

La Revue de l'Académie d'agriculture

N°16
Septembre 2018

Dossier La requalification des friches industrielles

Futurs Prévoir les sécheresses du XXI^e siècle

Tribune libre
L'agriculture verticale

 ACADÉMIE
d'AGRICULTURE
de FRANCE



Le Conseil de Régulation, de Suivi et de Développement des Filières Coton et Anacarde

**CONSEIL DU COTON ET DE L'ANACARDE
(CCA)**

Conseil du Coton et de l'Anacarde

Imm. CAISTAB, Plateau - Abidjan

27 BP 604 Abidjan 27

(+225) 20 20 70 30

(+225) 22 52 75 25

support@conseilcotonanacarde.ci

<http://www.conseilcotonanacarde.ci>



Editorial

par Gérard Tendron
Secrétaire perpétuel
de l'Académie d'agriculture de France

La politique d'ouverture de l'Académie

L'ouverture de l'Académie d'agriculture sur l'extérieur est dorénavant une réalité, inscrite dans notre projet stratégique qui se développe activement.

Les relations avec les académies des Sciences, des Technologies, de Médecine, de Pharmacie et Vétérinaire se traduisent par des réflexions et des travaux menés conjointement, qui débouchent sur des colloques (« L'antibiorésistance » par exemple), des avis (« Les mutagénèses ciblées en amélioration des plantes », « La place de l'innovation française dans les nouvelles biotechnologies pour l'agriculture », « L'enseignement des sciences de la vie et de la terre »), des séances communes (« L'émergence des maladies infectieuses »), avec des approches multidisciplinaires et en phase avec les préoccupations sociétales.

La mise en place de relais territoriaux, mobilisant des confrères bien implantés dans les territoires, a permis à l'Académie d'organiser des colloques dans les régions qui ont associé des scientifiques, des enseignants et des étudiants, et auxquels ont participé des décideurs politiques et professionnels du monde de l'agriculture, de l'alimentation et de l'aménagement du territoire et des acteurs économiques locaux. On peut citer à titre d'exemples, les colloques tenus en région sur l'agriculture périurbaine et l'aménagement des territoires ruraux, sur l'élevage, sur les légumineuses, sur la vigne et le vin, sur la culture du riz, sur la bioéconomie.

D'autres ouvertures ont marqué ces derniers mois : une séance publique avec l'INRA sur la recherche agronomique et les politiques publiques, une autre avec le Crédit mutuel sur les nouvelles formes de financement des installations et des investissements innovants agricoles, une avec Groupama sur les risques en agriculture, une prochaine avec le Conseil national de l'alimentation sur les évolutions des consommations alimentaires, le lancement avec le groupe Avril d'un concours récompensant des élèves de grandes écoles d'ingénieurs créateurs d'outils informatiques et robotiques visant notamment à améliorer la gestion des sols et de l'eau, la création du trophée de l'Académie récompensant une entreprise française utilisant du bois français selon des méthodes et des procédés innovants, la création du prix de l'information scientifique à destination du public mettant à l'honneur les réalisations journalistiques les meilleures.

Le développement d'actions à l'international, précédemment évoqué participe également à la politique d'ouverture de notre compagnie.

Notre participation aux Journées européennes du patrimoine permet à l'Académie de faire connaître son histoire et ses travaux au grand public, et au Salon de l'agriculture de faire de nombreuses interventions et conférences pour le public et de développer un dialogue intergénérationnel avec les étudiants d'AgroParisTech, l'école nous accueillant sur son stand.

Par ailleurs, en liaison avec l'Association des amis de l'Académie d'agriculture vient d'être mis en place un cercle des conférenciers, une trentaine d'académiciens étant disponibles pour organiser des conférences dans les domaines de l'agriculture, de la forêt, de l'alimentation et du développement durable à la demande de partenaires du monde économique.

Enfin, des auditions viennent d'être engagées avec des responsables d'organismes partenaires actuels et futurs afin de leur faire connaître les grandes orientations de notre projet stratégique et d'y intégrer, le cas échéant, leurs attentes.

Ainsi, l'Académie d'agriculture de France s'ouvre plus que jamais sur l'extérieur, afin de valoriser ses travaux et les compétences de ses membres, et de conforter son utilité sociale.

R&D au profit d'une exploitation forestière durable



Le bois énergie est un outil pour la sylviculture, dont l'exploitation s'inscrit dans une dynamique de développement durable visant à répondre à la triple problématique économique, environnementale et sociale. Le point avec Christophe Chapoulet, Directeur général délégué d'ONF Énergie.

Dans quelle mesure la biomasse présente-t-elle une solution pour assurer la transition énergétique en France ?

Une centrale de cogénération convertit 40% de l'énergie en électricité. Les 60% d'énergie restant sont restitués sous forme de chaleur. La biomasse représente une part très importante du plan de la transition énergétique puisqu'elle est à l'origine de 40% de l'énergie thermique.

La France s'est fixé un objectif d'augmenter la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie de 15% à 30% à l'horizon de 2030.

Étant une source majeure de l'énergie renouvelable, la production énergétique d'origine biomasse doit être quasiment dédoublée.

La biomasse constitue aussi un levier de performance économique et énergétique. Pouvez-vous nous en dire plus ?

Les énergies renouvelables englobent toute une série de volets environnementaux et économiques positifs. En effet, la biomasse, en tant qu'une source locale, offre une performance énergétique optimale en termes d'empreinte carbone.

À l'encontre des énergies fossiles, les énergies renouvelables réservent les emplois locaux non délocalisables dans des mesures qui favorisent la création de 3 à 4 fois plus d'emplois sur les territoires.

De plus, l'énergie fournie par le bois est

moins couteuse que celle générée par les autres sources énergétiques. En fait, le cours du bois est plus stable et prédictible par rapport à celui du pétrole ou du gaz, puisque les prix de ces derniers varient en fonction des spéculations et des enjeux géopolitiques.

À travers la valorisation de la filière bois énergie, nous contribuons à la compensation du déficit de la balance commerciale française et au redressement du bilan économique de la filière bois, 2ème poste déficitaire du commerce extérieur en France.

Quels sont les principaux enjeux auxquels vous faites face en tant que directeur général délégué de l'ONF ?

Afin d'atteindre les objectifs du plan de transition énergétique, nous souhaitons le dédoublement de l'enveloppe budgétaire du Fonds Chaleur. En effet, ce fond financier, géré par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) participe au développement de la production renouvelable de chaleur.

Ce dispositif finance les différents projets destinés à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises.

L'efficacité de l'euro investi dans le cadre du Fonds Chaleur est reconnue par la Cour des Comptes.

Le dédoublement du budget alloué à ce fonds chaleur permettra d'accélérer la transition énergétique. Cela contribuera au soutien de la filière bois notamment

la biomasse, qui a perdu son avantage compétitif, suite à l'effondrement des cours du pétrole et du gaz en 2015.

La réduction de l'empreinte carbone de tous les articles de consommation constitue un autre objectif récemment souligné dans le rapport de la Cour des Comptes.

En effet, le bilan carbone est un facteur clé de la compétitivité des énergies vertes. À court terme, le plan gouvernemental prévoit définir les priorités et les moyens nécessaires à mettre en place pour une excellente prise en considération des émissions carbone.

En mars dernier, ONF Énergie a participé au Salon Bois Énergie. Pouvez-vous nous en dire davantage sur cette participation ?

Ce salon est une magnifique vitrine des évolutions de la filière bois énergies. C'est une occasion pour rencontrer nos partenaires et pour discuter avec les différents intervenants sur le secteur, les différents projets de R&D permettant de booster la performance de la filière.

Ces programmes se focalisent sur l'évaluation environnementale de l'exploitation du bois énergie dans le cadre d'une gestion forestière durable.

Ces projets de R&D insufflent l'émergence et la mise en œuvre des solutions techniques innovantes afin d'augmenter la performance à l'aval et de préserver les ressources à l'amont.

Sommaire

■ Actualités

- Relire le rapport Poly 40 ans après sa publication p. 6
Bertrand Hervieu
- Une nouvelle initiative de l'AAF p. 11
Le prix de l'information scientifique à destination du public
Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader
- L'Académie à la Cité du Siècle vert p. 18
Transmettre la parole scientifique, notre bien commun
Catherine Regnault-Roger et André Fougeroux

■ Tribune Libre

- Prévoir les sécheresses du XXI^e siècle p. 23
Katia Laval

■ Futurs

- L'agriculture verticale p. 57
Jean Dunglas

■ C'était hier

- Amédée de Béhague (1803-1884) p. 64
Éminent membre et grand mécène de la Société d'Agriculture
Christian Ferault et Patrick Ollivier

■ DOSSIER

P. 29

La requalification des friches industrielles et urbaines pour préserver les sols agricoles

- Avant-propos p. 30
Jacques Berthelin
- La requalification des friches industrielles, un enjeu économique, environnemental et sociétal pour les villes et les campagnes p. 31
Jacques Berthelin et Laurent Rouvreau
- Mise en place de la reconquête des friches industrielles : de leurs définition et inventaire à leur dépollution et requalification p. 34
Jacques Berthelin
- Des outils réglementaires et méthodologiques pour reconverter les friches industrielles p. 39
Franck Marot
- Un plan de requalification et d'aménagement foncier à grande échelle : la Vallée de la Chimie dans la Métropole lyonnaise p. 45
Julien Lahaie et Alain Dumestre
- Une requalification phare : la zone industrielle Renault de Boulogne Billancourt p. 50
Laurent Rouvreau

Académie d'agriculture de France : 18 rue de Bellechasse - 75007 Paris- Tél : 01 47 05 10 37 - Directeur de la publication : Gérard Tendon - Rédacteur en Chef : Jean-Pierre Guyonnet - Rédactrice adjointe : Catherine Aubertin - Secrétaire de Rédaction Christine Ledoux-Danguin - Site internet : www.academie-agriculture.fr - Edition et Régie Publicitaire : FFE, 15 rue des Sablons - 75116 Paris - Tél. : 01.53.36.20.40 - Directeur de la publicité : Patrick Sarfati - Responsable relations entreprises : Philippe Simon - philippe.simon@revue-academieagriculture.fr - Tél. : 01.43.57.91.66 - Service technique : Aïda Pereira - Aïda.PEREIRA@ffe.fr - Tél. : 01.53.36.20.35 - Mise en page : Nadine Namer - Impression : Imprimerie de Champagne - 52200 Langres - ISSN 2271-2534 - Couverture : photo : Philippe Kim-Bonbled - Potager urbain expérimental installé sur les toits d'AgroParisTech (Centre Paris Claude Bernard)





Bertrand Hervieu
Membre de la section 4
Sciences humaines et sociales

Bertrand Hervieu

Président de l'Académie d'agriculture

Relire le rapport Poly 40 ans après sa publication¹

En 1978, à la demande du Ministre de l'agriculture d'alors, Pierre Méhaignerie, Jacques Poly remet un rapport intitulé : « Pour une agriculture plus économe et plus autonome ».

40 ans plus tard, il est stimulant de revenir sur le contenu de ce document. L'auteur dressait en effet un constat critique de l'évolution de l'agriculture après 30 ans de modernisation accélérée, ce qui le conduisait naturellement à réviser les objectifs à assigner au développement de l'agriculture ; il soulevait déjà des questions en matière d'environnement et redessinait la place singulière que devait occuper la recherche agronomique, dans ce contexte.

Quatre points essentiels ressortent de la lecture ce rapport : l'analyse de la situation du contexte national et international, le diagnostic porté sur la situation de l'agriculture, la question environnementale et, enfin, la place de la recherche agronomique.

ANALYSE DU CONTEXTE NATIONAL ET INTERNATIONAL

Nous sommes en 1978. Les premières lignes du rapport méritent d'être citées :

« Notre agriculture se révèle quelque peu essoufflée à la suite d'une longue course à la productivité entamée dès

la fin de la deuxième guerre mondiale. Quelques chiffres illustrent parfaitement cette évolution. L'agriculture dispose actuellement d'environ 1,5 million de tracteurs, de quelque 150 000 moissonneuses-batteuses, de près de 400 000 presses ramasseuses ; elle a investi près de 15 milliards dans de nouveaux bâtiments d'élevage dits rationnels ; sa consommation d'engrais azotés a décuplé depuis 1950 ; elle a mis en œuvre des traitements phytosanitaires sur près de 20 millions d'ha de cultures... L'agriculture a augmenté sa production en volume de 3,5 % par an, en libérant au même rythme 3,9 % de ses actifs au bénéfice des secteurs de l'industrie et des services.

Mais, dans le même temps, l'endettement de l'agriculture s'est accru de 14,5 % par an, entre 1960 et 1975 ; alors que les prêts représentaient 35 % de la valeur ajoutée en 1960, ils en représentaient 118 % en 1976... L'ampleur d'une telle mutation globale ne s'est pas accomplie sans des dis-

¹ Ce texte reprend l'intervention de Bertrand Hervieu lors de la séance *Recherche agronomique et politiques publiques - Des années Poly à aujourd'hui* organisée par l'INRA et l'Académie d'agriculture le 14 février 2018 au ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

² Jacques POLY, Directeur scientifique de l'I.N.R.A., *Pour une agriculture plus économe et plus autonome*, 65 p. polycop. Juillet 1978.

parités considérables entre classes de structures d'exploitation, entre secteurs de la production... Beaucoup d'exploitants sont restés étrangers à cette dynamique de progrès, sans possibilités de projets concrets de développement agricole »...

Dans ce diagnostic Jacques Poly évoque avec force la situation des zones défavorisées et plaide pour le maintien d'une population agricole active à un niveau raisonnable (il y avait 1 million d'exploitations à l'époque).

A ses yeux le plafonnement de la production depuis 1974 est imputable aux conditions climatiques défavorables, la fameuse sécheresse de 1976, et surtout à la crise due au renchérissement rapide des matières premières énergétiques et industrielles. En effet, le prix des consommations intermédiaires s'est accru de 56 % entre 1973 et 1977 atteignant 40 % de la valeur des livraisons agricoles, alors que les prix agricoles n'ont augmenté dans le même temps que de 36 %.

Du contexte international Jacques Poly retient les potentialités comparées de l'agriculture française, à l'exclusion de certains produits agricoles exotiques ou de certains facteurs de production comme les phosphates ; « *la France aurait toutes les capacités d'une autonomie agro-alimentaire* ».

L'existence de déficits importants pour de nombreux produits agricoles au sein de l'Europe a permis à la France ce décollage, mais au bénéfice des cultures industrielles, de l'aviculture et de la production laitière. Il souligne le solde débiteur en viande de porc (2,5 milliards) et en matière d'approvisionnement en aliments

riches en protéines destinés aux animaux domestiques.

Il ressort de son diagnostic les points suivants : un ciseau des prix -malgré des prix agricoles garantis- en raison de l'augmentation forte du prix des intrants, et donc une baisse et une fragilité du revenu agricole, ainsi qu'une dépendance de plus en plus coûteuse à l'égard de matières premières importées (énergie, phosphate, protéines), des marchés intérieurs perdus en particulier celui des fruits et légumes, enfin, des formes de développement agricole inégales entraînant un gaspillage des ressources naturelles.

Au total conclut-il : « *une nouvelle loi-cadre devrait permettre d'apprécier notre contribution aux exportations des denrées alimentaires sur le marché communautaire et international, de réaliser une politique résolument volontariste dans certains secteurs où notre déficit national est pour le moins choquant, de limiter en contrepartie nos importations, de susciter davantage de modèles de développement agricole acceptables au plan socio-économique* ».

Autonomie et économie sont les maîtres mots du programme à construire, tout en reconnaissant que ces deux orientations peuvent entrer en contradiction.

ANALYSE DE LA SITUATION DE L'AGRICULTURE ET PRECONISATIONS

Jacques Poly exclut de son rapport la production forestière car une mission sur ce sujet était confiée à Bertrand de Jouvenel, ainsi que la production viticole car des décisions venaient d'être prises pour ce secteur par le gouvernement.



Jacques Poly
©Inra/Jean-Joseph Weber, 1967

Il retient non pas une analyse par produits ou par filière, mais une approche par « systèmes agricoles », et il distingue trois systèmes.

Les systèmes de productions végétales à caractère industriel

Ils se caractérisent par des exploitations de grande taille, un faible nombre d'unités de travail humain, parfois 1 UTH pour 100 ha, des investissements importants en matériel de culture, une utilisation massive d'engrais et de produits phytosanitaires, un matériel génétique perfectionné, des performances culturales élevées. C'est, fait-il remarquer, un modèle d'agriculture de type industriel assez stéréotypé, permettant d'obtenir un revenu net/ha aussi élevé que possible, mais peu préoccupé de la valorisation potentielle optimale de ces produits.

Ce secteur pose plusieurs problèmes :

- il subit de plein fouet la hausse des facteurs de production,
- la teneur en matière organique des sols risque de poser problème à terme,
- les charges annuelles de mécanisation évaluées à 25 milliards de francs, le parc étant estimé à 100 milliards, font considérer que l'on a atteint le suréquipement,
- l'emploi des herbicides, fongicides, insecticides est devenu courant en vue d'assurer une protection phytosanitaire efficace. Mais cela « *n'est pas sans poser quelques problèmes* ».

Et d'en tirer une série de mesures à prendre d'ordre très divers :

- en matière de machinisme agricole : le développement de la recherche et l'encouragement des coopératives d'utilisation de matériel agricole (CUMA),
- sur les problèmes phytosanitaires : le recrutement d'ingénieurs spécialistes, l'installation de laboratoires de diagnostic,
- pour les semences et variétés végé-

tales : la constitution d'une ou deux grandes entreprises françaises à vocation internationale, et la mise en place de liens contractuels entre recherche publique et privée,

- sur la qualité des produits : l'affirmation d'une politique de la qualité,
- une réforme de la fiscalité encourageant ces exploitations à reprendre des productions animales,
- la réalisation de bilans énergétiques de ces modèles d'exploitation.

Les systèmes de cultures spécialisées

Il s'agit de l'arboriculture fruitière, des cultures légumières, des cultures sous serres..., caractérisés par :

- des revenus bruts élevés,
- une dépendance forte : main-d'œuvre importante, contraintes climatiques, dépendance des structures commerciales et de logistique,
- des tailles petites ou moyennes,
- des techniques assez traditionnelles,
- des gaspillages importants de matières premières,

En résumé, des charges élevées, un savoir-faire de plus en plus élaboré, un succès économique dépendant de l'aval.

Pour l'arboriculture il plaide pour un « *véritable cadastre fruitier* » afin d'améliorer la connaissance et la prévision des maladies et des récoltes.

Et il en appelle à plusieurs mesures :

- un développement fort en matière d'équipement et de mécanisation de ce secteur,
- des recherches approfondies en matière d'économie d'énergie,
- pour le matériel végétal, il recommande une amplification et diversification des recherches concernant l'amélioration génétique de très nombreuses espèces, entre l'INRA et le secteur privé,

- il enjoint de repérer les créneaux « *là où notre déficit est injustifiable* »,
- il recommande une exploitation optimale des potentialités de la multiplication végétative in vitro.

Au plan du secteur agro-alimentaire, il énonce une série de mesures pour encourager une politique de qualité, pour développer des recherches sur la conservation et sur les technologies de transformation, et il recommande une restructuration de l'appareil de transformation dans un « *souci de liaison contractuelle interprofessionnelle* ».

Les systèmes polymorphes de productions animales

Jacques Poly en souligne les caractères : les exploitations sont peu homogènes ; les unes hors-sol et dépendant de l'extérieur pour l'alimentation des animaux et d'autres à l'inverse peuvent être très intégrées, pour l'élevage allaitant en particulier ; les exploitations sont également variées selon les productions pratiquées (lait, élevage allaitant, engraissement), selon le contexte industriel environnant, selon le degré d'intensification.

Deux thématiques le retiennent prioritairement dans le domaine de l'élevage : l'amélioration génétique et l'état sanitaire du cheptel.

Un troisième point le préoccupe : la sauvegarde de certaines races rustiques locales qui, dit-il, s'impose de façon de plus en plus urgente. « *Il s'agit de développer une stratégie d'intérêt national, dont l'intérêt à long terme est encore plus marqué* ».

Les charges financières endossées par les éleveurs sont principalement les investissements et l'alimenta-

tion. Le souci d'autonomie nationale conduit à susciter et à encourager l'emploi préférentiel de productions indigènes : tourteaux de soja, lactosérum en alimentation liquide, déchets, sous-produits divers, urée industrielle... L'intensification des systèmes fourragers en fonction de la taille du troupeau est une priorité.

Jacques Poly plaide pour que la chaîne agro-alimentaire ne laisse pas sur le côté des petites exploitations en général et celles de montagne en particulier : « *ne sont-elles pas d'ailleurs une image vivante d'une agriculture parfaitement autonome et économe ?* ».

On voit là que l'injonction d'autonomie et d'économie s'applique aussi bien à l'échelle de l'exploitation qu'à l'échelle nationale.

Les recommandations concernant les systèmes de production animales sont nombreuses, on s'en doute :

- diversification des modèles dominants,
 - réservation des productions interstitielles aux régions dont le revenu doit être amélioré,
 - grande politique globale d'action sanitaire,
 - intensification et diversification des actions d'amélioration génétique,
 - mise en place d'un système de développement régionalisé efficace,
 - élaboration d'une politique de grande envergure, en faveur des zones relativement défavorisées.
- Jacques Poly encouragera le déroulement des Etats généraux du développement agricole de 1982.

LA QUESTION ENVIRONNEMENTALE

La question environnementale traverse tout le rapport. Dans son dia-

gnostic de départ, Jacques Poly consacre 10 pages aux facteurs physiques du milieu : sol, micro-climat et réserves hydriques. Il en appelle avec force à une meilleure connaissance. Il convient de promouvoir un véritable contrôle d'aptitude des sols si l'on veut en exploiter vraiment toutes les richesses avec lucidité, dans le présent et pour le futur. Il insiste sur la gestion maîtrisée de la ressource en eau.

Dès l'introduction Jacques Poly note : « *La société, dans son ensemble, est de plus en plus vigilante vis-à-vis des problèmes de pollutions et de nuisances que peuvent susciter, ici et là, des processus de spécialisation et de concentration de la production, ou l'usage de techniques parfois trop agressives ; les pratiques agricoles de demain auront certes à se préoccuper davantage de la préservation de nos ressources naturelles et d'un environnement agréable et harmonieux.* »

On peut rattacher à cette préoccupation les développements sur l'affaiblissement de la teneur en matière organique des sols, sur l'emploi des pesticides obligeant à penser une nouvelle politique en matière de protection sanitaire et il développe en ce sens son intérêt fort pour le concept de lutte intégrée.

Dans le domaine de l'élevage, il nomme des « contraintes de l'environnement » et propose d'établir une charte de bon usage de l'espace rural. Il regrette que l'on ait laissé se dégrader l'environnement touristique des montagnes par abandon de l'élevage.

Il y a, dans ce rapport, un lien direct établi entre sol, pratiques culturales, pratiques d'élevage et aménagement du territoire. Il y est recommandé de

réserver certaines productions aux zones difficiles.

Au chapitre de l'environnement doivent être inclus tous les développements sur la valorisation des sous-produits et déchets agricoles, dans lesquels il voit des fertilisants, des aliments pour le bétail et des sources d'énergie, à travers la méthanisation notamment. Ce chapitre sur les déchets vient enrichir l'approche « économie et autonomie ». Il y consacre une dizaine de pages sur les 65 du rapport ainsi que deux grands tableaux récapitulatifs en annexe. Cela illustre l'importance qu'il attache dans cette volonté d'autonomie et d'économie à ce que nous appellerons plus tard l'économie circulaire et l'économie bio-sourcée.

LA PLACE DE LA RECHERCHE

Constatons - et ce n'est pas une surprise - qu'il accorde à la recherche une place et un rôle de premier ordre. Fort des succès engrangés par l'agriculture française grâce au développement de la recherche agronomique, Jacques Poly met en avant la mise en place nécessaire de nouveaux programmes de recherche, de stations expérimentales, d'observatoires, de recrutements d'ingénieurs spécialisés selon les problèmes et les domaines. Il mêle volontairement, et parce que l'époque le veut encore, les stratégies de recherche et les opérations de développement et d'accompagnement.

On dénombre dans ce rapport 71 recommandations : c'est considérable. Les deux tiers (47), concernent directement la politique de recherche et dans une moindre mesure le développement agricole. Un tiers (24), sont des recommandations d'ordre

organisationnel, fiscal, réglementaire, planificateur, de régulation...

On remarquera que les recommandations énoncées en direction de la recherche sont, les unes, de nature très disciplinaires, en particulier pour ce qui relève de l'amélioration du troupeau et du matériel végétal, les autres – autour des systèmes de production – relevant de l'approche systémique dont il appuiera le développement, en particulier par la création du département « systèmes agraires et développement » au sein de l'INRA. Notons que la recherche en génétique est citée pour tous les systèmes de production. Le directeur scientifique de l'INRA a bien imprimé sa patte sur ce terrain!

Pour conclure, insistons sur les quatre éléments qui qualifient dans ce rapport une agriculture économe et auto-

nome : 1. Une plus grande autonomie nationale dans les diverses branches. 2. Un gain de valeur ajoutée optimale pour les denrées fournies. 3. La mise en œuvre de procédés novateurs et originaux, consommant moins d'énergie, secrétant moins de nuisance. 4. La récupération systématique raisonnable du maximum de déchets ou sous-produits.

Ce qui frappe en définitive, dans ce rapport, c'est le lien établi entre nos grands équilibres économiques nationaux et le développement d'une diversité de systèmes de production, c'est le lien entre la montée des questions environnementales et la nécessité de produire de façon plus économe, c'est enfin le lien entre politique publique agricole et développement de la recherche agronomique.

Ce rapport, publié en 1978 peut être considéré comme annonciateur des débats qui vont se déployer dans les deux dernières décennies du XXème siècle : comment prendre en compte en agriculture la question environnementale ? Quel modèle de développement favoriser ? Comment maintenir une population active d'exploitants agricoles suffisamment nombreuse ? Comment entretenir un lien fort sur les exploitations entre productions animales et productions végétales ? Comment réguler la surproduction de certaines filières et favoriser le développement des filières déficitaires ?... Les analyses de Jacques Poly n'ont certes pas apporté des réponses à toutes ces questions, mais ce rapport a eu le grand mérite de les faire émerger dans une cohérence d'ensemble. ■



Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader
Membre de la section 4,
Sciences humaines et sociales

Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader
Membre de l'Académie d'agriculture

Une nouvelle initiative de l'AAF Le prix de l'information scientifique à destination du public

L'Académie d'agriculture de France a décerné pour la première fois, au salon international de l'agriculture, le prix de l'information scientifique à destination du public à une journaliste de *Science & Vie*, Nathalie Picard, pour son article « Faut-il encore manger de la viande ? ». Une mention spéciale a été attribuée à une journaliste de la *France agricole*, Marie-Gabrielle Miossec, pour son enquête « Les associations de protection des animaux, comment elles mettent la pression sur l'élevage ».

Questions au centre de l'actualité ! Pour en délibérer, un jury composé de trois académiciens et de trois journalistes scientifiques et agricoles avait été réuni sous la présidence de Paul Vialle, ancien président de l'AAF et initiateur du prix.

Pourquoi un tel prix à des journalistes au côté des prix que l'AAF décerne classiquement aux jeunes scientifiques ? L'Académie est consciente des difficultés auxquelles se heurte le statut de la connaissance scientifique dans nos sociétés. Elle est en effet concernée quasi-quotidiennement par de multiples débats agricoles, environnementaux, météorologiques, sanitaires... Aussi souhaite-t-elle encourager l'implication des journalistes, tout particulièrement des jeunes, scienti-

fiques ou généralistes, pour traiter de ces sujets. Elle veut reconnaître leurs talents, car le contexte dans lequel ils exercent leur profession s'avère de plus en plus problématique face à la complexité de la science, de ses relations avec la société et à l'heure des réseaux sociaux.

Force est de constater que l'esprit critique et la rationalité ne sont pas toujours au rendez-vous de la médiatisation des faits scientifiques. L'actualité en témoigne. Ainsi la revue *Science* avait consacré le 8 mars 2018 sa Une à une enquête sociologique effectuée par des chercheurs du Médialab du MIT en titrant : « *Comment le mensonge se propage ; sur le média social, les fausses nouvelles écrasent la vérité* ». Celle-ci avait fait l'objet d'une reprise en France par Sylvestre Huet sur son blog. C'est la diffusion sur Twitter qui est analysée dans cette très sérieuse étude sur 126 000 histoires différentes, (re)-tweetées par trois millions de personnes au moins 4,5 millions de fois ! Comment ne pourrait-on pas aussi évoquer l'enjeu démocratique de la lutte contre les fausses nouvelles qui font actuellement l'objet d'initiatives pour les contrôler tant en France que dans l'Union européenne ? Cependant le débat politique en cours montre toutes les ambiguïtés de la définition même

Le « Prix de l'Information scientifique à destination du public » de l'Académie d'agriculture de France

L'Académie d'agriculture de France a décidé, au début de l'année 2017, d'instituer ce prix pour « récompenser l'esprit critique et la rationalité des journalistes, plus que jamais nécessaires au débat public ».

Le prix (médaillon et diplôme), désormais décerné chaque année, concerne « la presse écrite, les émissions de radio ou de télévision, les sites Internet ou les blogs ». Les productions doivent relever du champ de compétences de l'Académie d'agriculture de France, à savoir : alimentation, agriculture, environnement.

Un règlement en précise les modalités d'attribution.

Pour la première saison du prix (décerné lors du Salon international de l'agriculture 2018) le jury, présidé par l'académicien Paul Vialle, était ainsi constitué :

Membres de l'Académie : Marie-Françoise Chevallier-Leguayader, Catherine Aubertin et Jean-François Colomer.

Journalistes : Mac Lesgy (*LinkProduction*), Frédéric Karpyta (*Ça m'intéresse*) et Philippe Pavard (*La France agricole*).

Pour en savoir plus :

<https://www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/un-prix-de-linformation-scientifique-destination-du-public-sera-desormais>

de celles-ci et, face à cette situation fort complexe, on comprend toute la nécessité de reconnaître et soutenir l'action d'une profession : celle des journalistes.

Chaque profession est marquée par un cadre de pensée, par des principes épistémologiques. Les cadres de pensée scientifique et juridique, très formalisés, ont vocation, entre autres, à produire de la vérité mais d'autres modes d'accès au réel coexistent avec eux : économique, administratif, législatif, religieux, etc. Le débat public est par nature le lieu de confrontation de ces approches que le journaliste doit interpréter et faire connaître. Mais celui-ci s'appuie-t-il alors sur un cadre épistémique propre à sa profession, produit-il une vérité propre à ce champ ? La question, déjà abordée par Bertrand Labasse lors d'un colloque en 2007 « Sciences, médias et société », à l'ENS de Lyon, est ouverte car les pratiques journalistiques sont fort différentes entre elles. Il suggère cependant que des points communs épistémiques existent entre démarche

journalistique et scientifique, partagés pour certains avec l'approche juridique : le principe d'indépendance avec la liberté du scientifique et la clause de conscience journalistique, le principe de délimitation de la problématique scientifique ou de l'angle journalistique, le principe de publication. Mais la recherche scientifique et le journalisme présentent de profondes différences quant au statut des controverses et au rôle des pairs pour la validation des résultats scientifiques. Cela n'existe pas dans le journalisme. Si la controverse est la voie royale du progrès scientifique, elle est souvent utilisée dans la pratique journalistique comme une manière binaire pour mettre en scène les sciences, parfois à renfort de sensationnel pour retenir le lectorat.

Les journalistes scientifiques quant à eux fondent leur travail sur les faits scientifiques par l'analyse des travaux publiés dans les revues à comité de lecture, mais aussi à partir de leurs contacts avec les chercheurs et les institutions en charge de la recherche.

La surabondance d'informations rend difficile leur travail de hiérarchisation, devenu essentiel. C'est ce traitement critique et rationnel, qui assure la qualité des contenus qu'ils diffusent ensuite, quelle que soit la forme des récits qu'ils adoptent pour leurs lectorats. On passe alors du discours des sciences au discours sur les sciences, et cela repose sur une « traduction » dont les journalistes scientifiques sont des acteurs majeurs. Ce travail demande du temps et des moyens que la majorité des rédactions ne donnent pas suffisamment, selon les lauréates mais aussi de nombreux autres journalistes. Sans doute faut-il y voir la fragilisation croissante du modèle économique de la presse.

Mais le constat est là : analyser la complexité devient de plus en plus... complexe ! Cette démarche doit être d'autant plus encouragée que, dans le débat public, la science rentre alors en politique, dans des relations de pouvoir inhabituelles pour les scientifiques, plus familières pour les experts, mais auxquelles les journalistes avec leur



Remise du prix de l'information scientifique au Salon de l'agriculture 2018

De gauche à droite, Paul Vialle, président du jury et ancien Président de l'Académie d'agriculture, Nathalie Picard, lauréate du prix de l'information scientifique, Marie-Gabrielle Miossec, lauréate de la mention spéciale du jury, Christiane Lambert, présidente de la FNSEA a remis le prix du jury, Bertrand Hervieu, Président de l'Académie d'agriculture, a remis la mention spéciale du jury, Jean-Luc Poulain, Président du Salon international de l'agriculture et du Centre national des expositions et concours agricoles.

savoir-faire d'investigation sont habitués. Rien d'étonnant à ce que scientifiques et journalistes puissent devenir la cible de stratégies de doute comme les travaux des historiens des sciences l'ont montré ces dernières années, en particulier sur l'industrie du tabac.

Tout cela ne peut qu'inciter l'Académie à renforcer son action vers les journalistes et leurs écoles, à élargir sa démarche trans-générationnelle au-delà des jeunes ingénieurs agronomiques. Créer des passerelles en amont des débats et en dehors des

polémiques qui envahissent le quotidien est un enjeu majeur pour garantir à terme plus de sérénité dans l'exercice de la démocratie. C'est le sens de ce prix.

Expliquer et donner du sens face à la complexité¹

Nathalie Picard, journaliste

Nathalie Picard est une jeune journaliste scientifique dont le dossier « *Faut il encore manger de la viande ?* »² a reçu le tout nouveau prix de l'information scientifique pour le public, créé par l'AAF. Elle répond aux questions de l'AAF.

Quel parcours vous a donné le goût du journalisme ?

Passionnée par les sciences de la vie j'ai souhaité être enseignante ou chercheuse dans le domaine de la santé humaine. Après mon bac S, en 1998, puis une prépa et une licence en magistère de biologie-biochimie à l'ENS-Ulm, j'ai eu l'occasion de faire des stages en laboratoire. J'ai alors déchanté et me suis rendue compte que ce métier n'était pas fait pour moi. Après un DUT de diététique et une maîtrise de physiologie, j'ai opté pour une formation en Info-com à Bordeaux avec une spécialisation en médiation de la science. Pendant 10 ans j'ai été chargée de communication et coordinatrice de réseaux dans le développement agricole pour des associations d'agriculture durable et biologique. J'ai alors été conduite à rédiger des articles et ai pris goût pour le journalisme.

En 2012, l'opportunité m'est donnée de devenir correspondante pour *La Nouvelle République*. J'ai découvert le plaisir de sillonner le territoire et de raconter sa vie. En 2014, j'ai bénéficié d'un CIF (congé individuel de formation) et réussi le concours d'entrée à l'école de journalisme de Tours. Cela a été le déclencheur de ma carrière. Des stages au journal *Le Monde*, à *Science & Vie* et à *La Nouvelle République* m'ont permis de démarrer une activité de pigiste, qui s'est élargie aujourd'hui à d'autres supports scientifiques tel Ça m'intéresse.

Vous coupez une activité de journaliste dans la presse quotidienne régionale avec des dossiers « société », « économie » à une activité scientifique dans des supports spécialisés et généralistes nationaux.

Je tiens à mon ancrage local. L'intérêt des rencontres de terrain et la nature des dossiers sur l'économie, la société, bref sur l'actualité du territoire, me motivent. Quand je fais une enquête pour un magazine scientifique national, je travaille beaucoup par téléphone, mais j'apprécie de traiter les sujets davantage en profondeur. Finalement, je trouve mon équilibre dans ces deux types d'activités.

Vous considérez-vous comme une journaliste ou une journaliste scientifique ?

Je suis avant tout journaliste. Il n'est pas forcément nécessaire d'être scientifique pour traiter ces sujets. Cependant les journalistes, qui sont souvent de formation sociologique ou géopolitique, sont moins à l'aise avec les chiffres et la complexité scientifique. Les bases scientifiques ont des avantages réels : elles permettent justement de mieux aborder cette complexité, de cerner rapidement un sujet, de ne pas avoir peur des chiffres. Par contre, il faut plus d'efforts pour se mettre à la place des lecteurs et leur parler avec simplicité.

Quels enjeux pour les journalistes voyez-vous se déployer actuellement ?

Un premier enjeu concerne la présence des sciences dans la presse. La presse spécialisée est très développée en France avec des magazines comme *Science & Vie*, *La Recherche*, *Sciences et Avenir*, *Pour la Science*, *Ça m'intéresse*. Mais dans les médias généralistes, c'est insuffisant. Certes, il y a de très beaux succès tels le supplément *Sciences et médecine du Monde*, et des créneaux radiophoniques comme *La Tête au Carré*. Mais cela ne suffit pas. Beaucoup de sujets peuvent bénéficier utilement d'un éclairage scientifique. C'est l'expérience de *Science & Vie* avec sa rubrique *Science et société* qui fait l'objet d'une nouvelle formule depuis février. Parmi les sujets analysés sous l'angle des sciences : l'enseignement des mathématiques à l'école, les cyber-attaques ou l'opposition entre les sexes.

Le second enjeu, c'est celui des *fake news* et un sondage récent est inquiétant. Ainsi, l'énoncé selon lequel le ministère

¹ Propos recueillis par Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader

² *Science & Vie*, septembre 2017, p. 42-52

de la Santé serait de mèche avec l'industrie pharmaceutique pour cacher au grand public la réalité sur la nocivité des vaccins recueille 55 % d'adhésion. La théorie du complot sur l'apparition du virus du sida est partagée par un sondé sur trois. Enfin, près d'un sondé sur dix est d'accord avec l'affirmation qu'"il est possible que la Terre soit plate et non pas ronde comme on nous le dit depuis l'école". 79 % des sondés croient à au moins une théorie du complot. Notre rôle de journaliste est d'expliquer, donner du sens, mettre en perspective l'information... Cela passe par un travail permanent d'identification des sources de l'information et de contextualisation. C'est d'autant plus nécessaire que les lobbys profitent de cette complexité pour développer des stratégies de mise en doute de la science.

Pourquoi avez vous choisi ce sujet d'enquête sur la consommation de viande ?

C'est une idée du rédacteur en chef, Hervé Poirier, à la lecture d'une tribune défendant la viande. Un singulier procès se tient en effet aujourd'hui. La viande est sur le banc des accusés. Sur le devant de la scène, côté victimes, ce sont des consommateurs, des organisations de protection environnementale, des associations de défense des animaux... soit une partie civile composite, à l'image des chefs d'accusation listant des atteintes tant à l'environnement qu'à la santé ou au bien-être animal. L'accusation ferait-elle la part belle aux faux arguments ?

C'est ce que dénonce la défense, constituée des acteurs de la filière. Les deux parties s'écharpent à coup de chiffres et de rapports. Notre dossier propose d'éclairer ce débat houleux grâce à divers interlocuteurs scientifiques.

Science & Vie souhaite témoigner de ce que dit la science sur le sujet tout en prenant en compte les liens d'intérêt qui peuvent aussi jouer sur le discours des scientifiques.

Nous ne donnons pas de réponse au lecteur. Ce n'est pas du prêt-à-penser. Nous donnons de manière objective tous les éléments pour que le lecteur se fasse son opinion.

L'enquête, c'est le cœur de métier du journaliste : rechercher et « sourcer », donner la parole aux deux parties, contextualiser l'information et la hiérarchiser, vérifier les faits, mettre en forme... C'est aussi un travail d'équipe avec la direction artistique et le responsable infographique, le secrétariat de rédaction, le rédacteur en chef...

Que pensez vous des relations entre journalistes et scientifiques ? Que pensez vous de la démarche de l'AAF pour ce prix ?

Ce sont des métiers qui ont certaines similarités, telles la passion, le travail de recherche d'information, de questionnement perpétuel, la soif de connaissances, mais aussi de grandes différences, surtout quant aux échelles de temps. Si bien que le travail des journalistes doit parfois sembler superficiel aux chercheurs. Mais personnellement, j'entretiens une très bonne relation avec les scientifiques : ce sont des gens passionnants, qui ont l'envie de transmettre. Nous sommes bien loin des clichés sur le savant fou ou le chercheur isolé dans sa tour d'ivoire.

Quant au prix, je me réjouis de cette initiative qui vise à récompenser le travail du journaliste en termes d'esprit critique et de rationalité. Elle permet de mettre en lumière des travaux qui peuvent contribuer à améliorer la qualité du débat et cela est très utile en ces temps où le complotisme emporte l'adhésion d'une partie non négligeable des Français.

Eclairer les signaux faibles des débats sciences-société³

Marie-Gabrielle Miossec, journaliste

Marie-Gabrielle Miossec, billettiste à la *France agricole*, est l'auteure du dossier « Associations de protection des animaux, comment elles mettent la pression sur l'élevage »⁴, et lauréate de la mention spéciale du jury du prix de l'information scientifique à destination du public de l'AAF. Ingénieure agricole de formation, spécialisée dans l'économie et le droit rural, elle a longtemps enseigné la gestion en lycée agricole, puis décidé en 1983 de se consacrer au journalisme après une formation continue au Centre de formation et de perfectionnement des journalistes (CFPJ). Elle a intégré la *France agricole* en 1998 après avoir travaillé pour différents journaux de la presse agricole.

Le sujet de votre dossier est majeur. Quels objectifs pour votre lectorat poursuivez-vous en le traitant ?

J'ai appris à la *France agricole* à écrire pour mon lectorat c'est-à-dire les éleveurs. Il est de notre responsabilité de les éclairer sur les signaux faibles de la société qui vont impacter leur activité. Il ne s'agit pas de décider à leur place. Ce sont des chefs d'entreprise et des citoyens capables de décider par eux-mêmes ! Mais les informations scientifiques n'arrivent pas toujours jusqu'à eux. Les enquêtes de lectorat de la *France agricole* montrent que les agriculteurs sont de grands lecteurs. Ils souffrent d'une presse généraliste qui les oublie trop souvent et porte un regard paternaliste, voire méprisant, à leur égard. Ils ont besoin de sortir de raisonnements de type "blanc ou noir". Ils attendent d'élargir le champ de leurs connaissances et d'enrichir leur quotidien. Ils sont à l'écoute. Ainsi Francis Wolf, philosophe à l'ENS, interviewé dans le dossier, est-il intervenu à l'Assemblée générale des agriculteurs de Bretagne. Et cette intervention a été plébiscitée.

Vous avez vécu l'émergence des débats sciences-société mais aussi les transformations de la presse. Avec quelles conséquences pour l'agriculture ?

Dans les années 1990 les sujets « société » étaient bien présents à la *France agricole*, mais moins traités : les agriculteurs en difficulté, la santé et le suicide des agriculteurs, la place des femmes dans l'exploitation et leur statut, etc. J'ai été recrutée en 1998 à la *France agricole* pour les développer. J'ai beaucoup travaillé sur la question des femmes, dans une approche psychosociale et sociologique, avec des chercheurs comme Alice Barthes, Bertrand Hervieu ou des médecins comme Jean-Jacques Laplante.

Notre approche est celle d'une réflexion en profondeur, non pas des réflexions « de comptoir ». Ces sujets sont de fait présents dans les médias, mais souvent traités sous un angle précis. Tout le problème c'est de traiter de leur complexité. Là réside la difficulté.

Ajoutons que l'agriculture, et c'est normal, est l'objet d'un discours professionnel, qui indique des voies à suivre. Avant les années 1990, la presse agricole était diversifiée avec beaucoup de titres et, donc, de voix. Je viens d'*Agri 7*, du *Nouvel Agriculteur*. Ces supports ont disparu et on a assisté à une concentration des titres de cette presse. Aujourd'hui la *France agricole* est à l'écoute de tous, va aux assemblées générales, mais aussi et surtout sur le terrain. Nous y trouvons l'ouverture indispensable pour traiter ces sujets.

Vous explorez dans ce dossier une autre complexité : celle du monde associatif.

Je continue de le faire⁵... La parole des associations, même radicale, doit être connue des éleveurs. Personne n'attendait le débat actuel dans une société de tradition chrétienne qui donne à distinguer l'homme de l'animal. Il faut lire Élisabeth de Fontenay. Le monde agricole a souhaité à juste titre prendre les devants, craignant que ce sujet ne devienne majeur. Mais comme toujours les objectifs des différentes associations, des mouvements de protection animale aux véganes, sont spécifiques. Ils se traduisent par des possibilités, ou impossibilités, de débats très différentes. Ce dossier les présente dans leur complexité. Il permet de prendre du recul, de sortir de logiques de « tout blanc, tout noir » et d'introduire des nuances.

³ Propos recueillis par Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader

⁴ *La France agricole*, 3701, 23 juin 2017, p. 50-63

⁵ Dans un hors-série de la *France agricole* à paraître en septembre 2018.

Comment pourrait on caractériser votre approche ?

Je dirais que notre métier repose sur la nécessité de curiosité. A la *France agricole*, j'ai longtemps fait la revue de presse non agricole, c'est-à-dire le traitement de l'agriculture dans les supports non agricoles. Cela a été source d'un grand enrichissement pour moi. Cette curiosité m'a aussi conduite en écoutant *France Culture*, à découvrir Alain Prochiantz, neurobiologiste et administrateur du Collège de France que j'ai ensuite sollicité pour le dossier !

Qu'est ce qui caractérise, selon vous, la relation journalistes-scientifiques ?

La complexité est là aussi. Tout d'abord il faut savoir que les scientifiques existent : nous ne les connaissons pas forcément. Ils ne communiquent pas toujours sur leurs recherches. Il faut fouiller pour savoir qui fait quoi. Heureusement Internet est d'une grande aide. Ensuite nous devons être capables d'élargir nos centres d'intérêt, de renouveler nos interlocuteurs ! Ensuite, il faut que les scientifiques comprennent que les temporalités de la recherche et du journalisme sont différentes. Les scientifiques doivent savoir quel message essentiel ils veulent faire passer et le rendre accessible, au-delà de leurs publications et ouvrages. Souvent, c'est à la radio, dans l'urgence, qu'ils sont le plus lumineux. *France-Culture* est à ce titre une mine. Sans doute les scientifiques s'y trouvent-ils à l'aise. La presse est confrontée à des contraintes de temps. Les journaux donnent de moins en moins de moyens et de temps aux journalistes pour approfondir des sujets, aller sur le terrain. Ce n'est pas encore le cas à la *France agricole*. Mais de quels moyens disposent les journalistes est une vraie question. J'ai rencontré toutes les personnes interviewées dans le dossier, mais le plus souvent pour les journalistes le contact se limite à un simple échange téléphonique gommant toute la richesse de l'échange. Il faut marteler que le journaliste est un passeur pour l'analyse de la complexité inhérente aux questions sociétales, même si parfois son approche ou son usage des controverses semblent simplistes pour ses interlocuteurs scientifiques !



Catherine Regnault-Roger
*Professeur des universités émérite
à l'Université de Pau
et des pays de l'Adour
(IPREM-UMR CNRS 5452)*



André Fougeroux
*Responsable du fonds
documentaire de l'Académie
d'agriculture de France*

Catherine Regnault-Roger et André Fougeroux

Membres de l'Académie d'agriculture

L'Académie à la Cité du Siècle vert Transmettre la parole scientifique, notre bien commun

L'Académie d'agriculture de France a été invitée à la Cité du Siècle vert le 17 mai 2018 et y a présenté les ouvrages qu'elle parraine et publie, dans le cadre d'une journée spéciale. Cet événement qui, au dire des participants fut apprécié, a été l'occasion de faire rayonner notre Compagnie. Intitulé « transmettre la parole scientifique, notre bien commun », il a été l'occasion, non seulement de faire connaître l'activité littéraire de l'Académie mais aussi de souligner sa volonté « d'éclairer les citoyens et les décideurs sur les évolutions actuelles et futures de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement »¹ avec la devise qu'elle a adoptée : « une passion : connaître, une ambition : transmettre ».

LA CITÉ DU SIÈCLE VERT, UN ESPACE D'ÉCHANGE SUR LA PROTECTION ET LA SANTÉ DES PLANTES

La protection des plantes et de la santé du végétal constitue aujourd'hui un enjeu de société. Les termes du débat médiatique soulignent combien il est important d'avoir une vision en perspective de l'expérience acquise et des avancées que le progrès scientifique et technologique propose.

Les anniversaires sont des dates jalons qui permettent de dresser des bilans. 2018 en est une. Il y a 100 ans, en juin 1918, toute une profession s'organisait autour du *Syndicat professionnel des fabricants de produits anticryptogamiques et parasitocides de France* pour promouvoir une démarche phytopharmaceutique de protection des plantes basée sur une approche rationnelle, scientifique et technologique, loin de l'empirisme qui prévalait jusqu'alors. Forte de découvertes scientifiques et techniques, la protection des cultures avait accès à de nouvelles substances, de nouveaux outils, de nouveaux concepts. Ce siècle écoulé a ainsi vécu une profonde mutation de l'agriculture à travers des révolutions technologiques et socio-économiques.

Et comme un anniversaire peut en cacher un autre, il y a cinquante ans fut créée la *Chambre syndicale de la phytopharmacie (spécialités phytosanitaires et produits assimilés) et de la protection des plantes* ; et dix ans plus tard en 1978 se tenait le premier Congrès national de *Phytopharmacie*, officialisant cette discipline émergente qui acquerrait ainsi une visibilité scientifique.

¹ Gérard Tendron, avant-propos, *Santé du Végétal : 100 ans déjà !* Presses des Mines, 2018, p. 7.



Une vitrine d'exposition

©Catherine Regnault-Roger

Aujourd'hui on préfère parler de « santé du végétal », car il est apparu qu'en protégeant les cultures, on lutte non seulement contre les bioagresseurs qui les font dépérir, mais on améliore leur santé dans leur environnement et également la santé de l'environnement. En effet, il apparaît de plus en plus qu'il n'existe qu'une santé sur terre : celle des hommes, celle des plantes, celle des animaux et celle de l'environnement. *Une seule santé et une seule planète.* C'est pour fêter cet anniversaire que

l'Union des Industries de la Protection des Plantes, qui a succédé à la Chambre syndicale des produits phytopharmaceutiques, a voulu engager un dialogue « citoyen » entre le public et la profession pour informer de la réalité de ce secteur économique, ses enjeux et les évolutions possibles. Cette démarche qui a débuté lors du Salon international de l'agriculture de Paris en février-mars dernier va se poursuivre tout au long de l'année 2018, la *Cité du Siècle vert* de mai en constitue un temps fort.

Étapes-clefs de la protection des cultures de 1918 à 2018 Exposition Cité du Siècle vert, Paris, mai 2018

- Avant les années 1910 - Les Mildious, la 8ème plaie de France !
- 1910-1920 - Vers la fin des travaux aux champs pour les femmes et les enfants
- 1920-1930 - Le Doryphore, « véritable fléau des cultures »
- 1930-1940 - L'invention du premier pulvérisateur ou comment le machinisme devient un allié des plantes !
- 1940-1950 - De l'arsenic et du cyanure à la chimie moderne
- 1950-1960 - Nourrir la population !
- 1960-1970 - Les années 1960 marquent les débuts de prise de conscience de l'environnement
- 1970-1980 - La fin du DDT en France et aux Etats-Unis. La recherche et l'innovation ouvre l'ère des solutions phytosanitaires responsables
- 1980-1990 - Merci les auxiliaires !
- 1990-2000 - L'accélération de la mondialisation des échanges et l'arrivée de nouveaux bioagresseurs
- 2000-2010 - Protection des cultures « made in UE »
- 2010-2018 - Une seule santé : santé des plantes, santé des animaux et santé humaine
- 2018 à 2118 - Un futur qui s'invente chaque jour.

La Cité du Siècle vert est un lieu éphémère d'exposition conçu pour retracer 100 ans d'histoire en protection des cultures en 10 étapes décennales avec les points forts qui ont caractérisé chaque période ainsi qu'une ouverture sur le XXII^e siècle. Les scénettes illustrées ont été réalisées en s'appuyant sur le conseil scientifique d'académiciens spécialistes du sujet. Plus de 5000 visiteurs, beaucoup d'enfants des écoles ont visité cette exposition et des commentaires ont été recueillis. Echanger, communiquer permet de lutter contre les idées reçues et de faire avancer la réflexion. Car au final, l'objectif est bien de « Nourrir l'humanité d'aujourd'hui sans hypothéquer son environnement de demain ».²

C'est dans ce contexte que le Comité Livres de l'Académie a été invité par les organisateurs de la Cité du Siècle vert à l'occasion de la sortie du deuxième livre de la collection « Académie d'agriculture de France » dont le sujet porte sur la santé du végétal.

FAIRE CONNAÎTRE LES LIVRES DE L'ACADÉMIE

L'Académie d'agriculture de France dont la vocation est de conduire des réflexions approfondies sur les sujets de son domaine de compétence publie des rapports et instaure des débats lors des séances publiques hebdomadaires et des colloques qu'elle organise. Elle a souhaité récemment parrainer la publication d'ouvrages émanant des réflexions de ses groupes de travail ou que des académiciens ont conduites, avec pour objectif d'expliquer les enjeux

² <http://www.lesieclevert.fr/#actualites-du-siecle-vert>

Paroles des visiteurs de l'exposition

L'exposition avait pour ambition d'offrir un espace d'échanges entre les visiteurs et des experts de la protection des végétaux afin de faire découvrir de manière ludique et pédagogique les cent dernières années de la protection des plantes en montrant les enjeux du futur.

Les visiteurs, pour la plupart du grand public dont de nombreux enfants, ont ainsi pu évoquer les questions qui se posent autour de méthodes de protection des cultures ainsi que les enjeux sociétaux associés dont les médias se font régulièrement l'écho. La qualité des vitrines d'exposition a contribué à créer une ambiance sereine et de franche de discussion. Les nombreux témoignages rapportés dans le livre d'or de cette exposition montrent de manière éclatante que ces objectifs ont été atteints. Voici un florilège de ces déclarations :

« Une exposition intéressante et interactive. L'information pour combattre les a priori sur l'agriculture et la protection des plantes »

« Visite imprévue et intéressante, surtout par les échanges et les explications. A refaire »

« Visite guidée très intéressante et instructive pour une non initiée, je vous souhaite le succès. »

« Bravo, communiquer devient plus qu'un besoin, une nécessité. Communiquer intelligemment permettra de réconcilier société et agriculture. »

« L'ensemble permet au citoyen consommateur de se faire une opinion »

Ces textes des visiteurs expriment avec force le nécessaire besoin d'informations pour se forger une opinion à partir des faits historiques et en tenant compte des enjeux actuels. La Cité du Siècle vert a sans nul doute apporté une pierre angulaire à ces débats en rappelant à nos concitoyens, l'histoire, les réussites, les contraintes et le besoin sans cesse renouvelé d'innovations pour répondre aux enjeux futurs de la santé des plantes.

techniques, économiques, sociaux et environnementaux des évolutions de l'agriculture, de l'alimentation et de l'espace rural et forestier.

Cette démarche d'édition d'ouvrages de l'Académie est pilotée par le Comité Livres de l'Académie d'agriculture de France. Composé de dix acadé-

miciens aux cursus variés, il s'inscrit dans la pluridisciplinarité : sciences et techniques, sciences agronomiques et du vivant, sciences sociales et humaines, économie et gestion.

Deux maisons d'édition accompagnent cette démarche :

- Les Presses des Mines³ sont une maison d'édition créée en 1995 pour répondre à la nécessité de diffuser les publications de haut niveau du réseau des Ecoles des Mines. Dans le cadre d'une diversification en cours, les Presses de Mines ont accepté d'accompagner la démarche de notre Académie en créant une collection propre. Les Presses des Mines ne sont pas dans une logique commerciale mais dans celle de la diffusion de la connaissance scientifique à compte équilibré. C'est pourquoi, le lancement de chaque ouvrage s'accompagne d'une courte période de souscription. Les livres sont mis en vente à des petits prix. La collection « Académie d'agriculture de France » est dirigée par Catherine Regnault-Roger.

- Les Editions Quae⁴ rassemblent en une maison d'édition unique les publications scientifiques et techniques

3 <http://www.pressedesmines.com/presses-des-mines.html>

4 <http://www.quae.com/fr/livres.html>

Composition du Comité Livres de l'Académie

Mmes Noëlle Dorion et Catherine Regnault-Roger (section Productions végétales), Nadine Vivier (section Sciences humaines et sociales), et MM. Jean-Louis Bernard, Jean-François Colomer et André Fougeroux (section Agrofouritures), Christian Férault (section Economie et Politique), Léon Guéguen (section Interactions milieux-êtres vivants), Jean-François Morot-Gaudry (section Sciences de la vie), Philippe Kim-Bonbled chargé de la communication à l'Académie. Le comité est présidé par Catherine Regnault-Roger.



André Fougeroux commente l'exposition aux enfants des écoles

©UIPP

de l'Inra, l'Ifremer, l'Irstea et le Cirad depuis le 1^{er} juillet 2006. Les éditions Quæ sont un groupement d'intérêt économique (GIE). Les ouvrages de l'Académie publiés par Quæ ne font pas l'objet d'une collection particulière. Ils sont labellisés par l'Académie et sont signalés comme tels à l'intérieur de l'ouvrage et par le biais du logo de l'Académie en 4^{ème} de couverture. Ils sont hébergés dans deux collections « Enjeux Sciences » et « Clés pour comprendre ». Jean-François Morot-Gaudry est le directeur délégué des livres labellisés de l'Académie auprès des éditions Quæ.

LANCEMENT DE LA COLLECTION DES LIVRES DE L'ACADÉMIE

La Cité du Siècle vert a été l'opportunité de lancer les livres de l'Académie. Les maisons d'édition partenaires ont aimablement accompagné cette manifestation par leur présence ce qui a permis d'organiser des tables de dédicace des ouvrages par les auteurs.



©Presses des Mines



La table de presse

©Philippe Kim-Bonbled

Les premiers ouvrages de la collection des livres de l'Académie d'agriculture de France (Presses des Mines) ont été publiés au premier semestre 2018, un troisième le sera à l'automne :

- *Idées reçues et agriculture. Parole à la science*, ouvrage collectif, de Catherine Regnault-Roger (dir.), Gérard Tendron (préface) avec André Fougeroux, Léon Guéguen, Gil Kressmann, Bernard Le Buanec, Christian Lévêque, Claude Monnier, Gérard Pascal, Jean-Claude Pernellet et Paul Vialle ;

- *Santé du végétal : 100 ans déjà ! Regards sur la Phytopharmacie* avec les auteurs suivants : Catherine Regnault-Roger et André Fougeroux (dir.), Agnès Artiges (préface), Gérard Tendron (avant-propos), Claude Alabouvette, Bernard Ambolet, Jean-Louis Bernard.

- Un troisième livre paraîtra en octobre prochain sous le titre *Au-delà des OGM. Science-Innovation-Société*. Préfacé par Jean-Claude Pernellet, il réunit les réflexions de Catherine Regnault-Roger, Louis-Marie Houdebine, Agnès Ricroch,



Les auteurs de *Santé du végétal*

©Michael Archangelo

Claudine Franche, Marcel Kuntz, Brigitte Laquièze, Jean-Yves Le Déault, Catherine Procassia, et Virginie Tournay dans une approche pluridisciplinaire.

Les éditions Quae ont de leur côté publié en juillet 2017 un ouvrage labellisé de Christian Lévêque intitulé *La biodiversité : avec ou sans l'homme ?*

A ce jour (début juin 2018), les premières ventes de ces ouvrages sont très encourageantes pour des livres scientifiques, démontrant qu'il est important que l'Académie s'exprime : 700 exemplaires pour les livres *Idées reçues et agriculture. Parole à la science* et *La biodiversité : avec ou sans l'homme ?*, et plus du double pour l'ouvrage *Santé du végétal : 100 ans déjà ! Regards sur la Phytopharmacie* : sans doute un « effet Siècle vert » !

TRANSMETTRE LA PAROLE SCIENTIFIQUE, NOTRE BIEN COMMUN

Ces premiers ouvrages couvrent des sujets d'actualité qui déclenchent des débats passionnés et pour lesquels la parole scientifique n'est pas tou-

jours entendue, voire occultée au nom de croyances que Gérard Tendron, Secrétaire perpétuel, définit ainsi : « *La croyance consiste à tenir pour vraie une proposition indépendamment des preuves et des faits qui infirment ou confirment les hypothèses de départ* ». Il souligne que « *l'Académie d'agriculture considère de sa mission d'apporter des contributions aux débats par des analyses aussi objectives que possible* ».

C'est pourquoi, il est apparu important d'inscrire cet événement sous l'égide de la transmission de la parole scientifique qui est notre bien commun, et sur laquelle nous devons nous appuyer pour construire un futur de progrès.

Pour ce faire, après la présentation des missions de l'Académie d'agriculture de France et de l'Académie nationale de Pharmacie dont les Secrétaires perpétuels Gérard Tendron et Agnès Artiges avaient préfacé les deux premiers ouvrages de la collection des livres de l'Académie, et la présentation des thèmes des livres par leurs coordonnateurs, un débat sur la transmission de la parole scientifique a été animé par Jean-Paul Kri-

vine, rédacteur en chef de la revue *Sciences et pseudosciences* de l'Association française pour l'information scientifique (AFIS). Il a accueilli les témoignages de Jean-Yves Le Déault et de Virginie Tournay :

- Jean-Yves Le Déault est à la fois scientifique (professeur des universités, directeur d'un laboratoire de recherche et d'une faculté à Nancy) et homme politique, élu député pendant plus de 30 ans. Il a été président jusqu'en mai 2017 de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Avant de quitter l'hémicycle, il a porté la *Résolution sur les sciences et le progrès dans la République* votée à l'unanimité par l'Assemblée nationale le 21 février 2017.

- Virginie Tournay est directeur de recherche du CNRS, politologue et chercheur à Sciences Po Paris (CEVIPOF). Elle a pris l'initiative de publier une tribune en février 2018 dans le *Huffington Post*, signée par trois prix Nobel français et de nombreuses personnalités, et intitulée *la Culture scientifique est à reconquérir* dont elle a explicité la démarche et les objectifs.

Ce débat a été l'occasion de dresser un constat d'une parole scientifique qui a du mal à être audible et des facteurs qui freinent sa diffusion.¹

C'est donc bien sous l'égide de l'exhortation de Jean Jaurès que s'est résolument située cette manifestation :

« *Que la science soit près du moissonneur* » ■

¹ www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/la-seance-de-dedicates-des-livres-antifakenews-de-lacademie-le-17-mai-2018-la



Katia Laval
Membre de la section 7,
Environnement et territoires

Katia Laval

Membre de l'Académie d'agriculture

Prévoir les sécheresses du XXI^e siècle

Les recherches sur le climat s'affinent au fil des rapports du GIEC. Des conclusions peuvent ainsi être différentes d'un rapport à l'autre, alimentant quelques controverses sur la réalité des phénomènes. Il importe alors d'éclairer ces controverses, d'expliquer le travail des chercheurs, de rappeler que l'essence même de la science est d'être réfutable.

Katia Laval montre ici que les variations des conclusions scientifiques concernant les sécheresses ne sont pas dues au caractère chaotique du système climatique qui rend les résultats incertains, mais bien aux équations utilisées pour décrire le bilan d'eau et l'évaporation continentale.¹

On peut définir une sécheresse de manière simple comme une situation d'absence prolongée ou d'insuffisance marquée de précipitations, entraînant un manque d'eau pour certaines activités ou pour certains groupes.

Plus précisément, en suivant le quatrième rapport du GIEC, le Groupe intergouvernemental de l'étude du climat, on distingue :

- la sécheresse météorologique liée au déficit prolongé de précipitations,
- la sécheresse agricole liée au déficit d'humidité superficielle du sol (un mètre environ de profondeur de sol, correspondant à la zone racinaire),

- la sécheresse hydrologique liée à un débit de cours d'eau ou à un niveau d'eau des nappes sous leur valeur normale.

Ces sécheresses peuvent résulter :

- de trop faibles précipitations pendant la saison de remplissage des couches superficielles et profondes des sols,
- d'une fonte de neige anormalement faible,
- d'une évaporation de l'eau trop

¹ Une version de ce texte a fait l'objet d'une publication sur le site du Club des Argonautes : <http://www.clubdesargonautes.org/faq/intensite-des-secheresses.php>

intense, ce qui diminue les ressources en eau,

- d'une modification de l'infiltration ou du ruissellement qui modifie la quantité d'eau stockée par les nappes ou les cours d'eau.

PEUT-ON AFFIRMER QU'IL Y AURA UNE TENDANCE GLOBALE VERS PLUS OU MOINS D'ARIDITÉ ?

Le changement climatique créé par l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère affecte la distribution des précipitations. Certaines régions verront leur aridité augmenter alors que d'autres seront, au contraire, plus humides. On peut donc prévoir une modification des zones et de la fréquence des sécheresses.

Les politiques, les ONG et les médias évoquent souvent le fait que l'augmentation anthropique des gaz à effet de serre a pour conséquence un accroissement du nombre des sécheresses qui pourraient être plus intenses : ces propos, à juste titre, provoquent une vive inquiétude dans nos sociétés.

Le rapport AR4 du GIEC en 2007 allait d'ailleurs dans ce sens puisque l'on pouvait y lire que des sécheresses plus longues et plus intenses avaient été observées sur des régions plus étendues depuis 1970, particulièrement sur les régions tropicales et subtropicales. Cette référence a souvent été reprise lors de débats d'experts pour évaluer les risques de sécheresse sur les populations.

De nombreux épisodes de sécheresses survenues en Chine l'année 1997, entre 1999 et 2000 aux États-Unis, et de 2002 à 2008 en Australie semblaient montrer que cet accroissement de l'aridité était déjà en cours

sur tout le globe.

Cependant, quelques années plus tard, en 2013, le nouveau rapport AR5 du GIEC, aboutit à une conclusion différente puisqu'il indique une surestimation possible de l'accroissement des sécheresses régionales et globales.

Pourquoi cette contradiction entre les deux rapports, élaborés par la même communauté scientifique ? Doit-on accorder plus d'importance à la conclusion récente, qui devrait normalement s'appuyer sur des progrès obtenus par les scientifiques entre ces deux dates ? Quelles erreurs ou biais antérieurs du rapport 2007 avaient entraîné la révision de ces conclusions ? C'est cela que nous allons examiner.

LES INDICES POUR ÉVALUER L'ARIDITÉ

Ces indices dépendent de la source (la précipitation P) et des pertes d'eau. Ces dernières se composent de la transpiration des plantes, de l'évaporation de l'eau de pluie interceptée sur les feuillages et de celle du sol. La somme de ces trois termes est appelée "l'évapotranspiration".

Pour évaluer les dommages subis par les agriculteurs, on utilise fréquemment l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (PDSI). Cet indice est le rapport entre la précipitation P et l'évapotranspiration "potentielle" (EP). Celle-ci est, en quelque sorte, la valeur maximale de l'évapotranspiration qui se produirait si la surface restait bien mouillée tout au long de l'année, quand il y a suffisamment d'eau en surface pour répondre à la demande de vapeur d'eau par l'atmosphère.

Si une surface est très humide comme un gazon mouillé, l'évaluation de

l'évapotranspiration par une expression mathématique ne comporte pas de difficulté majeure. Sa détermination est assez précise. Quand la surface s'assèche, l'évapotranspiration diminue car la plante impose une certaine résistance au transport de l'eau du sol vers les pores des feuilles. Ceux-ci, appelés stomates, se ferment, ralentissant l'échange vers l'atmosphère. Cette diminution est délicate à calculer, car elle dépend de nombreux facteurs comme les caractéristiques des plantes, celles du sol ou encore la concentration en CO₂ de l'atmosphère.

Cet indice P/EP permet de classer les situations en fonction de leur aridité : hyper aride si $P/EP < 0.05$, aride si $0.05 < P/EP < 0.20$ et semi aride si $0.20 < P/EP < 0.50$

Une variation de 0.1 de cet indice suffit à passer d'une zone semi-aride à une situation aride.

L'évaporation potentielle EP est calculée de façon plus ou moins simple suivant l'usage et la précision que l'on veut atteindre. Souvent, dans le passé, l'indice PDSI a été déterminé en calculant cette EP comme une fonction croissante de la seule température (T), dont un exemple est la formule dite de Thornthwaite, souvent utilisée.²

Cette formule reliant directement l'EP à la température, le réchauffement du XX^e siècle entraîne une augmentation de l'EP, et partant, une diminution de cet indice.

Il faut souligner qu'il suffit d'avoir des enregistrements de températures et de précipitations, pour aboutir à une évaluation de l'aridité. Cette simpli-

² La formule de Thornthwaite (*Geogr. Rev.*, 1948) relie directement température et évapotranspiration potentielle.

citée explique la popularité de cette méthode.

Cependant cette relation ne peut être utilisée de manière générale, et on a montré, depuis de nombreuses années, que cette évaluation peut conduire à des résultats biaisés.

LES OBSERVATIONS DE L'ARIDITÉ DEPUIS L'ÈRE INDUSTRIELLE

La figure 1 montre l'évolution de l'indice PDSI sur la surface du globe de 1900 à 2002, calculé avec la formule de Thornthwaite. Elle indique une tendance à l'aridité particulièrement marquée pendant la deuxième moitié du XX^e siècle. Ce résultat a deux causes : la diminution de précipitations dans certaines régions, et l'augmentation de température, qui induit un accroissement de EP. Le réchauffement constaté au cours du XX^e siècle a donc renforcé l'aridité. La figure 1c montre que cette évolution est bien moins intense et moins étendue si l'on ne tient pas compte de la variation de température observée. La conclusion de cet article était que les surfaces très arides avaient plus que doublé depuis 1970, avec un saut brutal au début des années 1980 provoqué par l'influence d'El Niño sur les précipitations, qui a étendu l'expansion initiale liée au réchauffement climatique.

Ce résultat préoccupant a, bien évidemment, attiré l'attention des chercheurs et des médias. Il a été pris comme un facteur essentiel pour calculer les impacts de ce changement climatique sur la ressource en eau. Sachant que l'accroissement de la démographie conduit inévitablement à de plus grands besoins de cette ressource essentielle pour l'énergie, l'industrie, l'agriculture, les besoins domestiques, cette conclusion a sus-

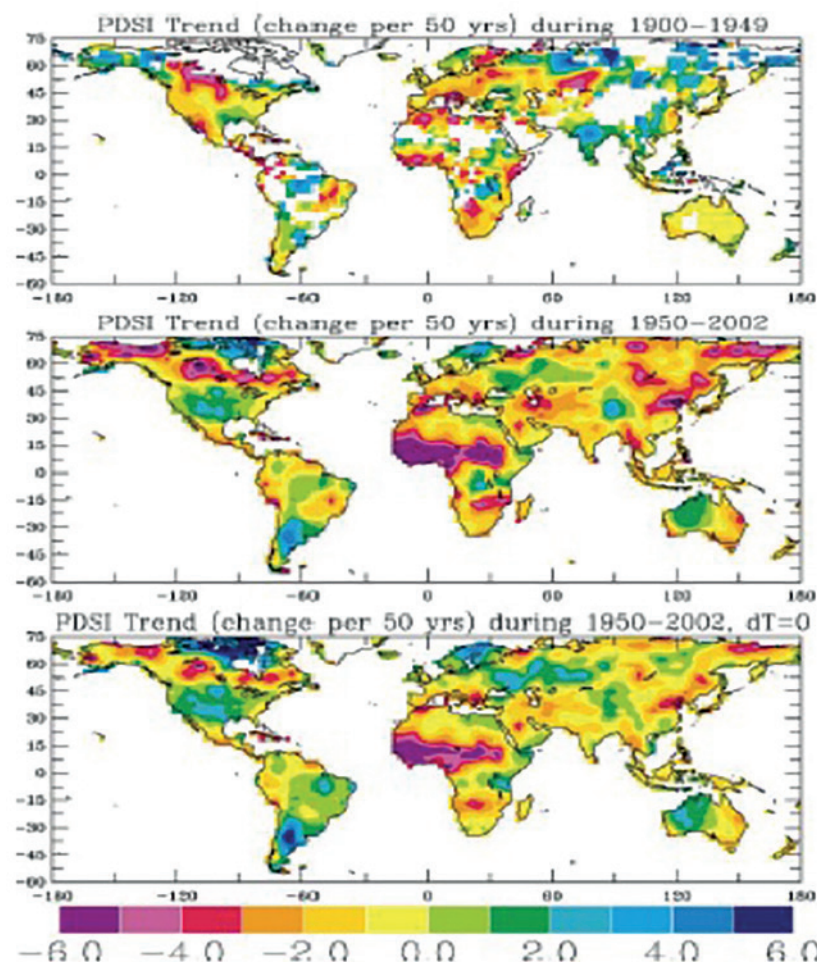


Figure 1 : Distribution des variations de PDSI (exprimées en variation par 50 ans) calculées à partir des évolutions des précipitations et des températures pendant (en haut) 1900-1949; au milieu 1950-2002; en bas le calcul est fait sans tenir compte de la variation de température. Le rouge (bleu) indique un assèchement (humidification).
source : Dai A., Trenberth K. and Qian T. (2004): A global data set of Palmer Drought severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming, *J. of Hydrometeorology*.

citée une angoisse compréhensible.

Cependant, les spécialistes des échanges entre la surface terrestre et l'atmosphère ont souligné les faiblesses de la formule de Thornthwaite. Le calcul de l'EP doit être plus rigoureux quand on compare des climats subissant des conditions météorologiques ou de rayonnement contrastés. L'évapotranspiration dépend non seulement de la température, mais aussi du rayonnement, de l'humidité de l'air et du vent, ces trois autres facteurs

jouant un rôle direct et bien connu sur l'évaporation (l'expérience familière du linge qui sèche sur une corde nous le rappelle). Une formule bien plus précise, la formule de Penman-Monteith, tient compte de ces autres facteurs. Mais pour utiliser une telle relation sur toutes les surfaces terrestres, il faut avoir des enregistrements de toutes ces quantités. La détermination de ces autres paramètres climatiques pour la deuxième moitié du XX^e siècle a permis de progresser.

Sheffield et al, en 2012, s'appuient

sur la formule de Penman-Monteith pour évaluer les changements d'aridité sur la planète. Bien que cette analyse soit en accord avec la précédente sur certaines régions, elle montre que la formulation de Thornthwaite surestime cette tendance à l'aridité.

Pour évaluer l'évolution de l'aridité globale, les auteurs prennent en compte tour à tour quatre banques de données de précipitations disponibles. Cela leur permet d'évaluer un intervalle de confiance sur l'indice global. L'accroissement global de l'aridité n'est pas significatif quand on tient compte de ces incertitudes, comme le montre la figure 2.

Cette analyse démontre la difficulté d'aboutir à une conclusion tout à fait établie, sur l'accroissement de l'aridité globale déjà observé au cours du XX^e siècle. On comprend dès lors la prudence du rapport AR5 du GIEC qui souligne "une possible surestimation de la tendance à l'aridité" estimée par le passé.

LES SÉCHERESSES FUTURES VUES PAR LES MODÈLES

Peut-on affirmer que le réchauffement climatique dû à l'accroissement du dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente globalement le risque de sécheresses ?

Les modèles climatiques représentent les circulations générales de l'atmosphère et de l'océan (les MCG) et prévoient donc les évolutions du climat. Ces modèles calculent, à la surface des terres émergées, la distribution de rayonnement, de température, de vent, d'humidité de l'air au cours du XXI^e siècle, en choisissant un scénario

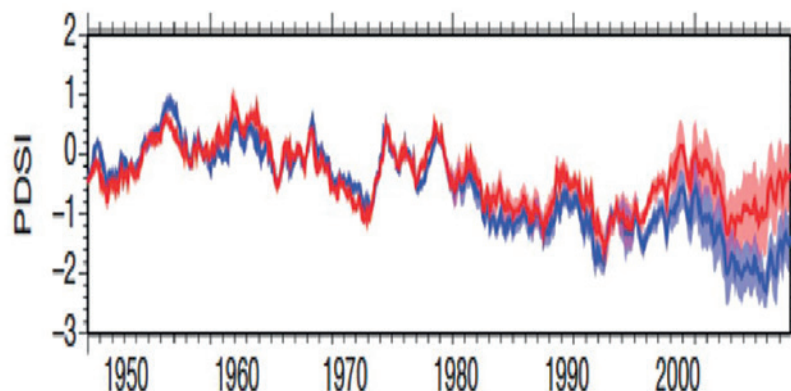


Figure 2 : Série temporelle de l'indice PDSI global, calculé avec la formulation Thornthwaite (en bleu) et Penman Monteith (PM en rouge). La zone colorée représente l'écart obtenu en tenant compte de l'incertitude sur les précipitations (et le rayonnement pour PM).

source : Sheffield J., Wood A. and Roderick M. (2012): Little change in global drought over the past 60 years. Nature.

d'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère.

À partir des valeurs de ces paramètres du climat futur, des chercheurs ont calculé l'évolution de l'aridité sur la planète. Pour cela, très souvent, on utilise des modèles d'impact. Ceux-ci ont généralement une meilleure résolution que le modèle MCG, ou une représentation plus détaillée de certaines caractéristiques (la végétation mieux définie par exemple), ou de certains mécanismes (comme le transport de l'eau dans les différentes couches de sol). Ces modèles d'impact prennent donc les caractéristiques des climats futurs obtenus par les MCG pour calculer de manière plus précise l'aridité.

De telles études, même récentes, ont souvent conclu que l'aridité augmentera globalement sur les régions semi-arides au XXI^e siècle.

Pour comprendre l'origine de ces résultats, nous allons examiner les évolutions futures des différents paramètres hydroclimatiques calculés par les MCG.

D'une part, les MCG indiquent une

augmentation globale des précipitations induite par l'augmentation des GES dans l'atmosphère. Cette conclusion est considérée comme un résultat robuste des modèles. Il est alors surprenant que le climat devienne plus aride globalement. D'autre part, les modèles calculent aussi un accroissement de l'évaporation globale, et l'ensemble de ces deux résultats est souvent résumé par "le cycle hydrologique sera plus intense". Dès lors, pour que la sécheresse augmente au cours du XXI^e siècle, il faut que l'effet sur l'indice de l'augmentation de l'évaporation l'emporte sur celui dû à la précipitation.

L'estimation réelle de l'évaporation globale sur les terres émergées a longtemps été délicate. En effet, il est difficile, à partir de mesures locales, d'en déduire une valeur de l'évaporation sur de grandes étendues. Cependant il a été possible, ces dernières années, de combiner au mieux plusieurs méthodes pour obtenir une évaluation de cette quantité. Des mesures satellitaires, des ré-analyses des Centres de prévisions météorologiques, des évaluations sur des



Zabriskie Point. Située en Californie, la “Vallée de la Mort” fait partie du désert des Mojaves, un des déserts les plus secs du monde. Les pluies y sont sporadiques et sont évacuées par ruissellement aussitôt qu’elles atteignent la surface. © G. Laval

bassins versants (à partir des précipitations et des écoulements en utilisant un bilan d’eau), des modélisations ont permis de constituer des banques de données entre 1989 et 1995, qui ont été comparées aux calculs des MCG³. En moyenne annuelle, l’évapotranspiration calculée par les MCG est supérieure à ces données. Ce biais est général quand les surfaces sont humides, donc pendant la saison pluvieuse. Au fur et à mesure que les pluies faiblissent, les réserves en eau diminuent rapidement, et une situation d’assèchement trop précoce et prononcé des sols peut subvenir. Les réserves en eau devenant trop faibles, l’évapotranspiration chute alors brutalement, et bien plus que dans la réalité.

Ces remarques soulignent l’import-

tance de la saison dans les écarts entre modélisation et données. On a montré que si la surestimation de l’évapotranspiration globale en moyenne annuelle est une caractéristique de tous les modèles ayant participé au 5^e rapport du GIEC, c’est le contraire qui peut se produire sur certaines régions, en saison sèche (comme en été sur les moyennes latitudes, ou bien sur les régions semi-arides quand il ne pleut pas).

La température d’une surface dépend des échanges d’énergie entre la surface et l’atmosphère. Le rayonnement solaire est la source d’énergie; il est équilibré par trois puits qui tendent à refroidir la surface. Ces termes sont le rayonnement thermique, l’évaporation et le flux de chaleur. Or, la tempéra-

ture dépend de l’importance de chacun de ces termes. Quand la surface est humide, l’évaporation est généralement le terme prépondérant. Quand la surface est sèche, ce sont les flux de chaleur et le flux radiatif qui compensent le rayonnement solaire. La dépendance en température de ces différents termes est très différente. La température croit quand l’évaporation diminue (pour les mêmes conditions météorologiques). C’est pourquoi, on peut trouver en été une variation de température de 20° entre deux champs, dont l’un a été irrigué alors que l’autre parcelle est sèche.

³ Mueller, B. et al, (2013): Benchmark products for land evapotranspiration. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*

On associe souvent un climat sec avec une température chaude, mais c'est souvent le fait d'avoir une surface sèche qui provoque un réchauffement, et non l'inverse.

Les modèles évoqués plus haut vont donc obtenir, en saison sèche, une température trop chaude⁴. Ce biais amplifiera de manière irréaliste le réchauffement climatique créé par les émissions de GES⁵, en été, dans les moyennes latitudes.

Les modèles d'impact utilisés pour calculer l'aridité globale peuvent eux aussi avoir d'autres faiblesses. Ainsi, il est fréquent qu'ils ne tiennent pas compte de l'impact biologique direct de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère sur la végétation, ce qui conduit à une surestimation de la transpiration. En effet, l'accroissement de la concentration du CO₂ atmosphérique déjà observé est en partie la cause d'un reverdissement des régions arides lié à une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau par la végétation. Cet effet réduit la transpiration.

Tous ces biais ont conduit les chercheurs à être prudents sur l'augmentation de l'aridité globale, créée par le changement climatique.

CONCLUSION : INSAISSABLE SÉCHERESSE

Le changement climatique provoque des modifications de la température et des circulations océaniques et atmosphériques. On peut s'attendre à ce que des régions deviennent plus arides et d'autres moins. Mais on ne peut, au vu des connaissances actuelles, affirmer que, globalement, les zones arides et semi-arides vont s'étendre sur de plus grands territoires.

Une étude récente⁷ fait une évaluation des observations et des prévisions des modèles initiées par le dernier GIEC (AMIP 5) avec un titre évocateur : "elusive drought" (insaisissable sécheresse).

Il y a cependant quelques régions particulières où un grand nombre d'études concluent à un risque d'aridité accru avec le changement climatique. La Californie et le pourtour méditerranéen en sont des exemples. Les diverses analyses des climats de ces régions semblent avoir suffisamment de cohérence pour que cette conclusion soit considérée comme fortement probable.

En revanche, on a prétendu, que le Sahel deviendrait plus aride à cause du changement climatique, ce qui est en désaccord avec la prévision des

modèles. De plus, bien que le Sahel ait connu des sécheresses épouvantables durant les décennies 1970 et 1980, le Sahel reverdit depuis les années 1990, et les précipitations ont augmenté, du moins sur certaines régions.

En conclusion, la connaissance du futur des sécheresses au niveau global reste donc un sujet d'études qui a progressé, mais qui est encore difficile à cerner. Il est nécessaire de mieux analyser l'évolution saisonnière des bilans d'eau, car les faiblesses et biais peuvent être différents suivant la saison.

N'est-il pas plus important que les chercheurs aient pour objectif de déterminer plus précisément la prévision des sécheresses régionales, que de rechercher une moyenne globale qui peut cacher une grande diversité de situations ? ■

4 Laval K. et G. Laval (2013), *Incertitudes sur le climat*. Belin

5 Cheruy F et al., (2014), Role of clouds and land atmosphere coupling in midlatitude continental warm biases and climate change amplification in CMIP5 simulations. *Geophys. Res. Letters*

6 Milly P. C. and K. Dunne (2016), Potential evaporation and continental drying, *Nature climate change*

7 Orłowsky B. and S. I. Seneviratne (2013), Elusive drought: Uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections. *Hydrol. Earth Syst. Sci*



DOSSIER

La requalification des friches industrielles et urbaines pour préserver les sols agricoles

Dossier coordonné par Jacques Berthelin

Avant-propos

La requalification des friches industrielles et urbaines pour préserver les sols agricoles

Pour maîtriser l'urbanisation et limiter la consommation et la destruction des sols agricoles (agrosystèmes et écosystèmes forestiers), la requalification des zones industrielles abandonnées, mais aussi urbaines en déshérence, constitue une excellente opportunité pour définir des politiques d'aménagement non seulement des villes et métropoles mais aussi des campagnes.

Cette requalification passe, outre les projets urbanistiques proprement dits, par la prise en compte de contraintes d'ordre réglementaire, environnemental et technique intégrant bien sûr la protection de la santé humaine.

La politique nationale des sites et sols pollués qui propose un cadre juridique et réglementaire d'une part et le développement de techniques physiques, chimiques, éco-toxicologiques, écologiques, d'autre part, offre aujourd'hui, aux différents acteurs de la réhabilitation des friches industrielles, des outils pour conduire à bien un projet de réhabilitation.

Les démarches de requalification-réhabilitation nécessitent des expertises techniques et des compétences spécialisées qui mettent en œuvre des outils d'évaluation et de gestion des risques sanitaires et environnementaux d'une part, et des méthodologies de traitement des pollutions et d'aménagement des paysages d'autre part, mais aussi des reconstructions de sols (e.g. Technosols).

Ces requalifications des friches industrielles, guidées par les usages envisagés de ces sites, présentent un enjeu économique, environnemental et sociétal majeur et font appel à des approches pluridisciplinaires.

Les articles de ce dossier apportent un éclairage sur divers aspects majeurs de la requalification des friches industrielles en présentant un historique de son émergence et de son développement ; des définitions des friches ; la mise en place d'inventaires et bases de données ; la création d'outils réglementaires et méthodologiques de définition des dangers et risques et de traitements et gestion des friches industrielles. Des présentations de réalisations (site Renault de Boulogne – Billancourt), de programmes d'aménagement (Vallée de la Chimie de la métropole lyonnaise), de développements scientifiques et techniques (les Technosols, les phytotechnologies, l'utilisation de l'arbre) apportent des regards et ouvrent des fenêtres sur des réalisations et des voies prometteuses en émergence.

Jacques Berthelin

Membre de l'Académie d'agriculture de France

Ancien directeur du Centre de pédologie biologique du CNRS



Jacques Berthelin

*Membre de l'Académie
d'agriculture*

*Ancien directeur du Centre de
pédologie biologique du CNRS*



Laurent Rouvreau

*Directeur adjoint, Relations avec
les entreprises, Direction du déve-
loppement, BRGM*

Jacques Berthelin et Laurent Rouvreau

La requalification des friches industrielles, un enjeu économique, environnemental et sociétal pour les villes et les campagnes

Les villes, les agglomérations, les métropoles, mais aussi les territoires ruraux des petites villes aux villages sont aujourd'hui confrontés, dans la définition et la mise en œuvre de leur politique d'aménagement, à des enjeux contradictoires. En termes de logement, d'infrastructures, de développement industriel, commercial, culturel et de loisirs d'une part, et de conservation de terres agricoles de bonne qualité d'autre part, il s'agit de conjuguer la demande d'une urbanisation toujours plus importante qui privilégie l'habitat individuel, avec une volonté politique et sociétale qui vise à maîtriser l'urbanisation et limiter la consommation et la destruction des sols agricoles et forestiers. Les agrosystèmes et les écosystèmes forestiers doivent assurer des fonctions et services essentiels et fondamentaux pour l'humanité et le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Ces enjeux vont bien au-delà des productions agricoles et forestières et concernent aussi le contrôle et l'atténuation du changement climatique, les réserves et la qualité de la ressource en eau, le fonctionnement des cycles biogéochimiques (C, N, P, S, Fe, etc.). En fait, l'ensemble des fonctions et services que rendent les sols au bon fonctionnement de la zone critique de la Terre où s'épanouit la

vie (Berthelin J. *et al.*, 2015 ; Berthelin *et al.*, 2018).

Les sols doivent, en priorité, assurer la sécurité alimentaire en contribuant directement ou indirectement, pour 95 % aux besoins de l'humanité (FAO 2015 a, 2015 b), alors qu'au cours des trente dernières années (1981-2012), les surfaces des terres agricoles en France (51 % du territoire métropolitain soit 28,2 millions d'hectares en 2012), ont considérablement diminué au profit des espaces urbanisés (5 millions d'ha, soit 9 % du territoire en 2012). Les sols naturels (sols boisés, landes et friches, sols nus naturels et zones humides) restaient relativement stables (21,7 millions d'hectares soit 40 % du territoire métropolitain).

Ces pertes continues de terres agricoles sur le territoire métropolitain depuis 30 ans correspondent à 6,9 % de la surface des terres agricoles, soit environ 2 millions d'ha et l'équivalent de 3,8 % du territoire métropolitain ou bien encore des deux plus grands départements métropolitains réunis, la Gironde et les Landes. Elles semblent se ralentir pour passer d'environ 52 000 ha de surface agricole utile (SAU) par an entre 2008 et 2010 à 42 000 ha par an de 2010 à 2012 (Masero *et al.*, 2014).

Ces pertes de sols arables en raison de l'urbanisation et du développement industriel sont aussi très préoccupantes au niveau mondial.

Cet accroissement considérable des surfaces urbanisées en 50 ans (par ordre décroissant d'occupation : routes et infrastructures ; parcs, jardins publics ou privés, terrains de sport ; sols bâtis ; mines, carrières ; zones interdites (e. g. militaires), peut être freiné par la reconquête des zones en désuétude et des friches industrielles. La requalification des friches industrielles, souvent situées en périphérie des villes, héritage d'un passé industriel et d'activités minières, sidérurgiques, textiles, ... abandonnées, mais aussi présentes en milieu rural dans d'anciennes régions industrielles, peut constituer une bonne opportunité pour repenser et redéfinir l'aménagement d'un territoire et protéger les bonnes terres agricoles souvent situées à la périphérie des villes.

La requalification de ces friches, leur réappropriation par la collectivité et la population au travers de nouveaux usages passent, outre la réflexion urbanistique proprement dite, par la prise en compte de contraintes d'ordre réglementaire et environnemental, mais aussi technique. L'histoire des occupations et activités de ces sites industriels, anciens ou plus récents, dont l'activité cesse ou évolue, peut conduire à engager des actions de dépollution et de gestion des sols et des matériaux excavés afin de rendre possible un changement d'usage. Leur déconstruction est parfois complexe, avec la présence fréquente de matériaux contenant de l'amiante ou encore imprégnés de polluants organiques ou métalliques.

Les projets de requalification doivent être mis en perspective avec des aspects sociétaux et les attentes de la population. Celle-ci demande aujourd'hui à être associée à la réflexion sur le projet, l'aménagement. Ces attentes s'expriment parfois sous des formes contradictoires, comme par exemple, lorsque certains souhaitent conserver le souvenir de ce passé industriel, alors que pour d'autres il est essentiel de le gommer totalement pour faire disparaître l'image négative du site en lien avec son histoire, et que d'autres enfin vont exprimer des doutes sur l'efficacité des travaux de remise en état, remettre en cause l'avis des « experts ». A-t-on assez dépollué pour construire une crèche ? Nous cache-t-on quelque chose ?...

La collectivité qui va porter ces projets doit s'approprier l'ensemble de ces enjeux, conjuguer ces multiples attentes, intégrer des préoccupations parfois opposées ou contradictoires, dans un calendrier qui s'inscrit nécessairement dans un temps long, entre démarches réglementaires, définition du projet, contraintes techniques (travaux de dépollution et réalisation du projet). Ce planning s'étalera d'autant plus que toutes ces contraintes n'auront pas été prises en compte à leur juste poids et dans le bon tempo. L'un des facteurs essentiels à la réussite d'un projet de requalification réside dans la capacité de son porteur à associer l'ensemble des parties prenantes très tôt dans la réflexion, à gérer le planning et l'enchaînement des actions, et à susciter une confiance suffisante dans la rigueur de la démarche pour que tous puissent partager autour de quelques questions essentielles.

Comment conjuguer pollution et aménagement en appliquant la politique

nationale en matière de sites et sols pollués qui prévoit que le niveau de dépollution dépend de l'usage futur d'une parcelle ? Les « besoins » en matière de dépollution pour construire un immeuble de bureaux ne sont pas les mêmes que pour une zone pavillonnaire avec jardin qui accueillera des enfants toute l'année.

Comment accompagner la société civile (les riverains et les futurs occupants du site) dans l'appropriation de cette notion de dépollution selon l'usage et la mutation d'un site ? En effet, la notion de « pollution » demeure un sujet de débat et d'incompréhension fréquent en raison des différences de perception entre les divers acteurs d'un projet sur ce qu'il recouvre.

Comment chiffrer la dépollution alors que, dans les premières étapes d'un projet, l'on ne dispose que d'éléments de programmes généraux tels qu'un nombre de mètres carrés à bâtir avec une répartition en pourcentages entre bureaux et logements, avec un nombre d'établissements destinés à accueillir du public (crèches, écoles, salles de spectacles, etc.) sans que tout cela soit positionné précisément sur un plan ? Doit-on tenir compte de l'état environnemental du site pour positionner définitivement les différentes composantes d'un projet ou réserver une part modulable des actions de dépollution en fonction de l'évolution des besoins du projet ?

Comment améliorer la gestion des terres excavées, leur recyclage ? Comment reconstruire des sols en intégrant au moins en partie leurs principales propriétés fonctionnelles ? Quelles seront les retombées économiques et sociétales ?

Les réponses, sinon des éclairages à ces questions essentielles, sont abordées, avec des illustrations dans ce dossier. ■

RÉFÉRENCES

Berthelin J. *et al.*, 2015. Dossier « Le Sol : un patrimoine à valoriser », *Revue Acad. Agri.* 7, 35- 50.

Berthelin J., Valentin C., Munch J.C., 2018. Les sols au cœur de la Zone Critique (volume1), Fonctions et Services, ISTE éditeur.

FAO 2015 a. *Status of the World's Soil resources*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO 2015 b. *Healthy soils are the*

basis for healthy food production. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Masero J., Fontes-Rousseau C., Cébron D., 2014. Utilisation du territoire de France métropolitaine, *Agreste Primeur*, 313, 1-8.



Ensemble, nous préservons la nature pour les générations futures.

Si le Good Growth Plan* est florissant, c'est grâce aux personnes qui l'incarnent. Luciane Copetti travaille avec Syngenta, des exploitants et des ONG pour montrer qu'une production de soja durable peut avoir un énorme impact sur l'économie du Brésil et préserver la nature pour les générations futures. Au titre du Plan, nous nous sommes engagés à faire prospérer la biodiversité de 5 millions d'hectares de terres agricoles d'ici à 2020. C'est grâce à des gens comme Luciane que nous créons davantage de bords de champs et que l'agriculture respecte davantage la nature, ce qui est bénéfique pour tous sur le long terme. Pour en savoir plus, rendez-vous sur goodgrowthplan.com.

Être ensemble rend plus fort.

* Le Plan de croissance responsable

© 2017 Syngenta. Tous droits réservés. La marque SYNGENTA et THE GOOD GROWTH PLAN* sont des marques commerciales d'une société du groupe Syngenta. www.syngenta.com



Jacques Berthelin

*Membre de l'Académie
d'agriculture*

*Ancien directeur du Centre de
pédologie biologique du CNRS*

Jacques Berthelin

avec la collaboration de Philippe Bataillard,
Franck Marot et Laurent Rouvreau

Mise en place de la reconquête des friches industrielles : de leurs définition et inven- taire à leur dépollution et requalification

Les crises industrielles de la sidérurgie, des activités charbonnières et textiles, qui débutèrent dans les années 1960, ont amené l'abandon de nombreux sites et usines pour des causes essentiellement techniques et économiques. Ces abandons devenus « dramatiques » dans les années 1970-1980 ont conduit à la multiplication de friches industrielles.

Ces friches industrielles sont communément définies en France comme des terrains sur lesquels subsistent des installations industrielles à l'abandon. D'autres définitions sont plus précises et/ou plus

larges comme celle proposée par le réseau CABERNET (*Concerted Action on Brown field and Economic Regeneration Network*)¹ et utilisée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières). Les friches industrielles sont des « sites qui ont été marqués par leur utilisation passée et sont actuellement abandonnés ou sous-utilisés. Elles peuvent présenter des problèmes de contamination réels ou perçus, et nécessitent une intervention pour retrouver un usage bénéfique ». Aux États-Unis, pour l'Agence de protection de l'environnement², une friche industrielle est un site industriel ou commercial abandonné, inoccupé ou sous-utilisés et pour lequel une expansion ou un redéveloppement est compliqué par la contamination réelle ou perçue.

Ce sont souvent de grandes emprises à l'abandon ou en friches (e. g. anciens sites de productions sidérurgiques avec des cokeries, anciens sites miniers, métallurgiques, textiles, etc.) ou des myriades de petits espaces enchevêtrés dans un habitat en petit parcellaire (atelier de mécanique ou de produits chimiques, stations services, etc.).



Ancien site sidérurgique en Lorraine, avec en premier plan, une zone contaminée par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des déchets métalliques et en second plan une zone « fertile », peu ou pas contaminée, où la végétation s'est installée © J. Berthelin

¹ www.cabernet.org.uk

² *Environmental Protection Agency* - EPA



Surface d'un sol de friches sidérurgiques contaminé par des HAP et des poussières métalliques © J. Berthelin

Dès 1970, l'État et les régions amorcèrent la création d'organismes aptes à conserver des réserves foncières, non seulement pour acquérir des terrains vierges, mais aussi pour reconverter des sites d'activités anciennes ou de friches, même pollués, en partenariat entre l'État, les collectivités et les acteurs socio-professionnels. C'est ainsi que furent créés les établissements publics fonciers régionaux comme l'Établissement public foncier de Lorraine (EPFL) en mars 1973 ou bien encore, l'Établissement public foncier du Nord-Pas-de-Calais en décembre 1990.

LES INVENTAIRES

Le premier inventaire des sites pollués en France, fut effectué en 1978. Deux principaux types d'inventaires des sites et sols pollués ou potentiellement pollués furent mis en place dès les années 1990. Une base de données, BASOL³, gérée par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), maintenant ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), concerne les sites et sols pollués ou

potentiellement pollués, appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif pour prévenir les risques sur les personnes et l'environnement. BASOL avait répertorié 6 442 sites en 2016 et 6 798 en 2018. Elle fournit divers renseignements sur la diversité des situations (friches et sites orphelins sans propriétaires voire sans historique), sur les types de pollutions dont 25 % sont inorganiques (métaux et métalloïdes) et 65 % essentiellement organiques (hydrocarbures dont 15 % d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et 18 % d'hydrocarbures chlorés). De nombreuses pollutions sont très fréquemment mixtes, organiques et inorganiques. Bien souvent, la pollution peut largement déborder les limites cadastrales du site (par infiltration et contamination des nappes, dispersion des polluants par ruissellement, par érosion éolienne, etc.).

Un second type d'inventaire (BASIAS, coordonné par le BRGM), effectue un recensement de tous les sites industriels ou d'activités de services, abandonnés ou non abandonnés, susceptibles d'engendrer une pollution

de l'environnement (sols, eaux, air). Ces sites BASIAS, dont l'inventaire est encore en cours, ne sont pas forcément des friches. Ils sont évalués au nombre de 300 000 en 2018, auxquels s'ajouteront ceux de l'ancienne région Rhône-Alpes (actuellement au nombre de 40 450), répertoriés séparément.

Dans ces inventaires, les données sur les surfaces concernées ne sont pas toujours bien établies et devraient être précisées.

D'autres types d'inventaires, comme les inventaires historiques urbains (IHU) réalisés à l'échelle cadastrale, ou bien encore la constitution de fonds géochimiques naturels (FGN) et urbains (FGU) impulsés par le ministère en charge de l'Écologie contribuent à améliorer l'inventaire des friches et la constitution d'un fonds de données géochimiques de référence. Cette connaissance du fonds géochimique et des pollutions inorganiques et organiques peut bénéficier d'études antérieures portant sur la prospection géochimique, la contamination et les teneurs des métaux dans les sols (Bourrelier et Berthelin 1998 ; Baize et Tercé, 2002), mais aussi sur la pollution des sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés (Colin 2000, Leyval 2011). La mise en place des Secteurs d'informations sur les sols (SIS), prévue par le décret du 26 octobre 2015 dans la loi ALUR, vise à recenser pour janvier 2019, dans chaque département, les sites pollués qui, en cas de changement d'usage, justifient la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution. Cet inventaire historique, en collaboration avec le

³ <https://basol.developpement-durable.gouv.fr/tableaux/home.htm>

BRGM, actualisera les données sur les anciens sites industriels et artisanaux pour sécuriser les opérations foncières et les projets d'aménagements pour chaque département français.

Récemment (2018), le réseau LIFTI (Laboratoire d'initiatives foncières et territoriales innovantes) a entrepris la réalisation d'un « inventaire des inventaires » en reprenant des initiatives locales visant à répertorier les sites en friche sur un territoire donné.

LES VOIES ET TECHNIQUES DE TRAITEMENTS DES SOLS POLLUÉS

Alors que les problèmes des sites pollués ne faisaient pas encore l'objet d'une réelle prise de conscience en France, des politiques régionales de traitement des espaces dégradés ont été engagées très tôt, comme, par exemple, en 1986 en Lorraine avec l'implication de l'EPFL car près de 6 000 ha souvent pollués, y avaient été abandonnés dans des sites urbanisés. Dans le Nord-Pas-de-Calais ce sont 1 044 sites sur 9 656 ha qui avaient été recensés en 2002.

Pour mieux maîtriser la connaissance, les traitements et l'aménagement des sols pollués, les Établissements publics fonciers, les régions, les industriels, aideront ou favoriseront, en interactions avec les collectivités locales et régionales, les universités, écoles d'ingénieurs, organismes de recherche, le développement de pôles de compétences et de recherche « sites et sols pollués » comme par exemple le GISFI (Groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles) en Lorraine.

Le traitement des sols pollués dont les objectifs prioritaires sont la protection de la santé humaine, de la res-

source en eau et des écosystèmes, peut prendre diverses voies et avoir des objectifs qui dépendent en priorité des usages futurs de ces sites et de la pression foncière qui s'y exerce.

Ces actions et traitements peuvent aller de mesures de surveillance de l'état des polluants, de leur mobilité réelle ou potentielle vers les nappes, vers l'atmosphère, à des opérations de dépollution complète de l'ensemble du site. Le choix du traitement et le niveau de dépollution visé ne sera pas le même s'il s'agit d'une future zone résidentielle ou d'un terrain destiné à des productions forestières. Ainsi, les sites de friches industrielles ou d'activités industrielles en évolution, en reconversion ou cessantes, en Ile de France et plus particulièrement dans le périmètre du Grand Paris, en raison de leur réemploi avec des objectifs économiques et/ou sociétaux forts (zone résidentielle et d'habitats, activités nouvelles tant industrielles que commerciales ou culturelles) seront requalifiés et recyclés avec beaucoup plus de facilité et de rapidité, que des sites de régions de reconversions industrielles comme en Lorraine ou dans le Nord-Pas-de-Calais, voire même en région Rhône-Alpes, où pourtant des requalifications de grande ampleur se mettent en place. En fait, il est plus facile de requalifier ou de reconverter un site comme celui de Boulogne-Billancourt, qui fait l'objet d'un article dans ce dossier, et dont la reconversion s'appuie sur une politique volontaire de l'industriel, qu'un site sidérurgique ou textile de Lorraine ou de Nord-Pas-de-Calais ! La réutilisation des friches devrait être un atout pour le réaménagement des régions. Les ouvrages et terrains se recyclent ou se reconvertissent d'autant mieux, que la région est attractive pour les

capitales et les nouvelles entreprises. Ainsi, pour de grandes friches sidérurgiques, localisées dans le nord de la Lorraine, le groupe sidérurgique Arcelor-Mital, actuel propriétaire, veut définir les besoins des communes en terme d'habitat, de commerce et d'équipement pour déterminer la faisabilité de reconversion du site et la rentabilité du projet

La restauration des sols pollués et leur requalification, en fonction des usages impliquent une définition et caractérisation précises du site. Elle passe d'abord par une analyse historique des activités, complétée par une caractérisation physique, chimique et biologique du milieu, par l'analyse qualitative et quantitative du ou des polluants et de leur mobilité. L'ensemble des caractérisations de la zone polluée conduit à l'évaluation du danger et des risques pour la santé et l'environnement. Le ou les traitements seront choisis en fonction des caractéristiques du site et des paramètres cités ci-dessus, des usages envisagés, des coûts et délais de mise en œuvre et de réalisation.

Les méthodes de traitements visent à éliminer, à confiner ou à immobiliser la pollution et utilisent des procédés physiques, chimiques et biologiques (Leyval 2011, Morel *et al.* 2011, Berthelin et Munch 2015). Le plus souvent, c'est non pas une mais plusieurs techniques complémentaires qui sont mises en œuvre, par exemple physiques et biologiques, pour une meilleure efficacité et rapidité du traitement comme le pompage ou séparation des phases porteuses des polluants organiques suivi de leur biodégradation dans un réacteur sur site. En fonction de la technique utilisée, les traitements sont appliqués in situ sur les sols en place (sans exca-

vation des terres), ou sur le site lui-même sur les terres excavées, ou bien encore sur les terres excavées hors site dans des centres de traitements spécialisés. Après avoir subi un traitement de dépollution sur site ou hors site, les terres excavées traitées peuvent être placées en centre de stockage contrôlé. Certaines de ces terres qui ne sont plus, après traitements, des déchets, mais des résidus, peuvent ou pourraient être utilisées comme matériaux d'appoint pour des remblais ou encore dans des cimenteries. La gestion des terres excavées est, dans l'avenir, à mieux définir pour recycler efficacement ces matériaux.

Les méthodes physiques utilisent divers procédés : l'immobilisation des polluants par confinement dans un espace clos contrôlé ou par vitrification ; la séparation granulométrique de la fraction porteuse de la pollution ; la séparation des phases liquides ou gazeuses par pompage, ventilation des polluants ; l'incinération ; la désorption thermique. Les phases liquides ou gazeuses recueillies sont le plus souvent traitées par exemple par biodégradation des polluants organiques, par récupération sur résines échangeuses de métaux. Les méthodes chimiques vont utiliser des réactifs pour extraire ou dégrader les polluants par des lixiviations utilisant l'eau ou des solvants plus ou moins spécifiques, additionnés ou non de composés comme des produits tensio-actifs qui améliorent l'extraction. Les produits utilisés pour ces lixiviations et extractions peuvent aussi assurer la transformation des polluants par des réactions de réduction, d'oxydation, de complexation. Elles peuvent être aussi couplées à des méthodes physiques ou biologiques qui améliorent l'extraction ou



Traitement par biodégradation de terres polluées par des HAP, disposées en andains de 100 à quelques centaines de tonnes, sur site © J. Berthelin

la dégradation.

Les méthodes biologiques (Leyval, 2011) vont mettre en œuvre des microorganismes (bactéries, champignons) ou des plantes ou l'association de ces deux types d'organismes. Les microorganismes peuvent agir in situ sur les sols en place, sur le site ou hors site sur les terres excavées. Ex situ sur site ou hors site, les biodégradations microbiennes sont conduites sur les terres disposées en andains ou en tas ou dans des réacteurs. L'objectif est de conduire à la miné-

ralisation en dioxyde de carbone, en azote moléculaire... des polluants organiques. Pour les métaux et métalloïdes, les microorganismes agiront par lixiviation pour extraire les métaux et / ou par bioaccumulation et biosorption pour les fixer et les accumuler. Les plantes, associées dans leurs racines ou dans leur environnement racinaire (rhizosphère) à des bactéries et champignons symbiotiques ou non symbiotiques, interviendront pour stabiliser les polluants en limitant leur lixiviation et infiltration vers les nappes,



Essais de végétation pour des traitements par phytostabilisation et phytobiodégradation © F. Marot

leur dispersion par ruissellement ou par érosion éolienne. Elles favoriseront la biodégradation des composés organiques par les microorganismes de la rhizosphère et interviendront pour extraire, accumuler, stabiliser les polluants inorganiques (métaux et métalloïdes). Les phytotechnologies (Leyval, 2011 ; Mench *et al.* 2009 ; Van der Ent *et al.* 2015) utilisent divers types de méthodes et d'applications (phytostabilisation, phytobiodégradation, phytoextraction) qui se développent depuis quelques dizaines d'années et sont pour certaines prometteuses (voir l'encadré sur la phytoremédiation).

LE MARCHÉ DE LA DÉPOLLUTION ET DE LA REQUALIFICATION DES FRICHES

Ce secteur d'activité est en accroissement en France avec des opérations qui concernent essentiellement les métropoles et des réalisations qui vont de la reconversion des sites en nouveaux îlots d'habitation et en nouvelles activités économiques au développement d'activités culturelles, touristiques ou maintien de lieux de mémoire. D'anciens ouvrages (espace Darwin à Bordeaux, Gare Saint-Sauveur à Lille, Hangar à Bananes de Nantes, Friche Belle de Mai à Marseille, les Subsistances à Lyon), des sites miniers et sidérurgiques de Lorraine et du Nord-Pas-de-Calais ont été reconvertis en lieux de vie, lieux d'arts, sites de mémoire industrielle ou musée. Les plans actuels, comme le plan ÉcoCités qui pré-

voit de soutenir 31 territoires, en fait des métropoles, dont 13 franciliens, pour une transition écologiques de grandes villes françaises par des stratégies territoriales intégrées, ou le plan Action Cœur de Ville qui vise à redonner de l'attractivité et du dynamisme au centre de 222 villes moyennes ou de petites tailles, ne concernent que peu la requalification des friches industrielles pour la création d'activités nouvelles. Pourtant, il serait essentiel de mieux intégrer la gestion (dépollution, réhabilitation) des friches industrielles dans l'aménagement du territoire.

Le coût de la dépollution dépend du type de traitement : en 2012-2013, les coûts hors taxes et hors transport étaient évalués de 10 à 30 € par tonne pour les traitements les plus simples in situ, de 30 à 40 € par tonne pour les traitements simples sur site et jusqu'à 400 € par tonne pour les traitements les plus onéreux, incinération ou lavages⁴. ■

RÉFÉRENCES

Baize D., Tercé M., 2002. *Les éléments traces métalliques* dans les sols, Quae éditeur.

Berthelin J., Munch J.C., 2015. Dossier « Le Sol : un patrimoine à valoriser », *Revue Acad. Agri.* 7, 35- 50.

Bourrelier P.H., Berthelin J., 1998. *Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion*. Académie des Sciences, Rapport n° 42. Lavoisier TEC et DOC éditions.

Colin F., 2000. *Pollution dans des sols et des sous sols par des hydrocarbures et par des solvants chlorés*. Académie des Sciences, Rapport n° 44. Lavoisier TEC et DOC éditions.

Leyval C., 2011. *Pollutions organiques agricoles, urbaines ou industrielles : cas des hydrocarbures aromatiques polycycliques* in M.C. Girard, C. Walter, J.C. Rémy, J. Berthelin, J. L. Morel, *Sols et Environnement*, 2^{ème} édition. Dunod éditeur. p. 620-636.

Mench M., Schwitzguébel J., Schroeder P.P., Bert V., Gawronski S., Gupta S., 2009. Assessment of successful experiments and limitations of phytotechnologies: contaminant uptake, detoxification and sequestration, and consequences for food safety. *Environmental Science and Pollution Research* 16: 876-900.

Morel J.L., Walter C., Girard M.C., 2011. Ingénierie écologique des sols, in M.C. Girard, C. Walter, J.C. Rémy, J. Berthelin, J. L. Morel, *Sols et Environnement*, 2^{ème} édition. Dunod éditeur. 528-546

Van der Ent A., Baker A.J., Reeves R.D., Chaney R.L., Anderson C.W.N., Meech J.A., Erskine P.D., Simonnot M.O. , Vaughan J., Morel J.L., Echevarria G., Fogliani B., Rongliang Q., Mulligan D.R., 2015. Agromining: Farming for Metals in the Future? *Environmental Science & Technology*, 49(8):4773-4780.

⁴ source : *Environnement et Techniques*, 2013, n° 329.



Franck MAROT,
Coordinateur Etudes
Direction Villes et territoires
durables, ADEME

Franck Marot

avec la contribution de Cécile Grand

Des outils réglementaires et méthodologiques pour reconverter les friches industrielles

En France, la politique nationale de gestion des sites pollués a été amorcée voilà 25 ans, et celle de la reconversion des friches industrielles est plus récente avec la mise en place d'outils réglementaires pour mieux définir les responsabilités des parties prenantes, sécuriser les opérations par une meilleure maîtrise des risques sanitaires et environnementaux, instaurer un climat de confiance et conserver l'ensemble de l'histoire des sites.

DE NOUVEAUX OUTILS RÉGLEMENTAIRES

Pour remédier aux divers freins (présence de pollution, définition des responsabilités, etc.) de la reconversion des friches industrielles, des volontés politiques nationales¹ et parfois aussi locales (conséquence souvent de la pression foncière) ont été nécessaires. Avec la conférence environnementale de septembre 2012², l'Etat s'est engagé à limiter l'étalement urbain et l'artificialisation des espaces agricoles et naturels qui l'accompagne. Cet engagement s'est concrétisé par la loi Alur³, qui est venue renforcer les lois dite « Bachelot⁴ » et Grenelle II⁵. Ces textes ont renforcé les liens indispensables entre le code de l'Environnement et le code de l'Urbanisme. Ils clari-

fient les responsabilités des acteurs, renforcent les connaissances et la confiance des porteurs de projets et des futurs usagers. Ainsi, avec la Loi Alur, le décret dit « tiers demandeur » offre la possibilité à un porteur de projet de se substituer au dernier exploitant d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) mise à l'arrêt définitif, pour prendre à sa charge la remise en état du site en veillant à garantir sa compatibilité avec l'usage envisagé. De même, le décret relatif à la mise en œuvre des secteurs d'information sur les sols (SIS) vise à établir pour chaque département un inventaire des sites sur lesquels une pollution des sols est avérée ; sur ces sites, une étude de

1 <https://www.environnement-et-technique.com/revue/promo/hs-ssp-2016/hs-ssp-2016.pdf>

2 Conférence environnementale sur le développement durable des 14 et 15 septembre 2012 préparée et organisée par l'État français autour de la transition écologique, notamment la transition énergétique et la préservation et la restauration de la biodiversité.

3 Loi Alur (loi n° 2014-366 du 24 mars 2014), dite loi Duflot II, pour l'accès au logement et un urbanisme rénové.

4 Loi Bachelot (loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003), dite loi Risques, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

5 Loi Grenelle II (loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010), dite loi ENE portant Engagement National pour l'Environnement.

sol est un préalable à toute demande de permis de construire et une attestation (ATTES) doit être délivrée par un bureau d'étude certifié pour garantir que la qualité des sols a été correctement considérée dans le futur projet. Le premier inventaire doit être publié en janvier 2019 et sera actualisé tous les ans. Il a vocation à être complémentaire du recensement des sites industriels et activités de service (BASIAS) et des sites et sols pollués faisant l'objet d'une action des pouvoirs publics (BASOL). Ces bases de données sont accessibles depuis le site Georisques⁶ du ministère en charge de l'Environnement. Ces outils réglementaires qui furent considérés parfois comme des contraintes supplémentaires sont maintenant reconnus comme utiles à la réalisation des projets de requalification. Enfin, des actions destinées à soutenir les projets ne disposant pas de financement suffisants, ont été mises en place par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Dans ce cadre réglementaire, les pouvoirs publics ont aussi édicté des règles et fixé des lignes directrices. La gestion des sites et sols pollués et par extension la reconversion des friches industrielles repose sur plusieurs principes et en priorité la « compatibilité entre l'état des milieux et les usages » également appelée « gestion des risques suivant l'usage ». Ce qui n'implique pas un retour à l'état initial mais, en tenant compte des limites techniques et financières, assure la protection des futurs usagers. Cette démarche a nécessité de fixer les niveaux de risques acceptables qui, en France, sont apparus dans la circulaire du 10 décembre 1999⁷ et ont été repris par la suite dans la note ministérielle d'avril 2017⁸ en vigueur aujourd'hui.



1. Friche industrielle située en cœur de village © F. Marot

DES OUTILS MÉTHODOLOGIQUES ACTUALISÉS EN 2017

Sur le plan technique, au-delà des étapes classiques qui pilotent la conduite des projets d'aménagement, la reconquête de ces espaces doit se faire en intégrant le plus en amont possible la recherche d'éventuelles pollutions et leur caractérisation, puis leur gestion. L'objectif est de veiller à la maîtrise des risques chimiques au même titre que pour d'autres risques (e. g. inondation, etc.) et garantir la protection des futurs usagers contre une contamination de leurs lieux de vie (sol, eau, air, etc.).

La nature des activités exercées antérieurement sur ces terrains (fonderie, chimie, traitement de surface, activité minière, etc.), les types de substances utilisées, l'origine de la pollution, son ancienneté, son étendue, sa persistance, la diversité des contextes environnementaux (nature des sols, profondeur des eaux souterraines...), les enjeux actuels et futurs (captage d'ali-

mentation en eau, habitations, écoles, terres cultivées...), sont d'une grande diversité, ce qui conduit à considérer chaque site comme un cas particulier. Les photographies 1, 2, 3. Illustrent bien cette diversité de situations. Pour autant, la volonté d'assurer une cohérence des actions pour l'ensemble du territoire national reste une nécessité et doit être une préoccupation constante. Les premiers outils pour étudier, caractériser, déterminer les modalités de gestion d'un site pollué et permettre sa reconversion ont été élaborés au cours des années 1990. Pilotées par le ministère en charge de l'Environnement, ces démarches font l'objet de révisions régulières.

6 <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/pollution-des-sols-sis-et-anciens-sites-industriels>

7 Circulaire du 10/12/99 relative aux sites et sols pollués et aux principes de fixation des objectifs de réhabilitation.

8 Note du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués - Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007.

Sur la base des connaissances nouvelles et des retours d'expérience elles s'appuient sur deux principaux outils :

- l'IEM (Interprétation de l'état des milieux) qui consiste à contrôler l'état d'un site et vérifier qu'il ne présente pas de risque pour la population et l'environnement;
- le PG (Plan de gestion) qui consiste à concevoir les modalités d'action pour garantir (usage futur) ou rétablir (usage existant) les compatibilités d'usage.

La gestion des risques suivant l'usage nécessite des informations et échanges auprès des populations de la part des porteurs de projet, de leurs prestataires et partenaires. Cela est d'autant plus nécessaire en France car le principe de la démarche consiste à déterminer dans un premier temps l'existence d'anomalies comparativement à des échantillons témoins ou à des référentiels pertinents pour le contexte local. Cela explique les moyens importants mis en œuvre ces dernières années pour caractériser les fonds pédologiques.



2. Fûts fuyards entreposés en extérieur et sans rétention © F. Marot

Lorsque ces valeurs de références sont dépassées, la démarche d'évaluation des risques vient compléter l'interprétation des résultats, alors que dans nombre de pays européens, l'appréciation d'une éventuelle contamination des sols est fondée sur des comparaisons à des valeurs seuils définies pour des typologies d'usages (résidentiel, loisirs, commercial, industriel) et associées à une liste de substances.

Il convient de préciser cependant que ce principe de gestion selon l'usage ne remet nullement en cause les actions de remédiation de pollutions concentrées et des sources de pollution qui constituent un préalable indispensable à tout projet.

ÉVALUATION ET GESTION DES RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX

Développée dans les années 1980 par l'Académie des sciences aux Etats-Unis, la démarche d'évaluation des risques sanitaires (EQRS) constitue la méthodologie de référence pour caractériser l'exposition des populations humaines et les risques sanitaires. Son application en France est courante depuis une vingtaine d'années.

Plusieurs approches, s'appuyant sur la méthodologie de l'US-EPA en 1998 (*Guidelines on Ecological Risk Assessment*) ont été développées récemment pour l'évaluation des risques environnementaux. Ce document d'ordre général qui ne précise

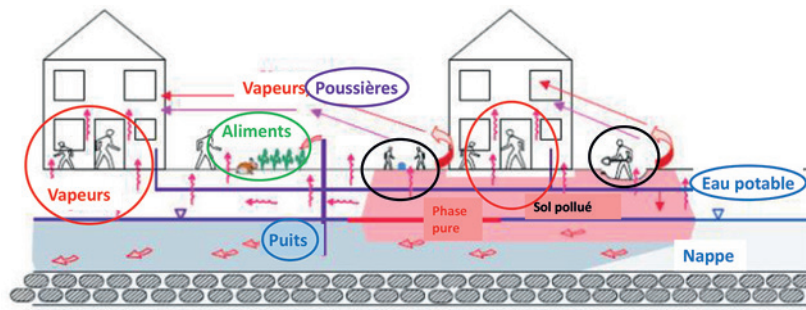


3. Pollution d'hydrocarbures recouverte de remblais © F. Marot

pas comment procéder n'est pas adapté aux besoins de gestion et de réhabilitation des sols contaminés et donc rarement utilisé. Actuellement, la démarche dite TRIADE⁹, qui combine trois approches complémentaires (chimique, écotoxicologique et écologique), est appliquée aux écosystèmes terrestres, et est normalisée pour une application à la contamination des sols.

La mise en œuvre de ces outils ne se limite pas aux limites cadastrales du site, lorsque des impacts sont constatés ou suspectés en dehors. Un schéma conceptuel est alors élaboré pour matérialiser les sources, vecteurs et enjeux. Selon les sites, un schéma conceptuel unique, regroupant les enjeux sanitaires et environnementaux ou des schémas conceptuels pour chacun des enjeux, comme illustré sur les figures 1 et 2, sont élaborés. Chacun des éléments du schéma conceptuel insuffisamment caractérisé doit faire l'objet d'investigations spécifiques : délimitation et caractérisation des sources de pollution ; identification des voies de transfert des polluants et des voies d'exposition associées aux enjeux sanitaires (riverains, futurs usagers, etc.) et/ou environnementaux considérés.

Cela peut conduire à caractériser la qualité de denrées alimentaires produites, de l'air intérieur des bâtiments, des eaux souterraines ou de surface, ou plus largement encore l'état des écosystèmes (indicateurs biologiques, connaissances des chaînes trophiques, d'espèces sensibles, protégées, menacées, etc.). Les stratégies d'échantillonnage, les protocoles de prélèvement, les exigences analytiques doivent être systématiquement discutés et adaptés aux objectifs visés.



Voies de transfert	=>	Voies d'exposition
> Remontés de vapeurs (sol/eau)	:	Inhalation de vapeurs
> Sol de surface	:	Ingestion de sols / contact
> Envols de poussières	:	Inhalation de poussières
> Plantes potagères / animaux :	:	Ingestion de denrées
> Puits, perméation réseau AEP	:	Ingestion d'eau

Figure 1 : Exemple de schéma conceptuel fondé sur les enjeux sanitaires

Les limites de connaissance (pas seulement scientifiques) sont génératrices d'incertitudes qui doivent être clairement énoncées et considérées dans les prises de décisions. Cela se traduit par le développement de projets de recherche portés par l'ADEME et d'autres partenaires, notamment sur le comportement et transfert des polluants vers les milieux d'exposition.

Les alternatives envisageables sur un site donné. Chaque solution envisagée repose sur une combinaison de choix, visant en priorité à traiter la source de polluants.

SPÉCIFICITÉ DES PROJETS

Les décisions sont souvent guidées par des modalités tout à fait spéci-

9 ISO 19204, 2017 – Soil Quality – Procedure for site specific ecological risk assessment of soil contamination (TRIAD Approach)

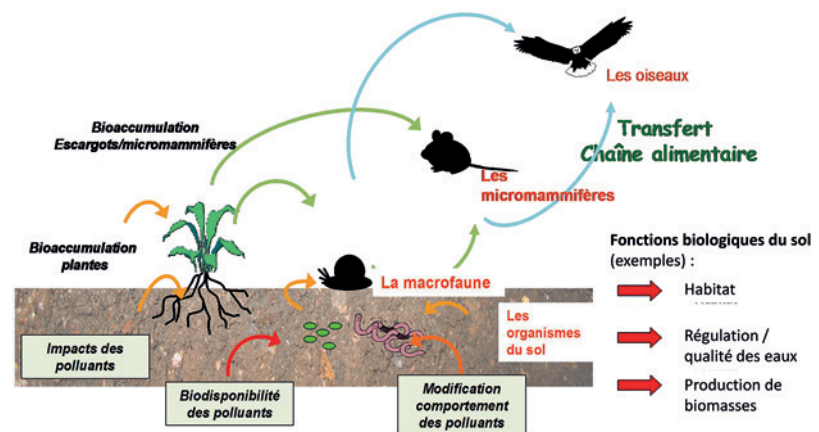


Figure 2 : Exemple de schéma conceptuel fondé sur des enjeux environnementaux avec l'utilisation de bioindicateurs terrestres (adapté de Clémentine Fritsch. *Utilisation intégrée de bioindicateurs pour la surveillance des sols et des écosystèmes terrestres*. Thèse de doctorat en Ecologie-Environnement, Université de Franche-Comté, 2010)



4. Végétalisation des terrains d'une ancienne mine métallifère © F. Marot

lution, à défaut ou en complément à maîtriser les voies de transfert vers les milieux d'exposition (ex : imposer des vides sanitaires pour limiter des remontées de vapeurs résiduelles, apporter de la terre propre sur les jardins potagers).

Les besoins des projets d'aménagement peuvent se compléter utilement avec ceux imposés par la gestion d'une pollution. Par exemple, dans le cas de projets en milieux urbains, les opérations d'excavation des sols pour la construction de parkings souterrains conduisent souvent à intervenir sur les sources de pollution. Pour des solutions plus sophistiquées, notamment lorsque des solutions de traitement sur site ou in-situ sont envisagées, des essais préalables (essais de traitabilité, essais pilote) sont souvent nécessaires. Cette phase de préparation et de conception est soulignée dans la méthodologie précitée de gestion des sites pollués mise à jour en 2017 au travers du Plan de conception des travaux (PCT).

A l'issue des travaux, lorsque des pollutions résiduelles persistent, des contrôles de la qualité des milieux doivent être effectués à la réception du projet (qualité de l'air intérieur de bâtiments, qualité des sols de jardins, etc.). La compatibilité de l'usage est alors appréciée à l'aide d'une analyse des risques résiduels (ARR) qui valide la reconversion du site. Selon les pro-

jets, des mesures de surveillance peuvent être mises en place (eaux souterraines, air, écosystèmes) ainsi que la conservation de la mémoire (intégration de l'historique de la parcelle) via notamment l'instauration de servitudes d'utilité publique (SUP).

Dans le cas d'un réaménagement d'une zone urbaine en parc naturel urbain (PNU) ou en trame verte/bleue, les diagnostics peuvent révéler une contamination résiduelle des sols au moment d'un changement d'usage. Dans ce cas l'évaluation des risques environnementaux peut être déterminée à l'aide d'outils biologiques plus ou moins spécifiques (végétaux, faune, microorganismes, tests d'éco-toxicologie) pour apprécier la qualité et le fonctionnement des sols.

Lorsque la pression foncière est moindre, mais que les conséquences d'un impact justifient des actions de remédiation, des solutions alternatives peuvent être utilisés. Celles-ci peuvent viser à végétaliser des sols dégradés pour limiter la dispersion de la pollution (par exemple, ruissellement, érosion, envol de poussières sur d'anciens sites miniers). La photographie 4 illustre l'utilisation de la végétalisation sur les terrains d'une ancienne mine. Elles peuvent aussi être utilisées pour compenser les pertes d'exploitation. C'est le cas de

terres agricoles devenues impropres à la production alimentaire qui peuvent trouver une nouvelle utilisation, soit pour des productions non végétales (par exemple des installations photovoltaïques), soit avec des productions moins sensibles comme des productions de biomasse à des fins énergétiques. De telles solutions ont déjà été mises en place à des échelles expérimentales, et opérationnelles et permettent d'évaluer l'efficacité de ces modes de gestion.

Enfin, même si les efforts effectués ces dernières années se traduisent par une réelle dynamique de reconversion des friches, celle-ci est principalement dépendante des projets d'aménagement. Ainsi, sur les territoires où la situation économique est moins favorable, lorsque l'impact sur l'environnement est maîtrisé, les friches restent à l'abandon. On assiste alors à la dégradation rapide des bâtiments faute d'entretien, mais aussi bien souvent par le biais d'intrusions malveillantes. La démolition de ces bâtiments fragilisés est encore complexifiée par la présence fréquente d'amiante dans les toitures, les bardages ou encore les calorifugeages. Les coûts en sont décuplés et la reconversion de plus en plus hypothétique. Nombre de collectivités locales sont confrontées à de telles situations. La démolition des bâtiments avant qu'ils ne deviennent ruine doit être une priorité, non seulement pour limiter les coûts, mais aussi pour limiter l'attrait du site et les risques d'accidents associés à leur dangerosité (chute, cavité, effondrement, etc.). Cela représente un investissement important qui offre peu de perspective de rentabilité à court terme, mais est un acte qui s'inscrit dans une démarche de développement durable.

CONCLUSION

La démarche nationale de gestion des sites et sols pollués offre aujourd'hui aux différents acteurs de la réhabilitation des friches industrielles des outils méthodologiques pour conduire leur projet en limitant les risques d'échecs ou de surcoûts liés par exemple à une pollution mal maîtrisée ou découverte tardivement. Dans cette approche fondée sur la compatibilité d'usage, la place de l'évaluation des risques est centrale. Elle ne doit cependant pas être isolée d'autres éléments de décision tels que les référentiels nationaux ou locaux qui ont également leur place pour apprécier la qualité d'un

milieu et convenir des éventuelles suites à donner.

Cette démarche nécessite une expertise technique importante et il est vivement recommandé aux porteurs de projets, aménageurs, collectivités de s'entourer des compétences de bureaux d'étude spécialisés et d'entreprises de dépollution. C'est avec ce souci que le ministère en charge de l'Environnement a mis en place une démarche de certification de ces acteurs clés. Une autre recommandation essentielle est de se précocuper de l'état des sites le plus tôt possible et dans l'idéal, sans même attendre qu'un projet de reconversion

vienne "bousculer" une démarche qui nécessite du temps, que ce soit pour consolider les données d'un diagnostic ou pour traiter une pollution. Il faut garder à l'esprit que certaines solutions de traitement notamment biologiques, même si elles sont plus longues à aboutir peuvent être techniquement et économiquement compétitives voire performantes sur le plan du bilan environnemental global par rapport à des solutions d'excavation et d'évacuation de terres en centres de traitement, voire en centres de stockage. Dans ce domaine de la requalification des friches industrielles, l'anticipation est un atout stratégique. ■

La phytoremédiation des sols pollués

Les plantes peuvent être des acteurs efficaces et peu coûteux du traitement des sites et sols pollués. Plusieurs types d'applications peuvent être mis en œuvre, mais ils impliquent toujours des délais de traitements longs, voire très longs, tant sur les sols en place non excavés, que sur les terres excavées traitées sur site ou hors site. A titre d'exemple, sur des terres agricoles qui, par pollution éolienne métallique (Pb, Cd, Zn) provenant d'une fonderie voisine (site de Noyelles-Godault, Pas-de-Calais), étaient devenues impropres à la production végétale, tant pour la nourriture humaine qu'animale, la production de biomasses ligneuses, par taillis à courte rotation (TCR) de peupliers, a été mise en place. Ces plantations limitent la dispersion des métaux par infiltration, ruissellement, érosion éolienne, tout en assurant une utilisation productive des sols. Secondairement, elles participent à l'extraction des métaux en les fixant ou les absorbant. La phytostabilisation, tant minérale qu'organique ou mixte, comme c'est souvent le cas, peut être avantageusement mise en œuvre sur des sites de pollution. La prise ou reprise des plantations peut nécessiter, pour être efficace, la mycorhization des racines (symbiose racines-champignon mycorhizien) et/ou un support initial (motte de terre avec inoculum mycorhizogène ; argiles expansées support du système racinaire). La phytodégradation ou phytobiodégradation implique un effet rhizosphérique, où les bactéries ou champignons associés aux racines dont elles reçoivent des nutriments vont biodégrader et minéraliser les polluants organiques. Cette phytodégradation est en fait microbienne, les racines des plantes n'étant que le soutien physique, énergétique et nutritionnel de cette activité bactérienne ou fongique. Cet effet rhizosphère peut aussi concerner quelques éléments inorganiques (Hg, Se, etc.) qui peuvent prendre des formes volatiles ou solubles pour être éliminés. La phytoextraction met en œuvre la capacité des plantes à absorber des métaux ou à les accumuler au niveau racinaire avec éventuellement la participation des champignons mycorhiziens. Cette phytoextraction présente des limites car les capacités de fixation et accumulation sont relativement faibles, même pour les plantes dites accumulatrices. Les volumes de sols ou de terre prospectés par les racines sont aussi limités et les cinétiques d'extraction relativement lentes. Les techniques dites de Phytomine (*phytomining*), sauf cas bien particuliers, sont dans l'état actuel en émergence et d'applications limitées, comparativement aux méthodes d'extraction physiques, chimiques et même bactériennes (biolixiviation) d'extraction des métaux.

En revanche, la phytostabilisation et la phytobiodégradation sont des méthodes déjà opérationnelles et prometteuses qui méritent d'être développées. Elles sont souvent relativement faciles à implanter et plus efficaces avec l'aide des symbioses fongiques (mycorhization) ou bactériennes (bactéries fixatrices d'azote, e. g. rhizobium) mais elles impliquent des temps longs voire très longs de traitements.

Jacques Berthelin



Julien Lahaie
*Métropole de Lyon, Directeur
de la mission Vallée de la Chimie*



Alain Dumestre
*Directeur Général SERPOL
Groupe SERFIM*

Julien Lahaie et Alain Dumestre

Un plan de requalification et d'aménagement foncier à grande échelle : la Vallée de la Chimie dans la Métropole lyonnaise

Confrontée à la présence de grandes friches industrielles aux portes de la ville-centre, la Métropole de Lyon développe, pour requalifier des friches urbaines et d'anciennes zones industrielles, une stratégie d'intervention centrée sur l'innovation associant recherche, industrie, développement durable et co-construction de projets avec des organismes publics et des entreprises privées.

La Métropole de Lyon (Grand Lyon), créée par la loi MAPTAM du 27 janvier 2014, mise en place le 1er janvier 2015, est une « collectivité à statut particulier » qui regroupe les anciennes compétences de la communauté urbaine de Lyon et du Conseil général du Rhône sur un périmètre de 59 communes autour de la ville centre, Lyon. Avec un large spectre de politiques publiques qui visent à rapprocher « l'humain et l'urbain », elle pilote la stratégie de développement économique et international d'un territoire de 1,4 million d'habitants couvrant plus de 553 km²

La dimension industrielle et productive est au cœur de la stratégie économique métropolitaine lyonnaise dont l'industrie chimique est un pilier essentiel. Celle-ci a prospéré dès le XIX^e siècle avec l'émergence des techniques industrielles de fabrica-

tion et de traitement de la soie, puis le développement des différentes branches de la chimie.

Dans ce contexte, l'émergence de la gestion des friches industrielles, au cœur des centres urbains de la Métropole, est apparue dès la fin des années 1990 avec le lancement de plusieurs grandes opérations d'aménagement urbain à Lyon (Lyon-Vaise, Lyon-Confluence, Lyon-Gerland) et à Vaulx en Velin et Villeurbanne (Carré de la Soie). Dès le milieu des années 2000, la communauté urbaine a souhaité renforcer ses compétences dans le domaine des sites et sols pollués avec la mise en place progressive d'une équipe, rattachée à la Direction du foncier et de l'immobilier de la communauté urbaine.

La mise en place d'un projet-directeur Vallée de la Chimie, initié dès 2010, s'est concrétisée en 2013 par

l'implantation d'une mission territoriale qui s'appuie sur les expertises présentes en interne en matière de gestion des sites et sols pollués. La Métropole de Lyon a imaginé, dès 2014, dans le cadre d'un partenariat avec les principales entreprises de la Vallée de la Chimie et avec l'appui de partenaires techniques et financiers, un appel à projets original (l'Appel des 30 !) visant à remettre sur le marché des domaines fonciers d'anciens sites industriels, fortement contraints par la pollution des sols et par la présence d'un vaste périmètre de prévention des risques technologiques (PPRT).

Cette initiative partenariale unique vise à valoriser les gisements fonciers mobilisables, pour accueillir des activités innovantes des filières chimie, technologies propres (cleantech), énergie et environnement pour faire de ce territoire de 11 000 hectares au sud de Lyon une référence européenne sur ces secteurs porteurs.

UN SITE REMARQUABLE À REQUALIFIER : LA VALLÉE DE LA CHIMIE

Depuis les premières implantations en 1853, la Vallée de la Chimie, est un territoire stratégique non seulement pour la Métropole lyonnaise, mais aussi pour le tissu industriel français par ses activités diversifiées et la richesse qu'elle produit.

Ce territoire est le berceau de la chimie française (chimie de synthèse, chimie de spécialité, pétrochimie, raffinage) avec des acteurs mondiaux comme Total, Arkema, Solvay, Bluestar Silicones, Engie ou encore IFP Energies nouvelles (ex-Institut français du pétrole). Troisième pôle d'emploi de l'agglomération lyonnaise, la Vallée

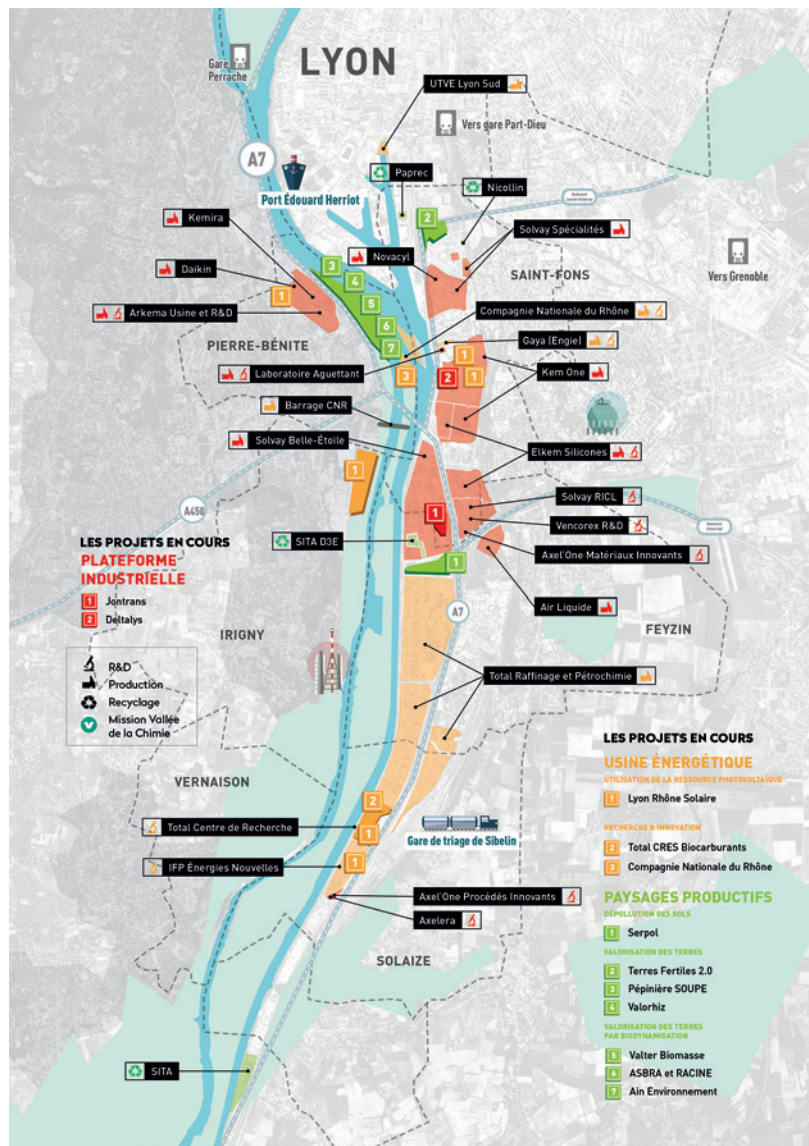


Figure 1 : Lyon Vallée de la Chimie – Une plateforme industrielle de dimension européenne

de la Chimie regroupe près de 46 000 emplois en 2008, notamment dans les secteurs de l'industrie, de la logistique et du traitement des déchets. Au cœur de ce territoire, on peut identifier assez facilement un bassin économique constitué autour des tissus industriels qui se sont développés au bord du Rhône. Il s'étend sur 1 500 hectares et on y dénombre plus de 1 000 établissements dont 6 centres de recherche, représentant près de 20 000 emplois (Figure 1).

La vocation économique de cet ensemble s'est vue renforcée récemment, grâce à une démarche ambitieuse portée par les acteurs publics et privés du territoire. Il s'agit d'accompagner sa régénération industrielle, en tant que pôle économique de premier plan associant recherche et industrie. L'enjeu est de préserver la place de l'économie dans le tissu urbain, en limitant les nuisances induites par les activités industrielles et en proposant une politique de développement

durable avec des approches innovantes (e. g. phytotechnologies).

Parmi les domaines concernés par cet appel à projets, la reconquête des friches industrielles et le développement d'une filière autour des problématiques du « paysage productif » et de revalorisation des sols ont été mises en avant par la Métropole de Lyon et ses partenaires. L'implantation, en cours, de six nouvelles entreprises, issues de ces métiers de l'environnement, permet d'envisager la création d'une filière phyto-technologique à laquelle, en parallèle et complément, se développe le projet de phyto-centre (porté par SERPOL - groupe SERFIM et le cimentier VICAT) qui s'inscrit dans cette double problématique d'économie circulaire et de traitement des friches industrielles.

MODES D'APPROCHES ET MISE EN PLACE DE L'APPEL D'OFFRE

Confrontée, dès sa création, aux contraintes des faibles qualités (chimiques, physiques, biologiques, géotechniques) des sols des friches et aux effets des freins et des risques sur l'urbanisation future, la Mission Vallée de la Chimie a choisi d'aller à la rencontre des futurs usagers des friches disponibles, notamment d'industriels. En parallèle de cette recherche d'utilisateurs et de gisements fonciers disponibles, la Mission Vallée de la Chimie a imaginé un double dispositif d'accompagnement des futurs porteurs de projets d'implantation : technique et financier. C'est ainsi qu'est né « l'Appel des 30 » en 2014, partenariat singulier entre une grande collectivité, la Métropole de Lyon, les communes de la Vallée de la Chimie, 29 entreprises et divers organismes techniques et financiers.



Figure 2 : Appel des 30 ! édition 2016
© Métropole de Lyon

La première édition de l'Appel des 30, qui proposait une soixantaine d'hectare de terrains et friches industrielles à des utilisateurs des filières chimie-énergie-environnement a permis de retenir 16 projets d'implantation, dont le projet de phyto-centre.

Forte de cette première expérience qui pourrait conduire à la création d'environ 400 emplois après l'implantation de l'ensemble des projets lauréats, la Mission Vallée de la Chimie de la Métropole de Lyon a publié en septembre 2016 une seconde édition de l'Appel des 30 ! (Figure 2) !

Cette seconde édition est élargie à de nouveaux types de projets, en intégrant des surfaces propices au développement d'installations photovoltaïques et/ou à la mise en œuvre de projets de « paysage productif » sur des friches trop contraintes pour accueillir des salariés de manière pérenne. Elle proposait trois catégories de friches à disposition des porteurs de projets avec des objectifs distincts :

- des terrains/bâtiments nus à vocation industrielle sur 20 hectares d'em-

prises à l'intérieur des sites industriels : Arkema, Bluestar Silicones, Kem One, Solvay et 50 000 m² de locaux d'activité dont 10 000 m² existants au sein des plates-formes Axel'One, - des terrains/toitures/parking à vocation production d'énergie solaire (photovoltaïque) sur 87 000 m² de toitures et parkings voués à recevoir des installations photovoltaïques au sein des sites Arkema, JTEKT, Kem One, Vos Logistics, Total Cres, IFP EN, - des terrains à vocation de projets de paysage productif sur 33 hectares de fonciers délaissés et/ou très contraints.

LE DISPOSITIF MIS EN PLACE

Ce dispositif à projets innovant et en partenariat implique 30 acteurs industriels de la Vallée de la Chimie et le soutien de nombreux partenaires techniques et financiers (Caisse des dépôts, Banque publique d'investissement, ADEME, FEDER, etc.). Il s'adresse à la fois à des utilisateurs finaux (PME/PMI, start-up, ETI, grands groupes) et à des opérateurs et ensemble immobiliers pour implanter des activités nouvelles dans les domaines de la chimie, de l'énergie et de l'environnement, dans des zones « contraintes » par les risques technologiques et en faire la Vallée de la Chimie de demain.

Cet outil de reconquête de la Vallée de la Chimie, reposant sur un partenariat public/privé « proactif » a permis d'engager une dynamique de filière importante dans les domaines des sols industriels et suggère plusieurs questions et objectifs. Dans quelle mesure l'implantation de plusieurs entreprises, tant dans les domaines de la dépollution que dans les domaines des technosols et de la fertilisation, va-t-elle favoriser la

mise en place d'un paysage productif générateur de valeur sur des fonciers très contraints ? Quels ont été et seront les apports pour la collectivité et pour les entreprises retenues dans le cadre de l'Appel des 30 ! ?

Deux points plus innovateurs dans le domaine de la requalification des friches industrielles sont développés ci dessous :

- le concept de paysage productif, en tant que « process » (procédé) de reconquête des friches industrielles au service du territoire ,
- la mise en place d'un phytocentre développé par les entreprises SERPOL et VICAT.

Comment aller au-delà de l'idée de nature et de paysage ornemental aujourd'hui développé dans les projets urbains pour faire en sorte qu'un paysage génère de la valeur et conserve sa capacité d'évolution dans le temps ? Dans le contexte de la Vallée de la Chimie où le gisement de paysages naturels et industriels est riche et varié, mais contraint par des sols pauvres et plus ou moins contaminés, cette question offre un potentiel d'innovation et de développement économique et écologique auquel vise à répondre le procédé dénommé « le paysage productif ».

Le « paysage productif » est un dispo-



Figure 3 : Principe d'implantation des projets de paysage productif retenu sur le site de la Lône de Pierre-Bénite au Nord de la Vallée de la Chimie
© Agence BASE, Métropole de Lyon

sitif qui propose une large diversité de procédés ou d'actions pour le traitement des sols pollués, la production de technosols, la production de biomasse par diverses plantations dont les taillis à courtes rotations, la création de plateformes de fertilisation, la création d'une bourse des terres... Ces dispositifs se développent avec l'implantation d'entreprises et de start-up spécialisées associées au site expérimental et / ou utilisant les gisements paysagers de la Vallée de la Chimie comme ressource évolutive. Ils doivent permettre une démarche et un ensemble de procédés paysagers de production souples et adaptables, aptes à répondre aux demandes d'aménagement du territoire concerné (Figures 3 et 4).



Figure 4 : Schéma de synthèse de la filière du paysage productif .
© Agence BASE, Métropole de Lyon

La « boîte à outils » des solutions du paysage productif offre des réponses adaptées à de nombreux enjeux de la Vallée et de la Métropole :

- Traitement et régénération des sols sur les tènements industriels ;
- Dépollution des sols par des techniques liées au domaine de la phytoremédiation ;
- Fabrication de sols, fertilisation de sols 'artificiels' ou en voie de régénération, production de technosols... ;
- Plantation et production de biomasse, dont les taillis à courte ou très courte rotation ;
- Valorisation, stockage, transformation et utilisation des terres fertiles ;
- Réintroduction de la biodiversité par des stratégies de protection et de renaturation. Des fonciers trop contraints par les risques technologiques pour accueillir des activités économiques sont ainsi mobilisés pour la mise en place de mesures de compensation environnementale rendue nécessaires dans le cadre des projets d'aménagement de la Métropole.

- Esthétique d'un paysage industriel : e.g. fabrication de clôture végétale défensive pour les sites SEVESO.

A la suite de la sélection du projet phytocentre proposé par SERPOL

et VICAT, six opérateurs et groupements ont proposé des projets relatifs à la thématique du paysage productif pour trois types d'actions :

- Plateforme de fabrication de terres fertiles à Saint-Fons pour un groupement de 7 entreprises du paysage et des espaces verts de la Métropole lyonnaise. Ce projet s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, durable et locale ;

- Remédiation des sols avec trois entreprises sur la Lône de Pierre-Bénite : Pépinière SOUPE ; Valorhiz ; VALTER Biomasse (Société forestière de la Caisse des dépôts, Suez Remédiation, Valterra, Pépinières Naudet) pour des projets de phytoremédiation, de conception et production de biotechnosols, plantations de TCR (taillis à courte rotation) ;

- Production de biomasse pour des besoins énergétiques à Pierre-Bénite : ABSRA et RACINE ; Ain Environnement

Lors de la première édition de l'Appel des 30 !, un projet de plateforme de valorisation née d'un partenariat (50-50) entre SERPOL et VICAT a été retenu en vue d'une implantation sur la commune de Feyzin. Cette plateforme, dénommée TERENVIE, va s'installer début 2019 sur 3,2 hectares de terrain jouxtant la raffinerie de

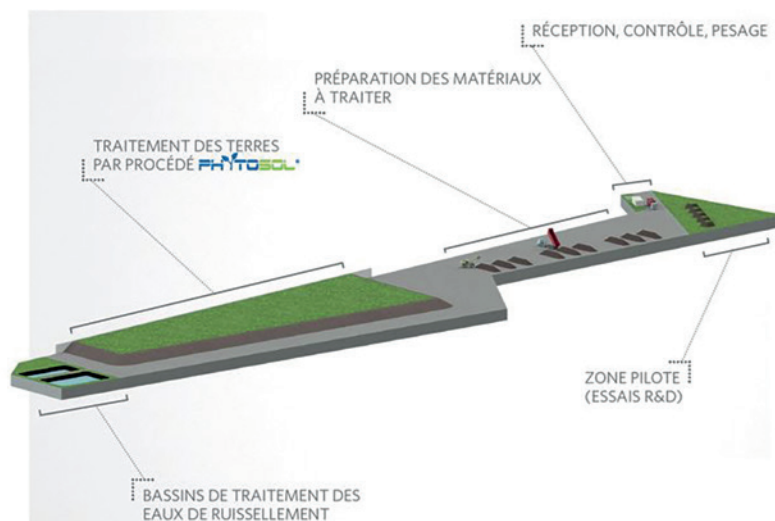


Figure 5 : Schéma du futur site TERENVIE

Feyzin. Elle va permettre le traitement des terres polluées issues notamment des friches industrielles (Figure 5).

L'objectif est de dépolluer les terres contaminées par des hydrocarbures en utilisant des végétaux, comme la luzerne ou le trèfle, grâce à un procédé efficace et éprouvé depuis plus de 10 ans (le procédé PHYTOSOL). Ce procédé de phyto-remédiation est fondé sur le développement du système racinaire des plantes, et surtout sur la capacité des bactéries qui s'y trouvent à biodégrader les polluants organiques. Il constitue une alternative innovante, naturelle et écologique aux techniques conventionnelles. La

principale nouveauté de ce projet est qu'il s'agit ici de construire un outil pérenne de gestion mutualisée des matériaux, qui s'adresse à tous les industriels locaux.

L'entreprise SERPOL souhaite profiter de ce nouveau projet pour développer le procédé PHYTOSOL de landfarming planté sur tous types de polluants organiques biodégradables. Quant à l'entreprise VICAT, à travers sa marque Vicat Eco Valorisation, elle valorisera les terres issues de la plateforme TERENVIE en intégrant cette nouvelle matière première en substitution partielle aux ressources naturelles pour la fabrication des ciments. ■



Laurent Rouvèreau
Directeur adjoint, Relations avec les entreprises, Direction du développement, BRGM

Laurent Rouvèreau

Une requalification phare : la zone industrielle Renault de Boulogne Billancourt

La requalification de l'ancien site de production d'automobiles Renault de Boulogne Billancourt (qui couvrait 35 ha sur le bord de la Seine, le « Trapèze » et 11 ha sur l'île Seguin), engagée au début des années 2000, a probablement constitué en France, la plus grande opération de requalification d'un ancien site industriel de l'époque. Cet aménagement urbain peut à bien des égards être considéré comme un laboratoire d'expérimentation, à échelle réelle, de méthodes et de mise en œuvre d'outils qui ont ensuite été déclinés et améliorés dans le cadre de projets ultérieurs.

Cette requalification, pensée à l'échelle d'une ville (les usines occupaient envi-

ron 7 % du territoire communal) permet d'illustrer concrètement les étapes et le déroulement d'un projet de gestion du passif environnemental d'un ancien site industriel et de sa mutation progressive en zone urbaine, depuis une réflexion amont sur le devenir des terrains jusqu'à la réalisation du projet : comment prendre en compte des usages futurs seulement connus à l'échelle de la zone ? Comment le projet d'aménagement influe-t-il sur la définition des objectifs de dépollution zone par zone ? Comment dialoguer et impliquer les différentes parties prenantes avant et pendant le chantier (aménageurs, services de l'Etat, collectivités, riverains, entreprises). Les photographies 1 et 2 illustrent bien l'ampleur de cet aménagement urbain d'un grand site industriel (définitivement fermé en 2002) à sa requalification non encore complètement terminée pour l'île Seguin en 2018.

LES CHOIX AMBITIEUX DE L'ENTREPRISE INDUSTRIELLE RENAULT

Quatre points essentiels sont à souligner.

Les traitements sur site et in situ sont privilégiés, pour limiter les évacuations de terres et matériaux hors site, par une planification très amont des



1. Le site du Trapèze et l'île Seguin (Renault) à Boulogne Billancourt (92) en 2002.



2. Le site du Trapèze et l'île Seguin (Renault) à Boulogne Billancourt (92) en 2018.

opérations en fonction du calendrier de libération du site, de leur nature, et d'une gestion de l'espace permettant de traiter in situ certaines zones non encore démolies, et de disposer assez tôt de surfaces suffisantes pour favoriser le traitement des terres sur site.

Un plan de terrassement est organisé par lots de 200 m³ (mailles de 100 m² sur 2 m d'épaisseur) avec une reconnaissance et une caractérisation systématique des sols permettant d'affecter chaque lot de 100 m³ de terres excavées à une classe de « qualité » permettant de les orienter, soit vers des opérations de traitement, soit vers une réutilisation en remblais par couches de bonne qualité homogène.

Une traçabilité complète des opérations est assurée, en capitalisant dans une base de données (BDD) toutes les informations dès leur acquisition, lot de terre par lot de terre, depuis la caractérisation initiale des sols en place jusqu'à l'état final du site (après remblaiement et remise en état), pour disposer ainsi d'une vision tridimensionnelle permanente de la qualité environnementale du site et optimiser les nombreuses étapes du projet.

Une communication régulière est établie avec les riverains, les associations,

les autorités locales pour répondre positivement à toute demande de visite ou d'information, et maintenir une exigence de qualité et de rigueur vis-à-vis des équipes en charge de mener les travaux (chantier propre et bien organisé, technicité et qualité des moyens mis en œuvre, transparence sur la raison d'être du chantier).

POURQUOI DE TELLES EXIGENCES ?

Il s'agit d'appliquer les mêmes exigences de qualité, de maîtrise des délais et des coûts qu'à tout autre projet mené par l'industriel pour optimiser l'ensemble des opérations.

La masse d'informations acquises, l'automatisation des processus, permettaient, au travers d'une exploitation en temps réel des données disponibles, un pilotage précis du chantier sur toute sa durée. Il était ainsi possible d'évaluer l'incidence de tel ou tel choix technique sur les coûts, les délais et l'organisation du chantier avec une précision suffisante pour étayer les choix techniques et économiques avec une bonne visibilité.

La sécurisation des conditions de cession des parcelles pouvait être

assurée, en transmettant aux acquéreurs une information exhaustive sur l'état du site et la compatibilité de chaque parcelle avec ses futurs usages. La pérennisation de l'information avec l'ensemble des parties prenantes était aussi mise en place.

Une gestion efficace des informations fournies par les analyses avec une base de données comprenant plus de 100 000 résultats d'analyses contribuait à l'efficacité de l'ensemble des travaux. Pour le seul Trapèze, plus de 3 500 sondages de sols ont été réalisés, plus de 100 piézomètres ont été utilisés pour le suivi de la nappe. 800 000 t de terres ont été excavées, dont 220 000 t traitées puis réutilisées sur site et 160 000 t éliminées hors site.

ENJEUX FORTS ET SPÉCIFIQUES

Pour les acquéreurs (promoteurs privés et collectivités locales), il s'agissait de « penser » un nouveau quartier, avec pour le seul Trapèze, l'accueil d'environ 10 000 nouveaux habitants et autant de salariés, de « réinvestir » une île, de dialoguer avec les acteurs privés, de communiquer et d'interagir avec la population, de concevoir les espaces communs, de fixer prix et date de livraison des îlots, de construire et de vendre.

Pour l'industriel, il s'agissait de mener la cessation d'activité et la cession dans un cadre administratif bien défini, malgré un calendrier qui imposait d'entamer des opérations de dépollution sans connaître la localisation des futurs usages (bureau, logement, crèche, école...) au niveau de chaque parcelle alors que la méthodologie nationale prévoit une dépollution en fonction de l'usage futur. Il s'agissait également d'interagir avec deux types

d'acheteurs (publics d'une part et privés de l'autre), dont les calendriers décisionnels et les modes de fonctionnement différent. Sur un plan plus technique, il fallait coordonner de nombreuses tâches, entre opérations de désamiantage et de déconstruction d'une part, reconnaissances nécessaires au diagnostic environnemental, puis chantier de dépollution d'autre part. Sur un plan social et sociétal, le dialogue avec les riverains, les associations, les élus, les médias était indispensable, les enjeux de l'opération s'étendant au-delà des aspects techniques et économiques, compte tenu de la symbolique forte du site.

LES PARAMÈTRES ET CONTRAINTES DE GESTION

La gestion du temps depuis la préparation jusqu'à la réalisation du projet est un paramètre clé. Si les travaux de dépollution ont débuté en 2002, l'opération de requalification globale a été engagée, au début des années 1990, avec le transfert d'activités industrielles vers d'autres implantations du groupe (la production de véhicules s'est arrêtée en 1992 sur l'île Seguin, et les derniers salariés ont quitté le Trapèze en 2002). Pendant toute cette période se sont enchaînées des étapes « invisibles » telles que les démarches administratives, la mise en œuvre des différentes étapes de la méthodologie nationale en matière de sites et sols pollués (études historiques et documentaires, diagnostics de sols, premières évaluations de risques sanitaires). Le délai entre les premières étapes du processus et la configuration actuelle du site (qui n'est pas encore totalement réaménagé en 2018 pour l'île Seguin) donne un ordre de grandeur de la temporalité d'une telle opération.

La réalisation de ce projet fut entreprise sans connaître précisément les

usages des parcelles en mettant en place une stratégie de dépollution dont les objectifs réservaient une part modulable et adaptative. En effet, si les grandes orientations du projet d'aménagement étaient connues, il n'en était pas de même de la localisation précise de ces différentes composantes (espaces verts, immeubles d'habitation et de bureaux, nombre (ou absence) de sous-sols, écoles, crèches, établissements recevant du public) encore très incertaine. Pour ne pas retarder les opérations de requalification, des objectifs de dépollution permettant de satisfaire 70 % des usages futurs (habiter, travailler, se déplacer sur le site) ont été retenus pour l'ensemble du site. Il a été convenu que des actions plus poussées seraient menées si nécessaire pour les implantations « sensibles », dès lors que leur localisation et caractéristiques seraient arrêtées. Ce choix avait des incidences fortes car il a permis d'engager les travaux de manière précoce, et d'offrir une plus grande souplesse aux aménageurs dans la mesure où il permet de faire évoluer le projet.

La gestion des terres excavées est une question qui s'est posée dès le début du chantier, avec les objectifs de dépollution et les usages futurs du site, dans un contexte qui n'était pas celui de 2018 avec une "doctrine" établie en matière de gestion des terres excavées. Tous les matériaux excavés furent caractérisés par lots de 100 m³ et réutilisés par catégories homogènes dès lors qu'ils satisfaisaient aux exigences environnementales, au besoin après une étape de traitement. Deux pistes de réflexion, qui avaient été envisagées dès l'amont du chantier, ont été abandonnées en raison d'une part des réticences à utiliser hors site les terres excavées provenant du site, même si des garanties

de qualité étaient apportés, et d'autre part faute d'un accord de l'ensemble des acteurs, portant sur une « mutualisation » des mouvements de terres sur une plateforme commune à l'ensemble des aménageurs privés, qui serait implantée sur le site du Trapèze. La situation a considérablement évolué sur ce plan, avec la parution en 2012 d'un guide du ministère en charge de l'Ecologie concernant la réutilisation des terres excavées provenant de sites (potentiellement pollués). Le guide a été actualisé en 2017 avec des chapitres sur la création de bourses aux matériaux, sur les plateformes de gestion, et sur le traitement des terres, même si ce sujet fait encore débat au niveau national.

Le sujet de la raréfaction des terres végétales et la question des sols urbains ne sont apparus que postérieurement au projet de requalification du site de Boulogne Billancourt, avec une prise de conscience du caractère peu durable des pratiques usuelles qui consistent à aller chercher à l'extérieur de la « terre végétale » pour réaliser les espaces verts des projets d'aménagement urbains, alors que paradoxalement, plus de 60 % des terres issues de chantiers de dépollution sont soit confinés sur site soit stockés dans des installations dédiées, y compris après traitement (ADEME, 2012). Lutter contre ce gaspillage de matériaux et réduire les prélèvements dans le milieu naturel et la consommation des terres agricoles nécessite de considérer les terres traitées, mais aussi les sols urbains dont la qualité a été dégradée par l'activité anthropique, comme une ressource valorisable. Il s'agit de ne plus « voir » le sol seulement sous l'angle de la pollution, alors que, même « dégradé », il peut remplir des fonctions dont certaines sont susceptibles d'intéresser les architectes urbanistes en

charge de la reconversion des friches, et de promouvoir le recours à ces matériaux en alternative à la « terre végétale ». Des travaux de recherche en cours sur la reconstruction de sol, la pédogenèse et l'évolution physico-chimique des sols anthropisés, sur les fonctions et les services de ces sols devraient alimenter la réflexion collective dans les années à venir. Ces travaux, bien que nécessaires, ne suffiront pas à eux seuls pour changer la « perception » collective vis-à-vis de ces matériaux (acceptabilité) mais aideront sans doute à faire évoluer la réglementation (voir l'encadré sur les Technosols dans ce dossier).

LES LEÇONS ET PERSPECTIVES

La reconquête des friches est un domaine en pleine évolution et cette opération de requalification, permet d'éclairer la situation actuelle et apporte des enseignements.

La phase de concertation et d'interactions entre tous les acteurs ne débute jamais assez tôt. En effet, dans ce projet, les objectifs ambitieux ont été respectés pour l'ensemble du site, même si le programme d'aménagement n'avait pu être parfaitement arrêté au tout début des travaux. Toutefois, un calendrier encore plus favorable aurait permis, d'une part une approche plus efficiente tant au plan économique qu'en matière de compatibilité avec les usages, et d'autre part, de minimiser les contraintes dont ont dû tenir compte les parties prenantes. Dans le cadre de ce projet, un travail concerté très en amont entre toutes les parties, une communication large autour de notions complexes (pollution, dépollution selon l'usage), conduiraient à mieux échanger autour des choix d'aménagement, et de recourir à des choix

constructifs avec davantage de souplesse dans le déploiement et l'organisation du projet d'aménagement tout en respectant parfaitement les enjeux environnementaux.

La réalisation de ce projet permet de souligner la pertinence de la démarche nationale en matière de sites et sols pollués par l'exemple. En effet, la comparaison entre les résultats des investigations environnementales menées conformément à la méthodologie nationale en matière de sites et sols pollués (étude historique et documentaire, reconnaissances itératives) et les résultats des reconnaissances menées de façon systématique selon un maillage régulier à la demande de l'industriel, n'a mis en évidence qu'un très faible taux de "mauvaises découvertes" (de l'ordre de 1 à 2 %). En ce sens, le maillage systématique aurait pu être considéré comme superflu. Cependant, ce dernier visait d'une part à optimiser les opérations en minimisant les incertitudes sur la qualité des sols et sur les besoins de traitement, et d'autre part en apportant des garanties en matière d'atteinte des objectifs. On peut considérer que ces deux objectifs ont été atteints, et que les dépenses supplémentaires ont été largement compensées par les gains liés à l'optimisation des travaux. La reconnaissance par mailles a indirectement permis de montrer la pertinence de la méthodologie nationale dès lors que celle-ci est menée de façon rigoureuse.

Les perspectives doivent s'appuyer sur des outils nouveaux pour évaluer de manière bien plus précise les conséquences de l'activité humaine sur l'environnement urbain, qu'il s'agisse des inventaires historiques urbains (IHU) réalisés à l'échelle cadastrale, des inventaires de friches, de la mise en place des Secteurs d'In-

formations sur les Sols (SIS¹), de la démarche nationale impulsée par le ministère en charge de l'Ecologie pour la constitution de fonds géochimiques naturels (FGN) et urbains (FGU).

Au-delà de cette meilleure connaissance du passif environnemental, l'action des porteurs de projets quels qu'ils soient (collectivités, aménageurs publics et privés, promoteurs, etc.), doit pouvoir être facilitée par d'autres outils tels que le dispositif du tiers demandeur (loi ALUR) qui permet de confier à un tiers qui en fait la demande les travaux de réhabilitation d'un site ayant accueilli une installation classée (ICPE) en se substituant au dernier exploitant s'il est d'accord.

Le contexte général a positivement évolué vis-à-vis de certaines questions soulevées lors du projet de requalification du site de Boulogne Billancourt, avec l'apparition de nouveaux outils réglementaires et de guides, mais aussi une meilleure appropriation collective du sujet et une montée en compétence de l'ensemble des acteurs.

Il n'en reste pas moins que si certains progrès sont encore attendus aux plans réglementaires ou des bonnes pratiques comme la question des terres excavées, insuffisamment intégrée dans une logique d'économie circulaire, et celle de la reconstruction de sols, ou aux plans techniques pour les choix des traitements hors site et in situ, une part importante des enjeux demeure dans la nécessité d'anticiper et de communiquer, qui reste un paramètre crucial pour le succès de ces opérations. ■

1 Prévus par la loi Alur par le décret du 26 octobre 2015, ce dispositif vise à recenser les sites pollués qui, en cas de changement d'usage, justifient la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution. Le recensement de ces sites doit être réalisé avant le 1er janvier 2019.

Les Technosols ou Anthrosols Construits : vers la création de sols urbains de plus en plus fonctionnels

Après la démolition des bâtiments et la dépollution des milieux dégradés (sol, sous-sol et éventuellement aquifère), le réaménagement de la friche hérite le plus souvent d'un sol de « mauvaise qualité ». Généralement, le maître d'ouvrage peut compter sur une certaine capacité à supporter de nouveaux bâtiments et à infiltrer rapidement des eaux de pluie compte tenu du caractère souvent grossier des déblais laissés sur place. Mais, pour élargir le champ des possibles, le projet doit pouvoir bénéficier d'autres fonctions du sol pour faciliter le réaménagement du site. La capacité à produire de la biomasse, pour un aménagement paysager, est généralement la première requise et justifie à elle seule ce besoin. Mais, les aménageurs commencent à s'intéresser aux fonctions du sol relatives aux cycles de l'eau, du carbone, etc. ainsi qu'à l'état de l'habitat de la faune et de la flore¹.

Pour répondre à cette demande, la pratique doit dépasser celle qui consiste à rapporter en surface quelques dizaines de cm d'un matériau terreux, officiellement désigné comme « terre végétale » et dont les caractéristiques sont précisées dans la norme NF U 44-551 (AFNOR, 2009). Cette terre, généralement issue des sols agricoles ou forestiers en cours d'urbanisation, commence à manquer dans certaines agglomérations comme Paris, Lyon, Lille. L'évolution proposée par la Science du sol est la fabrication de sols dénommés Technosols ou Anthrosols (Rossignol et al., 2008) qui, désignent des sols entièrement fabriqués par l'Homme. Le référentiel pédologique français distingue les Anthrosols construits. Ce sont des édifices fabriqués par l'Homme pour remplir les fonctions du sol sur un site très dégradé, en faisant appel au génie pédologique avec l'objectif, non pas du retour à un état initial, mais de la mise en place d'un sol optimisé pour un usage ou un service souhaité par le projet.

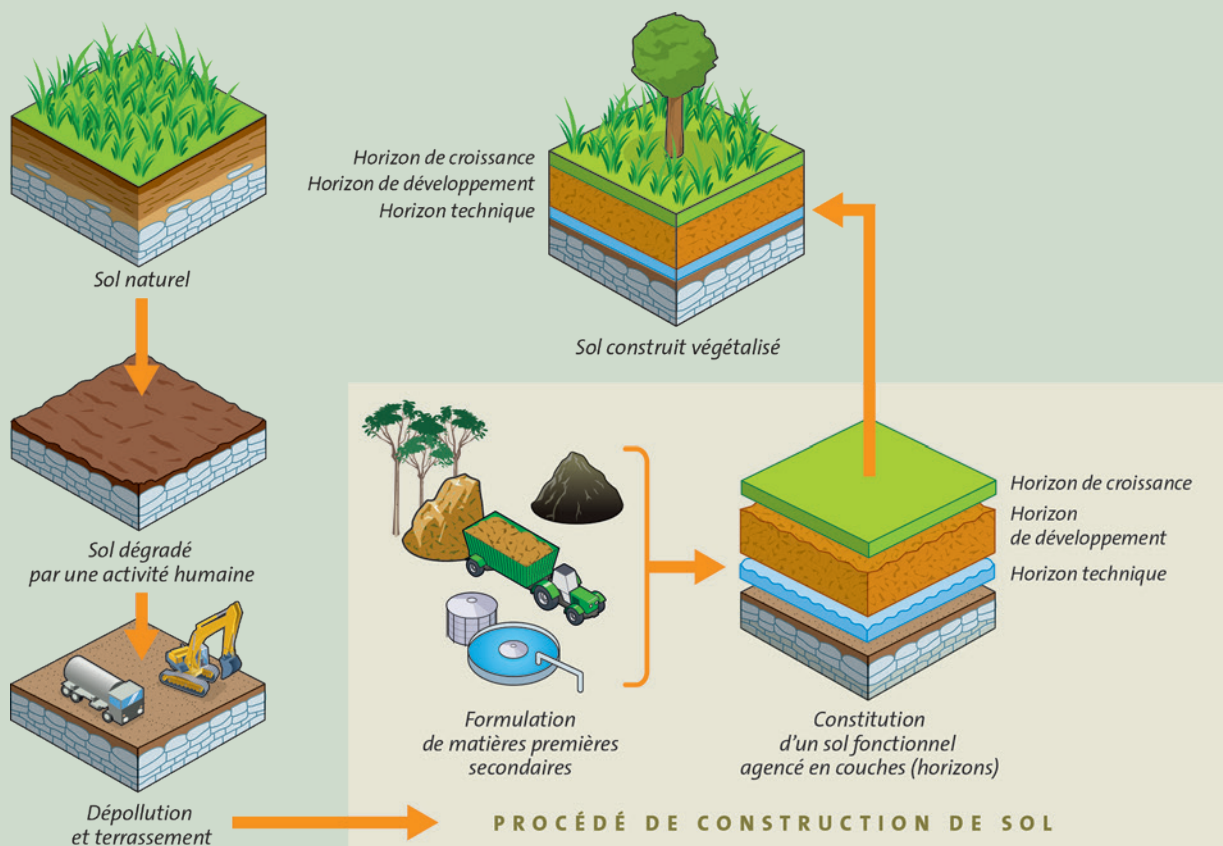


Schéma de mise en place d'un Anthrosol construit. Source : Bataillard et al., 2014.

¹ voir par exemple, la démarche « EcoCité » - <http://www.territoires.gouv.fr/les-ecocites>

Une des caractéristiques fondamentales de l'Anthrosol construit est d'être fabriqué à partir de matériaux non issus des sols naturels, sauf exception. Les constituants utilisés auront juridiquement un statut de déchet, c'est-à-dire que leur propriétaire les destinait à l'abandon. C'est un avantage, car ce genre de matériaux ne manque pas en milieu urbain et peut être de nature très variée. Par exemple, le consortium SITERRE (Damas et Coulon, 2016) qui propose un « procédé de construction de sols à partir de matériaux innovants en substitution à la terre végétale et aux granulats de carrière », après une étude exhaustive de la liste européenne des déchets, s'est particulièrement intéressé au mélange de résidus de production de briques, de déconstruction de bâtiment, de ballast ferroviaire usagé, de terres excavées issues du sous-sol, de boues papetières, de boues de station d'épuration, de déchets verts broyés non compostés ou encore de déchets issus du balayage des rues, pour fabriquer des sols. Le génie pédologique aura pour mission de définir les bonnes proportions de constituants à mélanger pour obtenir des anthrosols avec une garantie de leurs propriétés et de leur pérennité. En théorie, il paraît possible de fabriquer une large gamme de sols différents en fonction des besoins exprimés par un maître d'ouvrage.

Des méthodes sont d'ores et déjà opérationnelles (voir schéma) et plusieurs entreprises proposent la construction de sols avec des procédés qui peuvent être protégés par un brevet. Dans le cas de la réhabilitation des friches, un des premiers objectifs sera le réemploi de matériaux issus du site lui-même pour des économies de transports et de ressource.

Installés en quelques semaines, les Anthrosols construits montrent des signes d'évolutions rapides. Il s'agit généralement de phénomènes de tassement, de minéralisation de la matière organique, et d'une certaine mobilité du fer. Ces évolutions sont normales et prévisibles. Comme tous les sols exploités par l'Homme, le maintien de leur fertilité demandera des intrants proportionnels aux exigences de production et des pratiques culturales adaptées.

L'élaboration d'Anthrosols construits, de plus en plus fonctionnels, pérennes, sur la base d'un recyclage de déchets urbains, s'inscrit indéniablement dans la démarche d'économie circulaire des métropoles et leur confère ainsi plus de durabilité dans leur développement. La pertinence économique d'une telle filière en comparaison avec la filière classique utilisant de la terre végétale a également été démontrée sur la base de scénarios de mise en œuvre réalistes (Damas et Coulon, 2016). Toutefois, cette solution ne concerne que de petites surfaces en milieu urbain ou industriel en raison des ressources et mouvements importants de matériaux qu'elle impose. Elle n'est pas applicable pour des sols agricoles et forestiers, mais a l'intérêt majeur de limiter leur artificialisation.



Philippe Bataillard
Chargé de mission BRGM

AFNOR, 2009, Supports de culture – Dénominations, spécifications, marquage - Norme NF U 44-551 COMPIL, 42 p.

Bataillard P., Séré G., Morel J.-L., Colombano S., Rouvreau L., 2014, Le sol en contexte de sites pollués 2. Préserver et restaurer les fonctions du sol. *Géosciences*, 18 : 62-69.

Damas O. et Coulon A. (éd.), 2016, *Créer des sols fertiles – Du déchet à la végétalisation urbaine*, Editions Le Moniteur, 335 p.

Rossignol J.-P., Baize D., Schwartz C., Florentin L., 2008. Anthrosols. In Baize D. et Girard M.-C. (coord), *Référentiel pédologique*. Quae Edition. p. 88-98.

L'arbre au service du climat urbain : le Plan « Canopée » de la Métropole de Lyon

Pour adapter la ville aux changements climatiques et veiller au bien-être et la santé des citoyens en utilisant des solutions durables, la Métropole de Lyon a créé le Plan Canopée qui établit un lien entre la Charte de l'arbre et le Plan climat énergie territorial (PECT). Il vise à intensifier les efforts entrepris depuis plus de 25 ans en faveur de l'arbre « citoyen » en développant « la forêt urbaine ».

Les chartres de l'arbre réintroduisent l'arbre comme une composante majeure de la ville et ont entraîné la multiplication par 2,4 du nombre d'arbres sur les espaces publics de la Métropole de Lyon, passant de 42 000 en 1990 à plus de 100 000 aujourd'hui. Cette Charte de l'Arbre contribue à faire prendre conscience des bénéfices environnementaux, sanitaires, sociaux et économiques rendus par l'arbre citoyen.



Parc urbain © Métropole de Lyon, 2018

Le Plan climat énergie territorial a mis en évidence que l'impact sanitaire des canicules estivales est un risque majeur à surmonter et que l'acteur principal de la lutte contre les îlots de chaleur urbains est l'arbre avec son potentiel rafraîchissant grâce au processus d'évapotranspiration. Les mesures réalisées dans des parcs ou des avenues plantées montrent une baisse de température absolue sous abri assez limitée, de l'ordre de 1 à 2°C, en revanche la baisse en termes de température ressentie est beaucoup plus significative, de l'ordre de 10 à 11 degrés UTCI (unité de mesure de la température ressentie).

Le Plan Canopée qui réduira la « fracture arboricole » entre l'ouest et l'est de l'agglomération s'articule en 4 axes majeurs :

- Pérenniser et développer le patrimoine arboré,
- Favoriser le bien-être et la mobilisation des citoyens,
- Fédérer les professionnels autour du Plan Canopée,
- Améliorer les connaissances et développer de nouvelles pratiques.

Il se déclinera en 25 actions principales développées de manière partenariale et prend également forme dans tous les projets d'aménagement urbain qui doivent être considérés par ailleurs comme des opportunités de désimperméabiliser les sols, renaturer et ombrager la ville.

Cette politique de développement de la « forêt urbaine », pour porter véritablement ses fruits, doit être soutenue sur le long terme. En effet, les 60 000 nouveaux arbres plantés par la Métropole depuis 25 ans commencent aujourd'hui seulement à offrir une véritable efficacité climatique. Ils permettront à eux seuls de doubler la surface des espaces publics ombragés d'ici 2030. Les arbres plantés dans les prochaines années n'auront à leur tour une efficacité climatique significative que dans une vingtaine d'années, d'où la nécessité d'anticiper pour que ce Plan Canopée soit efficace pour le bien-être des générations futures qui, entre 2050 et 2100 seront confrontées à la réalité des changements climatiques.



Julien Lahaie
Directeur de la mission Vallée de la Chimie, Métropole de Lyon
Frédéric Ségur
Responsable Unité Arbres et Paysages, Métropole de Lyon



Jean Dunglas,
Section 7, Environnement et
territoires

Jean Dunglas

Membre de l'Académie d'agriculture

L'agriculture verticale

Pour éviter de réduire encore les surfaces occupées par les écosystèmes naturels, il faut inventer des nouveaux moyens pour fournir aux populations une alimentation abondante et variée. Une des solutions envisageables consiste à édifier des “fermes verticales”, où les végétaux sont cultivés dans des bâtiments se développant en hauteur, à l'intérieur ou sur la périphérie des villes. Dickson Despommier, professeur à l'Université de Columbia a modernisé le concept de *Vertical Farming*. Il a établi les principes de base d'un système de production horticole, installé dans un bâtiment comprenant de nombreux étages abritant à chaque niveau des cultures hydroponiques légumières et fruitières¹. Ces réflexions ont engendré une sorte de bulle conceptuelle², qui contraste avec un scepticisme marqué en Europe, et surtout en France, où l'agriculture traditionnelle reste le modèle socio-économique, très majoritairement accepté.

1 Despommier D., 2010, *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. St. Martin's Press.

2 voir par ex. <https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/harvest-green-vertical-farm-by-romses-architects-wins-competition.html>



1. Agriculture verticale
© Mike Chino for Inhabitat

LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME DE CULTURE ARTIFICIALISÉ ISOLÉ

Le modèle Despommier vise à gérer au mieux et de façon coordonnée les différents facteurs de production, à savoir, la température, la composition et la qualité de l'air, l'eau et les éléments nutritifs, la lumière, enfin les transports. La production de micro-algues et l'ajout éventuel d'une production aquacole sont également à considérer.

La température doit être maintenue autour de l'optimum correspondant à l'espèce végétale cultivée. Si besoin est, elle peut être modulée suivant le cycle diurne et le cycle végétatif. Il faut évidemment essayer de minimiser le coût en énergie en utilisant au mieux les conditions extérieures en particulier l'ensoleillement. La température est homogénéisée par circulation forcée ou par convection naturelle. Classiquement, le rayonnement solaire est contrôlé par des rideaux ou des toiles d'ombrage. En zone froide on peut chauffer au moyen de chaudières, mais c'est une méthode coûteuse qui consomme des combustibles fossiles. En zone chaude on a souvent employé, dans le passé, une circulation d'air sur des paillasons imprégnés d'eau. Dans une serre moderne, la climatisation est obtenue à meilleur compte au moyen d'un bon système de circulation et en utilisant des pompes à chaleur (air/air ou air/eau), d'autant que les différentiels des températures interne/externe restent le plus souvent modérés. Ce type de climatisation se prête particulièrement bien à un contrôle généralisé par ordinateur.

Pour la gestion de l'air, la teneur en humidité est aisément maintenue à l'optimum désiré par des humidi-

ficateurs et une bonne circulation. La teneur en CO₂ est un élément crucial. Les serristes savent depuis longtemps qu'il est intéressant d'en augmenter le taux pour accroître les rendements. Pour les plantes maraîchères les teneurs optimales varient de 1 000 à 1 500 ppm. Des jacinthes d'eau cultivées sous 10 000 ppm de CO₂ peuvent ainsi produire 200 t de matière sèche/ha/an.

Les plantes réagissent différemment au taux de CO₂ suivant le type de leur chlorophylle. Les plantes en C3 y sont très sensibles, celles en C4, comme le maïs, très peu. D'autre part, il faut être attentif au développement des végétaux, car l'enrichissement en CO₂ peut en modifier la phénologie. L'optimum de concentration dépend d'abord de l'éclairage : s'il est insuffisant, l'enrichissement ne sert à rien. Teneur en CO₂ et intensité de l'éclairage sont liés : plus on éclaire, plus l'enrichissement est efficace. Pour les espèces cultivées habituellement, il n'y a aucun intérêt à enrichir en CO₂ la nuit.

Il y a intérêt à utiliser du CO₂ très propre. L'air extérieur peut contenir des polluants variés : gazeux (oxydes d'azote, ozone, ...), chimiques (pesticides venant de cultures voisines), biologiques (pollens étrangers, spores de bactéries et de champignons, parasites et œufs de parasites). La stérilisation éventuelle de l'air de la serre ou venant de l'extérieur est un problème dont la solution n'est pas forcément simple. Quel que soit le type de fonctionnement (ouvert, fermé, mixte) l'air doit être filtré et contrôlé à intervalles réguliers. Diverses cultures ont des pollens allergisants ; il y a alors nécessité de filtrer à certaines époques.

En culture hydroponique ou aéroponique, la gestion de l'eau nécessite

un appareillage de circulation et de contrôle important. Le recyclage de l'eau est la règle, tant de l'eau liquide que de celle résultant de la condensation de l'humidité de l'air.

L'eau a d'abord son rôle biologique direct fondamental. Elle est, d'autre part, le véhicule des éléments nécessaires à l'alimentation des plantes. Elle peut également servir de fluide caloporteur pour la régulation de la température et la mise en réserve de chaleur.

Les besoins en eau varient suivant les espèces cultivées et le moment du cycle végétatif. Chaque bloc de culture doit donc avoir un système d'alimentation indépendant. C'est un problème bien connu et résolu des serres classiques. Les éléments minéraux nécessaires sont apportés sous forme de sels solubles, les concentrations étant assurées par des pompes doseuses.

Si l'on fonctionne en recyclage complet, il faut un dispositif indépendant pour chaque bloc avec un contrôle en continu des concentrations. Ce point est crucial : une erreur de dosage ou une anomalie excessive de fonctionnement peuvent avoir des effets catastrophiques sur l'état de santé des végétaux.

Des difficultés apparaissent lorsqu'on superpose, dans un très grand bâtiment un nombre important de blocs de culture avec des cycles et des types de besoins différents, chacun en circuit fermé. Le contrôle informatique général des cycles, besoins et pannes peut devenir rapidement très complexe. En serre verticale à étages multiples, il peut être intéressant d'avoir un réservoir d'eau au sommet et des réservoirs secondaires par étage ou groupe d'étages abritant un même type de culture, le recyclage se faisant à ce niveau. En serre verticale de grande hauteur, il faut des pompes

élévatoires en nombre suffisant et un supplément de consommation énergétique plus ou moins important est à prévoir.

La plupart des serres actuelles fonctionnent à la lumière solaire directe. La gestion de l'éclairage, quand elle est désirée, se fait classiquement par des rideaux réglables. Cependant il est de plus en plus question d'utiliser des éclairages artificiels, soit pour allonger la durée du jour, soit pour des installations à des latitudes élevées, ou des serres souterraines, soit pour l'adapter au mieux aux végétaux cultivés, en intensité, répartition et longueurs d'onde. Il existe, en effet, deux types de chlorophylles (a et b) dont les bandes d'absorption (dans le bleu-violet et le rouge) sont nettement décalées ; la chlorophylle b est plutôt celle des plantes de pénombre. Parallèlement, divers végétaux possèdent des pigments (carotène, flavonoïdes, anthocyanes) jouant le rôle de filtre dans les feuilles. Il existe ainsi pour chaque espèce, un optimum de longueurs d'onde. Un point important est le rôle des UV dans la qualité organoleptique des fruits et légumes. Une certaine dose d'UV est nécessaire pour produire les polyphénols et les antioxydants qui donnent du goût, donc de la qualité aux végétaux produits.

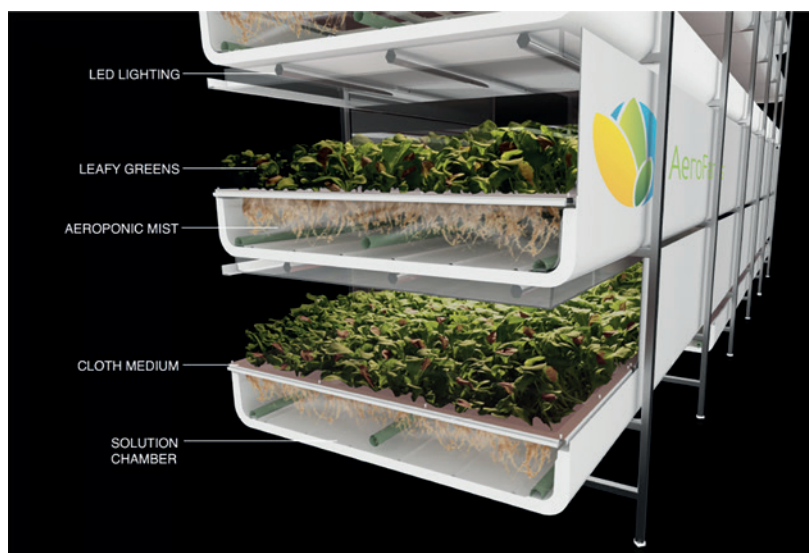
Les moyens d'éclairage actuels, utilisant les LED, donnent la possibilité d'adapter l'éclairage à cet optimum, ce qui permet d'augmenter très sensiblement le rendement de la lumière émise. Les LED ont, par ailleurs, un rendement en lumen/watt électrique largement supérieur aux moyens d'éclairage classique. Là encore, la gestion de la lumière ne peut se concevoir que par un contrôle, généralisé, fiable et donc complètement informatisé.

Une production intensive nécessite des déplacements humains et matériels importants de divers types : opérateurs, semences ou plants, matériaux pour sol de culture artificiel, engrais (nutriments minéraux des végétaux), récoltes, matériels divers, pièces détachées, éventuellement pesticides, etc. Si la serre est organisée comme un atelier industriel avec chaîne de montage automatisée, ce sont les bacs de culture qui se déplacent à différents postes correspondant à l'environnement adapté à la période correspondante du cycle de culture. Si les bacs sont fixes, ce sont les paramètres d'environnements locaux qui doivent changer avec le niveau de croissance et de développement des végétaux concernés. Les techniques permettant ces fonctionnements existent déjà depuis des années dans l'industrie et dans des serres de moyenne dimension. Leur adaptation à des serres verticales de 20 à 30 étages ne sera pas forcément simple et nécessitera une réflexion approfondie. Si la serre est horizontale, l'organisation est simplifiée (photo. 2).

Les micro-algues sont cultivées à l'air libre, dans des bassins remplis d'une solution nutritive. Elles sont également cultivées en photo-bioréacteur, ce qui donne des produits non pollués par des apports extérieurs. Les plus cultivées sont les spirulines et les chlorelles.

En milieu artificiel isolé (photo-bioréacteur) leur culture présente beaucoup d'avantages. Ces algues n'étant pas sensibles au cycle jour/nuit, on peut les éclairer 24h/24 à l'intensité optimale, sous hautes teneurs en CO₂. Le rendement en est alors très fortement augmenté. Elles présentent une valeur alimentaire très élevée due, en particulier, à leur richesse en protéines contenant une bonne proportion d'acides aminés essentiels.

Divers concepteurs préconisent d'associer une production aquacole aux serres, ce qui permet de valoriser les déchets végétaux et d'utiliser au mieux l'eau des systèmes hydroponiques et aéroponiques. L'association des deux techniques est parfois appelée aquaponique. Le poisson le plus souvent élevé est le tilapia (famille



2. Coupe de principe d'une unité de culture de ferme verticale

© Aerofarms.

des *Cichlidae*), sorte de carpe d'eau douce des régions chaudes, très facile à nourrir et à élever.

PEUT-ON ÉVALUER L'IMPACT ÉCOLOGIQUE DE CE TYPE DE PRODUCTION ?

L'extrême variété des circonstances locales, des types de réalisation et des voies de commercialisation rend totalement vaine n'importe quelle tentative sérieuse de quantification globale précise de l'impact écologique de ce nouveau type de production. Aucun auteur ne semble s'y être vraiment encore attaqué. Les argumentations développées restent ou très ponctuelles ou bien floues, imprécises forcément très générales et assez souvent marquées de prises de position à dominante idéologiques. La comparaison entre une "usine à légumes" installée dans des locaux industriels anciens existants en centre-ville, donc déjà reliés aux réseaux urbains (eau, électricité, informatique, transport, etc.), et la construction d'une tour dédiée, entièrement neuve, construite sur un terrain acheté en périphérie urbaine, associée ou non à des logements, n'a, de fait, guère de sens.

L'empreinte écologique, définie comme la surface nécessaire pour produire la même quantité de légumes qu'un maraîchage classique est relativement aisée à calculer au cas par cas. Au contraire, l'empreinte carbone définie comme la mesure de la quantité de CO₂ émise par combustion d'énergies fossiles est beaucoup plus difficile à évaluer. La part relevant de la consommation en énergie, en fonctionnement courant, dépend à la fois de la structure technique de l'installation et du mix énergétique local. Il est difficile de tirer des conclusions de

la comparaison d'une serre verticale construite au Canada en zone froide avec de l'électricité bon marché, d'origine hydraulique, et d'une installation à Singapour, en zone chaude, avec de l'électricité venant de générateurs diesel consommant du fioul.

En France, l'importance du facteur consommation d'électricité est très souvent mise en avant comme étant un facteur potentiellement limitant. A première vue utiliser un éclairage artificiel pour faire pousser des végétaux, alors que l'agriculture classique utilise directement le rayonnement solaire gratuit, peut sembler aberrant. En réalité, tout dépend des choix techniques. Si l'on veut optimiser le facteur éclairage (spectre, rythme diurne/nocturne, intensité optimale en fonction de la teneur en CO₂, ...), l'éclairage artificiel devient intéressant. La consommation électrique des autres postes, climatisation, circulation de l'eau et des produits, locaux annexes, automatismes et robots, finit par devenir dominante par rapport à l'éclairage et en relative l'importance.

Au final, il apparaît clairement que, pour les concepteurs, les aspects écologiques essentiels sont les gains en surface (l'empreinte écologique dans sa définition basique), l'isolement par rapport aux maladies et aux parasites (absence de produits phytopharmaceutiques), avantage relativement aisé à évaluer, la réduction de la pollution externe par les eaux et, enfin, la réduction des contraintes de transport et de conservation elle-même largement dépendante des circonstances locales.

Toutefois, au bout du compte, c'est essentiellement le prix de revient du kg de légume produit qui guide la conception de l'installation, les

considéranants écologiques constituant un fort argument publicitaire. On constate finalement que la réussite des sites existants vient pour beaucoup du fait que les prix pratiqués diffèrent peu de ceux des productions issues de l'agriculture classique.

ECONOMIE DES PROJETS

La plupart des auteurs s'accordent à dire qu'il est peu probable que les coûts supplémentaires liés à l'éclairage, la climatisation et l'énergie nécessaire aux diverses circulations soient compensées par l'absence de frais de transport. Dans tous les cas la dépendance au prix du foncier local est énorme.

Des évaluations récentes, sensiblement plus détaillées et précises, ont été faites. L'une des plus intéressantes est celle de Chiranian Banerjee et Lucie Adenauer, Institut pour l'économie de l'alimentation et des ressources, Université de Bonn³. Il s'agit d'un projet de serre verticale de section carrée de 44 m de côté, haute de 167 m, à 37 niveaux dont 25 réservés à la production végétale, 3 à l'aquaculture, 1 pour la préparation des bacs de culture, des semences et des plants, 1 pour le conditionnement des produits, 1 pour la commercialisation, 2 pour le traitement des déchets en sous-sol (ces déchets pouvant être transformés en compost et vendus). Les serres produiraient 3 500 t par an de légumes et de fruits (pommes de terre, carottes, pois, choux, épinards, salades, tomates, fraises) et l'aqua-

3 Banerjee C., Adenauer L., 2014, The Economics of Vertical Farming, Macrothink Institute, *Journal of Agricultural Studies*, Vol. 2, No. 1, pp. 40-60.

culture 140 t de filets de tilapias.

Les énormes accroissements de rendement par ha sont essentiellement dus à l'empilement des étages de culture, le bâtiment n'occupant, finalement, au sol que 0,25 ha. Les effets des techniques nouvelles sont beaucoup plus modestes. Le coût de la construction et de l'équipement est évalué à 202 millions d'euros. Toutefois il dépend du coût du foncier (emplacement envisagé pour le cas étudié, la banlieue de Berlin). Le coût de fonctionnement annuel serait d'environ 8 millions (M) d'euros, dont 2 M pour le personnel et 5,4 M pour l'énergie.

Dans ces conditions, les prix de revient par kg de biomasse végétale et animale se situeraient entre 3,50 € et 6 € suivant les hypothèses, ce qui paraît relativement élevé par rapport aux prix du marché. Les auteurs estiment toutefois que les prix de vente qui en résulteraient pourraient être compétitifs, surtout si les produits bénéficient d'une préférence de la part des consommateurs (fraîcheur, vision directe de la production, absence de pollution, etc.). Ce genre de projection a le mérite de fixer au moins les ordres de grandeur. Néanmoins, il aboutit forcément à des résultats qui restent imprécis et largement discutables.

Il apparaît peu probable qu'une installation de ce genre, avec tous ses perfectionnements, soit construite intégralement du premier coup, sauf pour une éventuelle opération de prestige. Compte tenu de la nouveauté et des mises au point progressives nécessaires, les risques d'un échec technique et financier seraient bien trop élevés, ce qui porterait un préjudice très grave à la validité et l'intérêt du concept. Pour démarrer, il est beau-

Cultures	Rendement en ferme verticale (T/ha)	Rendement au champ (T/ha)	Coefficient d'accroissement dû à la technique	Coefficient d'accroissement dû à la technique et à l'empilement
Carottes	58	30	1,9	347
Radis	23	15	1,5	829
Pommes de terre	150	28	5,4	552
Tomates	155	45	3,4	548
Poivrons	133	30	4,4	704
Fraises	69	30	2,3	368
Pois	9	6	1,5	283
Choux	67	50	1,3	215
Laitues	37	25	1,5	709
Epinards	22	12	1,8	820
Moyenne	71	28	2,5	516

Tableau des rendements à l'ha estimés de la ferme verticale comparés à ceux de l'agriculture traditionnelle
 extrait de l'étude de Banerjee C., et Adenauer L (2014) et traduit par l'auteur

coup plus facile d'édifier des installations moins impressionnantes et moins complexes dans des bâtiments existants, par exemple sur des friches industrielles urbaines ou périurbaines, là où les terrains ne sont pas trop chers, ce que l'on observe dans la réalité.

QUELQUES EXEMPLES DE RÉALISATIONS

Les réalisations existantes sont encore, à l'heure actuelle, toutes plus ou moins partielles par rapport aux concepts de base. Elles commencent, néanmoins, à être assez nombreuses. Il s'agit surtout de dispositifs à étagères multiples, pouvant être relativement hauts, supportant des bacs de culture aéroponiques ou à sols artificiels, à éclairage en général naturel, avec des alimentations en eau et en nutriments automatisées. Plantation, surveillance et récoltes sont encore le plus souvent faites à la main. Le tout est, presque toujours, installé dans une structure robuste capable de résister aux fortes intempéries, au niveau du sol ou sur le toit d'un immeuble existant, en milieu urbain ou périurbain.

Il s'agit donc, dans la majorité des cas, de serres classiques amélio-

rées, utilisant la technique aéroponique, mais encore peu robotisées. Quelques-unes de ces réalisations sont rappelées ci-après

Au Japon, à Kameoka, près de Kyoto, la société *Spread* exploite déjà une serre horizontale de 4 400 m² utilisant des étagères à 4 niveaux, les principes précédents d'éclairage et d'arrosage, très robotisée, et produisant 21 000 têtes de laitue par jour, vendues dans les zones avoisinantes. Elle projette pour 2017 une autre installation, toujours près de Kyoto, encore plus automatisée, pour produire 30 000 têtes de laitue par jour⁴. A Singapour, la société *Skygreen* a mis en place depuis 2012 une serre, utilisant des étagères hautes de 9 m et comportant 12 niveaux, montés sur des supports mobiles pour optimiser la lumière solaire. La production couvrirait 7 % de la consommation de salades de la ville à un prix comparable à celui des produits importés⁵. A Orlando, en Floride, *Green Sky*

4 https://www.theregister.co.uk/2014/05/22/fujitsu_grows_lettuce_in_chip_factory/

5 <https://permaculturenews.org/2014/07/25/vertical-farming-singapore-solution-feed-local-urban-population>

Growers a construit une serre verticale expérimentale associée à un système d'élevage aquacole (aquaponique). L'éclairage est solaire et la climatisation obtenue essentiellement par réglage des circulations.

Dans le New Jersey, à Newark, *Aerofarm* vient de mettre en route une importante ferme périurbaine, s'étendant sur 7 000 m², qui peut produire 500 t par an de différentes variétés de salades et légumes (photo 3). L'extension est horizontale et les racks comportent 12 niveaux. L'éclairage, totalement artificiel, est adapté au végétal cultivé⁶

Le concept commence à s'industrialiser. La société *Verticrop* fournit des systèmes verticaux de rayonnages standardisés dont le module unitaire comporte deux fois 12 étagères supportant les bacs de culture avec leur alimentation en eau automatisée, le tout pouvant être installé dans n'im-

porte quelle serre présentant des dimensions suffisantes.

Il est intéressant d'indiquer que la société *Aerofarm* propose, de son côté, des mini-modules verticaux totalement automatisés, de dimension très réduite, permettant de cultiver des légumes feuillus verts presque partout chez soi.

A Vancouver fonctionne, depuis 2012, une petite serre de 560 m² à développement horizontal, utilisant des étagères sur convoyeurs, à 12 niveaux, supportant des bacs de culture produisant des légumes verts toute l'année.

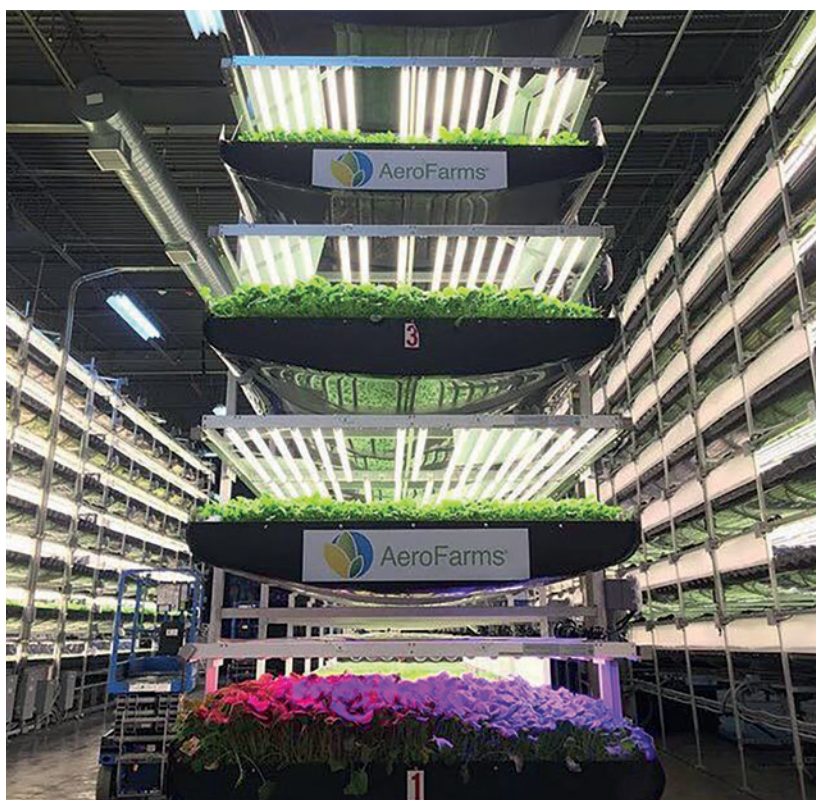
A Berlin, un hypermarché *Metro* a installé dans son magasin une serre verticale hydroponique et à éclairage artificiel de la société *Infarm*. Les clients viennent choisir eux-mêmes, la salade, le légume ou la plante aromatique produits sur place.

En France, ces idées n'ont pas

encore vraiment débouché et elles ne semblent pas avoir soulevé beaucoup d'enthousiasme. Une petite installation expérimentale, la "ferme urbaine lyonnaise" a été édifée à l'INSA de Lyon (avec la collaboration de l'INRA d'Angers) et inaugurée le 21 octobre 2016. Il s'agit d'une unité standard de 1 000 m² au sol avec un système de culture sur trois étages représentant l'équivalent de 2.200 m² de surface agricole utile. La production serait de 11 t par semaine de légumes verts haut de gamme et de végétaux pour compositions pharmaceutiques. Le coût de l'investissement serait de l'ordre de 5 millions d'euros.

Il faut également citer un ambitieux projet imaginé par le cabinet *SOA Architectes*⁷ en réponse à un concours d'architecture lancé par Cimebéton (Lafarge). Il s'agit de la "Tour Vivante", concept associant une ferme verticale urbaine à un ensemble de bureaux, de logements et de locaux commerciaux à construire à Rennes (photo 4).

Le bâtiment est une tour à noyau dur en béton, de 130 m de haut, comportant 30 étages, avec une emprise au sol relativement modeste de 28 m x 48 m. Il produit une partie de son énergie par des capteurs solaires en façade et 2 éoliennes au sommet. La partie agricole, installée au sommet, consiste en 7 000 m² de serres devant produire par an, en hors sol avec éclairage artificiel nocturne, 63 t de tomates, 9,3 t de fraises et 37 000 pieds de salades.



3. Système de ferme verticale d'Aerofarm

© Aerofarms.com

6 <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3629690/New-York-world-s-biggest-vertical-farm-Giant-70-000-sq-let-tuce-factory-produce-2-MILLION-pounds-food-year.html>

7 SOA Architectes, 2005, La Tour Vivante, http://www.ateliersoa.fr/verticalfarm_fr/



4. La Tour vivante à Rennes, SOA
Architecte © 2006-2018 PSS

En dessous, on trouve 130 appartements couvrant 11 000 m² et occupant les 15 premiers étages ; les autres étages abritent 8 500 m² de bureaux. A la base, un centre commercial ; en sous-sol, quatre étages de parking. L'investissement était évalué à environ 100 M d'euros ce qui paraît extrêmement optimiste.

Le projet Tour Vivante a été abandonné et remplacé par une tour totalement urbaine de bureaux et d'appartements.

UNE IDÉE SÉDUISANTE ENCORE FUTURISTE

L'idée consistant à isoler complètement l'agrosystème et d'en maîtriser totalement l'environnement interne est l'*objectif ultime* du concept de *Vertical Farming* de Despommier.

Les techniques pour y parvenir sont maintenant disponibles. Les conditions climatiques, sociales et économiques de divers pays amènent tout

naturellement les décideurs locaux à y trouver la solution à certains de leurs problèmes. Par ailleurs, le concept répond à un désir affirmé de voir les villes grandes et moins grandes intégrer des éléments de la production de leur alimentation. Pour diverses raisons sociologiques et idéologiques, l'agriculture urbaine, pourvu qu'elle apparaisse "durable", fait maintenant partie d'un courant de pensée important. Cependant, il n'existe pas encore de réalisation correspondant complètement aux critères du modèle de Despommier.

Les prix exagérément élevés du foncier urbain dans les grandes métropoles, le coût de construction non moins élevé de tours de grande hauteur, la relative complexité de l'intégration de techniques, certes connues, mais jamais réunies dans un ensemble cohérent, explique, au moins partiellement, les hésitations des investisseurs. Quitte à construire en hauteur, il est plus rentable et beaucoup plus sûr, pour les promoteurs, d'adjoindre aux serres des appartements et des bureaux comme à Rennes.

Les avantages en termes d'économie de transport, de conservation et de fraîcheur associés à l'enthousiasme de consommateurs asiatiques en matière de nouveautés ont néanmoins permis d'avancer. On assiste maintenant à la construction, dans les friches industrielles de grandes villes à forte densité de population, de serres modernes aéroponiques, à un seul niveau mais équipées de racks très hauts à étagères multiples, très automatisées avec un recyclage de l'eau, et qui commencent à fonctionner en éclairage artificiel. Ces serres ont un succès commercial indiscutable et semblent rentables.

Profitant de l'engouement actuel pour "l'autonomie écologique", plusieurs fabricants d'équipements lancent sur le marché des modules de production de petite taille permettant à n'importe qui de produire dans une maison individuelle, salades, radis, tomates, etc. Salades, tomates, ou fraises des meilleures variétés, produites sur place, parfaitement propres, au bon état de maturation, n'ayant subi ni transport, ni passage en entrepôt frigorifique, peuvent effectivement avoir des qualités organoleptiques très supérieures aux produits commerciaux classiques et entraîner l'adhésion des consommateurs.

L'évolution de ces "usines à salades", descendantes directes des maraîchers périurbains⁸ en "tour de Despommier" dépendra de facteurs économiques locaux comme le prix du foncier et de la disponibilité de friches industrielles. Il est très probable que quelques-unes de ces tours seront édifiées pour des raisons économiques ou de prestige, et peut-être aussi dans des régions à climat difficile. Parallèlement, des serres verticales souterraines pourraient se révéler intéressantes dans des zones très froides, très chaudes ou soumises à de forts aléas climatiques.

La ferme verticale n'est certainement pas le remède universel aux problèmes de l'alimentation urbaine et aux effets négatifs de l'agriculture classique, mais on peut y voir une modernisation intéressante du maraîchage périurbain. ■

8 Waterford D., February 21, 2015, *21st Century Homestead: Urban Agriculture*, Lulu.com.



Christian Ferault
Vice-Secrétaire honoraire, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.



Patrick Ollivier
Trésorier perpétuel.

Médaille en salle des séances ©Ch. Ferault



Christian Ferault et Patrick Ollivier¹

Membres de l'Académie d'agriculture

Amédée de Béhague (1803-1884) Éminent membre et grand mécène de la Société d'Agriculture

Amédée de Béhague est un personnage que nous croisons en permanence dans l'Académie, sans toujours nous en rendre compte. Pourtant, il est présent en salle des séances (il y figure en majesté au-dessus de la tribune, mais souvent derrière l'écran...), dans la vitrine de l'escalier à travers quelques-unes des innombrables médailles qu'il remporta pour ses animaux, au premier étage au sommet du panneau des médaillons de seize membres célèbres, enfin en portrait dans le bureau du Secrétaire perpétuel.

Plus généralement, l'Académie est chez lui, puisqu'il lui offrit l'immeuble qui nous abrite, 18 rue de Bellechasse à Paris.



Fig. 13. — Portrait de M. de Béhague.

Portrait de M. de Béhague ©Ch. Ferault

CE QUE NOUS SAVONS DE LA BIOGRAPHIE DE BÉHAGUE

Amédée de Béhague naît le 11 ou 12 octobre 1803 à Strasbourg, fils d'Eustache de Béhague (1757-1823) et d'Henriette Polyxène Wittersheim, sa seconde épouse. La famille de Béhague (ou de Béhagle) d'ancienne

¹ Remerciements à Nahid Movahedi, Lambert Davis et Henry Lefebvre-Vary.

noblesse militaire des Flandres espagnoles est détentrice de la seigneurie "de Rollegham, de Villeneuve-l'Étang, du Bois de Lelos... aux Pays-Bas, en Calais, en Artois", avec pour devise "Bon guet chasse mal aventure".

Réputé enfant naturel par défaut d'acte d'état-civil constatant le mariage de ses parents, Amédée est reconnu par acte du 21 Vendémiaire an XII. Durant sa jeunesse, il visite Grignon et Roville, ainsi que les fermes anglaises en pointe à l'époque. À 18 ans, au décès de son père, il hérite de la moitié de sa fortune. Le 7 mai 1825, il épouse à Paris Victoire-Félicie Bailliot (1807-1885) avec laquelle il aura deux enfants : Octave et Valentine.

À partir de 1826, il achète et agrège plusieurs domaines autour de Dampierre-en-Burly (Loiret), réunissant progressivement deux milliers d'hectares à l'époque considérés comme de mauvaises terres. Il acquiert également le château du village – reconstruit au début du siècle, et qui sera classé monument historique en 1928 – s'y installe et va désormais se consacrer au développement et à l'exploitation de son domaine.

"J'avais beaucoup voyagé en Belgique, en Angleterre, en Artois, où m'appelaient souvent des relations de famille. Les quinze domaines de Dampierre étaient loués, ce qui me permit de ne les reprendre que successivement et à des intervalles de trois années. Les écoles que je dus nécessairement faire, ne m'ont ainsi causé que des pertes insignifiantes."

"J'étais jeune alors, je n'avais que vingt-trois ans ; mais grâce à la vie de campagne dans laquelle j'avais été élevé et aux goûts que ma digne mère avait su m'inspirer, grâce aussi à la bonne direction que mon père

m'avait imprimée, je me trouvais apte à embrasser cette carrière. Il m'avait appris à connaître la valeur de l'argent, à apprécier les pénibles labeurs de celui qui doit le gagner ; il ne manquait jamais de me mettre en contact avec ses fermiers, ses métayers, et me faisait ainsi juger les difficultés que ces braves gens doivent surmonter, et combien sont blâmables ceux qui ne savent pas faire un bon usage de leur argent." (Béhague, 1873).

Élu conseiller municipal, il le restera 60 ans, sans pour autant devenir maire. Pour sa commune, Béhague est un important pourvoyeur d'emplois, et souvent un mécène : il offre une pompe à incendie, entretient un asile maternel, un ouvroir et un aspic avec un médecin qui prodigue des soins gratuits. Il participe aux réparations de l'école dont il prête les bâtiments, donne un terrain afin d'y établir un nouveau cimetière, et en 1881 fait un don de 10 000 F pour la reconstruction de l'église (sur un budget de 94 000 F). Comme le soulignera un journaliste lors de la célébration du centenaire de son décès, le XIX^e siècle aura été pour les Dampierrois le siècle de Monsieur de Béhague, comme on dit le siècle de Louis XIV. Sa forte implication va rapidement faire de lui un notable local, puis régional, et on l'évoque comme le premier à rendre salubre et cultivable la Sologne. Il est élu conseiller général du Loiret en 1833, puis vice-président de la Chambre consultative de Gien. En 1839 il devient membre du Conseil supérieur de l'agriculture, ainsi que du Cercle des chemins de fer.

En 1840, il est élu Correspondant de la Société royale et centrale d'agriculture (future Académie d'agriculture de France). En 1850, il en devient membre résidant, et en sera deux fois

président, en 1877 et 1879.

En 1845, il est fait chevalier de la Légion d'honneur en tant qu'agriculteur – ce qui est exceptionnel – et en 1847 il est nommé officier. En 1848, lors de la grande crue de la Loire, il sauve de la noyade, au péril de sa vie, deux de ses fermiers emportés par les flots.

En 1856 (ou 1859 ?), Amédée de Béhague est fait comte héréditaire par la duchesse-régente de Parme, titre confirmé selon une rare exception par un décret de Napoléon III.

En 1856, Béhague concourt auprès de la Société d'Agriculture, Sciences, Belles-Lettres et Arts d'Orléans pour l'attribution du Prix de Morogues. Le rapporteur Baguenault de Viéville donne une description flatteuse de la mise en valeur de terres autrefois stériles, vante l'architecte pour ses constructions et la réalisation d'instruments aratoires, et loue le sylviculteur, planteur de 900 hectares en feuillus et résineux (dont 500 d'un seul tenant, qui deviendront le Bois-Béhague) ; sa tenue de comptabilité est également soulignée, car elle exige une grande activité, une fermeté rare, une volonté inflexible. Malgré ces éloges, Béhague ne reçoit pas le prix, mais devient Membre correspondant de la Société.

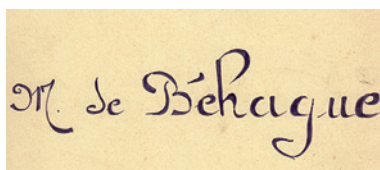
En 1858, il se sépare de son épouse. En 1861, il reçoit la Prime d'Honneur du Loiret. En 1869, il est nommé membre de la Commission de l'enquête agricole.

En 1872, M. Convert, répétiteur d'économie rurale à l'école de Grignon, rédige un rapport élogieux sur le domaine, saluant la réussite de l'éleveur et de l'administrateur. Il précise que Béhague se flatte avec un légitime orgueil d'avoir doublé sa fortune, qu'il aime les hommes et les choses et qu'il a acquis les premiers tableaux d'animaux peints par Rosa

Bonheur : *il aime lui-même à se voir représenté au milieu de ses créations, de son troupeau surtout.*

En 1873, Béhague publie *Considérations sur la vie rurale : un grand-père à ses petits-enfants*, livre pour lequel Baguenault de Viéville établit un éloge, car – depuis celui de 1856 – le temps a passé, le domaine a été agrandi, les succès ont été nombreux, et Béhague a encore renforcé sa stature nationale.

Amédée de Béhague décède au château de Dampierre le 31 janvier 1884, après avoir perdu son fils en 1879. Lors de la messe d'obsèques, dans l'église de Dampierre – dont la rénovation n'est pas achevée – Jean-Augustin Barral, Secrétaire perpétuel de la Société, prononce : *C'est le chef de l'école de l'agriculture rationnelle et expérimentale, c'est le porte-drapeau du progrès, celui de la pratique guidée par la science qui s'en est allé.*



©Ch. Ferault

LE DOMAINE DE DAMPIERRE, GRAND-ŒUVRE D'AMÉDÉE DE BÉHAGUE

À 23 ans, Béhague acquiert des héritiers de M. Feydeau, comte de Brou, *la terre de Dampierre* : 1 031 hectares, composés en majorité de friches et de maigres pâturages en Sologne, de vingt-et-un étangs et de quelques terres en Val-de-Loire. Le prix payé est de 698 901 F, soit environ 1,6 M€ de 2018.

Avec l'aide de son voisin puis confrère Charles-Edouard Royer, et les bons conseils de Jules Rieffel, Béhague

décide d'ériger l'agriculture en industrie dirigée scientifiquement vers le meilleur produit net (et non brut, parfois obtenu au détriment de la rentabilité finale).

Progressivement, le domaine est agrandi jusqu'à atteindre 1 892 hectares, ne conservant que trois fermes aux bâtiments remaniés et agrandis, et cinq étangs menés pour être productifs.

Pour Béhague, le domaine se répartit en cinq parts :

- les parcelles proches du village et du château, *terres de première classe* permettant de pratiquer la culture intensive avec des racines, des trèfles, du maïs, des fourrages annuels et des céréales à haut rendement ;
- les terres sableuses, *terres de Sologne*, affectées à un système forestier à base de résineux dans un premier temps ;
- les surfaces difficiles, trop coûteuses à labourer, destinées à une *culture pastorale mixte* ; elles seront pâturages à mouton, genêtiers ou cultures de céréales de second ordre, dont le sarrasin ;
- les fonds de vallons formant de magnifiques prairies, irriguées en cas de besoin, associées à des étangs bien aménagés et productifs ;
- les terres du Val-de-Loire, couvertes via les inondations de cailloux, de sables, mais aussi de limons : les cultures y seront menées à peu près



Dampierre en Burly. L'église et le château @encyclo.voila.fr

sans engrais, produisant de bonnes récoltes.

Chaque catégorie a donc un rôle et une fonction économique, et l'ensemble forme des *paysages utiles et beaux pour l'agrément*. Le novateur de Dampierre semble cependant être mal noté par les *doctrinaires de l'école du produit brut* et son action d'abord incomprise par la pensée dominante de l'époque.

La partie agricole est complétée par une féculerie, deux moulins, deux tuileries, une scierie et un four à chaux. Béhague fait aussi édifier pour ses ouvriers quarante-neuf maisons rurales avec jardin, louées 50 F/an, avec une réduction de 10 F tous les cinq ans jusqu'à la gratuité, car il souhaite fidéliser son personnel. En revanche, ses fermiers occupent leur exploitation en statut précaire.

Les boisements

Les grandes surfaces afforestées sont d'abord couvertes de résineux, mais avec une volonté d'évolution vers des peuplements de chênes et de bouleaux. Le développement des boisements assure du travail à des paysans qui jusque-là vivaient dans la misère, assainit des zones insalubres, et conduit à l'installation de familles dans les maisons ouvrières financées par Béhague.

Selon des calculs établis par lui-même, la rémunération nette du domaine sera passée de 4,5 F/ha en simple fermage avant ses initiatives, à 11 F/ha dès 1826, 28 F/ha en 1861 et plus de 41 F en 1874 (dont 26 F/ha pour les étangs, 43 F/ha pour les bois et 48 F/ha pour les terres des fermes). Il peut donc se flatter de donner une belle leçon d'économie rurale *alors que des milliers d'hectares de terres [sont] épuisées par la culture*

à capital insuffisant et seraient bien mieux boisées.

Le bétail

Dès le départ, Béhague considère le bétail comme *un mauvais payeur des fourrages*, mais une nécessaire *machine à fumier*. Dans cet esprit, il commence par élever et engraisser des Durhams qui lui apportent de bons succès aux Concours agricoles de Poissy, mais il doit abandonner face à la concurrence des éleveurs normands. Il tente ensuite la race charolaise afin de tirer un meilleur parti de ses fourrages abondants, puis se lance dans un élevage de chevaux de course, là aussi pour un temps limité, étant *contre la parade* et ne voulant pas *éblouir*.

Toutefois, comme il veut combiner riches fumiers produits à bas prix, et animaux vendus à haut prix, il opte pour des brebis berrichonnes, rustiques, valorisant bien les parcours locaux, achetées peu cher. Saillies par des béliers Southdown (un mâle pour 60 femelles), elles apportent précocité et conformation, avec des agneaux élevés pour la boucherie, vendus vers 8 à 10 mois et pesant alors 25 à 30 kg. Un petit abattoir, établi à Dampierre, permet de valoriser toutes les fractions et produits ; la viande, d'excellente qualité, est expédiée (800 à 900 bêtes entre novembre et mai) au grossiste Pietrement qui approvisionne les restaurants parisiens. Bon communicant, Béhague – lorsqu'il est au restaurant – demande un *gigot Béhague* et, en cas de réponse négative, donne l'adresse de son revendeur.

En 1872, le cheptel comprend 9 chevaux de trait, 16 paires de bœufs de travail, 80 moutons Southdown, 1 320 brebis berrichonnes, 960 agneaux issus de croisement, 34 porcs, 200 volailles, 38 vaches charolaises et 20

vaches laitières. La qualité des produits Béhague est attestée par de nombreuses récompenses : entre 1847 et 1874, 59 médailles d'or, 60 médailles d'argent, 53 médailles de bronze, des coupes, un prix d'honneur lors de l'Exposition universelle de 1867.

LES ACTIVITÉS DE BÉHAGUE AU SEIN DE LA SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE

Amédée de Béhague aura connu l'institution sous six de ses dénominations : Société royale et centrale d'agriculture ; nationale et centrale d'agriculture ; impériale et centrale d'agriculture ; impériale et centrale d'agriculture de France ; nationale d'agriculture de France.

Lorsqu'il est élu Membre résidant en 1850 (il a 47 ans), sur 300 membres, il est un des 52 *“vivant à Paris ou à proximité et pouvant se rendre régulièrement aux réunions”*.

En 1862, son confrère Edmond Lecouteux relate dans le *Journal d'agriculture pratique* sa visite à Dampierre : *“(il) ne s'attendait qu'à trouver une fantaisie de grand seigneur s'adonnant à l'agriculture en guise de passe-temps... Mais j'y ai trouvé beaucoup mieux... J'y ai constaté, sur le terrain, l'application des meilleurs principes d'économie rurale... Cette ferme est une des plus hautes manifestations de la grande culture aux prises avec des terres de diverses qualités...”* Il conclut que Béhague a tiré parti de toutes les mauvaises terres, sans opposer sylviculture et agriculture.

En 1873, Béhague offre 12 000 F afin d'assurer un prix de 1 000 F bisannuel récompensant l'auteur du *meilleur travail sur l'élevage ou l'engraissement du bétail ou l'agriculteur qui aura par une découverte ou par l'in-*

troduction dans son pays de races nouvelles ou de procédés nouveaux d'élevage ou d'engraissement, rendu un signalé service aux agriculteurs. Ce prix sera décerné 38 fois.

En 1874, *par une exception à la règle et à la tradition*, une délégation spéciale de la Société (dont J.-A. Barral, Secrétaire perpétuel, Dailly et Heuzé, mais pas le président Chevreul, malade) visite Dampierre. Des visites complémentaires permettent à Barral d'établir un rapport de 204 pages en 52 chapitres ; lors de sa présentation, le 13 décembre 1875, Chevreul – qui en est à sa treizième présidence – déclare à Béhague : *“Si la Société disposait d'un bâton de maréchal de France pour l'agriculture, en ce moment-même vous le recevriez de la main de son président”*.

L'examen des archives de la Société révèle un éclectisme certain dans les travaux de Béhague, et une grande assiduité. Par exemple, il effectue dix-huit communications (dont une sur le caroubier et une autre sur l'uniformité des mesures) en 1871, autant en 1872, une quinzaine en 1876 (dont une sur la destruction des loups et une sur les charrues bi-socs), le même nombre en 1877 – année de sa première présidence – et quatre en 1880. Ses écrits sont clairs et ont un objet pratique, comme le veut alors la règle.

Par deux fois, Béhague est appelé à devenir officier de la Société : vice-président en 1876 puis président en 1877, et à nouveau sur 1878-1879.

LE MÉCÈNE DONATEUR DE L'HÔTEL DE L'ACADÉMIE

Fin 1876, la Société est locataire dans l'immeuble de la Société nationale d'horticulture, rue de Grenelle ; il semble que seuls y soient régulièrement présents les officiers et un



L'Académie aujourd'hui

©Ch. Ferault

garçon de bureau. Les visiteurs sont peu nombreux, et la Société est dépeinte comme *“un milieu réfrigérant, entre savants”*. Le Secrétaire perpétuel J.-A. Barral, en souffre et veut la sortir de ce cadre pour en faire *“une des premières places du monde scientifique”*. S'inspirant de l'Académie de Médecine, il entend transformer l'antique Société en Académie, l'installer dans un immeuble en propre, et la doter d'une bibliothèque et d'un personnel suffisant.

Ce projet de mutation – statutaire et

physique – rencontre une certaine opposition, et Barral se voit obligé d'affronter des personnalités de premier plan, responsables au sein de la Société. D'autres ne le soutiennent pas vraiment : Chevreul, président, *“oublie”* de venir à la séance où doit être abordé le changement de titre, tandis que Dailly – rapporteur à la Commission des fonds – déclare qu'une autre *“combinaison aurait pu être meilleure”*. Néanmoins Barral ayant convaincu Béhague de financer la construction de l'hôtel particu-

lier, les sceptiques et les opposants – ne proposant rien en alternative – doivent s'incliner. *“On bouda, on ne lutta pas”*. Barral impose alors son schéma :

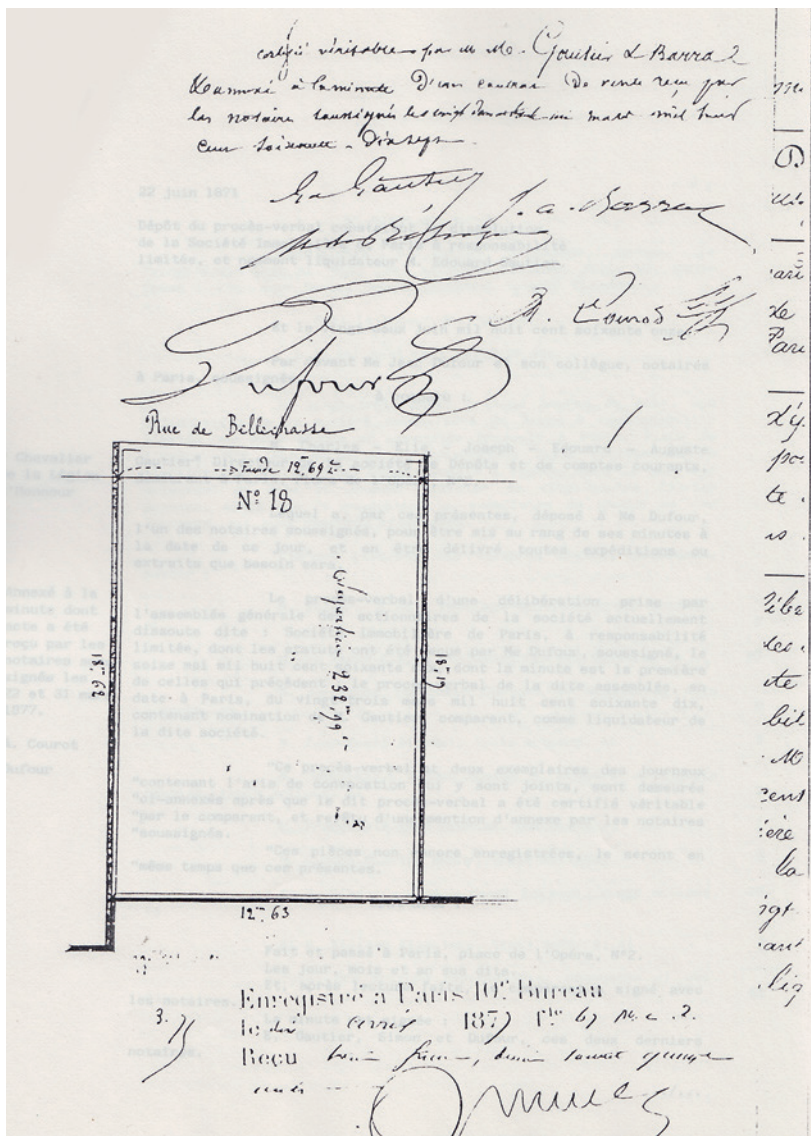
- la Société achète le terrain de la rue de Bellechasse, pour 77 000 F (environ 154 000 € de 2018).
- le comte de Béhague construit sur ce terrain, pour un coût de 60 000 F (120 000 €) et offre l'immeuble à la Société. Les plans sont établis par un de ses amis, M. Petit, qui tire un excellent parti de la relativement faible surface du terrain.

Ce montage est très habile puisque, construit sur le terrain d'autrui, l'immeuble est à l'abri d'éventuels recours venant des héritiers.

La générosité de Béhague s'arrête toutefois à la construction, tous les frais de mobilier et d'installation étant ensuite pris en charge par la Société ; leur montant – 119 000 F – est surprenant par rapport à la construction pure et montre combien les coûts relatifs étaient différents à la fin du XIX^e siècle.

Le succès apparent de l'opération n'éteint pas pour autant les critiques, certains membres exprimant en particulier que la dépense faite par la Société (rente du capital engagé plus imposition) est nettement supérieure au loyer de la rue de Grenelle.

Le bâtiment est aussi jugé trop petit (déjà !), ce dont convient Barral, reconnaissant qu'on aurait pu faire mieux avec une aide des pouvoirs publics. Mais il a dû aller vite, car l'âge avancé de Béhague a fait craindre pour la pérennité de ses dispositions. La première séance tenue dans l'immeuble neuf se déroule le 13 mars 1878, mais, pour ne pas froisser ses opposants, Barral a sacrifié l'inauguration solennelle, laissant *le temps*



Plan du terrain du 18, rue de Bellechasse, Paris 7^e

©Ch. Ferault

pour apaiser les rancœurs. Beaucoup de membres estiment cependant qu'une grande chose a été faite.

Une inauguration officielle a enfin lieu le 20 avril 1879, donc au cours de la seconde présidence de Béhague. Le Ministre de l'agriculture et du commerce, M. Tirard, entouré de beaucoup d'autorités et des officiers de la Société, souligne dans son discours "... l'hôtel qu'elle a fait construire avec le concours de l'un de ses membres,

dont le nom a figuré parmi les lauréats de nos solennités agricoles", et qualifie la Société de "la plus ancienne, de la plus savante Société d'agriculture de France et dont Paris a été le berceau".

Très vite cependant l'exiguïté de l'immeuble se confirme, au point que Lavallée, Trésorier perpétuel, entame des pourparlers avec la Société de géographie pour reprendre ses locaux du boulevard Saint-Germain ; le pro-

jet capotera en raison du décès de Lavallée, et surtout parce que *personne ne voulait prendre la responsabilité d'abandonner la rue de Bellechasse* du vivant d'Amédée de Béhague.

LES POINTS D'INTERROGATION DEMEURANT DANS LA BIOGRAPHIE D'AMÉDÉE DE BÉHAGUE

La consultation des divers documents permettant d'approcher la vie d'Amédée de Béhague laisse ouverts un certain nombre de points d'interrogations, que les recherches de Christian Ferault n'ont pu résoudre :

- a-t-il eu d'autres expériences agricoles avant l'acquisition des domaines de Dampierre ?
- pourquoi a-t-il choisi cette localisation ?
- d'où venait la fortune de sa famille, fortune qui lui permit d'acheter à 23 ans un immense territoire ? Fortune qui, bien que Béhague l'ait fortement fait fructifier, devait être considérable puisqu'il put se faire ériger, vers le pont de l'Alma, un immense hôtel particulier, aujourd'hui siège d'une des plus belles ambassades à Paris.
- pourquoi fut-il fait comte héréditaire par la duchesse-régente de Parme ?
- quelle fut vraiment sa vie personnelle, puisqu'il se sépara de son épouse ?
- pourquoi, en dépit de ce qu'il apporta à sa commune et de son rôle régional, ne fut-il jamais maire de Dampierre ?
- pourquoi ces curieuses relations avec la Société d'Agriculture, Sciences, Belles-Lettres et Arts d'Orléans, dont il devint membre onze ans après être entré dans la Société royale et centrale ? ■

Quelques académiciens protagonistes de l'époque

- Jean-Augustin BARRAL : né en 1820, Associé ordinaire en 1856, Secrétaire perpétuel le 30 décembre 1871 jusqu'à son décès le 10 septembre 1884.
- Henri BERTIN : né en 1823, Membre titulaire en 1879, Trésorier perpétuel le 17 juin 1884 jusqu'à son décès le 24 juin 1888.
- Michel-Eugène CHEVREUL : né en 1786, Membre titulaire en 1832, Président à vingt reprises entre 1850 et 1888, Membre de l'Académie des sciences, décédé le 5 avril 1889.
- Gaspard-Adolphe DAILLY : né en 1816, Membre résidant en 1850, Président en 1881, décédé le 18 février 1887.
- Jean-Baptiste DUMAS : né en 1800, Membre résidant en 1851, Président en 1883, Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Ministre de l'agriculture et du commerce, décédé le 11 avril 1884.
- Jean-Baptiste HUZARD (fils) : né en 1793, Associé ordinaire en 1823, Trésorier perpétuel en 1836 jusqu'en 1877, Membre de l'Académie vétérinaire, décédé le 5 avril 1878.
- Alphonse LAVALLÉE : né en 1836, Membre titulaire en 1876, Trésorier perpétuel le 16 avril 1877 jusqu'à son décès le 3 mai 1884.
- Edouard LECOUTEUX : né en 1814, Associé ordinaire en 1861, Président en 1887, décédé le 24 octobre 1893.
- Louis PASSY : né en 1830, Membre titulaire en 1874, Secrétaire perpétuel le 24 décembre 1884 jusqu'à son décès le 31 juillet 1913. Auteur d'ouvrages remarquables sur l'histoire de la Société.
- Charles-Edouard ROYER : Associé ordinaire en 1843, décédé le 23 juin 1847.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRAL J.-A., 1875. *L'œuvre agricole de M. de Béhague*, Paris.
- BARRAL J.-A., 1884. *Discours prononcé par M. Barral au nom de la Société nationale d'agriculture*, Journal de l'agriculture (1), 209-212.
- BÉHAGUE (de) A., 1840 à 1883. Interventions et communications. Mémoires de la Société.
- BÉHAGUE (de) A., 1873. *Considérations sur la vie rurale : un grand-père à ses petits-enfants*, 220 p. 2^e édition 1881, chez Mme. Vve. Bouchard-Huzard, Paris.
- BÉHAGUE (de) A., s. d. Dossier académique personnel – Académie d'agriculture de France.
- CHONÉ E., DUNGLAS J., FERAULT C., ZERT P., 2011. *Index biographique des membres (1761-2011)*, Académie d'agriculture de France, C.R. Acad. Agr. Fr. (supplément).
- JATTEAU R., 1984. *Il y a cent ans, le 31 janvier 1884, le comte Amédée de Béhague, précurseur de l'Agriculture moderne, s'éteignait au château de Dampierre*, Journal de Gien, extrait.
- LECOUTEUX E., 1890. *Éloge de Béhague*, Georges Chamerot, Paris, 19 p.
- ORMESSON (d') J., 1974. *Au plaisir de Dieu*, Gallimard, Paris, p. 204.
- PASSY L., s.d. *Histoire de la Société nationale d'Agriculture de France, 1793-1889*, (tome II), 110-116 et 145-147. Manuscrit de l'auteur complété après la guerre de 1914-1918 par Anxionnat, correspondant et reconstitué par Jean Boulaine et Guy Pueyo en 1985.
- SUTTIN J., 2008. La Société d'Agriculture, Sciences, Belles-Lettres et Arts et l'agriculture raisonnée au XIX^e siècle dans le Loiret. Un exemple : Amédée de Béhague (1803-1884), in *L'Agriculture dans le Loiret : histoire, enjeux et perspectives*. Colloque de l'Académie d'Orléans et de la Chambre d'Agriculture du Loiret, 24 mai, 17-32.
- ZERT P., s.d. Notes et documents concernant Amédée de Béhague. Archives de l'Académie d'agriculture de France.



Ensemble, nous préservons la nature pour les générations futures.

Si le Good Growth Plan* est florissant, c'est grâce aux personnes qui l'incarnent. Luciane Copetti travaille avec Syngenta, des exploitants et des ONG pour montrer qu'une production de soja durable peut avoir un énorme impact sur l'économie du Brésil et préserver la nature pour les générations futures. Au titre du Plan, nous nous sommes engagés à faire prospérer la biodiversité de 5 millions d'hectares de terres agricoles d'ici à 2020. C'est grâce à des gens comme Luciane que nous créons davantage de bords de champs et que l'agriculture respecte davantage la nature, ce qui est bénéfique pour tous sur le long terme. Pour en savoir plus, rendez-vous sur goodgrowthplan.com.

Être ensemble rend plus fort.

* Le Plan de croissance responsable

© 2017 Syngenta. Tous droits réservés. La marque SYNGENTA et THE GOOD GROWTH PLAN* sont des marques commerciales d'une société du groupe Syngenta. www.syngenta.com

#MAKEACHILDCRY



ONF Energie



Forêt Energie[®], vos plaquettes forestières pour réseaux de chaleur et process industriels

- Bois local privilégié
- Forêts gérées durablement
- Circuit court forêt - client
- Chaîne de production PEFC



La biomasse, une énergie propre et renouvelable. ONF Energie maîtrise les distances de transport. En 2016, la distance moyenne forêt / chaufferie était de 65 km pour les 500 000 tonnes commercialisées. La traçabilité des livraisons et de l'origine des bois est assurée en temps réel.

ONF Energie est une filiale de l'Office National des Forêts (ONF) et de la Fédération des Communes Forestières

Tél : 01 40 19 78 19 | Mail : onf-energie.siege@onf.fr

www.onf-energie-bois.com