sélectionneurs. Grâce au Cube, une chambre de culture aéroponique pilotée par l'IA, ce travail s'accélère et ouvre la voie à des fraises du futur, prêtes à être disponibles plus rapidement.

## Du phénotypage manuel au phénotypage intelligent

Développer de nouvelles variétés reste long et exigeant, car le phénotypage, c'est-à-dire la mesure et l'analyse des caractéristiques observables des plants (comme leur croissance, leur morphologie ou leur réponse à l'environnement), demande beaucoup de temps. Aujourd'hui encore, il repose sur des observations manuelles consignées sur des fiches non standardisées, ce qui complique la comparaison et le partage des données. Ce travail est lent, parfois imprécis et limité en nombre de plants analysables, créant un véritable goulet d'étranglement pour les fraises, où de nombreux cultivars doivent être évalués rapidement.

Chez Farm3, nous relevons ce défi avec le Cube, une chambre de culture verticale en aéroponie qui intègre notre outil d'intelligence artificielle PAuL (*Plant Automated Learning*) pour automatiser la sélection. PAuL génère des fiches descriptives numériques en temps réel. Cette solution permet de gagner du temps tout en assurant des données comparables, fiables et facilement partageables. Elle transforme ainsi un processus manuel et lent en un *workflow* standardisé et efficace, ouvrant la voie à une sélection variétale bien plus rapide.

## Cultiver et observer : l'expérience automatisée avec le Cube

Pour garantir une uniformité phénotypique élevée, l'étude a utilisé deux cultivars hybrides F1 de fraises, **F1 Berry Pop Sakura** et **F1 Berry Pop Haruhi**, cultivés à partir de 100 graines.

À l'intérieur du Cube, nous contrôlons température, humidité, lumière, photopériode, nutriments et irrigation pour créer des conditions stables et reproductibles. Les nutriments sont pulvérisés directement aux racines, réduisant le bruit environnemental et améliorant la précision des mesures.

Des systèmes d'imagerie multimodale suivent en temps réel la morphologie et la physiologie des plants. Une caméra **RGB-D** capture couleur et profondeur pour reconstruire la canopée en 3D et mesurer surface et taux de croissance. Une caméra **hyperspectrale** permet de calculer des indices tels NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou Indice de Végétation par Différence Normalisée) pour la vigueur, CCI (*Chlorophyll Content Index* ou Indice de teneur en Chlorophylle) pour le taux de chlorophylle, SR (Simple Ratio) pour la verdure et PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index* ou indice de Réflectance de la Sénescence des Plantes) pour



Souhaieb AOUAYEB

est Head of Data chez FARM3, où il pilote des projets d'IA pour optimiser les pratiques agronomiques et transformer les stratégies d'agriculture verticale. Ingénieur en imagerie spatiale et médicale diplômé de l'Université de Toulouse, il a travaillé dans plusieurs structures de recherche et industries, développant son expertise dans des domaines variés : géologie structurale, comportement animal, analyse acoustique et électronique automobile.

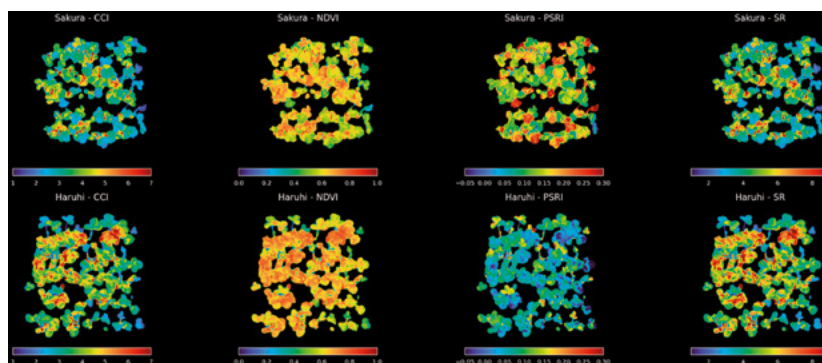
in/Farm3/

farmcube.eu



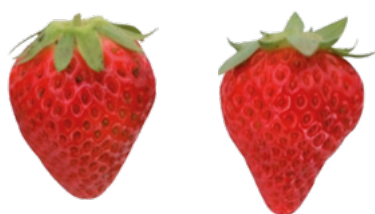
la senescence, donnant ainsi des des informations en temps réel.

Chaque plant est ensuite segmenté automatiquement dans les images et ses traits clés extraits. L'évolution de la canopée est suivie jour après jour, ce qui est un processus entièrement pris en charge par PAUL, et permet de ce qui transformer le phénotype en un *workflow* standardisé, précis et facilement partageable.



Indices hyperspectraux : Sakura vs Haruhi. © Farm3.

## Sakura et Haruhi : deux fraises, deux stratégies



Haruhi (19FAG-2)

Sakura (19FAG-1)

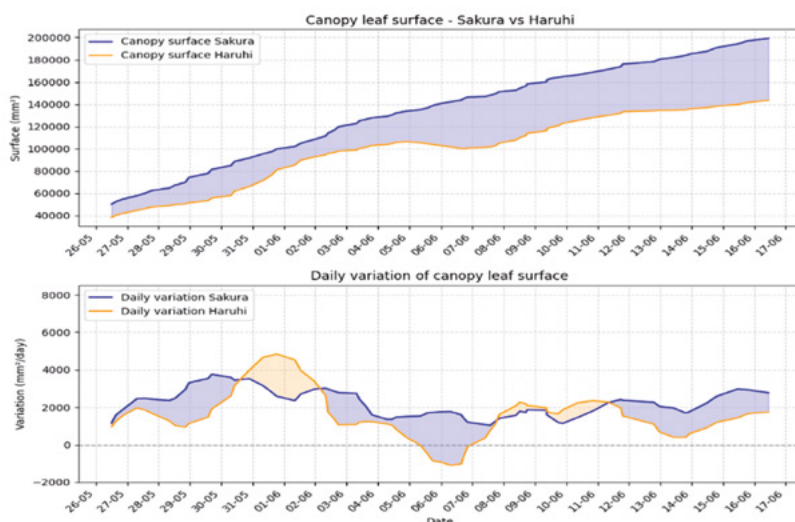
Côté morphologie, on observe que Sakura développe rapidement sa canopée, offrant une structure large et uniforme qui favorise la capture de lumière et l'efficacité photosynthétique, tandis que Haruhi adopte une croissance plus flexible et conservatrice, utile dans des environnements aux ressources limitées. Comme on le voit bien sur l'illustration ci-dessous, cette dynamique de croissance met en évidence la différence de

répartition spatiale des feuilles entre les deux cultivars. Les valeurs négatives ponctuelles observées certains jours reflètent probablement des pertes apparentes dues aux superpositions de feuilles dans la canopée. Ces phénomènes sont plus fréquents chez Haruhi, ce qui illustre ses choix stratégiques différents de ceux de Sakura en termes de développement de la canopée.

Côté physiologie, les indices hyperspectraux révèlent des différences dans la manière dont les deux cultivars gèrent la lumière et les pigments. Comme on le voit sur l'illustration si-dessus, le NDVI montre une verdure comparable et une activité photosynthétique similaire. Le CCI indique que Haruhi investit un peu plus dans la chlorophylle, tandis que le PSRI met en évidence chez Sakura des zones ponctuellement plus riches en caroténoïdes. Le SR reflète de petites variations dans la structure

ou la densité des feuilles, avec des *hotspots* légèrement plus marqués chez Haruhi. Ces observations traduisent deux stratégies distinctes : Haruhi répartit ses ressources de manière plus conservatrice, tandis que Sakura privilégie une activité photosynthétique plus intensive dans certaines zones de la canopée. Ces observations montrent que, au-delà de la taille et de la croissance, les deux cultivars adoptent des stratégies physiologiques différentes pour gérer la lumière et les ressources, fournissant aux sélectionneurs des informations précieuses sur leur fonctionnement interne.

Dans l'ensemble, les différences observées entre les cultivars montrent que le phénotypage automatisé permet d'identifier rapidement des traits clés comme la surface foliaire et la croissance, tout en révélant des caractéristiques physiologiques normalement invisibles aux évaluations morphologiques. ■



Surface foliaire et taux de croissance : Sakura vs Haruhi. © Farm3.

## À retenir

Avec PAUL, le phénotypage assisté par IA extrait des informations morphologiques et physiologiques à partir d'images, pour une évaluation rapide et non invasive de chaque cultivar.




# À LA DÉCOUVERTE DE WOODLIGHT. Quand la lumière s'inspire de la nature pour éclairer le futur


Imaginez une ville illuminée non pas par des lampadaires, mais par des plantes capables d'émettre leur propre lumière. Une lumière douce, naturelle, qui ne consomme aucune électricité. Ce n'est pas de la science-fiction, c'est le projet Woodlight, une start-up française à la croisée de la biologie, de l'écologie et de la technologie.




Ghislain AUCLAIR

Docteur en épigénétique (Université de Strasbourg), Ghislain Auclair a mené des recherches en biologie moléculaire avant de se spécialiser en gestion de l'innovation (Master *Innovative Project Engineering*). Aujourd'hui président de Woodlight, il applique ses connaissances en biologie synthétique et en transfert technologique pour développer des solutions d'éclairage végétal. Son travail s'inscrit dans une démarche de biomimétisme, où la science s'inspire du vivant pour répondre aux défis énergétiques.

 [company/woodlight-sas](https://www.linkedin.com/company/woodlight-sas)

 [@woodlight](https://twitter.com/woodlight)

 [www.woodlight.fr](http://www.woodlight.fr)

## Une réelle opportunité pour des villes plus vertes et plus sobres

Face à la crise climatique et à la surconsommation énergétique des villes, l'éclairage urbain représentant une part importante de la consommation électrique globale mondiale, l'idée de repenser notre manière de produire et d'utiliser la lumière est urgente.

Woodlight propose une réponse poétique et disruptive avec des plantes bioluminescentes, autonomes, décoratives et dépolluantes. Une solution écologique pour baliser des chemins, des jardins, des parcs, pistes cyclables et bien plus... sans câble, sans LED, sans émission de CO<sub>2</sub>. Un exemple de biomimétisme, où l'humain s'inspire du vivant pour innover durablement.

## La bioluminescence, c'est quoi ?

La bioluminescence est un phénomène naturel observé chez certains organismes : lucioles, méduses, champignons marins... Ces êtres produisent de la lumière par une réaction chimique entre une molécule appelée *luciférine* et une enzyme appelée *luciférase*.

Woodlight a réussi à transférer cette capacité dans des plantes en modifiant leur génome de manière stable.

Le Résultat ? des plantes capables de produire leur propre lumière, sans source externe d'énergie.

## La biotech assistée par l'IA, là où le numérique s'intègre

Avant même d'entrer au laboratoire, Woodlight a utilisé des outils informatiques de design moléculaire *in silico*. Ces simulations ont permis d'optimiser les gènes à intégrer et de tester des milliers de combinaisons théoriques avant de toucher une cellule.

Aujourd'hui, l'équipe collabore avec des experts en biochimie computationnelle et en intelligence artificielle pour améliorer la puissance et la durée de la lumière produite. Ces outils numériques accélèrent la recherche, réduisent les coûts et rendent les résultats plus prévisibles.

## Une aventure entrepreneuriale en biotechnologie

L'histoire commence avec deux docteurs en biologie, Rose-Marie et Ghislain Auclair. En 2016, ils imaginent Woodlight comme une entreprise capable de conjuguer science et impact écologique. En quelques années, ils passent de la preuve de concept *in silico* à des plantes lumineuses visibles à l'œil nu, d'abord en laboratoire, puis bientôt en environnement contrôlé.

Leur objectif a toujours été clair, proposer des plantes prêtes à être testées dans des vitrines de magasins, des hôtels ou des parcs urbains.

## Des défis réglementaires, pourquoi opter pour une stratégie internationale ?

En Europe, les plantes génétiquement modifiées (OGM) sont strictement encadrées, ce qui oblige Woodlight à lancer ses premières démonstrations à l'étranger, notamment aux États-Unis, où la réglementation est plus souple.

L'entreprise a déjà entamé des démarches afin d'obtenir les autorisations nécessaires pour les premiers tests grandeur nature dès 2026. ■

## Pourquoi choisir des plantes plutôt que des LEDs ?

Critères	LEDs traditionnelles	Plantes bioluminescentes de Woodlight
Énergie consommée	Haute	Aucune
Recyclabilité	Faible	100 % (compostables)
Impact sur la faune/flore	Perturbant	Faible (lumière verte naturelle)
Design & esthétique	Techno	Naturel, apaisant, infini

## Une start-up DeepTech soutenue et reconnue

Woodlight est labellisée **DeepTech**, **Coq Vert**, **Jeune Entreprise Innovante**, et soutenue par Bpifrance, le CNRS, des incubateurs, et plusieurs clusters (Vegepolys, LUMEN, etc.). Elle a levé plus de 1 500 000 € et prévoit de lancer un produit autonome d'ici fin 2025, avec des tests terrain dès 2026.

## Comment Woodlight imagine le futur ?

Woodlight ambitionne de devenir la référence mondiale de la lumière végétale. Grâce à une technologie propriétaire et une approche mêlant écologie, innovation et design, elle veut transformer la manière dont nos villes s'éclairent, tout en inspirant une nouvelle génération d'ingénieurs à explorer le vivant comme terrain d'innovation.



# SUBLIME Energie

Par **Bruno Adémar** et **Jules Vasse**

## NOTRE TECHNOLOGIE DE LIQUÉFACTION DU BIOGAZ

SUBLIME Energie est une startup deeptech co-fondée par Bruno Adhémar en 2019. Elle développe une technologie unique au monde de liquéfaction du biogaz. L'objectif est de le collecter à la ferme, à la manière de la tournée du laitier, afin de mutualiser son épuration sur un Hub central à plusieurs productions. La liquéfaction permet de densifier le biogaz ainsi transporté.

Jusqu'à présent, on savait liquéfier le biométhane d'un côté et le CO<sub>2</sub> biogénique de l'autre, mais il était physiquement impossible de liquéfier les deux molécules en même temps. En effet, le CO<sub>2</sub> cristallisait et devenait solide lorsque le méthane atteignait la température requise pour se liquéfier rendant le transport du biogaz impossible.

Grâce à la dissolution d'un agent de portage dans le biogaz (faisant l'objet d'un premier brevet), un mélange ternaire liquide (200 fois plus dense que du biogaz en sortie de méthanisation) est obtenu et transporté efficacement vers le Hub. Il est alors épuré par distillation cryogénique (faisant l'objet d'un second brevet). Le biométhane décarbone la mobilité lourde, agricole et maritime sous forme de bioGNL et le bioCO<sub>2</sub> est valorisé dans les serres, l'industrie agroalimentaire ou chimique. L'agent de portage, quant à lui, est recyclé et renvoyé sur les fermes pour de nouveaux cycles de liquéfaction.

SUBLIME Energie



## VALORISATION DE LA BIOMASSE ISSUE DE L'AGRICULTURE, DÉMOCRATISATION DE LA MÉTHANISATION À LA FERME, ÉCONOMIE CIRCULAIRE.

Les projets de SUBLIME Energie visent à produire de l'énergie renouvelable pour soutenir l'effort d'indépendance énergétique de la France mais pas seulement ! La première société à mission immatriculée en France veut avant tout réaliser des projets bénéfiques pour les territoires d'implantations sur le plan social et environnemental.

Le modèle d'affaire disruptif de l'entreprise vise à démocratiser la méthanisation à la ferme. En effet, de nombreuses fermes sont trop loin des réseaux gaziers pour y injecter le biométhane, à moins de construire des réseaux de gaz inutilement au vu de l'arrêt du gaz fossile dans les années à venir. Le premier objectif est donc de renforcer la résilience de petites et moyennes fermes en générant des compléments de revenus. De nouveaux emplois locaux, stables et non délocalisables seront créés afin que l'agriculteur ait seulement à s'occuper de sa production alimentaire et du biogaz.

Aussi, les produits générés à partir de fermes autonomes en intrants seront valorisés le plus localement possible dans une logique d'économie circulaire. Enfin, le digestat issu de méthanisation est un excellent fertilisant qui permettra de remplacer les engrais fossiles.

## SUBLIME Energie ANCRÉE DANS LE MONDE DE LA RECHERCHE

Le troisième objectif statutaire de SUBLIME Energie est de soutenir la recherche dans différents domaines scientifiques des gaz renouvelables, de l'économie circulaire et de la gestion responsable des entreprises. Pour cela, l'entreprise continue de travailler en étroite collaboration, sur le plan R&D, avec l'École Mines Paris PSL d'où sa technologie est issue et avec laquelle une nouvelle convention partenariale a été récemment signée. Aussi, SUBLIME Energie accueille plusieurs alternants et finance

la thèse du doctorant Hussein Makki sur le sujet suivant : « L'étude des équilibres entre phases d'un mélange ternaire et de l'écoulement triphasique (liquide, solide, gaz) à basses températures ».

## FEUILLE DE ROUTE DU DÉVELOPPEMENT

SUBLIME Energie exploite encore cette année son second démonstrateur (en laboratoire) qui est installé dans le Centre Énergie, Environnement, Procédés, un des laboratoires de l'École Mines Paris PSL. Celui-ci a permis de prouver le fonctionnement technique de la liquéfaction d'un mélange ternaire ainsi que sa distillation.

Cette année, l'entreprise installe son premier démonstrateur à la ferme pour éprouver l'ensemble du modèle à partir d'un biogaz issu de méthanisation sur l'exploitation de Gazéa dans les Côtes-d'Armor. Une grande inauguration aura lieu au début de l'année 2026. Ce projet a été financé grâce à une levée de fonds auprès du fonds Révolution Environnemental et Solidaire abondé par le dividende sociétal de Crédit Mutuel Alliance Fédérale.

L'étape suivante sera celle d'un important passage à l'échelle et de l'industrialisation du processus avec la mise en service d'un dernier démonstrateur à l'échelle qui sera son premier de série industrielle et commerciale prévu pour 2028. C'est lui qui permettra de mettre en commun la production du biogaz de sept à dix méthaniseurs actuellement en cogénération et désireux de trouver une nouvelle solution de valorisation avec un meilleur rendement énergétique ou de prolonger la durée de vie de leurs installations.

Ensuite, SUBLIME Energie projette de développer une dizaine puis une centaine d'autres projets dans les territoires d'élevage en France où les réseaux de gaz sont peu développés. Enfin, SUBLIME Energie envisagera de s'implanter dans les pays européens qui sont encore moins pourvus voire dans certains cas totalement dépourvus en réseau de gaz comme c'est le cas de la Belgique, la Pologne ou bien la Suède par exemple. ■



**Bruno ADHÉMAR**

En 2019, après 27 ans de carrière dans le nucléaire, il a fondé la société SUBLIME Energie qu'il préside aujourd'hui. Le déclic s'est produit grâce à son retour sur les bancs de l'école avec le Master Deeptech de l'École Mines Paris PSL et la rencontre avec de nombreux acteurs de l'agriculture et de l'énergie et qu'il s'est rendu compte de tout le potentiel de biomasse non valorisé car trop dispersé. Il a également découvert l'existence du projet des entreprises à missions qui finissait de le convaincre qu'on pouvait entreprendre autrement.



**Jules VASSE**

À rejoint SUBLIME Energie début 2024, il s'occupe des affaires publiques et aussi du développement territorial de l'entreprise après un Master 2 à Sciences Po Toulouse spécialisé dans les affaires publiques et l'industrie énergétique.

# ENERGY, FOOD AND AGRICULTURE: The efficiency of energy use in gaining and using food

By Charles A. S. Hall

## The Energy Return on Investment (EROI) of sustaining ourselves

First of all, humans must eat. This was as true for the 30,000 or so generations of proto-humans as it was for the 7000 or so generations of true *Homo sapiens*, as it is for the mere 500 or so generations of settled, farming humans (Figure 1). For most of our existence we were hunter-gatherers, obtaining our food by investing our own energy into getting our own food energy. Then, curiously, here we are, mostly living off the effort of others engaged in agriculture. We were moderately successful at this over this long time period, but our populations remained low for millennia. Many other mammals were more successful, or at least abundant, than humans. And then early humans started doing something different that almost no other animals had done: they (we) evolved technology. Most

of this technology was energy--based: i.e. harnessing other forms of energy to help harvest and use our food energy. Fire was obviously very important because it allowed humans to cook. Cooking is important because it enormously expands the foods we can eat, especially plants. Plants have cell walls, which are hard for us to digest unless they're cooked. The development of spears and knives and axes might not be thought of as energy technologies, but they are. Sharp edges are energy (technically force) concentration devices that allowed relatively weak humans to do much more work at the point of impact, even to the degree of penetrating the thick skin of a mammoth, then butchering the results into carryable and cookable sized pieces (Figure 2). And so people have had an increasing ability to exploit food resources over time. But at all times humans (and indeed any surviving species) must gain more energy from their food than they expend in getting it, just as

a cheetah must gain more energy from her kill than the energy required to run down her prey. This includes the nine out of ten times her hunt fails and the energy required to feed and look after her kittens. Such as we can tell hunter gatherers of 10,000 years ago had good nutrition and were as robust and large as people today. When there was an energy surplus, this resulted in not necessarily better fed humans (they were already well enough fed), but more humans and (sometimes) more environmental impacts. But early humans were subject to many "lean times" too, and populations barely increased over our first 200 thousand years.

So for most of our million-year existence as *Homo sapiens* or something like it, we were hunter gatherers. And in this environment, EROI was very important. You may have met some modern hunter gatherers if you have seen the film "The Gods Must be Crazy", a fun movie about the !Kung (or San), to my eyes

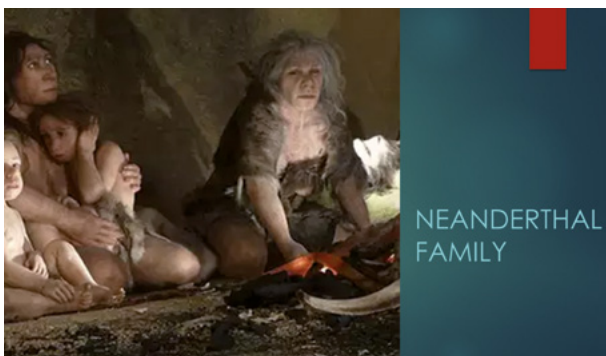


Figure 1 : Neanderthal Family: from Neanderthal Museum of Croatia.

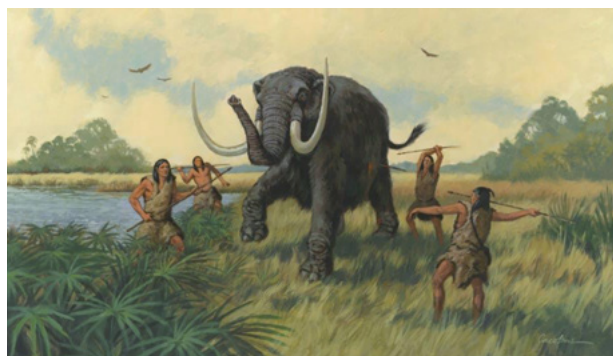


Figure 2 : Spearing a large prey. Spear points are an energy concentrating device that allow for the undertaking of more work.



Figure 3 : Kung family, perhaps moving from one water hole to another. The family can carry all of their possessions with themselves, and are used to moving from one site to another as resources are depleted in each location.

very attractive and charming people living in what might seem to us as the inhospitable areas such as the Kalahari Desert of Africa (Figure 3). They had been studied in some detail by Anthropologist Richard Lee. Lee estimated that the !Kung, derived about 10 Calories of food from each of their own Calories put into getting it, i.e. It was thought that they had an EROI of around 10:1, making them a relatively resource rich society. They would take this resource richness and put it into leisure, telling stories and looking after their children. Lee thought the main food was mongongo nuts, gathered by women and children. He thought the occasional antelope speared by the men to be a welcome, but calorically relatively unimportant, source of protein.

But Matt Glaub, my last special undergraduate student, poked me into undertaking with him, and publishing, a more complete assessment of the EROI of hunting. Richard Lee did not think that the hunting was a very proficient source of food, but Matt did some preliminary calculations for how much energy the !Kung would get back from investment in hunting kudu or other antelope species. It takes a lot of work to run down an antelope, but when you did you got a lot of food calories.

You might ask "how can a human run down an antelope, they are much faster?". Good question. Humans have evolved a very special way of capturing the much fleeter game, known as "persistence hunting". They would hunt in the middle of the day, when it was hot. They would go out in small groups composed of a skilled older tracker or two, and a similar number of fleeter young men. They would walk until they jumped an antelope, and then they would track that particular antelope for a number of hours, jumping him again and again. The

antelope, exposed laterally to the sun (vs the perpendicular human) would heat up at each burst away from the humans, and then seek shade under a tree or bush. The fifth or so time the humans came across the over heated animal it could hardly move as it would be near its thermal limits, and the humans could spear it. With various assumptions about the animals, we found the energy return and investment to be very high, from 26 to 66 calories returned for one expended. So, apparently, our ancestors got food in the past rather efficiently. Subsequently, humans moved out of Africa. It's important to realize that humans in South Africa and in West Africa are as different from our original humans in East Africa, probably, as those of us of European stock are. So, as humans moved out of Africa, they moved into very different environments, but they kept hunting and gathering. I wonder what the EROI of killing a mastodon was? More recently, in the Americas, there were terrible cultural clashes when Europeans, used to a settled life and farming or raising cows, bumped up against mobile native American hunter gatherers.

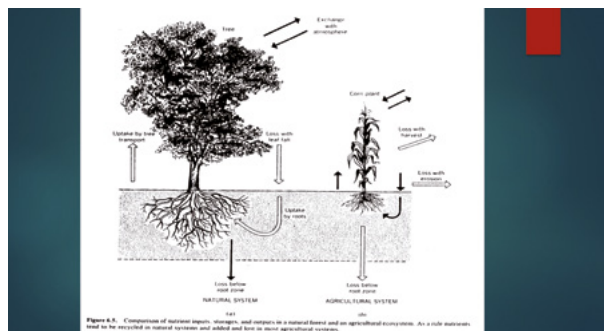


Figure 4 : Diagram of the basic problem of agriculture: natural vegetation tends to hold on to and recycle nutrients, often from deep soils, while agricultural tends to loose nutrients in harvests or erosion.

## How agriculture has influenced our development as a species

Now, some 10,000 years ago – remember this is only a tiny part of humanity's time on the planet – we began a new approach to getting our food, agriculture. It probably started when seeds sprouted from kitchen middens, and over time people learned to plant the seeds where conditions for growth were good. But pretty soon they came up against the fundamental problem with fixed agriculture: when crops are removed from their growing area and when natural vegetation is removed and soils erode, critical nutrients are removed and the soils loses fertility (Figure 4). So the big problem with agriculture is maintaining fertility. Early farmers solved this problem quite logically: they simply moved to a different field, although this often meant removing the natural vegetation. First, apparently, shifting cultivation, which still feeds maybe five or 10% of humanity.

Here's what you do in shifting cultivation: you cut down about a hectare of the original vegetation that's there, and you let it dry (Figure 5). Then you burn it, and the



Figure 5 : Basic sequence of shifting cultivation: a) existing natural vegetation is cut and b) allowed to dry c) then burned which reduces the nutrient inventory d) to ash. The farmer plants seed, characteristically using a dibble stick. e) Yields can be good for a year or two, but f) then new sites must be prepared. g) Shifting cultivation is still utilized on marginal lands in relatively developed economics such as in Costa Rica (Pictures Courtesy Dan Janzen, Sandra Brown and self).



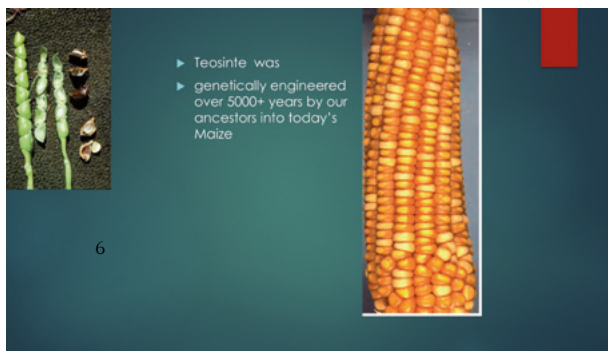


Figure 6 : Genetic engineering of Maize over the last 5-10 thousand years in Mexico. Humans started with the grass teosinte and kept planting the offspring with the most seeds, producing modern maize.

nutrients once stored in the vegetation become available for the new crop. And then you come along with a dibble stick, just a pointed stick, and a bag of seeds, and you put the seeds in the ground at the right time of the year. After a year or two of cropping your yields fall off, so you shift to a new plot. The longer you let the forest grow back or the older the forest when you cut it, the more nutrients are in the vegetation. The important thing is to take the nutrients that are in the vegetation and leave it as ash on the soil. There is a great deal of skill associated with this, and you can get a pretty good yield, up to a half a ton or a ton of edible crops per ha. per year, which is enough food for a small family. Then, one rotates to a new plot. That's why it's called shifting. You shift from one area to another because if you keep growing on the same field, the yields will be very, very low because the nutrients have been lost. Shifting cultivation still exists, for example, in Nicaragua and even Costa Rica, but not in any good spot. There are poor people in Costa Rica that don't have access to good land, and yet they are still trying shifting cultivation to get their food because food is essential. Shifting cultivation was still used relatively recently in the more developed world, for example, in South Carolina and Finland.

Then along came settled agriculture starting in the Tigris and Euphrates area of present-day Iraq. Ur was an ancient city from early agriculture where we get the word urban. And so, we had early cities once we had sufficient agriculture. The agricultural surplus allowed more people to be fed from a unit of land even up to and including cities. And that's why we have cities. Agricultural surpluses needed to be stored and guarded, which enhanced specialization, status differentiation, taxation and armies.

### Technological progress, Yields and Growth

Thomas Malthus famously said at the end of the 19th century that human populations increase exponentially while food resources could increase linearly, at best. But he could not foresee the enormous changes in agricultural technology. Maybe the most important thing that has enhanced human population growth was the genetic engineering by five or ten thousand years of our ancestors to go from the wild precursor of maize, teosinte – which is essentially a wild plant here, we would call a weed – into the maize of today (Figure 6). And the other great technology – which was mostly Asian – was the management of nutrients by

the management of water through various cropping systems and very, very intensive management of the species over time and of the water. But this process was very slow – it took place over many thousands of years.

But increasingly we have learned that agricultural technology could make enormous changes over only tens to hundreds of years by using more and more fossil energy (i.e. coal, oil and natural gas – fossil meaning “old” as they were formed long ago) to do things for the plants, allowing them to require less of their own photosynthetic energy for obtaining water and nutrients and fighting off pests, and more into the seeds we eat. In other words technology is often about the evolution of procedures to extract, use and store more energy to increase yields. The first scientists to talk about energy and agriculture, especially modern industrial energy, the two great thinkers on this topic, were my PhD advisor, Howard Odum of the University of North Carolina and University of Florida, and David Pimentel of Cornell University (Figure 7). They were the first to understand how important industrial energy was for the food that we ate. Odum made a series of diagrams about how potatoes were “partly made of oil” i.e. that modern agricultural technology was mostly fossil energy – dependant i.e. that there was

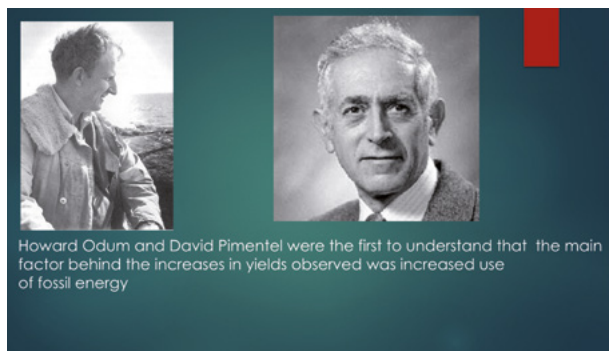


Figure 7 : The two first scientists to write extensively about the fossil energy intensity of modern agriculture. Howard Odum and David Pimentel.

Figure 8 : Examples of two grain harvesters. In 1900 a typical harvester was a 33-horsepower device that's driven by five people, plus you have to have more work done elsewhere by stable boys, to get the feed for the mules, the food for the workers, so forth. Compare this to a 200-horsepower harvester tractor (and that's a small one today), driven by one person, air conditioned, listening to his favorite music and doing an enormous amount of work. It is doing seven times more work with just one person than the 33-horsepower driven by 5 men. (Of course somebody is working in the oil fields).



that in modern agriculture there was a huge amount of energy flowing from what he called “city” resources and I would call industrial resources into various processes of fertilization, of cultivation, weed control, of irrigation, and so forth, that resulted in the food that eventually flowed into the cities. And this was powered by fossil fuel. The importance of this can be seen clearly by looking at the two examples in Figure 8 from 100 years apart.

Howard Odum gave many quantitative examples in his 1973 book *Environment, Power, and Society*. Figure 9 is one, a range cow, a lean fellow with no inputs from the industrial process, yielding one unit of energy from 100 units of sun (Figure 8). And then if you add in 50 additional units of fossil fuel, you get 40 yield from what he called a “beef machine”. He included many other examples. This came as a shock to many people at the time: it was the first time we began thinking about the importance of industrial energy in feeding ourselves. Ultimately, the land area needed to feed a person went from one or two to about a half hectare. In other words, we used less area per person by intensifying agriculture. This is missed by many environmentalists: that the industrialization of agriculture has allowed us to use only perhaps 25% as much land area in agriculture to make the global supply of food. Presently we use about 4.5 to five billion hectares, one third in crops and two thirds in pasturage, to feed the eight billion people on the planet. In the US and other affluent countries the land area used per person is higher because we eat a lot of animal protein and, in the US, use nearly half our maize crop to make alcohol for automobiles (at a net energy loss). And well, that’s just the way it is.

Our diet critically needs nitrogen-rich protein, which constitutes 15 to 20 percent of our body mass. Although nitrogen is very abundant in the atmosphere as  $N_2$ , it was unavailable to most plants because of the strong triple bonds in the  $N_2$  molecule. Before 1908, nitrogen was the critical element restricting yield that most agricultural plants were lacking. Most plants are relatively low in protein (e.g. rice at six percent, although beans and animals are higher) but they still need nitrogen to grow well. Only a small amount was “fixed” by lightning or certain microbes (familiar to us as the constituents of root nodules on leguminous plants). Birds that ate fish made nitrogen rich Guano that was being mined out. The reason that we’ve been so well fed in our lifetime is due to chemist Fritz Haber. In 1908, Haber figured out how to turn the unavailable atmospheric  $N_2$  into available ammonia (and eventually nitrate) in the laboratory. He took a tube, filled it with air and natural gas (a source of hydrogen) and added an enormous amount of energy by heating the tube while compressing it (with a proper catalyst). This separated the two nitrogen molecules which then combined with the hydrogen in natural gas to make ammonia,  $NH_3$ . He had for the first time generated nitrogen that plants could use! And the result was an enormous increase in our ability to produce food, so that yields increased to as much as ten tons per hectare. Of course ammonium nitrate is also the basis for gunpowder. So the legacy of Haber is complicated. All around the world, you find people are using nitrogen fertilizer. And this has allowed the eight billion of us in the world to eat, often well. Without Haber, the majority of us would be dead and almost everyone hungry.

#### a) Crops, fuel and EROI

Our global increase in edible yield per hectare is certainly an enormous achievement. But is it due to technology alone? Not at all. One good way to understand the efficiency of agricultural production is to use “Energy Return On investment” (EROI). This is a term I derived originally in my PhD work in ecology to examine the energy investments and returns of migrating fish, but which later I applied (with students and colleagues) to looking for oil and producing food. For example one can look at “EEROI”, or edible energy return on (fossil) energy expenditures (human labor is calorically trivial now). EEROI depends enormously on the type of food being produced. Grains (principally maize, wheat and rice) are about half of all the food that people in the world eat because they are productive and hence cheap. For grains you get a lot of energy returned (about one or two calories per calorie) per unit fossil energy invested. Vegetables and fruits generally range from one tenth to one half calorie returned for one used to grow them. With dairy generally and most proteins such as chicken one gets about 0.1 calorie returned for one invested (an EEROI of 0.1 to one), but it’s high quality. This is in the field. By the time you eat the food on your plate, it takes about 10 calories of oil per average food calorie: about a third is to grow it, another third to process and transport it and the remaining third to prepare it in your kitchen. Producing the food amounts to the largest third. The entire food system uses somewhere between 17 and 20% of our total energy use in the United States. It may seem strange that it takes more Calories of oil to produce the food on our plate but that’s how it is.

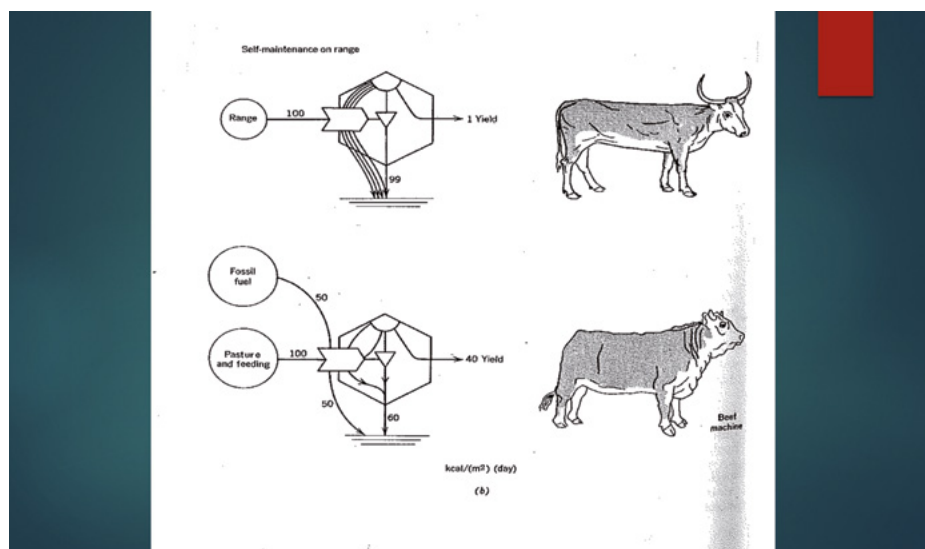


Figure 9 : a) Range beef cow vs industrial beef cow. b) Energy flow diagram for a modern farm.

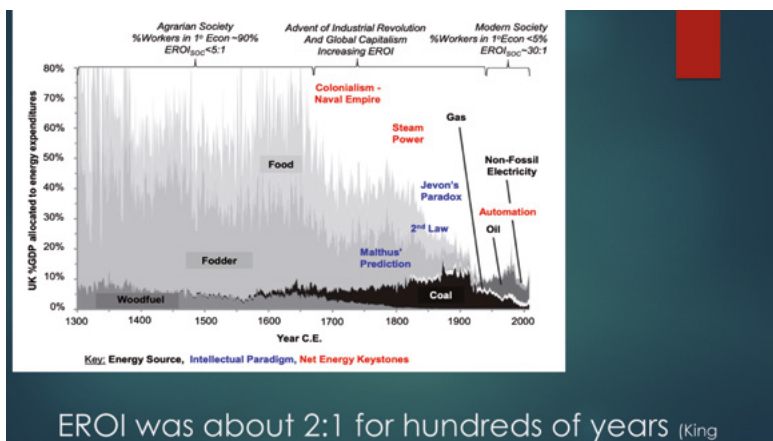


Figure 10 : Average EEROI for US and Canadian farming, showing at first a decrease with increasing use of fossil energy, and then a small increase in EEROI probably due to an increasing growing of Maize, a particularly efficient crop. The EEROIs are much smaller by the time the food gets to our plates.

## Why the future of agriculture is our oil future

### Fossil fuels are generating GDP

How does the present situation compare to the past situation, say over the last 800 years or so? A really nice graph is provided by Carey King for England, where data is available (Figure 10). From 1300 to 1750 or so, about half of all GDP expenditures were allocating to getting energy (i.e. wood, fodder and food, which were the energy sources for the economy of England then. In other words, half of all economic activity and roughly half of all labor was to get the energy to run the economy, implying an EROI of no more than two back for one input. Most people were very, very poor, and rarely traveled more than 20 miles from where they were born. Some kings and nobles were rich, but it required many hundreds or thousands of people's labor to support each of them.

When coal came along, the proportion of the economy that was in energy-deriving sectors began to drop to perhaps 20 percent, implying an EROI of five to one. Once oil came in, starting about 1880, the percentage of economic activity in energy-gathering activities declined to ten percent or less of all economic activity, implying an EROI of ten or twenty to one, in line with recent estimates by other means. So the introduction of fossil fuel enormously increased the energy return on investment of society from two to one to five to one, and began the process that allowed the enormous wealth that has been generated in the past century.

Today, most "developed" nations have food production systems very dependent (more than 80 percent) on fossil fuel: now, the

total economic activity is highly correlated with our consumption of oil and fossil fuels more generally. Globally solar and wind are really very small (about six percent of total), whereas traditional biomass and hydropower are other important energies derived more directly from the sun. The wealth of countries around the world is more or less proportional to the energy that they use. Of course the use of these fuels is likely to destroy earth as we know it: it is not the jinx of capitalism, it is most modern economies, whatever you want to call them, whatever the political systems are all about. All economies are using more energy to exploit more energy to generate more of what we call wealth.

### Land productivity and Energy

Biology is limited by the input of sunlight. We use old sunlight in the form of fossil fuel to greatly enhance our use of energy. Every politician or dictator runs on the promise of more and you cannot have more without using more energy or at least I don't know how to do that. And I've thought about it my whole life. So, what's happened with the industrialization of agriculture? The labor productivity, the farm production per hour of labor has gone way up as has the total farm output in the production per hectare. All of these are enhanced by the use of fossil fuels. The man hours required to produce 100 bushels used to be 350, and it's gone down to just 10 or so. And the yield per hectare or acre has gone up by a factor of five or more. And that's the amazing virtue of modern agriculture.

### As a result, the productivity per hectare has been greatly enhanced.

Most studies, including mine, reach similar conclusions about the edible energy return on input. For the United States agriculture,

we get two calories or two joules per joule input. So about two to one. And if you look at this over time, first it decreased from around five to one in the early 20<sup>th</sup> century to a little bit more than one to one in the 1970s. So, it has decreased enormously in that past. We only looked at the output per fossil fuel input. By the end of the 1970s it's gotten a little bit more efficient. And we were really curious about why did it get more efficient? Is technology improving not only the efficiency per hectare and the efficiency per worker, but also the efficiency per unit fuel? That didn't seem to be making sense to us. At the same time similar studies were conducted for Canada. And Canada does just about the same as we did, about two to one for all food. In fact, we found out that this number, this increase, was a bit misleading. The reason was that we were growing more and more maize. And maize is a particularly productive crop, most of which we feed to animals or feed to our cars. In the United States, we are required by law to have 10% of our gasoline at the pump to be ethanol. And so, when you take that factor out of consideration, we're about flat, and maybe not quite as flat, just about the same as Canada.

## What's next?

### Limits to Growth

As we have seen above, EROI varies a lot for different types of food. In short, obviously the higher on the hog that you eat, the more energy it takes to grow the food. Now, going back, all of this sounds positive that we are producing more food through agriculture, although maybe at a lower efficiency. But there has always been problems. And the problem is fundamentally this: a natural ecosystem hangs on to nutrients in the biomass that is generated and to below ground biomass and everything associated with that, all the mycorrhizae and so forth. There is very little loss below the root zone because the roots take nutrients that fall down with leaves and then get decomposed into the soil and so forth. And the whole system takes up the nutrients, hangs on to it, and you develop a nutrient inventory. That's why shifting cultivation works, because the trees retain and regrow the nutrient inventory of the system. Whereas with agriculture, you remove a lot of the nutrients with the harvest, and then you expose the soil to erosion. And this has even been a big problem even in ancient times.



This was occurring everywhere there was agriculture.

Now, another problem was people were always fighting with demography. We generally think of the human population as growing, but oftentimes this is wrong: Egypt had good records. We had plague and Arab conquest, then plague again, black death and Turkish conquest. So, the population hasn't necessarily increased over time. In China it has, but with large famines and large rebellions and periodic introduction of new technologies and even Irish potatoes and fossil fuel fertilizer and discipline. and now China is even more. However, globally over time the net effect, of course, is that they have grown up to eight billion people. But as you know, the mighty have fallen. It happened again and again as follows: you get tremendous growth of people, tremendous civilizations overuse the soil, and then it would collapse, as Joseph Tainter has written about. And so, all areas ended up devoid of soil fertility over time.

### Do we need another Green Revolution?

Agronomist Norman Borlaug is generally viewed as the pioneer who fathered what has been called the green revolution in the 1960s. He introduced the most important technology, which basically is based on one gene and enabled humans to produce high-yielding crops. But most of this technology is genetically designing plants with shorter stalks so we can feed them more fertilizer –i.e. greatly increasing the energy use.

We're all worried about CO<sub>2</sub> and the news is all on climate change and stuff. But I think depletion is more important.

Fossil fuel production tends to follow a dome shaped Hubbard curve overtime. So far, we have pretty much got the traditional oil out that we can. And when

we drilled more in 1980s, prices went up. And we continued to drill more, but it didn't influence very much the production of oil. This was the U.S. peak oil in 1970. This was peak conventional oil. And the energy return on investment, which I've talked about before, was declining from all global oil wells. By 2006 the US was producing only half as much oil per year as its peak in 1970. Peak oil seemed a reality. Then engineer George Mitchell developed "fracking" which has saved the US's ass. Shale oil now produces more than 80% of the United States oil, including the natural gas liquids that we make gasoline out of. How? We put in enormous energy investments into a well, we hook up eight or 10 fire truck engines on top of each other to get the pressure to crack the rocks. And one of the benefits of this is the energy return on investment, at least initially, but then it declines. By how much? We need more studies! And this is what it looks like over much of our country now (Figure 11).

That's what's going to determine future agriculture, I think, is our future of oil and gas and natural gas liquids for the future, Conventional oil is on a downward trend. Fracked oil is peaking about now, I guess. As a result, I think the future of agriculture is going to be for the next 10, 20, years, maybe for the next generation based on natural gas. And then we'll see. But, you know, ultimately, we will run up against depletion and decreasing EROI, so who knows what the future is going to be. I think we better get to work on renewables including deep geothermal. Meanwhile our grandchildren, perhaps eventually desperate for nitrogen fertilizer, will say to us "What?!! You burned natural gas as fast as you could?? You were crazy! ■



Figure 11 : Fracked landscapes, Texas.

## References

- Angel, Larry. Early Neolithic skeletons from Çatal Hüyük: demography and pathology. *Anatolian Studies* 21, 77-98
- Balogh, S., Hall, C.A.S., Guzman, A.M., Balcarce, D.E., Hamilton, A. 2010. The potential of Onondaga County to feed its own population and that of Syracuse New York: past, present and future. in David Pimentel (ed.) *Global economic and environmental aspects of biofuels*. Pages 273-319
- Brandt, A. R., T. Yeskoo, K. Vafi. 2015. Net energy analysis of Bakken crude oil production using a well-level engineering-based model. *Energy*. Volume 93: 2191-2198.
- Campbell, C. J., & Laherrère, J. H. (1998). The end of cheap oil. *Scientific American*, 278(3), 78-83. <https://www.jstor.org/stable/26057708>
- Cleveland, C. J., Costanza, R., Hall, C. A. S., & Kaufmann, R. (1984). Energy and the U.S. Economy: A Biophysical perspective. *Science*, 225(4665), 890-897. <https://doi.org/10.1126/science.225.4665.890>.
- Glaub, Matt and Hall, C. A. S. 2017. Evolutionary Implications of Persistence Hunting: An Examination of Energy Return on Investment for !Kung Hunting. *Human Ecology*. 45:3: 393-401.
- Hamilton A, Balogh, S.B., Maxwell A, Hall. C.A.S. 2013. Efficiency of edible agriculture in Canada and the U.S. over the past 3 and 4 decades. *Energies* 6:1764-1793.
- Hall, C.A.S. 2017. *Energy Return on Investment: A unifying principle for Biology, Economics and Sustainability*. Springer Nature N.Y.
- Hall, C.A.S., C.J. Cleveland and R. Kaufmann. 1986. *Energy and Resource Quality: The ecology of the economic process*. Wiley Interscience, NY. 577 pp. (Second Edition. University Press of Colorado).
- Lee Richard. B. (1969). !Kung Bushmen subsistence: an input-output analysis. In Vayda A. (ed.), *Environment and Cultural Behavior*, Published for American Museum of Natural History Natural History Press, Garden City, pp. 47-79.
- Sahlins M. (1974). The Original Affluent Society. *Ecologist* 4(5): 181-189.



**Charles A. S. HALL**  
Professor Emeritus  
State University of New York  
College of Environmental Science and Forestry.



# PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

**2025**

# ÉDITORIAL

Olivier Mellina-Gottardo (2001)

## Le Prix des Technologies Numériques 2025 : l'agritech à l'honneur

Cette année, le Prix des Technologies Numériques a choisi de mettre en lumière un secteur en pleine mutation : l'agritech.

Ce choix n'est pas anodin, mais d'actualité. Avec par exemple les péripéties d'AGDataHub, les non-spécialistes du secteur ont peut-être découvert cette année l'enjeu des données agricoles, largement collectées par des matériels agricoles fabriqués aux États-Unis et dont l'exploitation échappe pour l'instant aux producteurs de ces données : les agriculteurs européens ; et leur environnement économique proche.

Au-delà, l'agriculture concentre à elle seule plusieurs défis majeurs économiques et environnementaux : nécessité de décarbonation, de réduction des intrants chimiques et de l'énergie, réduction des coûts de production, prise en compte du bien-être animal.

Les conflits géopolitiques à nos portes et les politiques illibérales fleurissantes ont également rappelé brutalement que parfois le commerce mondial peut tressaillir et que l'autonomie stratégique et la souveraineté, *a minima* continentales, ne sont pas des gros mots non plus en agriculture et dans les agritechs.

Pour y répondre sans laisser les agriculteurs seuls face à ces enjeux, les technologies numériques peuvent offrir des leviers puissants : capteurs IoT, robotique agricole, intelligence artificielle, analyse prédictive... autant d'outils dont on peut espérer qu'ils aideront à transformer les pratiques agricoles vers plus de durabilité et d'efficacité. Autant de technologies qui sont maîtrisées par les ingénieurs français et européens. C'est donc dans cette optique que le PTN cette année a regardé le marché des agritechs, c'est-à-dire les produits et services des technologies numériques à même de proposer des réponses aux enjeux sectoriels de l'agriculture.

Deux entreprises ont été distinguées cette année pour leur contribution notable à cette révolution : Alvie, une start-up prometteuse, et Weenat, une scale-up déjà bien implantée.

Alvie a séduit le jury par sa solution de pilotage des traitements phytosanitaires. Grâce à des capteurs connectés et un bon usage de l'intelligence artificielle, elle permet aux agriculteurs de réduire significativement les doses utilisées,

tout en optimisant les conditions d'application. Une avancée concrète dans la voie d'une agriculture plus raisonnée, et donnant surtout un sens mesurable à ce terme sinon trop souvent utilisé de façon incantatoire.

Weenat, de son côté, propose une suite d'outils météo connectés et d'aide à la décision, déjà adoptée par des milliers d'exploitants. En combinant données terrain et modèles prédictifs, Weenat aide les agriculteurs à anticiper les aléas climatiques, adapter leurs pratiques et réduire leur empreinte environnementale. C'est une entreprise qui accélère également sa croissance.

Ces deux lauréats illustrent parfaitement la dynamique de l'agritech : des solutions ancrées dans les usages, portées par des technologies de pointe, et répondant à des enjeux cruciaux pour notre avenir.

En conclusion, cette édition du Prix confirme une tendance de fond : les technologies numériques ne sont plus un secteur à part, mais un ensemble de technologies qui, comme une lame de fond, transforment tour à tour tous les domaines, de l'agriculture à la santé, de l'industrie à l'éducation. L'innovation numérique ne pouvait pas se permettre de ne pas être au cœur de la transition écologique et économique et le jury est heureux de mettre en lumière des entreprises françaises et européennes qui ont pris cette voie. ■



Olivier MELLINA-GOTTARDO

Président du jury du PTN

Olivier Mellina-Gottardo évolue depuis 24 ans dans les télécoms et technologies numériques, à des postes d'innovation, stratégie et M&A, gouvernance et conduite du changement.

Après un début de carrière dans l'informatique, il a œuvré 10 ans dans la régulation des télécoms (dans le privé comme le public), avant de se lancer dans l'entrepreneuriat technologique en 2013.

Depuis, il a exercé dans le conseil et à des postes de Cornex dans des acteurs B2B des secteurs des technologies numériques.

Il est diplômé de l'IX, de Télécom Paris et de l'EMBA d'HEC.



# VERS UNE AGRICULTURE CONNECTÉE ET DURABLE

Par **Gaspard Vibert (2026)** et **Arthur Soufi (2026)**

**L'**agriculture française fait face à un tournant : nourrir 68 millions de Français tout en réduisant de moitié son empreinte environnementale d'ici 2030. Face à ce défi titanesque, un écosystème d'agritechs émerge avec des promesses audacieuses. Robots autonomes, IA prédictive, capteurs connectés : le numérique s'invite dans chaque parcelle. Mais ces innovations tiennent-elles vraiment leurs promesses de durabilité ? Les étudiants ainsi que le jury du Prix des Technologies du Numérique 2025 ont mené l'enquête pour mettre en avant les entreprises qui concilient réellement performance et responsabilité écologique.

## Un écosystème agritech en pleine floraison

Notre plongée dans l'univers des agritechs françaises a révélé un paysage technologique structuré autour de six grandes familles complémentaires. L'imagerie satellite s'impose désormais comme l'œil omniscient des exploitations, transformant les données spatiales en conseils agronomiques actionnables pour optimiser irrigation, fertilisation et dates de récolte. Cette vision d'ensemble se couple naturellement avec les capteurs et la data qui constituent le système nerveux de l'agriculture connectée, transformant chaque parcelle en source d'information exploitable pour la traçabilité et l'optimisation environnementale.

Parallèlement, les biotechnologies mènent une révolution silencieuse dans les champs. Phéromones pour éloigner les nuisibles, virus modifiés contre les maladies bactériennes : ces alternatives biologiques aux pesticides s'appuient souvent sur l'intelligence artificielle pour maximiser leur efficacité. Ce partenariat original entre biologie et numérique illustre parfaitement la sophistication croissante du secteur.

Les infrastructures intelligentes vont encore plus loin en réinventant l'espace agricole lui-même. Ombrières agrivoltaïques pilotées par IA, fermes verticales automatisées : ces innovations questionnent les frontières traditionnelles de l'agriculture. La robotique agricole, moins novatrice que ce que nous pensons, se concentre principalement sur la pulvérisation intelligente pour réduire drastiquement l'usage d'intrants chimiques grâce à la reconnaissance visuelle.

Enfin, les logiciels de gestion orchestrent cet écosystème en centralisant l'ensemble de ces données, offrant aux agriculteurs une vision globale de leur exploitation, de la planification quotidienne à la mesure de l'empreinte carbone.

## Notre méthodologie : Sept enjeux pour filtrer l'essentiel

Face à 240 entreprises recensées, impossible de tout garder. Nous avons donc structuré notre sélection autour de sept enjeux définissant l'agriculture responsable

de demain : décarbonation, réduction des intrants, gestion des risques climatiques, santé animale, diminution de la pénibilité du travail et accès au marché.

La décarbonation s'est imposée comme critère incontournable – ce n'est plus un argument marketing mais une nécessité. L'optimisation des intrants (pesticides, engrais, eau) constituait un autre filtre majeur, certaines solutions promettant jusqu'à 40% de réduction. Les aléas climatiques intensifiés ont valorisé les systèmes d'alerte précoce et de protection des cultures. Nous avons également privilégié les innovations réduisant la charge physique et mentale des agriculteurs, ainsi que celles améliorant traçabilité et commercialisation des produits agricoles.

À chaque étape, nous avons défini des critères précis pour départager les entreprises : pertinence vis-à-vis des enjeux identifiés, maturité des solutions, degré d'innovation technologique, mais aussi cohérence entre promesse et impact réel. Cette grille d'évaluation nous a permis de passer d'un inventaire très large à une sélection argumentée et structurée.

Pour compléter cette approche, nous avons mobilisé **Jolt Ninja**, un outil de Data Science innovant qui nous a permis de suivre l'évolution des levées de fonds, la croissance des entreprises et d'autres indicateurs clés. Ces données quantitatives ont apporté un regard objectif sur la

vitalité économique et le potentiel de développement des acteurs identifiés, renforçant la solidité de notre analyse.

Après élimination des entreprises insuffisamment numériques ou en difficulté économique, nous avons consulté des experts du domaine pour affiner notre analyse. Nous remercions particulièrement Monsieur **Grégoire Burgé**, directeur adjoint chargé de l'innovation à AgroParisTech pour son aide.

Le jury a finalement distingué deux profils complémentaires : **Alvie**, jeune start-up spécialisée dans la mesure d'impact écologique et la traçabilité, et **Weenat**, scale-up reconnue combinant application de gestion, capteurs sur le terrain et communauté d'agriculteurs. Deux trajectoires prometteuses de l'agritech française.

### Des innovations au service du vivant

L'analyse des entreprises présélectionnées a révélé un écosystème Agritech riche et diversifié, où la technologie se met au service du vivant et de la durabilité. Loin d'une course à la sophistication, nombre d'acteurs partagent une même exigence de frugalité : proposer des solutions sobres, efficaces et réellement adaptées aux besoins du terrain. Cette approche, particulièrement valorisée par les membres du jury, traduit une évolution majeure du secteur, où l'innovation se mesure désormais à son impact concret, à sa simplicité d'usage et à sa capacité à créer de la valeur utile pour les agriculteurs.

Plusieurs entreprises rencontrées tout au long du processus ont illustré cette dynamique. **Agrisoleo**, par exemple, développe un logiciel de pilotage agrivoltaïque permettant d'optimiser simultanément la production agricole et énergétique pour tout type de structure ou de culture. **Micropep**, de son côté, explore la voie des biostimulants et bioherbicides à base de peptides naturels, combinant intelligence artificielle et théorie biologique pour concevoir des solutions respectueuses des sols et de la biodiversité.

Bien que particulièrement prometteuses, ces entreprises n'ont ultimement pas été retenues dans la sélection finale : **Agrisoleo**

active dans les projets d'Agrivoltaïsme a obtenu un classement plus faible sur le critère technologique et que **Micropep** qui propose l'utilisation de micropeptides était globalement légèrement en retrait mais sans démeriter.

Parmi l'ensemble des acteurs étudiés, **Weenat** et **Alvie** se sont distinguées par la pertinence et la robustesse de leurs solutions, conjuguant sobriété technologique, impact mesurable et ancrage fort dans les usages agricoles. Leur approche pragmatique et frugale a particulièrement retenu l'attention du jury, incarnant une vision d'une innovation utile, accessible et durable.

Ces exemples soulignent que l'avenir de l'Agritech repose moins sur la multiplication d'outils complexes que sur le développement de technologies frugales, fiables et porteuses de sens, capables d'accompagner une transformation agricole à la fois performante et respectueuse des équilibres naturels.

### Ce que cette aventure nous a apporté

Issus d'une formation technique, nous avons abordé le domaine en naïfs et revenons avec une vue élargie de la complexité du domaine. Nous avons découvert un monde entrepreneurial aussi passionnant qu'exigeant, où l'innovation doit composer avec des réalités économiques serrées et des cycles d'adoption longs. Interviewer les fondateurs nous a révélé leur double expertise agronomique et technologique.

L'accès à l'information s'est parfois révélé ardu – de nombreuses start-up ne publient pas leurs chiffres, d'autres communiquent peu. Notre manque initial de connaissance de l'écosystème agritech nous a obligés à beaucoup apprendre, très vite. Distinguer l'innovation réelle du greenwashing, évaluer la viabilité économique d'un modèle, comprendre les spécificités agronomiques ont parfois été difficile.

Mais c'est justement cette courbe d'apprentissage qui fait la richesse du Prix des Technologies Numériques. Nous avons appris à structurer une veille sectorielle, à analyser des modèles d'affaires, à poser les bonnes questions lors d'entretiens. Nous

avons aussi découvert un secteur porteur de sens, où technologie rime avec durabilité et impact sociétal. C'est fort de ces compétences que nous concluons ce prix.

Ce projet nous laisse convaincus que l'agriculture française est en pleine mutation. Les start-up que nous avons rencontrées ne cherchent pas à remplacer l'agriculteur par la machine, mais bien de lui donner les outils pour travailler mieux, de manière plus durable et moins pénible. C'est donc cette vision d'une technologie au service de l'humain et de la planète qui nous a le plus marqués.

Nous tenons à remercier chaleureusement Télécom Paris Alumni pour cette opportunité unique de participer au Prix des Technologies Numériques 2025, ainsi que l'ensemble du jury pour leur accompagnement et leur expertise tout au long de cette aventure agritech. ■



**Gaspard VIBERT**

est élève-ingénieur en 2<sup>e</sup> année, spécialisé en Systèmes Embarqués et Télécommunications. Voulant élargir ses horizons, le Prix des Technologies du Numérique 2025 lui a permis de découvrir le monde passionnant des start-up et du monde agricole.



**Arthur SOUFI**

Étudiant en apprentissage en deuxième année du cycle ingénieur, Arthur Soufi s'est engagé dans le Prix des Technologies Numériques 2025 pour explorer les liens entre innovation technologique et transition agricole. Le PTN lui a offert l'opportunité de plonger dans l'univers des start-up Agritech et de comprendre comment le numérique façonne l'agriculture de demain.



# ALVIE LAURÉATE DU PRIX DE LA START-UP



## CHIFFRES CLÉS

- › Création : janvier 2020
- › 1 400 clients payants / 50 000 comptes créés
- › 100 000 traitements analysés à ce jour
- › 14 % d'économies de produits phytosanitaires par ferme en moyenne
- › Surface équivalente à la Belgique protégée plus efficacement grâce à HYGO
- › Croissance annuelle 2025 : +160 %
- › +50 000 références produits dans la base HYGO (pesticides, biocontrôles, biostimulants)
- › Utilisateurs actifs : 10 000 chaque semaine
- › Pré-Séries A en cours pour accélérer l'expansion en Europe

[www.alvie.fr](http://www.alvie.fr)

 [company/alviesas](https://www.linkedin.com/company/alviesas)

 [hygoculteur](https://www.facebook.com/hygoculteur)



## ALVIE, TRANSFORMER LA SCIENCE DE LA PROTECTION DES PLANTES EN RÉSULTATS CONCRETS À LA FERME

Alvie est née d'un constat simple, issu du terrain : la protection des plantes est l'un des défis les plus complexes de l'agriculture moderne. Issue de familles agricoles, l'équipe fondatrice a passé des mois à échanger avec des centaines d'agriculteurs français. Le message était clair : la gestion des traitements phytosanitaires est devenue une équation quasi impossible à résoudre, sous la pression conjuguée du climat, des réglementations et des attentes sociétales.

C'est ainsi qu'en 2020, Alvie a vu le jour avec **HYGO**, un logiciel pensé dès le départ pour s'intégrer dans le quotidien des exploitations. Le premier prototype a été développé suite aux échanges avec Maxime, un jeune agriculteur du nord, qui expliquait réduire les doses « au feeling » lorsque la météo semblait favorable. **HYGO** a transformé ce ressenti en une méthodologie scientifique, simple à utiliser, pour aider les agriculteurs à préparer le bon mélange, identifier la fenêtre de pulvérisation idéale et ajuster la dose en toute sécurité.



Quatre ans plus tard, **HYGO** est utilisé par plus de 50 000 agriculteurs en Europe, dont 1 400 abonnés payants. Plus de 100 000 traitements ont été analysés, permettant une réduction moyenne de 14% de l'usage des pesticides, sans perte de rendement. La société, incubée à Télécom Paris et à Euratechnologies, connaît une croissance de 160% par an et vient de lever un seed round, avec un pré-Series A en cours pour accélérer son expansion internationale.

Ce qui différencie Alvie n'est pas seulement sa technologie, mais aussi sa culture : une start-up *muddy boots*, enracinée dans la pratique agricole, qui conçoit la tech comme un outil simple et utile, à la manière d'un « Apple de l'agriculture ». Sa distribution innovante repose sur un modèle SaaS à faible coût, avec acquisition via freemium et conversion à distance, ce qui permet de croître rapidement dans plusieurs marchés européens.

D'ici 2030, Alvie ambitionne de devenir le leader mondial de la protection des plantes durable et efficace. **HYGO** est appelé à devenir le cerveau numérique qui pilotera non seulement les traitements agricoles, mais aussi les prochaines générations de machines autonomes et de produits de biocontrôle. Dans un monde où l'agriculture doit concilier productivité et durabilité, Alvie veut apporter un élément clé de la transition : une agronomie de précision, pragmatique, scalable et ancrée dans la réalité du terrain. ■

## LES FONDATEURS

### Edita BEZEG - CEO

Originaire de République tchèque, issue d'une famille agricole, Edita a commencé sa carrière dans la diplomatie (ONU, Commission européenne) avant de rejoindre l'univers des start-up à Paris (nam.R, Metron). Elle fonde Alvie en 2020 avec la conviction que la tech doit simplifier la vie des agriculteurs et accompagner la transition écologique.

### Nadir GHROUS (2012) - COO

Ingénieur diplômé de Télécom Paris, Nadir a grandi dans une famille de viticulteurs en Corbières. Après un parcours en conseil stratégique (PMP) puis la cofondation de nam.R (introduite en bourse en 2021), il met son expertise produit.

### Théophile KAZMIERCZAK - CSO

Docteur en biologie, ancien directeur de BioTransfer, laboratoire leader mondial dans les tests d'efficacité de substances actives pour la protection des plantes, Théophile apporte à Alvie une expertise scientifique unique. Il est le garant de la rigueur agronomique de HYGO et pilote les programmes de R&D et partenariats scientifiques de la start-up.



Prix de la Scale-up



**WEENAT**

# WEENAT LAURÉATE DU PRIX DE LA SCALE-UP



## CHIFFRES CLÉS

- › 40 000 capteurs déployés en Europe et 40 000 agriculteurs accompagnés
- › +1 milliard de points de données traités chaque jour
- › 70 collaborateurs
- › 350 partenaires dans 15 pays

[weenat.com](https://weenat.com)

 [company/weenat-solutions](https://company/weenat-solutions)

 [@weenat\\_solutions](https://@weenat_solutions)



## WEENAT, SMART WEATHER DATA TO EMPOWER AGRICULTURE

### Une décennie d'innovation au service d'une agriculture résiliente

En 2014, Jérôme Le Roy, petit-fils d'agriculteur, se confronte à un constat frappant : l'agriculture traverse une période de bouleversements majeurs. Les repères météorologiques, jadis fiables, s'effacent face à un climat devenu imprévisible.

Une question devient cruciale : **comment permettre aux agriculteurs de s'adapter durablement ?**

De cette réflexion avec des agronomes, des agriculteurs et des experts en technologie naît Weenat, une entreprise portée par une ambition claire : **donner aux agriculteurs les outils pour anticiper, décider et agir efficacement grâce à des données fiables, accessibles et locales.**

### De la start-up au leader européen de l'Agritech

Les premiers prototypes séduisent rapidement. Agriculteurs, coopératives et filières y voient un outil précieux pour **mieux irriguer, prévenir le gel et réduire les intrants**. Aujourd'hui, Weenat c'est plus de **40 000 capteurs déployés** et une application utilisée par des milliers d'exploitants en Europe. La société a levé **8,5 M€ en 2024** pour accélérer son déploiement international et renforcer sa R&D.

Après trois ans de R&D, Weenat lance **Soil Vision**, une technologie basée sur l'intelligence artificielle et la combinaison de modèles permettant de suivre et d'anticiper l'évolution de l'humidité des sols à grande échelle, sans disposer de capteurs.

L'objectif de Weenat est clair : **transformer la connaissance terrain et la donnée d'humidité des sols en outils concrets afin que les acteurs du monde agricole puissent relever les défis posés par la gestion de l'eau à l'échelle continentale.**



### Une différence qui compte

L'ADN de Weenat se distingue par trois axes principaux :

- › L'eau comme priorité absolue
- › La gestion efficace de l'eau est au cœur de la mission de Weenat, pour aider les agriculteurs et les filières agricoles à optimiser leurs irrigations et sécuriser leurs rendements.
- › Des expertises multidisciplinaires
- › Weenat combine météorologie, agronomie, data science et ingénierie pour transformer les données météo et sol en indicateurs fiables et exploitables.
- › Des solutions clés en main et faciles d'accès

Capteurs, application mobile et API offrent aux utilisateurs une intégration simple et complète pour piloter leur prises de décisions au quotidien.

### Voir loin, penser durable

Pour Weenat, le futur agricole s'écrit dans un monde contraint par l'eau. D'ici dix ans, l'ambition est claire : accompagner la transition vers une **agriculture régénératrice**, résiliente face aux chocs climatiques. Grâce à l'IA, aux satellites et à des réseaux de données toujours plus denses, Weenat entend proposer un pilotage quasi automatisé de l'irrigation et soutenir des politiques agricoles sobres en ressources. Une vision où la technologie devient un levier de durabilité. ■

## LE FONDATEUR



### Jérôme LE ROY

Petit-fils d'agriculteur et ingénieur de formation, Jérôme Le Roy a fondé Weenat en 2014 avec la conviction que la donnée pouvait devenir un élément clé pour prendre des décisions éclairées en agriculture. Sa vision : transformer la donnée en outil stratégique pour optimiser l'eau, sécuriser les récoltes et accompagner vers une agriculture durable et résiliente.



# ENTRETIEN AVEC OLIVIER MELLINA-GOTTARDO (2001) PRÉSIDENT DU JURY DU PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES



***Le Prix des Technologies Numériques est le révélateur de l'apport des technologies numériques à la transformation lente de tous les secteurs***

***Olivier, peux-tu nous rappeler ce qu'est le Prix des Technologies Numériques ?***

Pour énoncer une évidence, c'est un ou plusieurs Prix, décernés chaque année par Télécom Paris et ses alumni et qui prime des entreprises, des femmes ou des hommes qui utilisent les Technologies Numériques pour répondre à des enjeux économiques et sociétaux.

Cette paraphrase appelle déjà une précision, i.e. ce qu'on entend par Technologies Numériques : ce n'est pas seulement le numérique, en tant que service ou usage, mais bien toutes les sciences et couches qui permettent son avènement, de la couche physique (la physique quantique, l'électronique, les matériaux de transmission, etc.) jusqu'aux mathématiques et l'algorithmie à la base du traitement du signal, des transmissions, de l'intelligence artificielle, etc.

Donc depuis sa création, le Prix des Technologies Numériques (PTN) s'est donné pour mission de mettre en lumière l'impact concret des technologies numériques sur tous les secteurs qu'elles transforment.

C'est un prix qui regarde par ailleurs les réussites industrielles, c'est-à-dire celles qui ont déjà fait leurs preuves en termes d'accès au marché (par opposition par exemple à des sujets encore à l'état de recherche).

Chaque année, le Prix illustre donc comment le numérique et ses infrastructures ne constituent pas un secteur à part entière, mais un vecteur de transformation de tous les autres secteurs, avec un effet sur les usages, les métiers et les modèles économiques.

## ***Les Technologies Numériques sont-elles dans tous les secteurs ?***

D'autres que nous (cf. par exemple Stéphane Distinguin) ont déjà démontré depuis longtemps en quoi et par quels mécanismes l'usage du numérique allait transformer à des rythmes différents mais inexorablement tous les secteurs du B2B et du B2C.

Ce que nous constatons de fait, c'est que le déploiement des technologies numériques de pointe précède évidemment la généralisation de l'usage : de façon évidente dans des domaines comme la cybersécurité, les réseaux, mais aussi dans des domaines moins attendus du grand public comme l'agriculture, la santé ou l'industrie classique. L'exemple de l'imagerie médicale l'illustre parfaitement, où l'IA a été utilisée bien avant sa médiatisation au grand public, comme le PTN 2024 l'a mis en lumière.

## ***Pourquoi le prix est-il porté par Télécom Paris et ses alumni ?***

La France est une nation d'ingénieurs où il existe de très nombreuses voies d'excellences pour se former au numérique et à ses technologies, allant des nombreuses Écoles d'ingénieurs aux formations de pointe des universités, en passant par les Écoles Normales Supérieures.

Télécom Paris n'en a donc pas l'exclusivité du sujet, mais a la chance de regrouper en un seul lieu des enseignements et sujets de recherche couvrant très largement ces technologies numériques. Il suffit de regarder les prix reçus cette année par des anciens : le prix Nobel décerné en physique à Michel Devoret (1975), sur de la physique quantique – les couches basses – ou la médaille CNRS décernée à Stéphane Mallat (1986), sur des mathématiques de

traitement du signal – fondamentales dans les révolutions du cinéma numérique par exemple. L'École a toujours donné à ses ingénieurs une connaissance profonde de ces technologies leur permettant d'y poursuivre des travaux de recherche avancés, ou de les appliquer dans des contextes industriels variés.

C'est donc probablement assez naturellement que la communauté des alumni a créé ce prix et a toujours su le faire vivre en proposant chaque année, sur l'inspiration des secteurs industriels où elle travaille, des thématiques aussi variées et toujours renouvelées.

## ***Le PTN, c'est aussi une méthodologie un peu à part, d'une collaboration entre élèves et jury ?***

Oui, au fil des ans, le PTN a aussi su conforter son modèle pédagogique original et qui en fait sa force.

Chaque année, un groupe d'élèves de Télécom Paris volontaires se mobilise pour analyser les entreprises d'un secteur et proposer au jury une présélection. Je les accompagne donc notamment dans la réalisation d'études de marché, d'analyses sectorielles et de profilage des entreprises intéressantes, dans des conditions d'informations publiques lacunaires. Nous avons, pour nous aider, la chance d'utiliser l'outil Ninja développé à base d'IA par le fonds d'investissement Jolt Capital.

Et les élèves apprennent aussi à adopter une posture professionnelle : comment partir de leurs motivations parfois très personnelles, en maîtriser les biais pour finir par convaincre un jury professionnel avisé et exigeant de leurs choix, selon des critères objectifs.

## ***Et toi, qu'en tires-tu à titre personnel ?***

Je pense déjà que ce travail est une opportunité personnelle pour tous les élèves, qui découvrent l'impact des technologies qu'ils ont apprises, dans un secteur donné qui les intéresse : j'espère que ça les aide notamment à faire leurs premiers choix de carrière.

Me concernant, ainsi que tous les autres membres du jury, je ne cesse de me laisser surprendre chaque année par la découverte d'avancées dans certains secteurs, que je n'avais pas encore pleinement mesurées.

Être au jury du PTN donne la chance de voir l'innovation se concrétiser dans l'industrie chaque année.

## ***Quel avenir pour le PTN ?***

Déjà, nous ne sommes pas prêts de voir se tarir les exemples de secteurs transformés par les technologies numériques, donc le PTN a encore de nombreuses éditions devant lui sans voir se tarir la source des thématiques à aborder.

Ensuite, je ne peux qu'encourager un maximum de participants de tous horizons à venir assister et échanger avec nous à la remise annuelle des prix, qui aura lieu cette année le 20 novembre. Nous aurons la chance de dialoguer avec les lauréats, des chercheurs de l'école et des spécialistes. ■



**JEAN-PIERRE ACHOUCHE** [1971]  
Consultant indépendant



**JÉRÔME FAUL** (1991)  
Managing partner, Innovacom,  
Co-fondateur et Directeur Général d'Algety,  
Directeur Général de Corvis-Algety



**LAURENT BAUDART**  
Président Fondateur  
de La Compagnie Baudart



**GRÉGOIRE BURGÉ**  
Directeur adjoint de la recherche, de l'innovation  
et du transfert technologique à AgroParisTech



**VÉRONIQUE DI BENEDETTO**  
Administratrice d'Econocom



**JANINE LANGLOIS-GLANDIER**  
Présidente du Forum Médias Mobiles,  
Administratrice de Fransat



# Le jury 2025





**MARIE-ANNE LEBREC**

Directrice de projets Innovation et  
Entrepreneuriat à Télécom Paris



**ALBAN NEGRET**

Responsable du pôle Innovation du Groupe ADP



**LISA LLORET** (2024)

Strategic Project Manager,  
Open Innovation (BNP Paribas)



**LAURENT SOULIER** [1998]

EVP strategy and Operational Excellence,  
ATOS Group



**SONIA VANIER**

Professeure au Département d'Informatique de l'École  
Polytechnique (DIX), Responsable de plusieurs chaires sur l'IA.



**OLIVIER MELLINA-GOTTARDO** (2001)

Président du jury du PTN



**JEAN-LOUIS MOUNIER** [1989]

Co-Directeur Général de la BU TowerCo de TDF



**GILLES VAQUÉ** [1998]

President and Managing Partner cabinet de  
conseil en Direction Générale PMP Strategy



## PRIX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

# PALMARÈS DES LAURÉATS 1998 2024

### LES MANAGERS

- 2024** **Emmanuelle Martiano Rolland** et **Maximilien Levesque**,  
cofondateurs d'Aqemias
- 2023** **Jean-Marc Chéry**, Président du directoire et Directeur Général de  
STMicroelectronics
- 2022** **Eléna Poincet**, CEO de Tehtris
- 2021** **Anne-Charlotte Fredenucci**, Présidente de Ametra Group
- 2020** **Emery Jaquillat**, Président Directeur Général Camif
- 2019** **Nathalie Balla**, Co-Présidente de la Redoute et Relais Colis et **Éric  
Courteille**, Co-Président de la Redoute et Relais Colis
- 2018** **Jean-Stéphane Arcis**, Fondateur de Talentsoft
- 2017** **Georges Karam**, Co-fondateur et PDG de Sequans Communication
- 2016** **Vivek Badrinath**, Directeur général adjoint d'AccorHotels
- 2015** **Nicolas Dufourcq**, Directeur général de Bpifrance
- 2014** **Henri Seydoux**, Fondateur et Président-directeur général de Parrot
- 2013** **Jean-Charles Decaux**, Président du directoire et Codirecteur  
Général de JC Decaux SA et **Jean-François Decaux**, Codirecteur  
Général de JC Decaux SA
- 2012** **Jean-Paul Bailly**, PDG de la Poste
- 2011** **Frank Esser**, PDG du groupe SFR
- 2010** **Nicolas de Tavernost**, Président du Directoire du  
groupe M6
- 2009** **Olivier Piou**, DG de Gemalto
- 2008** **Léo Apotheker**, PDG adjoint de SAP
- 2007** **Bernard Charles**, DG Dassault Systèmes
- 2006** **Bernard Liautaud**, PDG et co-fondateur de Business Objects
- 2005** **Jacques Veyrat**, Président et Fondateur de N9uf Télécom
- 2004** **Pierre Haren**, PDG d'ILOG
- 2003** **Pasquale Pistorio**, Président et Chief Executive Officer de  
STMicroelectronics
- 2002** **Thierry Gattegno**, DG adjoint de SFR, DG de SFR Grand public et  
Universal Music
- 2001** **Jean-Louis Constanza**, Vice-président Européen de Télé 2
- 1999** **Bernard Ghillebaert**, DG Mobistar France Télécom
- 1998** **Laurent Samama**, DG de Nokia France

### PRIX DE LA RECHERCHE

- 2022** **Rand Hindi** et **Pascal Paillier**, Fondateurs de **Zama**

### PRIX DE L'INNOVATION

- 2024** **Antoine Jaumier**, **Florence Moreau** et **Gaspard d'Assignies**,  
Fondateurs de **Incepto**
- 2023** **Théau Peronnin**, **Raphaël Lescane**, Fondateurs de **Alice & Bob**
- 2023** **Georges-Olivier Reymond**, Fondateur et Président Directeur Général  
de **Pasqal**

- 2022** Grégoire Germain, Xavier Boreau, Maxime Rameau et Mathieu Gaspard, Fondateurs de **HarfangLab**
- 2021** Rudy Cohen, Albane Dersy et Louis Dumas, Fondateurs de **Inbolt**
- 2020** Joël Rubino, CEO France, François de Rochebouët, CTO France, Michel Rubino, Président France et Marc Dupacquier, General Manager Amérique du Nord (USA) Fondateurs de **Cartesiam**
- 2019** Reda El Mejjad, Fondateur et CEO de **IZICAP**
- 2018** Luca Verre, Co-fondateur et CEO de **Prophesee**
- 2017** Julien Cohen-Solal, Président et CEO de **Kartable** et Sarah Besnainou, DG et Directrice pédagogique
- 2017** Nicolas Hernandez, CEO et Président de **360Learning**
- 2016** Bénédicte de Raphélis Soissan, Fondatrice et CEO de **Clustree**
- 2015** Marc-David Choukroun, Fondateur de **La Ruche qui dit Oui**
- 2014** Frédéric Potter, Fondateur de **Netatmo**

## PRIX DE LA CROISSANCE

- 2024** Christian Allouche, Alexis Ducaroug et Nor-Eddine Regnard, Fondateurs de **Gleamer**
- 2023** Sylvie Menezo et Pascal Langlois, Fondateurs de **Scintil Photonics**
- 2022** Erwan Keraudy et Stean Keraudy, Fondateurs de **CybelAngel**
- 2021** Romain Moulin et Renaud Heitz, Fondateurs de **Exotec**
- 2020** Ondine Suavet, Co-fondatrice **Mylight Systems**
- 2019** Cyril Chiche, Co-fondateur et CEO de Lydia et Antoine Porte, Co-fondateur et CTO de **Lydia**
- 2018** Christophe Sapet, Fondateur de **Navya**

## PRIX DE L'OBJET CONNECTÉ

- 2017** Marie Mérouze, Fondatrice de **Marbotic**
- 2016** Cédric Mangaud, Co-Fondateur et directeur général de **PIQ**
- 2015** Stéphane Savouré, Fondateur de **Koolicar**
- 2014** Jean-Luc Errant, Fondateur de **Cityzen Sciences**

## PRIX SPÉCIAL DU JURY

- 2014** Paul Benoît, Président fondateur de **Qarnot computing**

## LES INNOVATEURS

- 2013** Jean-Louis Schmittlin, Président fondateur de **Parsys Télémedecine**
- 2012** Eric Carreel, Président fondateur de **Withings, Sculpteo et Invoxia**
- 2011** Jacques-Antoine Granjon, PDG et fondateur de **vente-privee.com**
- 2010** Eric Garcia, Fondateur de **Covalia**

- 2009** Yannick Levy, Fondateur et PDG de **DiBcom**
- 2008** Tariq Krim, Fondateur de **Netvibes**
- 2007** André-Jacques Auberton-Hervé, Cofondateur et co-PDG du groupe **Soitec**
- 2006** Olivier Giroud et Thomas Serval, Fondateurs de **Baracoda**
- 2005** Michel Alard et Aram Hékimian, Fondateurs de **Wavecom**
- 2004** Diaa Elyaacoubi, Fondatrice et PDG de **STREAMCORE**
- 2003** Pascal Béglin, Fondateur et PDG de **STREAMWIDE**
- 2002** Jean Cherbonnier, Jean-Baptiste Rudelle et Francis Cohen, Fondateurs de **K-mobile**
- 2001** Olivier Hersent, Fondateur et PDG de **Netcentrex**
- 1999** Frédéric Artru, Fondateur et PDG de **ODISEI**
- 1998** Jean-Louis Henriot, Fondateur et PDG de **LASCOM Technologies**

## LES PROMOTEURS

- 2013** Jacques Marescaux, Créateur de l'IRCAD, Prix de la personnalité numérique
- 2012** Tristan Nitot, Président de Mozilla Europe
- 2011** Jean-Michel Billaut, Cofondateur et président d'honneur de l'Atelier BNP Paribas
- 2010** Daniel Kaplan, Cofondateur et délégué général de la Fondation pour l'Internet, Nouvelle Génération (FING)
- 2009** Giuliano Berretta, PDG d'Eutelsat Communications
- 2008** Didier Lombard, PDG du Groupe France Télécom
- 2007** Isabelle Falque-Pierrotin, Présidente du Forum des droits sur l'Internet
- 2006** Gilles Kahn, PDG de l'INRIA
- 2005** Jean-François Abramatic, Président du W3C
- 2004** Pierre Laffitte, Sénateur des Alpes Maritimes et Fondateur du Parc Scientifique et Technologique, Sophia Antipolis
- 2003** Jean-Michel Hubert, Vice-président du Conseil Général des Technologies de l'Information C.G.T.I.
- 2002** Erkki Liikanen, Commissaire Européen chargé des Entreprises et de la Société de l'Information
- 2001** Philippe Lemoine, Co-Président du groupe Galeries Lafayette et Président de LASER
- 1999** Nicolas Beytout, Directeur de la Rédaction des Echos





# Les actualités du réseau

ASSO • ÉTUDIANTS • ÉCOLE • FONDATION

## ASSOCIATION

# ÉVÉNEMENT

## Une deuxième édition du **Hello Palaiseau** sous le signe du partage et de la transmission

Le 8 octobre s'est tenue en soirée la deuxième édition de **Hello Palaiseau**, rencontre annuelle entre étudiants, alumni et membres de l'école. Plus d'une centaine de participants se sont retrouvés pour échanger autour des trajectoires, des projets et du rôle du réseau Télécom Paris dans la vie professionnelle comme dans la formation.

**Patrick Olivier (1996)**, directeur de Télécom Paris, **Hélène Haverbeke (1993)**, présidente de Télécom Paris Alumni, et **Yves Poilane (1984)**, ancien directeur, ont introduit la conférence en rappelant la continuité des liens entre l'école et ses anciens élèves, et la place centrale de la transmission dans l'identité de Télécom Paris.

**Thomas Houy**, enseignant-chercheur, a proposé une lecture éclairante des modèles d'innovation à travers le *Decision Model Canvas*, soulignant les transformations à l'œuvre dans les organisations.

**Les associations étudiantes** – le BDE, le Forum Télécom Paris et Télécom Business & Finance (TBF) – ont ensuite présenté leurs initiatives, illustrant la vitalité de la vie étudiante et son rôle dans le rayonnement de l'école (voir page 64 et suivantes : Des nouvelles de nos étudiants).

La soirée s'est clôturée sur une note conviviale avec un **Kahoot** animé par **Marion Schilling**, moment de partage entre étudiants et alumni. Par la diversité des interventions et la qualité des échanges, cette édition du Hello Palaiseau témoigne d'une communauté attentive à ses valeurs de dialogue, de curiosité et d'ouverture.



ASSOCIATION

# HELLO PALAISEAU 2025

## EN IMAGES







# MENTORAT

## Déjà plus de 100 mentors impliqués dans le programme de mentorat

LE MENTORAT,  
UNE CHÂÎNE DE TRANSMISSION  
AU CŒUR DE TÉLÉCOM PARIS  
ALUMNI

L'histoire de notre association s'écrit depuis toujours dans le dialogue entre générations. Ce lien, tissé entre les anciens et les plus jeunes, constitue une force tranquille, une ressource discrète mais essentielle. Dans un monde où les trajectoires professionnelles se diversifient et se complexifient, il nous a semblé naturel de réinventer l'un des dispositifs qui incarne le mieux cet esprit de solidarité : le mentorat.

Relancé en 2024, le programme a connu un nouvel élan grâce à une collaboration étroite entre les administrateurs de l'association et les étudiants du pôle alumni du BDE. Ce travail conjoint a permis d'opérer une évolution significative : ce sont désormais les étudiants qui choisissent leur mentor. Ce renversement, loin d'être anecdotique, introduit une dynamique nouvelle. Il place l'étudiant au centre du dispositif, acteur de sa recherche, tout en offrant au mentor la certitude d'être sollicité dans un cadre choisi et motivé.

### Mentorat Alumni & étudiants

DE TÉLÉCOM PARIS ALUMNI



*"Le mentorat n'est pas seulement transmettre son expérience, c'est aussi apprendre à voir le monde à travers les yeux d'une nouvelle génération. Je suis heureux de pouvoir bâtir ce pont entre héritage et avenir."*

**Patrick Bucquet**  
(Promo 1995)  
Mentor



**UNE TRIPLE****AMBITION QUI DÉPASSE****LE SIMPLE ACCOMPAGNEMENT****DES ÉTUDIANTS**

Le programme de mentorat repose sur une triple ambition qui lui confère toute sa singularité. Il s'agit d'abord d'accompagner les étudiants dans l'élaboration de leurs choix et la construction de leurs parcours, à un moment où les incertitudes sont nombreuses et les directions multiples. Mais il ne s'arrête pas là. Il donne aussi aux diplômés l'occasion de transmettre, de partager une expérience et des repères qui peuvent parfois s'avérer décisifs au début d'une carrière. Enfin, il nourrit la communauté dans son ensemble, en entretenant ce fil invisible mais solide qui relie chaque génération à la suivante. Ainsi, à travers chaque échange, chacun trouve sa part : les étudiants, une écoute attentive et des conseils éclairés ; les mentors, la satisfaction de redonner ce qu'ils ont eux-mêmes reçu et, souvent, l'occasion d'interroger à nouveau leur propre chemin.

Au-delà de ces ambitions quantitatives, le mentorat demeure avant tout une aventure humaine. Il témoigne de la vitalité de notre communauté, de sa capacité à conjuguer héritage et avenir, et de cette conviction qui nous rassemble : la transmission est une richesse, à la fois individuelle et collective. ●

**Mentorat Alumni & étudiants**

DE TÉLÉCOM PARIS ALUMNI



*"Une belle rencontre intergénérationnelle et une bonne façon d'aider un jeune membre de la grande famille des télécommiens !"*

**Yves Poilane**  
(Promo 1984)  
Mentor

**Mentorat Alumni & étudiants**

DE TÉLÉCOM PARIS ALUMNI



*"Mentorer, c'est partager son expérience, mais surtout s'enrichir de nouvelles perspectives."*

**Elsa Mainville**  
(Promo 1996)  
Mentore

**Mentorat Alumni & étudiants**

DE TÉLÉCOM PARIS ALUMNI



*"Le mentorat, c'est l'opportunité d'aider un étudiant à décoller... tout en redécouvrant ce qui vous a fait grandir."*

**Louis Escudero**  
(Promo 2016)  
Mentor





DES NOUVELLES DE NOS ÉTUDIANTS



## Forum Télécom Paris 2025 : une édition pas comme les autres

Par **Inès Charrier (2026)** et **Tanguy Kolly (2026)**  
Présidence du Forum Télécom Paris

Cette année, pour ce Forum (événement majeur pour l'ouverture professionnelle des étudiants), nous avons décidé d'essayer de tout bousculer. Vouloir réaliser le Forum sur deux jours, avec des entreprises différentes chaque jour, cela peut paraître anodin... mais pour nous c'était un vrai pari. Il fallait convaincre l'administration, s'assurer d'avoir les étudiants présents sur deux jours, et faire face à des concurrents comme le Forum de l'X, de CentraleSupElec ou du Trium (Mines de Paris, ENSTA, Ponts, ENSAE). Avec des effectifs plus réduits, nous savions bien que nous allions avoir du mal à rivaliser sur la quantité. Mais, ce nouveau format était notre seule chance d'accueillir davantage d'entreprises, sans dégrader la qualité de l'événement.

Au début, les regards étaient sceptiques. Les entreprises hésitaient, l'administration aussi. Mais de mail en

mail, d'appel téléphonique en appel, téléphonique les inscriptions ont commencé à arriver, et enfin de plus en plus. Petit à petit, le projet a pris forme. Et nous avons été confrontés à de sacrés dilemmes, et nous avons dû faire des choix courageux : refuser ceux qui voulaient participer « pour pas cher », ou même des géants comme Nvidia qui espéraient une gratuité. Nous avons tenu bon, convaincus de la valeur des étudiants.

Et cela a payé : pour la première fois, de nouveaux grands acteurs comme Doctolib ou Amazon ont rejoint l'aventure, des entreprises publiques comme le COM CYBER et l'INSERM font aussi leur première apparition. Au total, ce sont plus de 75 entreprises qui ont été présentes les 15 et 16 octobre sur le campus de Télécom Paris. Et ce n'est pas tout : elles le seront aussi au rendez-vous pour

le *job dating* en ligne du 27 novembre prochains sur *Seekube*. D'ailleurs chers alumni, n'hésitez pas à vous y inscrire vous aussi : si certains d'entre vous envisagent un changement de poste, c'est une occasion idéale... (et pour nous, un vrai argument à présenter aux recruteurs pour l'année prochaine 😊).

Nous sommes fiers de vous annoncer que nous avons réussi à organiser le plus grand Forum de l'histoire du Forum Télécom Paris en nombre d'entreprises, et ce sans rabais (donc aussi le plus grand en CA 😊). Et si nous avons pu aller jusque-là, c'est aussi grâce à vous : vos messages à vos RH, vos mises en relation, vos encouragements, votre implication face à nos sollicitations. Alors merci, et rendez-vous très bientôt pour vivre cette édition pas comme les autres. ●

## DES NOUVELLES DE NOS ÉTUDIANTS

# TÉLÉCOM BUSINESS & FINANCE

## un carrefour entre étudiants et alumni qui s'affirme année après année



Depuis son renouveau en 2019, l'association Télécom Business & Finance (TBF) ne cesse d'élargir son champ d'action et de renforcer son rôle de passerelle entre les promotions en cours et les diplômés. En l'espace de quelques années, elle s'est imposée comme un acteur incontournable de la vie associative, contribuant à faire découvrir aux ingénieurs de Télécom Paris la richesse des métiers de la finance, du conseil et de l'entrepreneuriat.

L'année écoulée en témoigne : pas moins de dix-sept événements ont été organisés, articulés autour de trois grands cycles – Finance, Entrepreneuriat et Web3.0 – qui traduisent la diversité des thématiques explorées et la volonté de répondre aux aspirations d'une génération en quête de repères et d'expériences concrètes.

Ces rendez-vous ne se limitent pas à de simples conférences. Ils sont autant d'occasions de rencontres,

d'échanges et de découvertes, où les étudiants peuvent dialoguer directement avec des alumni engagés dans des carrières variées, en France comme à l'international.

Parmi les temps forts récents, citons le gala organisé à l'Aéro-Club de France, qui a rassemblé étudiants et diplômés dans une atmosphère conviviale et prestigieuse, mais aussi l'événement organisé à New-York, véritable vitrine de la vitalité de notre communauté au-delà de nos frontières.

En multipliant ces initiatives, TBF confirme sa vocation : être un espace de dialogue et de transmission, où chaque génération trouve matière à s'inspirer et à s'engager. ●



DES NOUVELLES DE NOS ÉTUDIANTS

# Télécom Étude : développez vos projets avec les talents de Télécom Paris

Fondée en 1979, **Télécom Étude** est la **Junior-Entreprise (JE)** de **Télécom Paris**. Depuis plus de quarante ans, elle met au service d'entreprises, d'institutions publiques et de start-up l'expertise et la créativité des étudiants de l'École.

Une Junior-Entreprise est une association étudiante qui donne aux étudiants l'opportunité d'appliquer leurs compétences dans des projets réels, tout en offrant aux clients des prestations de qualité à forte valeur ajoutée. Ces projets peuvent couvrir tous les domaines enseignés à Télécom Paris : **développement, intelligence artificielle, data science, cybersécurité, réseaux, systèmes embarqués...**

## Pourquoi faire appel à nous ?

Faire appel à Télécom Étude, c'est bénéficier de :

- › L'expertise de **plusieurs centaines** d'étudiants formés aux technologies de pointe (IA, cybersécurité, data science, télécommunications, développement logiciel, etc.) ;
- › Une **équipe réactive et disponible**, capable de s'adapter aux besoins spécifiques de chaque client ;
- › Une **collaboration stimulante** avec des jeunes talents passionnés, encadrés par un fonctionnement professionnel et certifié par la Confédération Nationale des Junior-Entreprises (CNJE).

En tant qu' alumni de Télécom Paris, collaborer avec Télécom Étude, c'est aussi soutenir la formation de la nouvelle génération d'ingénieurs, encourager leur professionnalisation et renforcer le lien entre l'École et le monde de l'entreprise.

Que vous souhaitiez développer un prototype, explorer une idée innovante ou approfondir un projet de recherche appliquée, Télécom Étude est à votre écoute pour réaliser des projets qui vous correspondent. ●

✈ **INTÉRESSÉS ?** N'hésitez pas à aller voir notre site **Télécom Étude** (<https://telecom-etude.fr/fr>) et à nous contacter à **contact@telecom-etude.fr**



telecom  
etude



FONDATION MINES-TÉLÉCOM

# Soutenir Télécom Paris, c'est donner pour l'avenir

Chères et chers alumni,

À Télécom Paris, nous formons les ingénieurs qui imaginent et entreprennent pour concevoir des modèles, des technologies et des solutions numériques au service d'une société et d'une économie respectueuses de l'humain et de son environnement. Grâce à votre générosité, nous pouvons aller plus loin, plus vite.

Chaque don compte. Il permet :

- ✓ À nos étudiantes et étudiants de se consacrer pleinement à leurs études grâce aux bourses ;
- ✓ De soutenir la mobilité internationale, en facilitant la venue de professeurs étrangers et en finançant des séjours académiques à l'international pour nos élèves ;
- ✓ D'accompagner les projets entrepreneuriaux portés par nos élèves et jeunes diplômés ;
- ✓ De renforcer nos actions en faveur de la transition écologique, au cœur de notre stratégie de formation et de recherche.

En donnant, vous contribuez à faire de Télécom Paris un lieu toujours plus inclusif et innovant. Rejoignez la communauté des donatrices et donateurs. ●

**Votre soutien est essentiel.**  
**Il est aussi un formidable levier d'impact.**

**COMMENT  
SOUTENIR LES ÉLÈVES  
DE TÉLÉCOM PARIS ?  
VOUS POUVEZ  
FAIRE UN DON.**



En ligne sur :  
**[www.telecom-paris.fr/DonEnLigne](http://www.telecom-paris.fr/DonEnLigne)**  
en scannant ce QRCode

Par chèque bancaire : à l'ordre de  
**Fondation Mines-Télécom**  
17, rue de l'Amiral Hamelin – 75116 PARIS

Par virement bancaire : IBAN : FR76 3000 4002  
7400 0113 2156 858 | BIC : BNPAFRPPXXX

Vous avez des questions, contactez :  
**Emilie Tincelin**  
[emilie.tincelin@imt.fr](mailto:emilie.tincelin@imt.fr)  
06 11 57 99 92

# Le numérique est un levier incontournable pour propulser l'AgriTech

ENTRETIEN AVEC ONS JELASSI,  
DIRECTRICE DE TÉLÉCOM PARIS EXECUTIVE EDUCATION



À l'occasion du Prix des Technologies Numériques, placé cette année sous le signe de l'AgriTech, nous avons rencontré la Directrice de Télécom Paris Executive Education. Elle revient sur les enjeux de l'agriculture numérique et sur l'importance de former les professionnels aux technologies qui transforment ce secteur stratégique.

— **L'agriculture est en pleine transformation. Comment le numérique y contribue-t-il ?**

*[Ons Jelassi]* L'agriculture numérique s'appuie aujourd'hui sur trois piliers : la donnée, l'intelligence artificielle et l'Internet des objets. Les capteurs connectés permettent de mesurer l'humidité des sols, d'optimiser l'irrigation, de suivre la santé des plantes et des animaux. L'IA aide à interpréter ces données et à proposer des décisions plus éclairées. C'est un levier majeur pour une agriculture durable, respectueuse de l'environnement et compétitive.

— **On parle beaucoup d'intelligence artificielle. Est-ce le seul moteur de l'AgriTech ?**

*[Ons Jelassi]* Non, l'IA seule ne peut rien sans une infrastructure solide. C'est tout l'enjeu de l'IoT et des réseaux : disposer de capteurs fiables, de connectivités adaptées (LPWAN, 5G, satellites...), de plateformes sécurisées pour traiter les données. Sans ce socle, l'IA ne peut pas s'exprimer pleinement.

— **La cybersécurité est-elle aussi une préoccupation dans ce domaine ?**

*[Ons Jelassi]* Absolument. En agriculture, les données collectées concernent la production, les rendements, la traçabilité... C'est stratégique ! Il est donc indispensable de sécuriser ces flux, de protéger les équipements et les plateformes. Former les professionnels à cette dimension est une priorité. »

— **Comment Télécom Paris Executive Education accompagne-t-il ces évolutions ?**

*[Ons Jelassi]* Nous avons développé des formations qui répondent précisément à ces besoins.

D'un côté, un stage court, « IoT en AgriTech », qui en deux jours permet de comprendre les usages concrets

des capteurs et de se projeter dans la conception de solutions adaptées aux exploitations agricoles.

De l'autre, une formation certifiante plus longue, « Piloter, architecturer et concevoir des solutions IoT », qui forme des experts capables de piloter et industrialiser des projets IoT dans tous les secteurs, y compris l'AgriTech. Elle couvre l'ensemble de la chaîne : réseaux, plateformes, IA embarquée, cybersécurité.

— **Quel rôle peuvent jouer vos apprenants dans la transition agricole ?**

*[Ons Jelassi]* Qu'ils soient ingénieurs, entrepreneurs ou responsables d'exploitation, nos participants repartent avec des compétences opérationnelles et stratégiques. Ils sont capables de transformer une idée en projet viable, d'intégrer le numérique dans les processus agricoles, et de contribuer à une agriculture plus durable et plus résiliente.

— **Et pour conclure ?**

*[Ons Jelassi]* En participant au Prix des Technologies Numériques, les acteurs de l'AgriTech démontreront l'importance de l'innovation. Mais sans les compétences pour structurer et sécuriser ces innovations, elles ne peuvent pas se déployer. C'est exactement la mission que s'est donnée Télécom Paris Executive Education : former les talents qui feront vivre cette révolution agricole. ●



Découvrez l'offre de formations de Télécom Paris Executive Education : un ensemble de parcours conçus pour transformer les compétences et préparer les organisations aux mutations du numérique.

[executive-education.telecom-paris.fr/fr](https://executive-education.telecom-paris.fr/fr)



WEBINAIRE DU GROUPE TRANSPORT ET MOBILITÉS LE 10 JUIN 2025

# Les français ont-ils peur des véhicules autonomes ?

Les Robotaxis, les trains autonomes, les navettes autonomes, les camions autonomes ont-ils un avenir en France et en Europe ?

Par **Gérard Cambillau (1973)**, Président du groupe TPA Transport et Mobilités

**C'est sur ce thème d'avenir qu'une centaine de participants ont débattu lors d'un webinaire animé par Gérard Cambillau autour de Hervé de Tréglodé, Ingénieur Général des Mines honoraire et ancien Conseiller scientifique de France Stratégie, de Jacques Ehrlich (1993) Directeur de recherche émérite de l'Université Gustave Eiffel et de Stéphane Callet Directeur du projet Train autonome, direction technique innovation et projet groupe SNCF.**

C'est sur ce thème d'avenir qu'une centaine de participants ont débattu lors d'un webinaire animé par Gérard Cambillau autour de Hervé de Tréglodé, Ingénieur Général des Mines honoraire et ancien Conseiller scientifique de France Stratégie, de Jacques Ehrlich Directeur de recherche émérite de l'Université Gustave Eiffel et de Stéphane Callet Directeur du projet Train autonome, direction technique innovation et projet groupe SNCF.

Un récent rapport de France Stratégie publié sur son site indique que plus de 3000 robotaxis circulent en Chine et aux USA et aucun en France si ce n'est – à titre expérimental – quelques navettes autonomes dans des sites très particuliers et souvent à des fins de communication commerciale. Hervé de Tréglodé a participé à des missions en 2015 sur les véhicules autonomes, en 2017 sur les véhicules automatisés et en 2023, à la demande de France Stratégie, sur les véhicules autonomes. Ce dernier rapport de juillet 2024 confirme que, pour les véhicules routiers, pour le quatrième niveau d'autonomie, c'est-à-dire sans conducteur ni agent de sécurité à bord, la Chine et les États-Unis sont très en avance dans les R&D mais aussi dans les

déploiements commerciaux. D'ailleurs beaucoup d'analystes prévoient une rapide augmentation : un passage estimé de 3000 robotaxis actuellement en circulation commerciale à 2,5 millions de robotaxis en 2030 selon le cabinet américain Patent PC. La domination américaine et chinoise est très nette sur tous les types de véhicules autonomes de niveau 4 : robotaxis, robotbus, camions autonomes, robots de livraison, nettoyeurs autonomes de voirie, robots de surveillance ou de distribution alimentaire.

Jacques Ehrlich estime que les véhicules autonomes et connectés représentent l'un des objets technologiques les plus ambitieux du 21<sup>e</sup> siècle. Il incarne une convergence sans précédent entre électronique, capteurs, intelligence artificielle, télécommunications, robotique mais aussi sciences humaines avec la charge cognitives du conducteur reportée sur l'informatique embarquée, et avec la fusion des données sans oublier le redoutable spectre de la cybersécurité. Véritable concentré d'innovations il soulève autant d'espérance que d'interrogations, tant du point de vue technique que sociétal. Un bénéfice important de ces véhicules autonomes est la sécurité

routière qui tue près de 3 000 personnes par an en France, en effet l'IA d'un tel véhicule ne s'endort jamais, n'est jamais ivre, respecte le code de la route et surtout commande le freinage plus vite qu'un humain, ainsi la latence de bout en bout se compte en dizaine de millisecondes pour un véhicule de niveau 4 et non en secondes pour un humain.

Le secteur ferroviaire s'intéresse également beaucoup à l'automatisation des transports ferroviaires et à leur autonomie en particulier dans l'urbain déclare Stéphane Callet avec le CBTC (...). Les concepts fondamentaux du train autonome ont été éprouvés par de nombreux tests en laboratoire et en ligne, en France et ailleurs dans le monde. Des premiers cas d'usage restreints sont candidats pour une application à court et moyen terme : fret en site propre, dépôts de locomotives automatisés (sans voyageurs), autres cas d'usage ciblés comme la reconnaissance des lignes à grandes vitesses (projet MARS). Plus tard

probablement, à la fin de la décennie 2030 en Europe (et peut-être avant ailleurs) des circulations autonomes en exploitation commerciale seront envisageables.

En guise de conclusion de cette table ronde, les différents intervenants ont déclaré :

Les français ne le savent pas, mais des dizaines de villes américaines (San Francisco, Los Angeles, Phoenix, etc.) et chinoises (Beijing, Guangzhou, Shenzhen, Wuhan, etc.) ont déjà ouvert leurs rues à des flottes de robotaxis surveillées par un centre distant. Les exploitants sont de plus en plus nombreux à exploiter de telles voitures : aux États-Unis avec Waymo, Zoox, Tesla, comme en Chine avec Baidu Apollo, Pony, WeRide.

En France, la feuille de route de l'État pour le développement et le déploiement des véhicules autonomes de niveau 4, privilégie le transport public à savoir des navettes et bus autonomes ce qui n'est pas la vision actuelle des USA et de la Chine.

D'ailleurs depuis février 2025 deux navettes autonomes circulent près de la gare de Valence TGV. Attendons le bilan de cette expérimentation.

Avant de tirer des conclusions sur navette ou robotaxis sans doute faudrait-il étudier le modèle économique le plus adapté aux différents cas d'usage de la mobilité dans les territoires (fort trafic, trafic peu dense) ?

Sans doute les constructeurs devraient-ils réfléchir à conjuguer demain les deux fonctions de robotaxis et celles des minibus ou navettes autonomes.

Au carrefour des interactions entre le conducteur, l'infrastructure et les autres usagers de la route, les véhicules autonomes redéfinissent les frontières de la mobilité. Son avenir reste malgré tout incertain entre effets d'annonces et réalisations tangibles, promesses marketing et projets concrets. ●

# 14<sup>e</sup> RENCONTRES ŒNOPHILES des GRANDES ÉCOLES

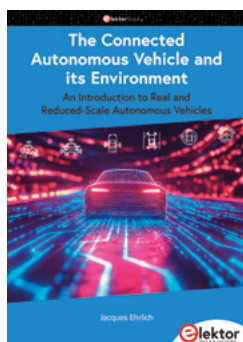
Exposition-vente  
**ENTRÉE LIBRE**  
2 formules de déjeuner

à la **MAISON**  
des **POLYTECHNICIENS**

12 rue de Poitiers 75007 PARIS

Dimanche 30 novembre 2025 de 10 h 30 à 19 h 00

NOS ALUMNI PUBLIENT



## The Connected Autonomous Vehicle and its Environment

Jacques Ehrlich (1993)

Au moment où les véhicules autonomes sont de plus en plus médiatisés sous différentes formes : navettes routières, trains autonomes, robot taxis, drones... ce livre arrive à point pour faire le point, entre effets d'annonce, buzz et réalité.

Son auteur, Jacques Ehrlich, Directeur de recherche émérite à l'université Gustave Eiffel intervient comme enseignant dans deux Écoles de l'Institut Polytechnique de Paris : Télécom Paris et les Ponts et Chaussées dans plusieurs formations, en particulier dans le Mastère Spécialisé SMART MOBILITY.

Ses travaux de recherche à l'Institut National de la Recherche sur les Transports et la Sécurité (INRETS) puis à l'Institut Français des Sciences et Techniques de Transport, de l'Aménagement et des Routes (IFSTTAR) et enfin à l'Université Gustave Eiffel lui ont permis d'explorer différents domaines comme les Systèmes de Transport intelligents (STI) et les Systèmes Avancés D'aides à la conduite (ADAS pour Advanced Driver Assistance Systems), précurseurs des véhicules autonomes. Vous découvrirez ensuite comment les véhicules autonomes s'inspirent largement de la façon dont les humains conduisent à travers un processus répétitif sensori-moteur

et cognitif. En particulier la boucle « perception-analyse-décision-action » permet d'explorer les fonctions clés : localisation, détection d'obstacles, consciences coopératives, surveillance du conducteur et surtout planification de trajectoire. Néanmoins tous les points ne sont pas tranchés comme en particulier celui sur la connectivité : le véhicule sera-t-il communicant ou pas ?? Les standards existent déjà : ils sont d'ailleurs présentés dans ce livre.

L'approche système : infrastructures et véhicules autonomes est bien développée grâce au concept de véhicule traceur qui permettent une coopération gagnant-gagnant. L'aspect implémentation lui aussi n'est pas oublié : l'électronique embarquée représente déjà plus de 30% du coût du véhicule sans oublier les dizaines de calculateurs qui coopèrent au sein d'architectures distribuées de plus en plus complexes.

Point important et très novateur, le livre ouvre – à tous les électroniciens enthousiastes et geeks informatiques – la voie vers la réalisation d'un véhicule autonome à l'échelle du 1/10.

Pour conclure ce livre pourrait porter le titre : de la théorie à la pratique avec la réalisation d'une voiture robot autonome. Nous le recommandons vivement. ●

Par **Gérard Cambillau (1973)**,  
Pdt Groupe Télécom Alumni Transport & Mobilités



## Bienvenue dans le Dataïsme

Laurent Darmon

Et si la data n'était pas seulement une révolution technologique, mais le révélateur d'un nouveau monde ? *Dans Bienvenue dans le dataïsme*, Laurent Darmon nous guide dans la compréhension d'une mutation comparable à l'essor de la machine à vapeur..., pour mieux révéler son paradoxe fondateur : jamais le pouvoir n'a été aussi concentré entre les mains des « orchestrateurs » du numérique, et jamais l'individu n'a été aussi libre, affranchi des corps intermédiaires traditionnels – politiques, syndicats, médias.

Cette tension éclaire les convulsions de notre époque : comment les mêmes algorithmes qui nous enferment dans des bulles-filtres permettent l'émergence de « multitudes » solidaires, des communautés choisies en fonction des affinités personnelles de chacun ? Pourquoi la modélisation de nos comportements par la data menace-t-elle la démocratie, tout en offrant des outils inédits pour la revitaliser ?

En nous invitant à politiser ces enjeux, l'auteur dépasse le constat de la révolution dataïste et esquisse des pistes pour un nouveau projet de société. Son livre est un appel à forger collectivement les garde-fous de notre avenir algorithmique. Une lecture clé pour ceux qui veulent comprendre – et façonner – le monde après la disruption. ●

Par **Karl Desfontaine (1999)**



## PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2025

INFORMATION  
ET PHYSIQUE :

Ré-édition de l'article paru dans le n°210 de la Revue dans le dossier  
*Le Quantique, la microélectronique, à la conquête du nanomètre et au-delà.*

OÙ EN EST  
L'ORDINATEUR  
QUANTIQUE ?

Par Michel Devoret (1975)

EN PHYSIQUE DITE « CLASSIQUE »,  
L'INFORMATION EST ABSENTE  
DES CONCEPTS DE BASE

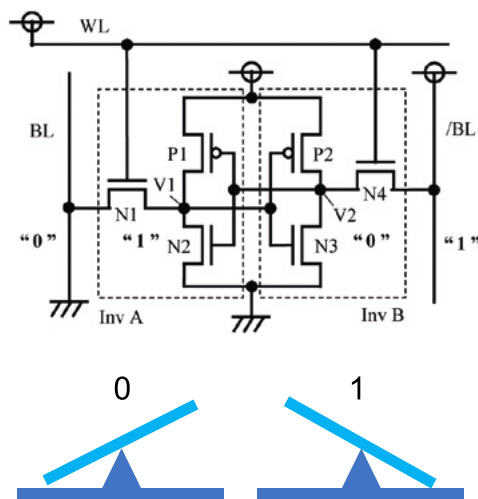
Certains sociologues aiment dire que nous avons transité vers une société de l'information. En France, on parle de « société numérique ». Mais qu'est-ce au juste que l'information ? On la définit souvent à partir d'une suite de symboles 0 et 1, et elle caractérise le choix dont dispose l'expéditeur du message qui envoie cette suite. La notion d'information a pour contrepartie la notion d'entropie de Shannon, qui elle, prend le point de vue du message de la suite, qui ne connaîtrait pas le code du message. Mais ces considérations abstraites ne donnent qu'une définition mathématique de l'information. À quoi correspondent ces symboles 0 et 1 sur le plan pratique, au niveau d'un dispositif physique ? La physique « classique », comme celle de la loi de Newton par exemple, s'applique à des variables continues, comme la position, la vitesse, la force et la quantité de mouvement. Représenter un bit, entité intrinsèquement discrète, par un état physique dans le contexte du continu, ne va pas de soi. Le pionnier de la mécanique statistique, Ludwig Boltzmann, se heurta à ce problème quand il pressentit le lien entre entropie thermodynamique et information. Le problème fut éloquentement transformé en paradoxe par le génie de la physique du 19<sup>ème</sup> siècle, James Clerk Maxwell, qui raconta l'histoire des prouesses miraculeuses d'un démon imaginaire capable de voir les molécules et d'exploiter leur mouvement désordonné. Mais revenons au problème pratique de l'implémentation concrète des symboles 0 et 1. Dans l'unité centrale



Michel DEVORET

Après avoir suivi, en dernière année à Télécom, le DEA d'Optique Quantique, Physique Atomique et Moléculaire de l'Université Paris XIII Orsay, Michel Devoret a soutenu sa thèse de 3<sup>e</sup> cycle dans ce domaine, puis il a bifurqué vers la physique du solide pour sa thèse de Doctorat d'État dans la même université. Après un séjour de post-doctorat à l'Université de Californie de Berkeley, il a fondé son propre groupe de recherche sur les circuits quantiques supraconducteurs au CEA-Saclay, avec Daniel Esteve et Cristian Urbina. En 2002, il devient professeur à l'Université de Yale. Il a aussi enseigné au Collège de France de 2007 à 2012. Michel Devoret est membre de l'Académie des Sciences (France) et de la « National Academy of Sciences » (USA). Il est attributaire du Prix Nobel de Physique 2025.

d'un de nos ordinateurs de bureau, la mémoire de travail encode les symboles 0 et 1 par les deux états d'un circuit électrique bistable comportant au moins quatre transistors interconnectés. Vu de l'un de ces transistors, les deux états correspondent à la circulation ou la non-circulation de courant électrique. Ce circuit est l'équivalent électrique d'une bascule (voir illustration ci-dessous).



En haut : circuit bascule comportant six transistors CMOS et pouvant encoder 1 bit. En bas : équivalent mécanique bistable encodant un chiffre binaire.

Le caractère dissipatif du circuit est crucial pour assurer la stabilité de l'information, ainsi que son accès rapide. La contrepartie de ces propriétés est leur consommation d'énergie : de l'ordre de 10 % de l'énergie des économies des pays dits « développés » est aujourd'hui consacrée à la communication et au traitement de l'information. La mécanique classique ne peut pas analyser complètement la limite théorique de consommation d'énergie pour les opérations impliquées dans le stockage, la propagation et la transformation de l'information. Mais la physique classique a été supplantée par la physique dite « quantique », qui, elle, entretient un rapport étroit et naturel avec la théorie de l'information. Le besoin de changer les bases de la physique est apparu à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec le problème dit du « rayonnement du corps noir », qui, pour la première fois depuis plusieurs siècles, remettait fortement en question la physique classique, alors triomphante. La physique classique prédisait que l'intérieur d'un four, chauffé au rouge par une résistance électrique interne et communiquant avec l'extérieur par une petite fenêtre transparente, devrait émettre par la fenêtre une quantité infinie de rayonnement lumineux, en contradiction flagrante avec l'expérience, et, bien entendu, avec le bon sens. Pour résoudre cette contradiction, le physicien théoricien allemand Max Planck introduisit une nouvelle constante de la nature, dite du quantum d'action, qui porte maintenant son nom. Le jeune Albert Einstein comprit alors intuitivement que la constante de Planck limitait la quantité d'information maximale qui pouvait être stockée dans un système physique. La construction de la physique quantique, et ses liens avec la théorie de l'information, commençaient.

## COMMENT LA MÉCANIQUE QUANTIQUE FAIT ASSEoir L'INFORMATION À LA TABLE DES QUANTITÉS FONDAMENTALES DE LA PHYSIQUE

Prenons un oscillateur, par exemple un pendule rigide, comme le balancier d'une horloge comtoise. C'est le système physique le plus simple, et il permet de discuter la différence entre physique classique et quantique sans trop de complications mathématiques. Il possède un seul degré de liberté : l'angle que fait l'axe du pendule avec la verticale. Classiquement, toutes les variables dynamiques du pendule sont continues : angle, énergie, moment angulaire, etc. En mécanique quantique, ce système acquiert un caractère discret. Vous pourriez objecter qu'un pendule est un objet macroscopique fort éloigné en taille des atomes et des molécules. Mais la mécanique quantique est une théorie universelle qui s'applique à tous les systèmes, indépendamment de leur taille. Du reste, il existe des systèmes électriques dont les équations du mouvement sont exactement les mêmes que celles du pendule. Il est donc tout à fait légitime de nous intéresser aux états dits stationnaires d'un pendule quantique. Ils sont associés à une oscillation se répétant à l'identique périodiquement, obtenue en compensant la friction résiduelle du pendule par un apport externe d'énergie, ce que réalise le mécanisme d'échappement de l'horloge, lui-même alimenté par la chute des poids que l'on remonte. Contrairement aux états stationnaires d'un oscillateur classique où l'énergie peut prendre n'importe quelle valeur positive, l'énergie de l'oscillateur quantique adopte, elle, des valeurs discrètes données par le rapport entre la constante de Planck et la période de l'oscillateur. En pratique, pour l'horloge comtoise, la période d'oscillation est si grande (1 seconde) et la constante de Planck si petite (de l'ordre de  $10^{-34}$  Joule.seconde) que l'effet de discrétisation est entièrement inobservable. En revanche, l'oscillation correspondant au mouvement des électrons dans un atome est beaucoup plus rapide, et la discrétisation du mouvement que l'on peut alors observer est à la base de nos horloges atomiques. Ainsi, en mécanique quantique, un volume fini de matière et de champs, dont l'énergie totale est bornée, ne pourra contenir qu'une quantité d'information finie. La même situation, en mécanique classique, donnera ou bien une quantité d'information infinie, ou bien une quantité d'information fixée par des détails techniques circonstanciels et dénués de signification fondamentale.

La théorie quantique prédit d'autres profondes propriétés reliant physique et information. Une loi de base de la physique quantique stipule que l'information impartie à un système est conservée dans tous les processus microscopiques de base, et cette loi semble d'ailleurs transcender toutes les autres. Des physiciens comme John Archibald Wheeler ont même émis l'idée que l'information est la quantité de base de la physique, et qu'il serait possible d'asseoir toutes les autres sur elle. Ce programme de recherche a même engendré un slogan : *from bit to it*. De cette loi de conservation, on peut dériver la notion de flux d'information, ainsi que sa limite. Pour une puissance d'émission disponible donnée, on ne peut pas dépasser un nombre maximal de bits par seconde fixé par la constante de Planck, actuellement vue comme la deuxième constante fondamentale de la physique après celle de la vitesse

de la lumière. Je ne peux pas, dans une publication destinée aux ingénieurs Télécom, résister à l'écriture de cette formule :

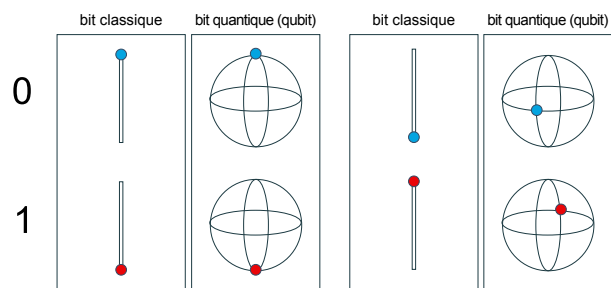
$$I \leq \sqrt{\frac{\pi P}{3 \hbar}}$$

dans laquelle  $I$  est le flux d'information en bits par seconde,  $P$  est la puissance en watt de transmission dont on dispose, et  $\hbar$  la constante de Planck réduite. L'application de cette formule aux systèmes de communication numérique en place aujourd'hui permet de comprendre à quel point notre traitement de l'information gaspille l'énergie, par rapport à l'optimum théorique. Par comparaison, la locomotive à vapeur, sujet de la préoccupation de Sadi Carnot sur le rendement thermodynamique de conversion de chaleur en travail, est une merveille d'économie !

## LE CONCEPT D'ORDINATEUR QUANTIQUE AVANT LE TOURNANT DE 1994

Dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, avec les progrès de la miniaturisation, les physiciens ont, petit à petit, pris conscience que les rouages électroniques d'un ordinateur pourraient être réduits à des atomes uniques ou peut-être même à des particules élémentaires. Mais, à ce moment de l'histoire, l'ambition des physiciens se limita à la démonstration théorique qu'un tel ordinateur miniaturisé à l'extrême pourrait, sur le papier, continuer à fonctionner aussi bien qu'un ordinateur conventionnel. En effet, les physiciens qui voulaient appliquer les concepts de la physique quantique à la science naissante de l'informatique, étaient gênés par un principe de base de la théorie quantique qui leur paraissait un sérieux obstacle à la miniaturisation ultime des systèmes de traitement de l'information : le principe d'incertitude d'Heisenberg. Si la discrétisation des niveaux d'énergie d'un oscillateur paraît plutôt s'aligner avec les hypothèses de l'informatique, le principe d'incertitude semble s'en éloigner radicalement, car il a l'air de stipuler qu'il existe dans la nature un bruit fondamental dont on ne peut se débarrasser. Quel est au juste ce principe d'incertitude formulé par Werner Heisenberg ? Son énoncé le plus simple fait intervenir une particule libre en mouvement rectiligne uniforme, dont on ne connaît que l'axe de la trajectoire. À un instant donné, on ne connaît exactement ni la position, ni la vitesse de la particule sur cet axe. Le principe d'incertitude stipule que si l'on mesure la vitesse de la particule, par exemple en utilisant l'effet Doppler, la position de la particule va subir de la part de l'instrument de mesure un bruit en retour sur la position d'autant plus grand que la résolution sur la vitesse est petite. Réciproquement, si on mesure la position de la particule, par exemple en observant sa traversée d'un rayon lumineux perpendiculaire à sa trajectoire, sa vitesse va subir en retour une fluctuation d'autant plus grande que la résolution en position est petite. Le produit des erreurs en position et en vitesse va toujours être supérieur à un facteur donné par la constante de Planck, divisée par la masse de la particule. C'est la masse énorme des objets qui nous entourent, exprimée en unités quantiques, qui nous empêche de percevoir ce flou imposé par le principe d'incertitude. Les fluctuations résultant de la mesure, qui floutent position et vitesse, correspondent à des forces parasites incontrôlables de nature fondamentale. Elles resteront présentes même

si l'appareil de mesure est parfait. Heureusement, ce que réalisent les physiciens des années 1980, c'est que les portes logiques de l'ordinateur, réduites à des particules élémentaires, peuvent en principe fonctionner parfaitement, car il est possible de contourner les contraintes imposées par le principe d'incertitude, le calcul obéissant à des règles différentes de celle de la mesure. En fin de compte, le principe d'incertitude ne limite en rien la précision des calculs, même si la constante de Planck met des bornes à la vitesse de traitement de l'information, pour une énergie mise en jeu. En parallèle, ces découvertes achèvent l'œuvre de Boltzmann et établissent que « chaleur = énergie + manque d'information », résolvant ainsi le paradoxe du démon de Maxwell. Ainsi, dans les années 80, il n'est pas encore question de faire des calculs quantiques utiles avec des bits quantiques (qubits, voir illustration ci-dessous) et des portes logiques quantiques. Seul Richard Feynman entrevoit la possibilité qu'une machine utilisant la mécanique quantique pourrait être utile en tant que simulateur du comportement de la matière au niveau microscopique.



Panneaux de gauche : un bit classique peut se trouver dans deux configurations, représentées par un point forcé de se trouver aux extrémités d'un segment. On colorie en bleu le point si sa configuration représente 0 et en rouge si sa configuration représente 1. Les configurations du qubit, en revanche, sont représentées par deux points antipodaux d'une sphère. Panneaux de droite : lors d'un changement d'encodage du bit classique, la seule possibilité est d'échanger les rôles de 0 et de 1. Pour le qubit, une variété continue de paires de points antipodaux peut être choisie sur la sphère. Ici, on a représenté une paire de points placés sur l'équateur, mais une latitude et une longitude différentes auraient pu tout aussi bien être choisies. Cette liberté continue des qubits, qui croît exponentiellement avec le nombre de qubits dans un registre, est appelée « principe de superposition ». Elle confère aux qubits une puissance supérieure à celle des bits classiques.

## LES DEUX DÉCOUVERTES DE PETER SHOR, PÈRE FONDATEUR DE L'INFORMATION QUANTIQUE MODERNE

Quelques années plus tard, en 1994, coup de théâtre : un mathématicien du MIT à Boston, Peter Shor, propose un nouvel algorithme de la factorisation d'un nombre en ses facteurs premiers. Cette factorisation est très importante, sur le plan à la fois conceptuel et pratique. C'est l'exemple le plus simple d'une fonction asymétrique. Il est très rapide de multiplier deux nombres premiers. En revanche, il est très difficile, en connaissant seulement leur produit, de remonter aux deux nombres de départ. Cette asymétrie est à la base du codage des informations sensibles sur Internet, comme les codes des cartes de crédit, ou les informations médicales. Peter Shor



démontre mathématiquement que son nouvel algorithme, qui ne peut être exécuté que par un hypothétique ordinateur quantique, battrait de manière exponentielle le meilleur algorithme classique. À la grande stupeur des informaticiens, ce nouvel algorithme classait la factorisation dans la catégorie des problèmes dits faciles, c'est-à-dire ceux dont le temps d'exécution croît de manière polynomiale en fonction du nombre  $N$  de chiffres contenus dans l'énoncé du problème. Les problèmes difficiles sont ceux où le temps d'exécution croît comme une fonction exponentielle de  $N$ , ce qui semble être le cas pour la factorisation. La raison de cette stupeur est que l'on croyait jusque-là qu'un algorithme avait une complexité intrinsèque, complexité mesurée par une puissance de  $N$  qui était indépendante de la machine sur laquelle l'algorithme était exécuté, même si différentes technologies pouvaient changer un pré-facteur numérique dans l'expression du temps d'exécution.

Mais l'enthousiasme des informaticiens est de courte durée, car il semble alors que la démonstration de Peter Shor de la complexité quantique en  $N^3$  de son algorithme quantique implique, pour que l'algorithme fonctionne, que la machine soit parfaite. C'est pour répondre à ce point que Peter Shor conçut une seconde invention, qui allait, elle, véritablement lancer le sujet de l'information quantique : comme les ordinateurs classiques, les ordinateurs quantiques peuvent très bien être construits avec des pièces imparfaites, qui sont donc sujettes à faire des erreurs. Cette deuxième découverte est encore plus extraordinaire que la précédente. Elle est maintenant considérée par certains comme la grande découverte quantique de la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Elle démontre qu'il est possible en théorie de concevoir un processus – dit de correction quantique d'erreurs – qui peut réparer l'influence du bruit et des imperfections du *hardware*, ce que nombre de physiciens croyaient interdit par les lois de la physique. Ces physiciens se basaient sur le fameux principe d'incertitude d'Heisenberg (encore lui, mais dans un rôle un peu différent), qui semble conférer à la mesure un caractère nécessairement intrusif et aléatoire. Ils objectaient que corriger, c'était prendre connaissance des erreurs, c'est-à-dire effectuer une mesure, qui allait nécessairement entraîner une perturbation, laquelle entraînerait de nouvelles erreurs, de sorte que le processus de correction ne pourrait pas converger.

L'astuce diabolique trouvée par Peter Shor repose, elle aussi, sur un contournement du principe d'incertitude. Il comprend qu'en physique quantique, il est tout à fait possible de détecter qu'une erreur s'est produite dans le système et de savoir où, sans avoir besoin de prendre directement connaissance de l'information qui est encodée, ce qu'un raisonnement classique croit nécessaire (voir en encadré le principe de la correction quantique).

### L'AVENTURE DE L'IMPLÉMENTATION DES MACHINES QUANTIQUES

Depuis, différentes équipes de physiciens, dans le monde (USA, Canada, Europe, Chine, Inde, Australie), ont réussi non seulement à réaliser des qubits, mais aussi à les faire interagir pour effectuer des portes logiques. Récemment, l'équipe de mon laboratoire à Yale est parvenue à démontrer que la correction d'erreur pouvait fonctionner en pratique, ce qui est une étape essentielle. Les systèmes les plus performants actuellement sont ceux basés sur les puces de circuits supraconducteurs à base de jonctions Josephson et ceux basés sur des

réseaux d'atomes lévités dans le vide. Dans cette dernière approche, les atomes sont contrôlés individuellement par des faisceaux lasers. Il y a d'autres technologies possibles, comme les puces de fibres optiques intégrées et les qubits de spins isolés dans les semi-conducteurs. Personne n'a encore réussi à construire des machines qui dépassent l'ordre de grandeur du millier de qubits interconnectés par des portes quantiques. Ceci est à comparer aux dizaines de milliards de transistors sur une puce d'ordinateur portable... Pourtant, les progrès sont constants, année après année, si on intègre toutes les recherches sur le plan international, financées à hauteur de quelques milliards de dollars par an pour un pays comme les USA (à comparer aux dizaines de milliards par an des investissements dans les puces semi-conductrices). Même si les progrès sont plus lents que ne le voudraient les investisseurs, il n'y a pas eu encore d'« hiver » quantique, comme ce fut le cas en intelligence artificielle, qui a progressé par paliers depuis les années 1960. À ce jour, aucun principe de la physique n'a été découvert qui interdise la réalisation d'un ordinateur quantique de taille arbitraire. Avant de discuter des applications possibles des machines quantiques, approfondissons leurs principes de base et essayons de comprendre l'avantage qu'elles peuvent offrir dans le traitement de l'information.

### COMMENT FONCTIONNENT LES QUBITS ET QUELLES SONT LEURS DIFFÉRENCES AVEC LES BITS CLASSIQUES ?

Les journalistes répondent en général à ces questions en commençant par invoquer le principe de superposition. Selon l'expression en vigueur dans les médias, les qubits pourraient être à la fois dans l'état 0 et 1. Cette dernière phrase est une simplification grossière, car la lecture d'un qubit donne toujours un résultat qui ne peut être que 0 ou 1, comme la lecture d'un bit classique.

L'explication correcte des différences entre bit classique et bit quantique fait intervenir la notion de codage, qui est discret dans le cas classique, et continu dans le cas quantique, ce qui permet l'observation d'interférences, car on peut prendre les différents chemins qui existent d'un point à l'autre d'une sphère (voir illustration en page 75).

Plus généralement, il y a plusieurs différences fondamentales entre une machine traitant l'information classique et celle traitant l'information quantique :

- › Si l'on répète, avec les mêmes données de départ, le même algorithme – au sens d'une suite de portes logiques – sur une machine classique supposée parfaite, on obtient toujours à la fin le même résultat. Mais si l'on répète le même programme sur une machine quantique, la mesure du résultat final ne donne pas toujours les mêmes valeurs et présente une distribution statistique avec des corrélations d'un type inatteignable par une machine classique.
- › La relation entre les données initiales et les données finales obéit à une nouvelle logique, la logique quantique, qui se trouve être celle de la nature, et non pas celle formulée par les mathématiciens grecs de l'Antiquité. La logique classique des Grecs est « dégénérée » par rapport à la logique quantique, qui par exemple, n'interdit pas que les amis de nos amis soient nos ennemis. En effet, les corrélations quantiques n'obéissent pas aux mêmes théorèmes de transitivité que les corrélations classiques.

- › L'ordinateur quantique semble tenir sa puissance de l'exploitation du phénomène d'intrication, qui permet à l'information d'être encodée de manière non-locale. Un bit d'information quantique peut, en principe, sans qu'il en soit fait la moindre copie, être délocalisé sur plusieurs machines à la fois, et il pourrait même être simultanément en deux points de la Terre distants de plusieurs milliers de kilomètres (record actuel = plusieurs dizaines de km).

Les propriétés particulières de l'information quantique confèrent à l'ordinateur quantique la capacité de résoudre certains problèmes insolubles par un ordinateur classique, ou de construire des réseaux de communications dont la sécurité est assurée par les lois de la physique. Mais les applications les plus convaincantes de l'information quantique sont celles qui s'appliquent au monde quantique lui-même. La proposition de Feynman a été maintenant confirmée : l'ordinateur quantique pourrait effectuer des calculs pour la conception de nouvelles molécules en chimie et en pharmacologie, et dans la création de nouveaux matériaux. Les machines quantiques de traitement de l'information pourraient aussi s'avérer très utiles aux mesures de grande précision, comme la détection des ondes gravitationnelles, ou bien celles très sensibles portant sur de très faibles quantités de matière, comme l'imagerie des molécules individuelles. Il y a maintenant peu de doute que l'information quantique fournira dans le futur des outils puissants pour la recherche fondamentale.

## LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'INFORMATION QUANTIQUE

Les succès remportés dans le monde académique dans la vérification expérimentale des concepts de base de l'information quantique a suscité l'intérêt des grandes compagnies de l'économie numérique (Google, IBM, Intel, Microsoft, Amazon, etc..) et a entraîné la création de plusieurs dizaines de start-up. Est-ce que l'adage : *If it is beautiful, it is useful* se vérifiera pour la société dans son ensemble ? Si on peut dire qu'une industrie quantique se soit mise d'ores et déjà en place, les espoirs d'applications commerciales à grande échelle restent pour l'instant hypothétiques. Mais le public a déjà constaté que les grandes compagnies de l'Internet bâtissaient elles-mêmes l'environnement social qui les rendait indispensables. Arriveront-elles à faire en sorte, par exemple, que nous ne puissions plus nous passer un jour de jeux et de distractions quantiques ? N'oublions pas non plus que la première application pratique des principes de la physique quantique a été une proposition d'argent quantique basée sur la propriété de l'information quantique de ne pas pouvoir être copiée – en d'autres termes, elle ne peut pas être complètement dématérialisée, même si sa téléportation à grande distance est possible en se servant de l'intrication. Peut-être la véritable application à grande échelle des ordinateurs quantiques est-elle la sécurisation avancée de nos données personnelles ? ●

## La correction d'erreurs quantiques

Prenons d'abord l'exemple d'un bit classique pouvant se retourner aléatoirement de temps à autre, ce qui crée une erreur, appelée *bit-flip* (on suppose ici que c'est la seule erreur possible). Nous pouvons protéger l'information de la manière suivante. Utilisons trois bits physiques pour coder un bit logique. Le 0 logique sera codé par le triplet physique 000, et le 1 logique sera codé par le triplet physique 111. On voit qu'ainsi, même si une erreur se produit sur un des bits physiques, on pourra récupérer l'information initiale. En effet, si l'on peut être certain qu'un seul bit-flip a lieu, il suffit de compter le nombre de 0 et de 1 dans le triplet pour reconstituer la configuration de départ. Le tableau suivant résume le processus de correction d'erreur. La colonne de gauche indique ce que l'on a lu dans le registre, et la colonne de droite la valeur après correction.

000	→	000
001	→	000
010	→	000
100	→	000
110	→	111
011	→	111
101	→	111
111	→	111

Mais en mécanique quantique, on ne peut pas utiliser cette stratégie. Même si le passage de 1 à 3 qubits est bénéfique (redondance), lire directement le contenu informationnel du qubit détruit l'information quantique, suivant le principe d'incertitude. Il faut ruser. La solution est de mesurer la somme modulo 2 (appelée ici  $S_{12}$ ) des deux premiers qubits, puis la somme modulo 2 (appelée ici  $S_{23}$ ) des deux derniers qubits. Ainsi, on obtient l'information nécessaire pour corriger le qubit fautif, sans avoir à lire directement l'information. Le tableau ci-dessous examine les quatre cas possibles de résultats pour la mesure des deux sommes modulo 2, qui ne perturbe pas les qubits.

$S_{12} = 0, S_{23} = 0$	→	ne rien faire
$S_{12} = 0, S_{23} = 1$	→	flipper qubit 3
$S_{12} = 1, S_{23} = 0$	→	flipper qubit 1
$S_{12} = 1, S_{23} = 1$	→	flipper qubit 2

On a supposé ici qu'il ne se produisait qu'un seul *bit-flip* quantique dans le triplet. Ici, le flip de qubit correspond à une rotation de la sphère de la figure ci-avant autour d'un axe passant par l'équateur. Mais on peut aussi avoir une erreur dite de phase-flip, correspondant à une rotation autour d'un axe passant par le pôle. Si on veut corriger à la fois les deux types d'erreur, *bit-flips* et *phase-flips*, il faut encore plus de redondance. Le code historique inventé par Peter Shor comprenait neuf qubits. Des recherches plus récentes ont montré que le minimum théorique est cinq qubits physiques pour un qubit logique. Des codes de correction d'erreur plus sophistiqués, ont été inventés théoriquement, comme le code dit de « surface » comprenant des centaines de qubits par qubit logique. Dans ces derniers codes, sont protégées des erreurs non seulement la mémoire, mais aussi les opérations logiques. Au moment où cet article est rédigé, la protection des opérations logiques, clé de voûte des applications de l'ordinateur quantique, reste à mettre en œuvre sur le plan pratique.

### En savoir plus

Julien Bobroff, « La nouvelle révolution quantique », Flammarion, 2022 ;  
Carlo Rovelli, « Helgoland », Champs, 2023 ;  
Scott Aaronson, « Quantum computing since Democritus », Cambridge University Press, 2013 ;  
Assa Auerbach, « Max the demon », Amazon, 2017.

# Les Grandes Intégrales Symphoniques

# Schumann

Par **Marc Darmon (1988)**

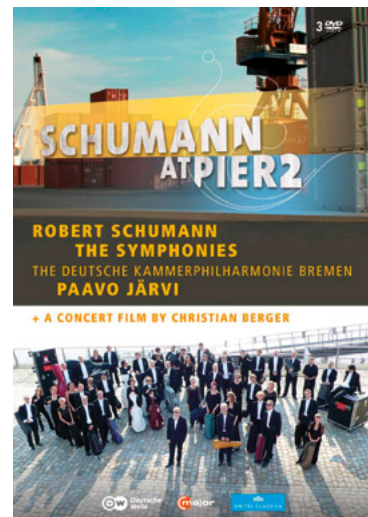
**O**n a l'habitude de sous-évaluer, voire de dénigrer l'œuvre symphonique de Schumann. Il

faut reconnaître que le romantique Schumann (comme Schubert avant lui) s'est surtout magnifiquement illustré dans les œuvres pour le piano, les lieder et la musique de chambre. Composer des symphonies après Beethoven était impressionnant, il est vrai. On a reproché également à ces symphonies une orchestration maladroite. Mahler s'est même senti obligé de les réorchestrer (très réussi). Le film que Paavo Jarvi a fait réaliser dans des conditions incroyables fera taire tous ces commentaires, tant l'inventivité de l'interprétation et l'allègement de la structure orchestrale mettra tout le monde d'accord sur la qualité de chef d'œuvres que sont ces quatre symphonies. Ces symphonies imagées (la première se surnomme *Le Printemps*, la troisième *Rhénane*) sont inventives, riches, archi-romantiques, pleines de vie et d'esprit. Par exemple, le flux orchestral du début de la symphonie « Rhénane » fait penser au bouillonnement du Rhin, le Rhin dans lequel Schuman se jettera quatre ans plus tard. Notons pour l'anecdote que le choral de cuivre de la quatrième symphonie a été repris par Wagner dans *Parsifal* (et non le contraire comme a tenté de le faire croire Jarvi à son orchestre durant les répétitions).

L'idée initiale de cette production est un film pédagogique sur les symphonies de Schumann. Très intéressant, il présente l'histoire de Schumann et montre Jarvi présentant les œuvres, exemples musicaux à l'appui, avec des extraits des symphonies filmées dans un espace original, un grand hangar du Pier 2 du port de Brême, plus utilisé pour les concerts pop et rock que pour la musique classique, entièrement aménagé pour l'occasion.

Mais l'intérêt du DVD (et mieux encore, du blu-ray) est l'interprétation intégrale des quatre symphonies, mais dans des conditions de qualité visuelle et acoustique remarquables car prévue initialement pour illustrer le film pédagogique. Les images, couleurs et les contrastes sont superbes, le son vraiment très bien enregistré (vingt-deux micros, vingt-deux pistes, parfait). Et ce qu'il y a à voir et entendre est remarquable.

En effet Paavo Jarvi nous interprète ces symphonies avec l'orchestre idéal, au bon format, véritable Ensemble de Taille Intermédiaire (quatre contrebasses seulement) qui dégraisse la texture orchestrale et qui fait ressortir l'originalité de l'orchestration, très réussie contrairement à la rumeur publique. Avec des tempos souples, jamais figés, Jarvi sait être tantôt léger, très léger, tantôt au contraire profond, variant continuellement les climats. Surtout depuis son passage à la tête de l'Orchestre de Paris, Paavo Jarvi est désormais plus connu que son père, le chef boulimique d'enregistrement Neeme Jarvi. C'est un des meilleurs chefs actuels, cet enregistrement le prouve.



**Robert Schumann : Les quatre Symphonies**  
Direction Paavo Jarvi, Deutsche Kammerphilharmonie de Brême  
Trois DVD ou un Blu Ray C Major



**Marc DARMON**

Thales, Senior Vice President, Europe. Diplômé de l'École Polytechnique et de Télécom Paris, Marc Darmon a mené toute sa carrière dans les secteurs de la technologie, la défense et la sécurité. Il débute sa carrière dans le groupe Alcatel en 1988. Il rejoint le groupe Thales en 1998 en tant que directeur des Réseaux d'Infrastructure, pour occuper ensuite d'autres fonctions opérationnelles importantes. En 2012, Marc Darmon devient Executive Vice President de Thales en charge de l'activité mondiale des Systèmes d'Information et de Communication Sécurisés, et rejoint le comité exécutif du groupe. Il devient Président du Conseil des Industries de la Confiance et de la Sécurité (CICS) en 2014, avant d'être nommé Président du Comité stratégique de filière pour les Industries de Sécurité en 2017. Marc Darmon a été Président du GICAT (Groupement des Industries Françaises de Défense et de Sécurité terrestres et aéroterrestres) de juillet 2020 à juin 2024.



# COMMANDER TELECOM LA REVUE



**Bulletin à compléter et à nous retourner, accompagné de votre règlement à :**

La Revue TELECOM · Télécom Paris alumni

19 place Marguerite Perey, 91120 Palaiseau ou [contact@telecom-paris-alumni.fr](mailto:contact@telecom-paris-alumni.fr)

Aucune commande ne sera prise en compte sans règlement joint.

## VOS COORDONNÉES

Nom, Prénom .....

Société .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

E-mail .....

Tél. ....

## ADRESSE DE FACTURATION

(si différente de l'adresse de livraison)

Nom, Prénom .....

Société .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

E-mail .....

Tél. ....

## VOTRE ABONNEMENT

- |  |     |
|--|-----|
| <input type="checkbox"/> Je m'abonne à la Revue TELECOM pour une année civile (4 numéros 2025) | 40€ |
| <input type="checkbox"/> Numéro(s) paru(s) depuis moins d'un an : 214, 215, 216, 217           | 10€ |
| <input type="checkbox"/> Numéro(s) paru(s) depuis plus d'un an                                 | 5€  |

## MODE DE RÈGLEMENT

(facture sur demande)

- ☐ Par virement (merci de nous contacter pour obtenir notre RIB)  
Date du virement : ..... / ..... / ..... Référence du virement : .....
- ☐ Par chèque : à l'ordre de l'AIST
- ☐ En espèce ou par carte bancaire au bureau de l'association : 19 place Marguerite Perey, 91120 Palaiseau

## COMMENT AVEZ-VOUS CONNU LA REVUE TELECOM ?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Dans votre entreprise                | <input type="checkbox"/> Par le site Internet de Télécom Paris alumni |
| <input type="checkbox"/> Suite à un événement. Lequel ? ..... | <input type="checkbox"/> Pendant votre scolarité à Télécom Paris      |
| .....   | <input type="checkbox"/> Autres ? .....                               |

**Important** Les diplômés de Télécom Paris cotisants peuvent souscrire un abonnement à la Revue TELECOM à un tarif préférentiel. Pour plus d'informations : contactez-nous ! [revue@telecom-paris-alumni.fr](mailto:revue@telecom-paris-alumni.fr)



# Découvrez notre nouvelle OFFRE DE FORMATIONS 2025

*IA générative*

6G

Blockchain

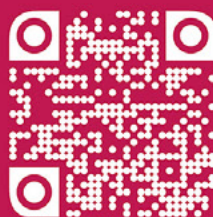
*Numérique responsable*

Télécommunications satellitaires

*Quantique*

Deeptech

*IA frugale*



[executive-education.telecom-paris.fr](https://executive-education.telecom-paris.fr)