

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France



Volume 3 (2017)



Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France

18, rue de Bellechasse 75007 Paris, France

Tél. : +33 (0)1 47 05 10 37 Fax : +33 (0)1 45 55 09 78

<https://www.academie-agriculture.fr>

Soumission électronique : notes-academiques@academie-agriculture.fr

Rédaction : Académie d'agriculture de France - 18, rue de Bellechasse, 75007 Paris, France

Objet de la revue : Les *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France* sont un journal semestriel d'information et de formation scientifiques, sous la direction du Secrétaire perpétuel de l'Académie d'agriculture de France.

La revue - avec ses éditoriaux, articles originaux, articles d'actualité, notes de conjoncture, publication de fond, revues de la littérature, synthèses, rapports, commentaires critiques d'ouvrage, opinions, textes de conférences, lettres à la rédaction, etc.- donne une information actualisée ayant trait à tous les domaines couverts par les dix sections de l'Académie d'agriculture de France.

Soumissions électroniques : notes-academiques@academie-agriculture.fr

Directeur de la publication : le Secrétaire perpétuel de l'Académie d'agriculture de France

Secrétaires éditoriaux : Yves Brunet, Noëlle Dorion, Hervé This, Nadine Vivier

Comité éditorial : Claude Allo (Secrétaire de section), Bernard Ambolet (Secrétaire de section), Catherine Aubertin (Secrétaire de section), Guilhem Bourrié (Secrétaire de section), Yves Brunet, Noëlle Dorion, Michel Dron (Secrétaire de section), Christian Ferault, André-Jean Guérin (Secrétaire de section), Malcolm Hadley, Bruno Hérault, Philippe Kim-Bonbled, Gilles Lemaire, Nicole Mathieu, Marie-Claude Maurel, Jean-Claude Mounolou, Alain Pavé, Jean-Marie Pierre-Guy, Agnès Ricroch (Secrétaire de section), Bernard Roman-Amat (Secrétaire de section), Jean-Marie Séronie (Secrétaire de section), Hervé This, Sophie Villers (Secrétaire de section), Nadine Vivier.

Informations à l'attention des auteurs : Pour toute question relatives à la soumission des articles , les auteurs peuvent consulter les conseils aux auteurs disponibles à :

<https://www.academie-agriculture.fr/publications/notes-academiques/les-notes-academiques-de-lacademie-dagriculture-de-france-n3af-sont>

ISSN 2966-702X (printed)/ eISSN 2967-2139 (electronic),

DOI : <https://doi.org/10.58630/pubac.not.17611>

Academic Notes of the French Academy of Agriculture

18, rue de Bellechasse 75007 Paris, France

Tel: +33 (0) 1 47 05 10 37 Fax: +33 (0) 1 45 55 09 78

<https://www.academie-agriculture.fr>

Electronic submission: notes-academiques@academie-agriculture.fr

Publication: French Academy of Agriculture - 18, rue de Bellechasse, 75007 Paris, France

Purpose of the review: The *Academic Notes of the French Academy of Agriculture* is a journal of information and scientific training, under the direction of the Permanent Secretary of the Academy of Agriculture of France.

The journal - with its editorials, original articles, news articles, business reports, background publications, literature reviews, summaries, reports, critical reviews, opinions, conference texts, letters to the editor, etc. - gives an updated information relating to all the fields covered by the ten sections of the French Academy of Agriculture.

Electronic Submissions: notes-academiques@academie-agriculture.fr

Director of the publication: Perpetual Secretary of the French Academy of Agriculture

Associate Editors: Yves Brunet, Noëlle Dorion, Hervé This, Nadine Vivier

Editorial Committee: Claude Allo (Secrétaire de section), Bernard Ambolet (Secrétaire de section), Catherine Aubertin (Secrétaire de section), Guilhem Bourrié (Secrétaire de section), Yves Brunet, Noëlle Dorion, Michel Dron (Secrétaire de section), Christian Ferault, André-Jean Guérin (Secrétaire de section), Malcolm Hadley, Bruno Héroult, Philippe Kim-Bonbled, Gilles Lemaire, Nicole Mathieu, Marie-Claude Maurel, Jean-Claude Mounolou, Alain Pavé, Jean-Marie Pierre-Guy, Agnès Ricroch (Secrétaire de section), Bernard Roman-Amat (Secrétaire de section), Jean-Marie Séronie (Secrétaire de section), Hervé This, Sophie Villers (Secrétaire de section), Nadine Vivier.

Information for authors: For any questions regarding the submission of manuscripts, authors may consult the advice to authors available at:

<https://www.academie-agriculture.fr/publications/notes-academiques/les-notes-academiques-de-lacademie-dagriculture-de-france-n3af-sont>

ISSN 2966-702X (printed)/ eISSN 2967-2139 (electronic),
DOI : <https://doi.org/10.58630/pubac.not.17611>

Notes académiques de l'Académie d'Agriculture de France

Académie d'agriculture de France

Volume 3, 2017

DOI : <https://doi.org/10.58630/pubac.not.v882705>

- **Hervé This.** 2017. Statgels and dynagels. 3(1), 1-12
<https://doi.org/10.58630/pubac.not.a113501>
- **Hervé This.** 2017. La question de la reproductibilité des expériences scientifiques/The issue of reproducing scientific experiments, 3(3), 1-8, <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a958199>
- **David Makowski.** 2017 Synthétiser les connaissances en agronomie/Synthesizing knowledge in agronomy, 3(3), 1-7, <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a129775>
- **Pierre Donadieu.** 2017. Construire les paysages ruraux : quels rôles pour les professionnels du paysage ? / Building rural landscapes: what roles for landscape professionals?, 3(4), 1-14, <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a204666>
- **Nadine Vivier.** 2017. European agriculture societies, 1750-1850 : experimenting and disseminating scientific "progress", 3(5), 1-13, <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a144685>
- **Paul Brassley.** 2017. The impact of agricultural science 1850-2016 : from a gentleman's amusement to the saviour of the world ?, 3(6), 1-10, <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a505824>.

Statgels and Dynagels

Hervé This^{1,2}

¹ UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, Inrae, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

² Groupe de gastronomie moléculaire, Inrae-AgroParisTech International Centre for Molecular Gastronomy, F-75005, Paris, France

Correspondance :
herve.this@inrae.fr

This article is dedicated to Jean-Marie Lehn, whose lectures and articles on dynamers (Lehn, 2005) were an inspiration.

Abstract

Gels are often described as colloidal systems made of a liquid phase in a continuous solid phase. But this definition is ambiguous because the same word "gel" applies to very different systems, either non connected such as the parenchyma of plant tissues (assuming that the cytosol is a liquid), or connected, such as jams. Using the "disperse system formalism" (DSF), it is possible to envision systematically all kinds of gels of one kind that was called statgels. All possible structures can also be dynamic, generating dynagels, whose original bioactivities can be explored.

Résumé

La dénomination « gel » s'applique, trop largement, aux systèmes colloïdaux composés d'une phase liquide et d'une phase solide. Cette définition est ambiguë, parce que le même mot est utilisé pour la désignation de systèmes aussi différents que les gels « non connectés », tels le

parenchyme du tissu végétal (en supposant le cytosol liquide), ou des gels connectés telles les confitures. A l'aide du formalisme des systèmes dispersés (DSF), on peut envisager systématiquement des gels de nombreuses sortes, notamment des gels dynamiques, ou dynagels, dont on explore la bioactivité.

Keywords

Gel, statgel, dynagel, bioactivity, DSF

Mots clés

Gel, statgel, dynagel, bioactivité, DSF

Introduction

Using the formal language called "Disperse System Formalism" (DSF) (This, 2007 ; 2009), it is possible to describe the physical structure of existing colloidal systems, and also to predict the existence of systems that were not envisioned before and whose physical and chemical properties are original. Among colloids, gels attract much interest for their potential as intriguing materials (Terech and Weiss, 1997;

Note de recherche

Abdallah and Weiss, 2000) and as substrates for biomedical applications (Qiu and Park, 2001; Hofmann, 2002).

In particular, hydrogels formed from low-molecular-weight compounds that respond to pH can be used for oral drug delivery as well as for biosensor technology, especially when biochemical components are involved. Hydrogels have also been shown to respond to ligand-receptor molecular recognition (Zhang *et al.*, 2003, 2004) and redox stimuli (Kawano *et al.*, 2004).

More generally, gels can have important applications in all "formulation" activities, including food, as studied by molecular gastronomy. Indeed, gels owe their properties to the dispersion of bioactive compounds, *i.e.* compounds that can interact with receptors in the body of living beings, abbreviated "bc" in the following text (This, 2013a). Such compounds can be dispersed in the various phases making up gels, and their particular dispersion leads to very different dynamic "bioactivities", that is a characterization of the release of bc. This is a result of "matrix effects", or how much a system traps compounds. In particular, understanding the bioactivity of new kinds of gels could be important for note-by-note cooking, *i.e.* the food preparation technique based on using pure compounds instead of plant and animal tissues (This, 2011 ; 2013b).

According to the International Union of Pure and Applied Chemistry, gels are defined as physical systems made of a liquid phase dispersed into a continuous solid phase (IUPAC, 2001). This definition is very broad, as it does not give any precision about the kind of dispersion. Following the definition, the gel category encompasses the parenchyma of plant tissues, muscular tissues of animals, gelatin gels, jams, water-filled sponges as well as the accumulation of silica particles in chromatography columns used for chemical analysis and product separation/purification.

However, the development of the DSF showed that the operator "/", describing the random dispersion of a phase into another, does not apply to all gels. This operator can describe emulsions, with an aqueous solution (W, for water) and an

"oil" solution (O), with the two possibilities, namely water into oil (W/O) or oil into water (O/W), and it can also describe foams, with gas (G) dispersed in another phase (G/W, G/O, G/S), suspensions (S/O, S/W, S1/S2), aerosols (W/G, O/G, S/G) and finally some gels made of liquid droplets dispersed in a solid (Figure 1). However, it does not describe some gels such as gelatin aqueous gels, for example, where two phases, respectively liquid and solid, are both continuous and three-dimensional.

For this reason, the formal language called "complex disperse system/non periodical organization of space" (CDS/NPOS) that was first proposed in 2002 (This, 2005) had to be later improved with the introduction of the operator "x", which designates the imbrication of two continuous phases. The new name DSF was given to the improved formal language (This, 2013d).

In particular, the WxS formula corresponds to gels with a continuous three-dimensional aqueous phase W and a continuous three-dimensional solid network S (Figure 2). Because of the continuity of the liquid phase W, such gels are said to be "connected", which means that a solute in the liquid phase can diffuse throughout the whole system.

How many kinds of gels actually exist? Here, after this question is theoretically discussed, a distinction will be made between fixed gels, or "statgels", with strong forces between the subunits that make the solid network, and dynamic gels, or "dynagels", when the assembly of network's subunits is of supramolecular nature.

Simple gels as described using DSF formulas

Gels are particular colloids, *i.e.* systems in which the molecules or polymolecular particles dispersed in a medium have at least in one direction a dimension roughly between 1 nm and 1 μ m, or that in a system discontinuities are found at distances of this order of length (IUPAC, 2001). It is not necessary for all three

Note de recherche



Figure 1. The simplest disperse systems for which one phase is randomly dispersed in another phase. The operator “/” indicates the random dispersion. The letters G, O, S, and W respectively stand for gas, oil, solid and water. Under each system, the traditional name is given. Formula such as W_1/W_2 or O_1/O_2 are meaningless, because they can be reduced to W or O respectively, and they are no disperse systems.

Note de recherche

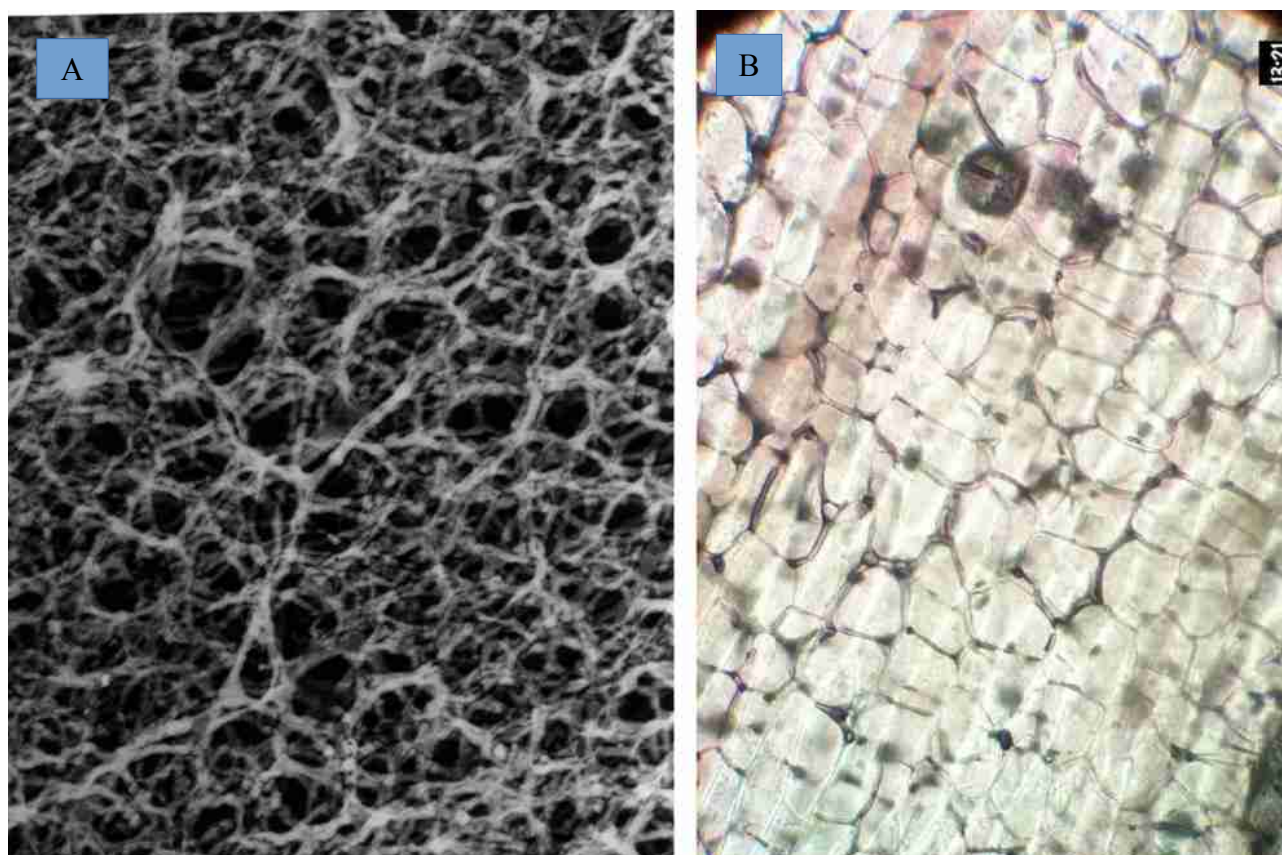


Figure 2. Gelatin gels (A, electronic microscopy) and plant tissues such as the parenchyma of *Allium cepa L.* (B, optical microscopy) are both “gels”, according to IUPAC. However, their physical structures and their DSF formula are different : respectively $W \times S$ for A, and W/S for B .

dimensions to be in the colloidal range: fibers in which only two dimensions are in the 1 nm/1 μ m range, and thin films, in which one dimension is in this range, may also be classified as colloidal. Nor is it necessary for the units of a colloidal system to be discrete: continuous network structures, the basic units of which are of colloidal dimensions, also fall in this class (e.g. porous solids, gels and foams).

In order to envision all kinds of “simple” gels, *i.e.* gels including only one liquid phase and one solid phase, it is not difficult to write some lines of computer program producing systematically all DSF formulas. Programs for such purpose have to include the three phases O, S, W (alphabetic order), the three operators “/”, “x”, “@” (where

“@” describes inclusion, as recommended by IUPAC), and the four possibilities for the dimensions of objects D_0, D_1, D_2, D_3 , respectively for objects of dimension zero, one, two and three. The solid continuous network has necessarily three dimensions, and it has to be used as the last term of the formula, in spite of DSF using preferably the alphabetic order (Figure 3).

The list of all possibilities is then: $D_0(O)/D_3(S)$, $D_0(W)/D_3(S)$, $D_1(O)/D_3(S)$, $D_1(W)/D_3(S)$, $D_2(O)/D_3(S)$, $D_2(W)/D_3(S)$, $D_1(O) \times D_3(S)$, $D_1(W) \times D_3(S)$, $D_2(O) \times D_3(S)$, $D_2(W) \times D_3(S)$, $D_3(O) \times D_3(S)$, $D_3(W) \times D_3(S)$, $D_1(O) @ D_3(S)$, $D_1(W) @ D_3(S)$, $D_2(O) @ D_3(S)$, $D_2(W) @ D_3(S)$.

Formula can be written, but do these systems

Note de recherche

Computer program for the calculation of all possible gels (no simplification):

```
phase := [W, O, S];
dimension := [D0, D1, D2, D3];
opérateur := ["X", "/", "@", "&sigma;"];
formule := "";
graine := "";
for dim1 to 4 do
  for phas1 to 3 do
    for ope to 4 do
      for dim2 to 4 do
        for phas2 to 3 do
if phas1 <> phas2 then formule := cat(graine, dimension[dim1], "(", phase[phas1], ")", opérateur[ope],
dimension[dim2], "(", phase[phas2], ")")
end if
        end do
      end do
    end do
  end do
end do
end do
```

Figure 3. A simple computer program can generate all possible gels of any "class". Here the program for generating all gels of class 2. After an initialization step creating an empty formula, the various phases and operators are added in imbricated loops, so that all combinations are determined. With such a simple program, the list has to be cleaned manually of all impossible systems. For example, it is not possible to disperse randomly (/) structures of dimension 3 in a structure of lower dimension.

exist? Envisioning all of them one after the other would be tedious, but the two following examples show that the issue is only of practice, and not of theory. The first formula of the list ($D_0(O)/D_3(S)$), for example, corresponds to a random dispersion of oil droplets in a continuous solid. This sounds new, but it can be obtained by various processes, including freezing at a temperature below 0 °C a O/W emulsion, for which the "oil" is a compound that would not be miscible to water and would solidify at temperature below 0 °C (for example carbon disulfide, for which the freezing point is -111.5 °C). Another system is obtained using the formula $D_3(O)xD_3(S)$: when one first makes a O/W emulsion, with proteins containing cysteine residues dissolved in the liquid aqueous phase, the heating of the system leads to protein

coagulation, so that the system is now described by $D_3(O)/[D_3(W)xD_3(S)]$; drying this gelled emulsion, called a "gibbs" (This, 2009), can lead to the desired gel, called a "graham". "Natural" systems already exist having this formula, such as white chocolate at a temperature between 34 °C and 37 °C, as a liquid continuous "oil" phase is dispersed in a continuous solid network (Loisel *et al.*, 1997).

The various gels associated with the formula of the previous list could be named using natural language. To this end, it is proposed to rank the information by order of importance: the name "gel" is added by the indication on connection, such as connected or non-connected. When the liquid phase is organized as structures of one or of two dimensions, the indication "with channels"

Note de recherche

or "with sheets" can be given, depending on the dimension of dispersed objects.

When objects of zero dimension are used, it is proposed not to give any particular indication because the formula correspond then to familiar systems. Finally, the nature of the dispersed objects, such as aqueous solution or oil is given. For examples, sponges with open pores would be described as connected systems with channels, and oleogels could also be envisioned, but it should be observed that not only edible phases can be considered; other systems with other organic liquids can be described as well, using other letters than the two O and W.

More complex gels (more than two phases)

This first list being made, it has to be observed that more than one phase, "water" or "oil", can be included in the three dimensional, continuous, solid phase. This leads to envisioning connected or non-connected gels with a disperse phase that is itself a colloidal system, such as an emulsion, or a suspension, etc. When only one phase is dispersed, the gels are said to be of "class 1", and the systems are of "class k " (k being an integer) when k phases are dispersed in the continuous solid network.

Because the number k can have any integer value, the whole list of all possible gels is infinite, including, for example: connected gels with sponge water-oil phase, non connected gels with sponge water-oil phase (Wadsten *et al.*, 2006), connected gels of aqueous channels, non-connected gels of aqueous channels, connected or non-connected gels with liquid channels, connected or non-connected gels with oil channels... Sometimes very long names such as "non connected gel of liquid suspensions in oil sheets" are needed.

Such names based on natural language are cumbersome. The DSF makes it easier to envision possible gels: another small computer program building DSF formula can produce all possibilities for the successive classes of gels. For two phases, the program first creates an

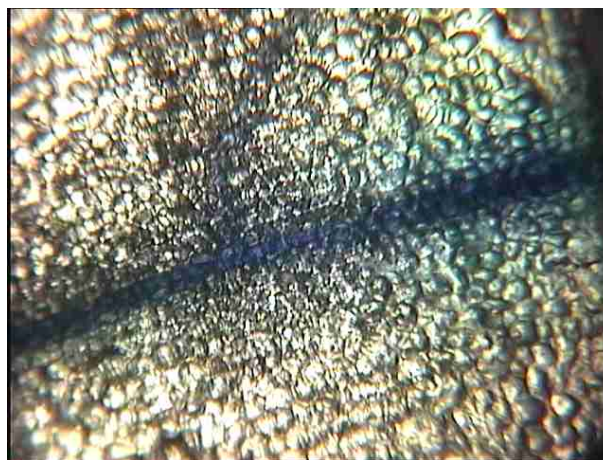


Figure 4. This plant tissue is a part of the root of *Daucus carota* L. It includes parenchymatous tissue and connective tissue (xylem, phloem), colored in blue, so that the system has the formula $[[D_0(W_1)]+[D_1(W_2)x]]D_3(S)$. The whole picture is 3 mm wide.

empty DSF formula, then it performs imbricated loops, adding a dimension, then a phase, then an operator, then again a dimension, and then again a phase, taking care of parentheses. At the end of the formula, the part " $D_3(S)$ " is added, in order to make a gel.

For example, the complex name given above ("non-connected gel of liquid suspensions in oil sheets") corresponds to the formula $[D_0(S)/D_2(O)]/D_3(S)$. The simplest program does not reject impossible formulas (such as $D_0(S)x D_3(W)$, with a phase of zero dimension that would extend in all three dimensional space), but it is easy to filter manually the possible solutions.

After such simplification, by increasing order of classes, the list can be used to envision complex gels, which can be identified in natural objects: for example, a sample of plant tissue, e.g. a part of the root of *Daucus carota* L. (Figure 4) is made of parenchymatous tissue and of connective tissue (xylem, phloem), so that the system has the formula $[[D_0(W_1)]+$

Note de recherche

$[D_1(W_2)x]D_3(S)$. In this formula, both " $D_0(W_1)$ " and " $D_1(W_2)x$ " operate on the same $D_3(S)$. It is assumed that the cytosol is a liquid (W_1), but if it is more realistically preferred to consider that it is itself a gel, then W_1/S' could be used instead of W_1 (Cazor *et al.*, 2006).

Moreover, new gels can be produced using the formulas as guides: for example, the gel $D_1(W)/[D_3(W)XD_3(S)]$ can be made by dispersing cylinders of an aqueous gelatin gel in an agar-agar gel where protease enzymes (EC 3.4) are dissolved: after gelling of agar-agar, enzymes diffuse toward the gelatin gel, and they destroy the solid network, leaving liquid channels in the agar-agar gel. Another example is the use of "chaotic mixers" (Tabeling *et al.*, 2004) where two solutions would be injected: one aqueous solution, and one solution of a gelling agent; after dispersion and gelling, the result is a multisheet gel. Of course, each particular gel has specific bioactive properties.

Indeed, making new gels is only a first step. It is also interesting to characterize them chemically, physically, biologically. It was proposed to use a general description called "bioactivity", along with the definition of a "matrix effect" (This, 2011, 2013a, 2013c).

Gels are often used in technology, in particular for formulation activities, because compounds dissolved in the liquid phase can diffuse toward the environment and *vice versa*. When released compounds interact with biological receptors, they have been called "bioactive". In some cases, a physical binding is needed to trigger physiological effects: olfaction, sapiction, trigeminal effects, calcium perception, perception of unsaturated fatty acids (Martin *et al.*, 2011; Tordoff *et al.*, 2012). But for vision the effect is indirect, and for receptors inside tissues, a transfer into the blood system is needed, sometimes after modifications during digestion. Here let us remark that even compounds that would be trapped by the swallowed bits of food are encompassed by the given definition, such as tasty ions adhering surfaces, complexed salivary proteins on some compounds in food.

Theoretical and experimental determinations of

bioactivities have to be analysed specifically. For example, supramolecular interactions such as van der Waals forces, hydrophobic pseudo forces, hydrogen bonds, disulfide bridges... between the solvent and the solid network of gels can reduce the self-diffusion coefficient of the solvent molecules or of the dissolved bc, so that the release of bc would be delayed (Matsukawa and Ando, 1996). Also various compartments can release differently bc, such as plant tissues, modeled as $D_1(W)XD_3(S) + D_0(W)/D_3(S)$, for which it was shown that the release of solutes in the sap is fastest than from parenchyma cells (This, 2013a).

More complex systems: more than two phases, dynagels/statgels

In the previous sections, we considered gels with only two phases, but many food systems are more complex disperse systems, with other phases than only solid and liquid. Such systems can also be easily envisioned using DSF. Using the same formalism and the same programming technique for building formulas (Figure 3), one can calculate a wealth of disperse systems that were not envisioned formerly. For example, one can make connected solid foams with aqueous sheets, or emulsions with non-connected sheets, etc. For all such systems, bioactivity can also be interpreted in terms of diffusion but also of weak (supramolecular) and strong (molecular) chemical forces between molecular species.

However, such analyses are considering only "static" gels, where solutes and solvent could diffuse in liquid compartments since diffusion in the solid parts would be much slower. They do not take into account the fact that another analytical frame can introduce new phenomena, and different mechanisms. Indeed, the analysis of "culinary systems" shows that there are "physical gels", with a solid network made from the reversible assembly of constituent molecules, such as gelatin gels, and "chemical gels", with a fixed structure (This, 1996). The examination of the diffusion of bc in a fixed gel is

Note de recherche

like the Born-Oppenheimer assumption for the calculation of molecular orbitals (McQuarrie, 2007), but one can also have a more dynamical approach, in particular when the thermal energy is of the same order of magnitude as the binding energy of the "monomers" (subunits) that can make the solid, "polymeric" network.

Here the words "monomer" and "polymer" call for a comparison with dynamers, dynamic polymer that can reorganize, because their subunits are linked by supramolecular forces (Lehn, 2010). Dynamers are defined as constitutional dynamic polymers, *i.e.* polymeric entities whose monomeric components are linked through reversible connections and have therefore the capacity to modify their constitution by exchange and reshuffling of their components. They may be either of supramolecular or molecular nature depending on whether the connections are non-covalent interactions or reversible covalent bonds (Lehn, 2010).

For gels, "dynagels" and "statgels" can be proposed as well. As for dynamers, dynagels can be defined as constitutional dynamic gels, *i.e.* gels whose monomeric components of the solid network are linked through reversible connections and have therefore the capacity to modify their constitution by exchange and reshuffling of their components. They may be either of supramolecular or molecular nature depending on whether the connections are non-covalent interactions or reversible covalent bonds.

Dynamers can be chemically dynamic, involving a reversible chemical reaction, and physically dynamic, based on physical non covalent interactions; the same idea holds for dynagels, as their solid network is often a polymer. However, in this case, the description is made more complex as the solvent, and possible solutes, can interact with the solid network and with the released units. One example of dynagels is gelatin gels at a temperature close to the critical melting point. Of course, gelling of gelatin depends on the particular chemical composition of the aqueous solvent in which gelatin is dissolved (Bellini *et al.*, 2015), but a simple thermodynamical description can be made. Let us assume, for example, that

the continuous solid network is obtained by the linking of a certain number n of subunits at each node (for gelatin gels, $n = 3$) (Djabourov *et al.*, 1988), with a constant binding energy E for each subunit. In the assumption of the Boltzmann distribution, the proportion $p(b,f)$ of subunits being bound (b) on one end and free (f) at the other at a certain absolute temperature T would be $p(b,f) = K \cdot \exp(-E/k_B T)$, k_B being the Boltzmann constant, and K a normalization constant.

If the binding or release of a particular end of a subunit does not depend on the state of the other end (linked or free), then the probability for a subunit to be entirely free $p(f,f)$ is simply proportional to $\exp(-2E/k_B T)$. The sharp exponential variation of this proportion with temperature explains why gelatin gel can be dynamic only within a narrow range of temperatures.

For example, when the temperature is equal to $2E/0.693 k_B$, half the subunits would be free, with considerable changes of the mechanical properties of the gel (as for a 5 % gelatin gel compared to a 10 % gel). Moreover, the bioactivity of statgels and dynagels having the same DSF formula, *i.e.* the same physical organization, can be very different, even with constant binding energy between the solutes or the solvent, on one hand, and the solid network, on the other hand, because of a new component of diffusion of monomers (along with their surrounding of solute and solvent molecules) in the constantly reorganizing system.

As for dynamers, dynagels can exist by nature or by intent. For both, there are "internal" and "external" questions.

Internal questions concern the physical structure, with the determination of the physical properties: mechanical, optical, electrical, etc. Of course, the dynamic structure of the gel can change the diffusion of solutes in the liquid phase, but also solutes that have specific chemical affinities for the monomers of the gel matrix could change the equilibrium of monomer association-dissociation, allowing some control of the gel matrix, such as when effectors can

Note de recherche

change the equilibrium of dynamers (Lehn, 2005). About external questions, the interaction of the dynagel and the environment is concerned, such as how the dynamic reorganization of dynagels changes the self-diffusion coefficient of solutes?

Dynagels, as well as dynamers, are particular cases of dynamic materials ("dynamats") (Lehn, 1999a), these systems being defined as materials whose constituents are linked through reversible connections, either non-covalent or covalent, and are able to continuously reorganize through assembly/disassembly processes and exchange of components in a given set of conditions, usually under thermodynamic control (Lehn, 1999b), but eventually involving kinetic bottlenecks or traps.

As dynamers, dynagels are adaptable and self-assembling systems (Lehn, 1995, 2002; Philp and Stoddart, 1996; Atwood *et al.*, 2002), capable of selecting in principle their components in response to external stimuli or to environmental factors, so that they behave as adaptive materials (Lehn, 1999a,b, 2002a,b).

As supramolecular dynamers, supramolecular dynagels are defined as the entities whose solid network is generated by the polyassociation of molecular monomers bearing complementary binding groups capable of connecting through the usual non-covalent interactions implemented in supramolecular chemistry: electrostatic, hydrogen bonding, donor-acceptor, van der Waals as well as metal ion coordination.

Of course, the building of the solid network of dynagels is imposing some particular characteristics to supramonomers, as for dynamers, and in particular the presence of more than two binding sites. Otherwise, the suprapolymer would be linear. Molecular dynagels, as molecular dynamers, are reversible covalent systems which open a range of perspectives to polymer chemical physics.

Finally, as for double dynamic polymers, one can envision double dynagels, combining monomers that bear complementary non-covalent interaction units as well as complementary reversible functional groups. This allows the generation of polygels presenting double dynamic behavior,

gels that are dynamic on both molecular and supramolecular levels.

In conclusion, the operation of the various new kinds of gels in chemical physics, and more generally in materials science, confers to the gel entities new physical and chemical characteristics. In particular, dynagels can have many of the properties of dynamers, including the ability to respond to external stimuli and to environmental conditions, *i.e.* adaptability, a major tenet of constitutional dynamic chemistry, which enables the development of adaptive chemistry (Lehn, 2002a,b). The further exploration of these features may be expected to open wide perspectives for basic research in colloidal science as well as to give access to a range of novel properties and applications in colloid technology.

References

Abdallah DJ, Weiss RG. 2000. Organogels and low molecular mass organic gelators, *Advanced Materials*, 12(17), 1237–1247.

Atwood JL, Davies JED, MacNicol DD, Vogtle F (ed.), Lehn J-M (EIC). 1996. *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, 11 Volumes, Pergamon Press, Oxford, 6672 pp.

Bellini F, Alberini I, Ferreyra M, Rintoul I. 2015. Absolute determination of the gelling point of gelatin under quasi-thermodynamic equilibrium, *Journal of Food Science*, 80(5), C-935-941.

Cazor A, Deborde C, Moing A, Rolin D, This H. 2006. Sucrose, glucose and fructose extraction in aqueous carrot root extracts prepared at different temperatures by means of direct NMR measurements, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4681-4686.

Djabourov M, Leblond P, Papon P. 1988. Gelation of aqueous solutions. II. Rheology of

Note de recherche

- the sol gel transition, *Journal de Physique France*, 49(2), 333-343.
- Hoffman AS. 2002. Hydrogels for biomedical applications, *Advanced Drug Development Review*, 54(1), 3–12.
- IUPAC. 2001. *Manual of Symbols and Terminology for Physicochemical Quantities and Units*.
http://old.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t/node33.html (accessed/11/2011).
- Kawano S-I, Fujita N, Shinkai S. 2004. A coordination gelator that shows a reversible chromatic change and sol-gel phase-transition behavior upon oxidative/reductive stimuli, *Journal of the American Chemical Society*, 126(28), 8592–8593.
- Lehn J-M. 1995. *Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives*, VCH, Weinheim, New York, 281 p.
- Lehn J-M. 1999a. Where it is and where it is going. In *Supramolecular Science*, R. Ungaro and E. Dalcanale, eds., Kluwer, Dordrecht, 287–304.
- Lehn J-M. 1999b. Dynamic combinatorial chemistry and virtual combinatorial libraries, *Chemistry – A European Journal*, 5(9), 2455–2463.
- Lehn J-M. 2002a. Supramolecular polymer chemistry—Scope and perspectives, *Polymer International*, 51(10), 825–839.
- Lehn J-M. 2002b. Toward complex matter: Supramolecular chemistry and self-organization, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 99(8), 4763–4768.
- Lehn J-M. 2005. Dynamers: dynamic molecular and supramolecular polymers, *Progress in Polymer Science*, 30(8-9), 814–831.
- Lehn JM. 2010. Dynamers: Dynamic molecular and supramolecular polymers, *Australian Journal of Chemistry*, 63(4), 611-623.
- Loisel C, Lecq G, Ponchel G, Keller G, Ollivon M. 1997. Fat bloom and chocolate structure studied by mercury porosimetry, *Journal of Food Science*, 62(4), 781-788.
- Martin C, Passilly-Degrace P, Gaillard D, Merlin JF, Chevrot M, Besnard P. 2011. The lipid-sensor candidates CD36 and GPR120 are differentially regulated by dietary lipids in mouse taste buds: Impact on spontaneous fat preference, *PLoS One*, 6(8), 24014.
- Matsukama S, Ando I. 1996. A study of self-diffusion of molecules in polymer gel by pulsed-gradient spin-echo 1H NMR, *Macromolecules*, 29(22), 7136-7140.
- McQuarrie DA. 2007. *Quantum Chemistry*. University Science Books, 2nd edition, Mill Valley, CA, 1255 p.
- Philp D, Stoddart JF. 1996. Self-assembly in natural and unnatural systems, *Angewandte Chemie International Edition in English*, 35(11), 1154–1196.
- Piskounov N. 1964. *Calcul différentiel et intégral*. Mir, Moscow, (Russia), 612 p.
- Qiu Y, Park K. 2001. Environment-sensitive hydrogels for drug delivery, *Advanced Drug Delivery Review*, 53(3), 321–339.
- Tabeling P, Chabert M, Dodge A, Jullien C, Okkels F. 2004. Chaotic mixing in cross-channel micromixers, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A*. 362(1818), 987-1000.
- Terech P, Weiss RG. 1997. Low molecular mass gelators of organic liquids and the properties of their gels, *Chemical Review*, 97(8), 3133–3159.
- This H. 1996. Can a cooked egg white

Note de recherche

be uncooked?, *The Chemical Intelligencer*, 10, 51.

This H. 2005. Modelling dishes and exploring culinary 'precisions': The two issues of Molecular Gastronomy, *British Journal of Nutrition*, 93(4), S139-S146.

This H. 2007. Formal descriptions for formulation, *International Journal of Pharmaceutics*, 344(1-2), 4-8.

This H. 2009. Molecular Gastronomy, a chemical look to cooking, *Accounts of Chemical Research*, 42(5), 575-583.

This H. 2011. De quelles connaissances manquons-nous pour la cuisine note à note ?, *L'Actualité Chimique*, 350, 5-9.

This H. 2013a. Solutions are solutions, and gels are almost solutions, *Pure and Applied Chemistry*, 85(1), 257-276.

This H. 2013b. Molecular gastronomy is a scientific discipline, and note by note cuisine is the next culinary trend, *Flavour*, 2, 1.

This H. 2013c. Bioactivité et effet de matrice, *L'Actualité Chimique*, 370(1), 15-19.

This H. 2013d. Formulation and new dishes, *Cahiers de Formulation 2013-EDP Science/Société des chimistes français*, 16, 5-21.

Tordoff MG, Alarcon LK, Valmeki S, Jiang P. 2012. T1R3: A human calcium taste receptor, *Scientific Reports*, 2(496), 1-4.

Wadsten P, Wöhri AB, Snijder A, Katona G, Gardiner AT, Cogdell RJ, Neutze R, Engström S. 2006. Lipidic sponge phase crystallization of membrane proteins, *Journal of Molecular Biology*, 364(1), 44-53.

Zhang Y, Gu H, Yang Z, Xu B. 2003. Supramolecular hydrogels respond to

ligand-receptor interaction, *Journal of the American Chemical Society*, 125(45), 13680-13681.

Zhang Y, Yang Z, Yuan F, Gu H, Gao P, Xu B. 2004. Molecular recognition remodels the self-assembly of hydrogelators and increases the elasticity of the hydrogel by 106-fold, *Journal of the American Chemical Society*, 126(46), 15028-15029.

Édité par

Dominique Job, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rapporteurs

Jose Miguel Aguilera, professeur du Department of Chemical Engineering and Bioprocesses, membre associé de l'Académie d'agriculture de France

Linda Luck, professeur de chimie de la New York University à Plattsburgh, USA.

Malcolm Hadley, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique « Notes de recherche » des *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

8 novembre 2016

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)

Note de recherche

Accepté

21 décembre 2016

Publié

12 janvier 2017



Citation:

This H. 2016. Statgels and Dynagels. Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF), 2017, 3(1), 1-12.

<https://doi.org/10.58630/pubac.not.a113501>.

Hervé This est physico-chimiste (SayFood, Inrae), directeur de l'AgroParisTech-Inrae International Centre for Molecular and Physical Gastronomy Il est membre de l'Académie d'agriculture de France.

La question de la reproductibilité des expériences scientifiques

The issue of reproducibility for scientific experiments.

scieHervé This^{1,2}

¹ UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, Inra, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

² Groupe de gastronomie moléculaire, Inra-AgroParisTech International Centre for Molecular Gastronomy, F-75005, Paris, France

Correspondance :
herve.this@inrae.fr

Abstract

As scientific misconduct is amply discussed and research institutions actively deal with best practices, there is in science a major issue of irreproducibility of experiments described in manuscripts submitted to scientific journals. Indeed, some quantitative analyses show that even for honest scientists willing to correctly describe their works, the reproducibility fails in more than 7 % of all cases, in chemistry for example.

Résumé

Alors que la fraude scientifique est largement discutée par la communauté scientifique et que les institutions scientifiques se préoccupent activement de « bonnes pratiques » de publication scientifique, se pose la question de la non reproductibilité d'un nombre notable d'expériences décrites dans les manuscrits soumis aux revues scientifiques. Les études effectuées par des revues scientifiques rigoureuses montrent que, même pour des scientifiques honnêtes et qui sont soucieux de

bien décrire leurs travaux, la reproductibilité n'est pas atteinte dans plus de 7 % des cas, en chimie, par exemple.

Keywords

Reproducibility, experimentation, natural sciences, ethics, chemistry.

Mots clés

Reproductibilité, expérimentation, sciences de la nature, éthique, chimie.

Introduction

Une « règle d'or » des sciences de la nature est que les expériences scientifiques puissent être reproduites en tous temps et en tous lieux (Mesirov, 2010), et en effet, le fonctionnement des sciences de la nature impose que les résultats publiés aient une fiabilité et une généralité suffisantes pour que d'autres travaux puissent les prendre comme base. En

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Point de vue

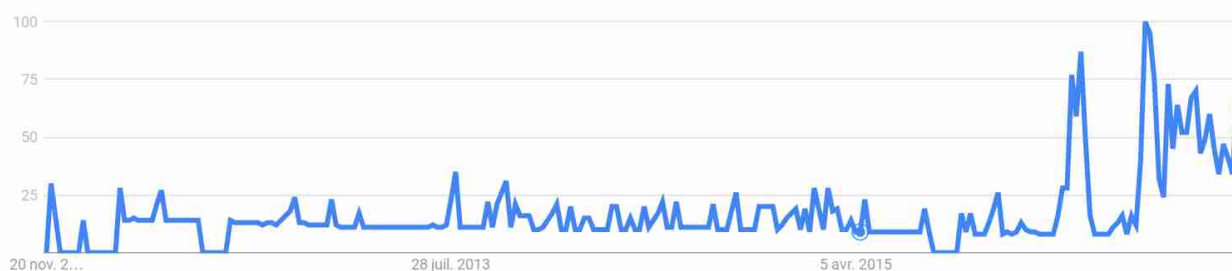


Figure 1. Nombre d'occurrences trouvées pour "science + fraud" par le moteur de recherche Google Trends (<https://www.google.fr/trends/>), entre 1980 et 2016.

conséquence, les parties « Matériels et méthodes » des articles scientifiques, appuyées par les « Matériels supplémentaires » (*Supplemental Materials*) ou les « Articles de données » (*Data Paper*) (Inra, 2017) sont conçus par les auteurs, et évalués par les rapporteurs, de sorte que n'importe qui puisse obtenir les mêmes résultats que ceux qu'annoncent les auteurs en suivant les indications de ces derniers (American Chemical Society, 2016 ; This, 2016).

Alors que les comportements moralement répréhensibles (*scientific misconduct*) (Parish, 1996) ou les « conflits d'intérêts » sont plus largement et plus ouvertement discutés que par le passé (Figures 1 à 4) (COMETS, 2014), il peut sembler que tout résultat non reproductible ou non reproduit soit le signe d'une malhonnêteté telle que non répétition des expériences présentées, falsification ou invention de données, (Gross, 2016 ; COPE, 2017).

Une telle idée n'est pas juste. Notamment certains événements astrophysiques, telle une supernova particulière, n'arrivent qu'une seule fois dans l'histoire de l'Univers, et certaines expériences très longues ne peuvent pas être reproduites, en pratique. En biologie du comportement, par exemple, le nombre de sujets étudiés est parfois limité, les études peuvent être coûteuses, et des questions éthiques peuvent rendre la répétition des expériences très difficile, voire impossible (Jasny, 2011 ; Tomasello et Call, 2011). En mathématiques, la démonstration du théorème des quatre couleurs (pour n'importe quelle carte découpée en régions connexes,

quatre couleurs suffisent pour que deux régions adjacentes aient toujours deux couleurs distinctes) impose, à ce jour, l'utilisation d'un ordinateur, et la reproduction (ici, une répétition du programme) n'est pas une preuve (Saaty et Kainen, 1986). Pour ces raisons, la revue scientifique *Nature* avait naguère proposé de mettre certains travaux scientifiques difficilement reproductibles dans une rubrique particulière intitulée *Hypothesis* (*Nature*, 1999).

Ici, on se propose de faire état d'exemples mal connus qui contredisent la possibilité de la reproduction idéale que l'on souhaiterait, et l'on présente les résultats d'une récente étude quantitative de l'impossibilité de reproduire des expériences. Les exemples sont pris en chimie, mais les problèmes sont analogues pour d'autres disciplines, telles la physique ou la biologie. L'objectif n'est évidemment pas de plaider pour une absence de reproductibilité, mais de promouvoir des efforts vers une meilleure interprétation des raisons de non reproductibilité.

La reproductibilité absolue n'existe pas

Pour des sciences plus « terre à terre » que la cosmologie et pour des sciences dont l'objet d'étude est plus simple que l'éthologie, quel est le statut de la reproductibilité expérimentale ? Il reste complexe, comme le montrent les deux exemples suivants, insuffisamment connus.

Le premier a été discuté par le chimiste Henri

Kagan (Université Paris-Sud Orsay) lors du Séminaire du Laboratoire de chimie des interactions moléculaires, au Collège de France (Kagan, 2000) ; l'authenticité des faits présentés a été plusieurs fois confirmée par le principal intéressé et par plusieurs de ses collègues (Jacques, 1990 ; 2000a ; 2000b ; Guetté, 2016).

Dans les années 1940, les chimistes Jean Jacques, Alain Horeau et des collègues du Laboratoire de chimie du Collège de France avaient réussi à synthétiser un composé à action hormonale (l'acide allénolique, ou acide 3-(6-hydroxynaphthalen-2-yl)propanoïque), et un brevet avait été pris (Horeau et Jacques, 1951). Ce brevet avait été acheté par une petite société américaine (devenue ensuite filiale de la Société Bayer), qui avait créé un pilote pour produire le composé, aux États-Unis.

Toutefois, une fois le pilote construit, les chimistes américains ne parvinrent pas à obtenir le composé voulu : ils suivaient scrupuleusement le protocole du brevet dont ils avaient payé l'exploitation, mais leur réacteur restait vide des cristaux visés. Sous la menace d'un procès, J. Jacques dût prendre l'avion pour se rendre aux États-Unis et expertiser les installations. Il surveilla la synthèse effectuée, du début à la fin (plusieurs étapes successives pour obtenir le produit final), et observa que toutes les opérations étaient conformes aux opérations de laboratoire décrites dans le brevet... Il demanda à ouvrir le réacteur où se faisait la dernière opération de synthèse, se pencha, et, quand il se gratta machinalement les favoris (qu'il avait fournis), immédiatement le réacteur s'emplit des cristaux désirés. On comprit alors que la cristallisation du produit nécessitait des germes cristallins, que J. Jacques avait sur lui et dont il avaitensemencé le réacteur. La production industrielle put alors commencer, parce que les germes cristallins correspondant au produit étaient désormais dans l'environnement de l'usine, assurant les cristallisations ultérieures.

Plusieurs décennies plus tard, J. Jacques et C. Fouquey avaient envoyé le manuscrit d'un article décrivant une synthèse à la revue *Organic Syntheses* (Jacques et Fouquey, 1989), journal scientifique original, parce que les résultats

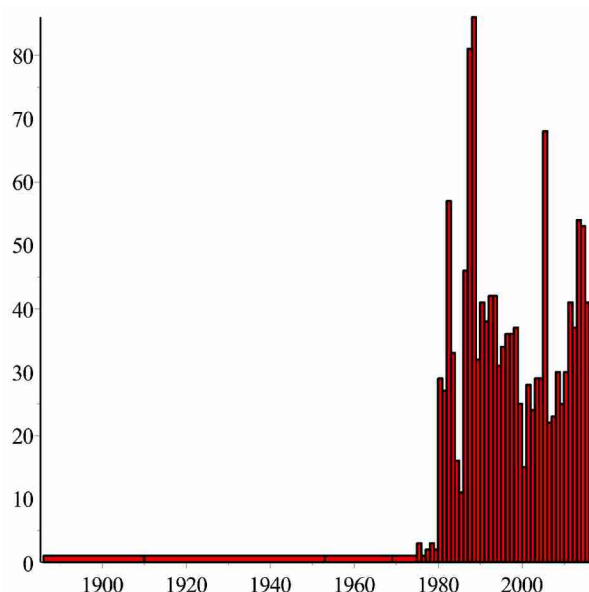


Figure 2. Evolution du nombre d'occurrences trouvées pour l'entrée « science + fraud » par le moteur de recherche PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) sur les cinq dernières années. C'est en 1980 que le gouvernement américain a commencé à s'intéresser à la question.

annoncés dans les manuscrits soumis sont reproduits par un des éditeurs de la revue, aux frais de cette dernière. La revue, qui concerne la chimie organique, impose une description précise des expériences selon des instructions aux auteurs qui décrivent tous les détails expérimentaux, et, quand une difficulté survient, l'éditeur en charge de la reproduction expérimentale contacte l'auteur pour des précisions (Organic Syntheses, 2016).

Pour le texte de J. Jacques et C. Fouquey dont nous discutons ici, le rapporteur en charge du manuscrit avait échoué à reproduire les expériences, et il avait pris contact avec les auteurs pour demander des compléments d'information. J. Jacques avait envoyé par la poste un échantillon du produit qu'il avait obtenu, et le rapporteur observa que la simple ouverture de l'enveloppe dans le laboratoire où il tentait de reproduire l'expérience déclenchait la cristallisation. Il fit ajouter dans le manuscrit une

phrase signalant que le protocole n'était pas entièrement satisfaisant, puisqu'il fallait que l'on dispose des germes cristallins pour le mettre correctement en œuvre (Kagan, 2016).

Cet épisode conduisit J. Jacques et ses collègues à étudier comment des associations moléculaires peuvent être à l'origine de non proportionnalités entre la concentration de composés optiquement actifs et la polarisation de la lumière (Kagan et al., 1996 ; Kagan, 2001) ; mais, surtout, il les conduisit à s'intéresser à d'étranges pratiques des chimistes : par exemple, la communauté de la chimie organique sait que certains sont plus ou moins habiles à gratter les ballons de verre à l'aide de petites tiges de verre, afin de déclencher des cristallisations, lesquelles permettent la séparation des produits (Jacques, 1990).

Ainsi, alors que l'idée d'une science parfaitement reproductible est commune dans la communauté scientifique, comme indiqué précédemment, de tels grattages posent évidemment problème, en ce qu'ils ne conduisent pas à des résultats réguliers.

En réalité, pour les chimistes, ce type de phénomènes fait partie du quotidien. Ainsi les chimistes savent que les rendements de réactions peuvent varier, par exemple lors de la préparation d'un composé organomagnésien, quand il demeure dans le système expérimental la moindre trace d'humidité (Bansal, 1996).

Ou encore, les chimistes analytiques savent comment la qualité des spectres de résonance magnétique nucléaire (RMN) dépend des réglages des aimants de « *shim* » (Tkac, 2010). Pour des sciences où les systèmes sont plus complexes (biologie, par exemple), on imagine que les difficultés sont encore supérieures.

Enfin les chimistes et les ingénieurs de l'industrie pharmaceutique, par exemple, savent que les expériences de laboratoire sont difficiles à reproduire quand l'échelle est changée : la revue *Organic Syntheses* donne des indications précises, pour ce qui concerne les quantités de produits à employer dans les protocoles soumis à publication, et les services d'industrialisation des sociétés pharmaceutiques ont pour mission de

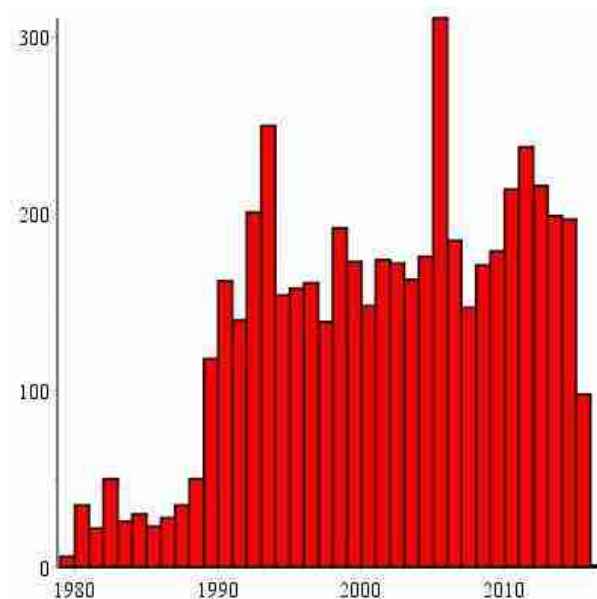


Figure 3. Nombre d'occurrences annuelles de l'expression "scientific misconduct" trouvée par le moteur de recherche PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>).

faire les transitions du ballon de paille au réacteur d'usine, avec une influence de nombreuses conditions, qui vont jusqu'à la luminosité reçue par les systèmes réactionnels (This, 2008).

Ces effets ont notamment été étudiés quantitativement dans le département « soin corporel » de la Société *Bayer* : pour deux tiers des projets, il y avait des différences entre les données de la littérature scientifique et les reproductions effectuées (Prinz et al., 2011). Parmi les causes de non reproductibilité, il y a bien sûr des négligences, des préférences pour les expériences concluantes, la reproduction des expériences trop peu de fois avant la publication (la revue *Organic Syntheses* impose aux auteurs au moins deux reproductions des synthèses décrites dans les manuscrits soumis) ou la non publication d'expériences négatives, mais l'utilisation de données insuffisantes a été également identifiée comme une cause de non reproductibilité. Le même type de résultats a été obtenu par des ingénieurs de la Société *Amgen* (Beglet et Ellis, 2012).

Bref, la science est-elle reproductible ?

Les travaux scientifiques sont-ils reproductibles, finalement ? Selon une enquête effectuée en 2016 auprès de 1 500 scientifiques (Baker, 2016), 70 % ont déclaré avoir échoué à reproduire les expériences de collègues, et 50 % ont échoué à reproduire leurs propres expériences. Les nombres varient selon les disciplines : pour la chimie, ils sont de 90 et 60 %, pour la biologie de 80 et 60 %, pour la physique et l'ingénierie de 70 et 50 %, pour la médecine de 70 et 60 %, pour les sciences de la Terre et l'environnement de 60 et 40 %.

Dans un éditorial de la revue *Angewandte Chemie* (Bergman et Danheiser, 2016), les sources de non reproductibilité sont discutées par ordre de gravité : les auteurs observent que la complète impossibilité de reproduire une expérience est plus rare que l'impossibilité d'atteindre des sélectivités ou des rendements annoncés par les auteurs. Mieux, ils donnent des arguments pour montrer que la falsification délibérée de données est rare en chimie. Bien sûr, il y a des cas où les chercheurs modifient, consciemment ou inconsciemment, des résultats, afin de conforter des idées *a priori*, mais, le plus souvent, les chercheurs sont de bonne foi.

Cette dernière idée est fondée sur une évaluation quantitative : l'équipe éditoriale du journal *Organic Letters* a montré que moins de 3 % des manuscrits soumis présentent des spectres de RMN où des signaux ont été retirés (sans que cela ne soit indiqué dans le manuscrit), avec une proportion demeurée constante durant les quelques années pendant lesquelles les spectres ont fait l'objet d'analyses (Smith, 2013).

Dans la même ligne de comportements contestables ou malhonnêtes (selon les cas), il y a la suppression de points de mesure qui ne sont pas cohérents, ou la présentation de sélectivités ou de rendements excessifs... mais les guides de bonne pratique autorisent à supprimer des « points anormaux » (*outliers*) (Gilbert, 2007), qui sont la preuve d'une erreur expérimentale, et l'on peut considérer que le plus grand rendement

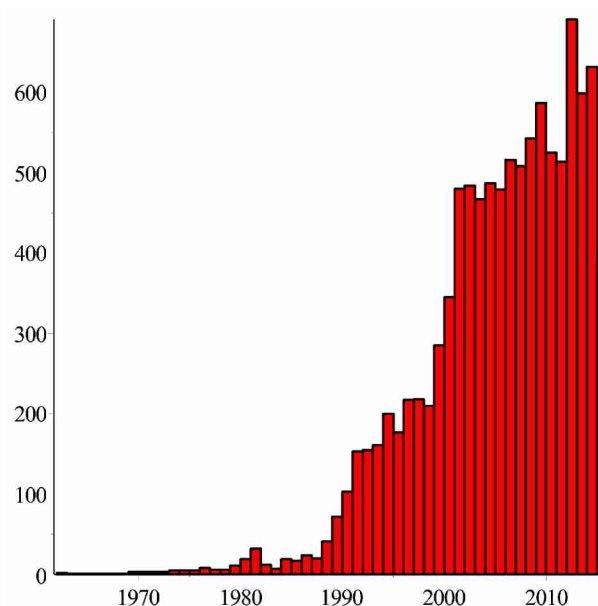


Figure 4. Evolution du nombre d'articles contenant l'expression « conflict of interests » selon le moteur de recherche PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) : l'augmentation ne signifie pas que les articles soient consacrés à ce sujet, mais seulement que l'expression soit présente dans l'article.

obtenu, pour une réaction, soit tel que la plus grande hauteur sautée par un athlète : elle est bien obtenue, une fois au moins, et reste un record avéré.

Evidemment, il y a aussi des cas où les chercheurs prennent des résultats non reproductibles pour établis, telle la « fusion froide » ou les résultats sur l'hypothétique mémoire de l'eau, et ces épisodes doivent alerter la communauté scientifique sur un risque constant : les intérêts cachés (financiers, réputation...), ou prendre ses désirs pour des réalités (Thuillier, 1980).

Conclusion

Finalement, quelle est la part de la fraude dans les articles aux résultats non reproductibles ? Les deux éditeurs

d'*Angewandte Chemie* signalent que, pour la revue *Organic Syntheses*, pendant la période 2010-2016, 7,5 % des manuscrits soumis à la revue ont été rejetés parce que le rendement ou la sélectivité annoncés par les auteurs ne pouvait pas être reproduits. Dans un tel cas, il est très difficile d'imaginer que les auteurs aient fraudé, car ils savaient que leurs travaux seraient reproduits (*Organic Syntheses*, 2017).

Les deux éditeurs examinent ensuite des mesures à prendre, afin d'augmenter la reproductibilité des travaux publiés, et ils rejoignent Collins et Tabak, qui avaient d'ailleurs conclu qu'à de rares exceptions, ils n'avaient pas de preuve que les non reproductibilités qu'ils avaient étudiées étaient dues à des comportements moralement répréhensibles (Collins et Tabak, 2014). Mais les mesures à prendre sont un autre sujet, très vaste.

Pour conclure, alors que le nombre de publications et de dispositifs relatifs à l'éthique scientifique augmente, un peu de grandeur est proposée : au lieu d'introduire de nouvelles lois, de nouveaux dispositifs contraignants auxquels les fraudeurs savent parfaitement échapper, il semble plus efficace de sensibiliser les étudiants en science aux bonnes pratiques de la recherche scientifique, puis d'encourager l'exploration des phénomènes qui sont à l'origine de non reproductibilités.

A ce titre, la création récente de revues consacrées à la publication de résultats négatifs est intéressante (*Negative Results*, 2016), tout comme les *Data Papers* (Inra, 2017), récemment introduits, où les données brutes sont communiquées, comme dans les revues de qualité en sciences de la vie (pour lesquelles la soumission des données brutes de génomique doit être faite en parallèle de l'article ou dans des bases de données reconnues internationalement), ou encore dans les « Matériels supplémentaires », où elles sont révisées comme l'article principal (Tailor *et al.*, 2007).

Finalement l'examen ici effectué semble montrer que la reproductibilité est un but qui est difficilement accessible, mais vers lequel les

scientifiques doivent tendre, sans illusion pour certains cas. Surtout, l'examen des causes de non reproductibilité est un facteur de progrès scientifique à ne pas négliger : toute différence entre la théorie et l'expérience est l'indication d'insuffisances théoriques qui peuvent mettre sur la voie de découvertes (This, 2015).

Références

American Chemical Society. 2016. *Ethical guidelines to publication of chemical research*. <http://pubs.acs.org/userimages/ContentEditor/1218054468605/ethics.pdf>, dernier accès 14 novembre 2016.

Baker M. 2016. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility, *Nature*, 533 (7604), 452–454.

Bansal RK. 1996. *Synthetic approaches in organic chemistry*, Jones and Bartlett Publishers, Sudbury (MA), 420 p.

Begley CG, Ellis LM. 2012. Drug development: raise standards for preclinical cancer research, *Nature*, 483(7391), 531–533.

Bergman GR, Danheiser RL. 2016. Reproducibility in chemical research, *Angewandte Chemie International Edition*, 55, 12548 – 12549.

COMETS. 2014. *Promouvoir une recherche intègre et responsable*. http://www.cnrs.fr/comets/IMG/pdf/guide_promouvoir_une_recherche_inte_gre_et_responsable_8septembre2014.pdf Dernier accès 14 novembre 2016.

Collins F, Tabak L. 2014. Policy: NIH plans to enhance reproducibility. *Nature*, 505(7485), 612–613.

COPE. 2017. <http://publicationethics.org/>, dernier accès 6 février 2017.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Point de vue

- Gilbert HF. 2007. Ethics data analysis. Research Ethics Symposium. https://www.google.fr/search?hl=fr&gl=fr&tbm=nws&authuser=0&q=conflict+of+interest&oq=conflict+of+interest&gs_l=news-cc.3..43j43i53.2108.5963.0.6099.20.7.0.13.13.0.150.495.5j2.7.0...0.0...1ac.1.zOR6mL9P1oU#hl=fr&gl=fr&authuser=0&q=outliers+scientific+data+ethics, dernier accès 14 novembre 2016.
- Gross C. 2016. Scientific misconduct, *Annual Review of Psychology*, 67, 693-711.
- Guetté JP. 2016. Communication personnelle.
- Horeau A, Jacques J. 1951. *Processes for preparing artificial oestrogenic compounds and products obtained thereby*, Brevet US 2547123 A.
- Inra. 2017. *Qu'est-ce qu'un Data Paper*. <https://www6.inra.fr/datapartage/Partager-Publier/Valoriser-ses-donnees/Publier-un-Data-Paper>, dernier accès 6 février 2017.
- Jacques J, Fouquey C. 1989. Enantiomeric (S)-(+)- and (R)-(-)-1,1'-binaphtyl-2,2'-diyl hydrogen phosphate, *Organic Syntheses*, 67, 1.
- Jacques J. 1990. *L'Imprévu ou la science des objets trouvés*, Odile Jacob, Paris, 216 p.
- Jacques J. 2000a. *Un chimiste au passé Simple*, Odile Jacob, Paris, 235 p.
- Jacques J. 2000b. Communication personnelle.
- Jasny BR. 2011. Again, and Again, and Again, *Science*, 334(6060), 1225.
- Kagan H. 2000. Séminaire du Laboratoire de chimie des interactions moléculaires, Collège de France.
- Kagan HB, Girard H, Guillaneux D, Rainford D, Samuel O, Zhang SY, Zhao SH. 1996. Nonlinear effects in asymmetric catalysis: some recent aspects, *Acta Chemica Scandinavia*, 50, 345-352.
- Kagan HB. 2001. Nonlinear effects in asymmetric catalysis: a personal account, *Synlett*, S1, 888-899.
- Kagan HB. 2016. Communication personnelle, 15 novembre 2016.
- Mesirov. J. 2010. Accessible reproducible research, *Science*, 327(5964), 415-416.
- Nature. 1999. *Table of content*. <http://www.nature.com/nature/journal/v401/n6752/index.html#catetext>, dernier accès 14 novembre 2016.
- Negative Results. 2016. <http://www.negative-results.org/>, dernier accès 7 février 2017.
- Organic Syntheses. 2016. *About OrgSyn*. <http://www.orgsyn.org/about.aspx>, dernier accès 15 novembre 2016.
- Organic Syntheses. 2017. Instructions for authors. *Organic Syntheses*. <http://www.orgsyn.org/instructionspa.aspx>, dernier accès 10 février 2017.
- Parish D. 1996. The scientific misconduct, definition and falsification of credentials, *Professional Ethics Report*, 9(4). <http://www.aaas.org/sites/default/files/migrate/uploads/per7.pdf>, dernier accès 6 février 2017.
- Prinz F, Schlange T, Asadullah K. 2011. Believe it or not: how much can we rely on published data on potential drug targets?, *Nature Reviews Drug Discovery*, 10(9), 712.
- Saaty TL, Kainen PC. 1986. *The four-color problem: Assaults and Conquest*, Dover, New-York, USA.
- Smith III, A. 2013. Data integrity, *Organic Letters*, 15(12), 2893-2894.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Point de vue

Taylor CF, Paton NW, Lilley KS, Binz PA, Julian RK Jr, Jones AR, Zhu W, Apweiler R, Aebersold R, Deutsch EW, Dunn MJ, Heck AJR, Leitner A, Macht M, Mann M, Martens L, Neubert TA, Patterson SD, Ping P, Seymour SL, Souda P, Tsugita A, Vardekerckhove J, Vondriska TM, Whitelegge JP, Wilkins MR, Xenarios I, Yates JR, Henning Hermajakob H. 2007. The minimum information about a proteomics experiment (PIAPE), *Nature Biotechnology*, 25(8), 887-893.

This H. 2008. Color evolution of aqueous solutions obtained by thermal processing of carrot (*Daucus carota* L.) roots: influence of light, *Journal of Food Science*, 73 (4), E176–E182.

This H. 2015. *Molecular gastronomy and note by note cooking: a story of science, on one hand, and culinary art, on the other*, Canal C2. <http://www.canalc2.tv/video/13476>. Dernier accès 7 février 2017.

This H. 2016. Methodological advances in scientific publication, *Notes Académiques de l'Académie d'Agriculture de France (N3AF)*, 8, 1-26.

Tkac I. 2010. Shimming and MRS, *Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 18, 1-3.

Tomasello M, Call J. 2011. Methodological challenges in the study of primate cognition, *Science*, 334 (6060), 1227-1228.

Thuillier P. 1980. *Le petit savant illustré*, Le Seuil, Paris, 115 p.

Edité par

Dominique Job, directeur de recherche émérite au CNRS, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rapporteurs

Jean-François Bach, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
Agnès Ricroh, maître de conférence AgroParisTech et membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique «Points de vue » des *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

17 novembre 2016

Accepté

7 février 2017

Publié

8 février 2017

Citation

This H. 2017. La question de la reproductibilité des expériences scientifiques. Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF), 2017, 3(2), 1-8.
<https://doi.org/10.58630/pubac.not.a958199>.



Hervé This est physico-chimiste dans le Groupe Inrae de gastronomie moléculaire, à AgroParisTech. Il est membre de l'Académie d'agriculture de France.

Synthétiser les connaissances en agronomie

Synthesizing knowledge in agronomy

David Makowski ¹

¹ INRA, UMR Agronomie INRA AgroParisTech, Université Paris-Saclay 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance :

david.makowski@inra.fr

Résumé

Les méthodes de synthèse de connaissances permettent d'analyser les données produites par des études scientifiques réalisées dans différentes conditions, mais traitant toutes d'un sujet commun. Cet article présente les principes généraux d'une de ces méthodes - la méta-analyse – et discute de ses avantages et de ses applications possibles en agronomie.

Abstract

Methods of research synthesis aim at analyzing data produced by a series of scientific studies addressing the same research question, but carried out in different conditions. This paper presents the general principles of a major research synthesis method called meta-analysis. The advantages of this method and its possible applications in agronomy are discussed.

Keywords

Meta-analysis, research synthesis, weight of evidence.

Mots clés

Méta-analyse, poids des preuves, synthèse de connaissances.

Pourquoi synthétiser les connaissances

Les sciences agronomiques produisent de nombreuses données dont l'analyse permet de mieux comprendre l'effet des pratiques agricoles sur la production (par exemple, le rendement des cultures, la qualité des produits) et sur l'environnement (par exemple, l'émission de gaz à effet de serre, la pollution de l'eau). Ces données sont produites sur des parcelles d'essais expérimentaux, dans le cadre d'enquêtes réalisées chez les agriculteurs ou lors d'expérimentations numériques réalisées à l'aide de modèles mathématiques.

Sur certaines questions stratégiques, de nombreuses études sont réalisées et publiées de manière indépendante par différentes équipes appartenant à diverses institutions. C'est, par exemple, le cas des études qui visent à comparer les systèmes de type agriculture biologique aux systèmes dits conventionnels de celles qui visent à étudier l'impact du non-travail du sol ou à évaluer les performances de cultures génétiquement modifiées, ou encore des mesures des émissions de gaz à effet de serre par la fertilisation azotée (Philibert *et al.*, 2012).

Note de synthèse

Sur de tels sujets, des dizaines, voire des centaines d'études sont conduites sur un pas de temps plus ou moins long (généralement 10-20 ans), et leurs résultats sont publiés de manière indépendante dans des rapports et des revues scientifiques. La plupart du temps, ces études ne sont pas synthétisées et ne donnent lieu à aucune analyse statistique quantitative globale (Ioannidis, 2005 ; Philibert *et al.*, 2012).

L'objectif des méthodes de synthèse de connaissances est d'analyser des données générées par de nombreuses études, réalisées dans différentes conditions, mais traitant toutes d'un sujet commun. La synthèse des connaissances peut être qualitative ou quantitative, mais la synthèse quantitative de connaissances présente plusieurs avantages : (1) elle permet d'analyser de manière objective le poids des preuves en faveur d'une hypothèse (par exemple qu'un traitement A soit plus efficace qu'un traitement B contre une maladie donnée), (2) elle peut augmenter la puissance des tests statistiques (et donc la probabilité de découvrir l'existence d'un effet), (3) elle permet de développer des modèles statistiques prédictifs pouvant être utilisés pour l'aide à la décision.

D'une manière plus générale, une synthèse rigoureuse des connaissances disponibles permet de tirer des conclusions non biaisées sur des sujets stratégiques et d'analyser aussi objectivement que possible la variabilité des résultats produits par la communauté scientifique. Les méthodes de synthèse de connaissances jouent ainsi un rôle central pour évaluer le poids des preuves en faveur d'hypothèses alternatives.

Revue systématique et méta-analyse

La revue systématique et la méta-analyse sont deux approches importantes pour synthétiser les connaissances scientifiques. La revue systématique a été définie par Chalmers *et al.* comme une démarche mettant en œuvre des stratégies pour limiter les biais dans la collecte,

l'évaluation critique et la synthèse de toutes les études pertinentes traitant d'un sujet particulier (Chalmers *et al.*, 2002). Les revues systématiques sont fréquemment réalisées dans le cadre de travaux de recherche académiques et, également, dans des analyses de risques sanitaires et environnementaux (ANSES, 2016 ; EFSA, 2010). Une de leurs principales limites réside dans leur nature qualitative ; le résultat d'une revue systématique consiste en une conclusion narrative résumant les études de la revue. Elle ne fournit pas de résultat quantitatif sur la force d'une relation causale, ni sur la taille des effets étudiés ou leur niveau d'incertitude.

La méta-analyse peut être vue comme une extension de la revue systématique. Elle correspond à la principale méthode quantitative utilisée pour synthétiser les connaissances. Elle combine deux approches : (1) la revue systématique, (2) l'analyse statistique.

Dans une méta-analyse, les données doivent présenter suffisamment de similarités pour être analysables avec des méthodes statistiques. En associant une analyse statistique à une revue systématique, la méta-analyse présente un double avantage : elle limite les risques de biais en récupérant un ensemble d'études sur la base d'un protocole explicite, et elle fournit des résultats sous une forme quantitative.

Glass définit la méta-analyse comme l'analyse statistique d'un large ensemble de résultats issus d'études individuelles en vue d'intégrer les conclusions (Glass, 1976). D'autres définitions ont été proposées et ont été mentionnées (Chalmers *et al.*, 2002 ; Koricheva *et al.*, 2013). Toutes insistent sur l'idée de combiner différentes études ayant un objectif commun dans le but d'obtenir une estimation d'une quantité présentant un intérêt pratique.

Les origines de la méta-analyse

Historiquement les premières applications de la méta-analyse ont été réalisées dès le début du XX^e siècle. Karl Pearson (Pearson, 1904) a ainsi collecté et analysé les résultats de différentes études dont l'objectif était d'évaluer l'efficacité d'un vaccin contre la typhoïde. Yates (Yates,

Note de synthèse

1941) est probablement l'auteur de la première méta-analyse agronomique (Chalmers *et al.*, 2002). Son objectif était de déterminer des doses optimales d'engrais phosphaté dans le contexte de blocus et de pénurie de la Seconde Guerre mondiale. Un grand nombre d'essais testant l'effet de doses d'engrais croissantes sur le rendement des cultures ont été collectés et analysés globalement pour calculer au plus juste les doses d'engrais requises.

La méta-analyse est devenue une méthode standard dans le domaine médical au cours des années 1990, notamment grâce à l'impulsion de la *Cochrane Organisation* qui a fait la promotion de cette approche et organise des ateliers pour faciliter la réalisation de revues systématiques et de méta-analyses (Cochrane, 2017).

La méta-analyse est devenue une technique incontournable pour identifier des facteurs de risques de maladies et pour évaluer l'efficacité de traitements médicaux (Sutton *et al.*, 2000 ; Borenstein *et al.*, 2009). Certains auteurs considèrent la méta-analyse comme une approche permettant de limiter les risques de fausse découverte (Ioannidis, 2005). Elle est maintenant de plus en plus souvent utilisée en dehors du domaine médical, notamment en écologie, dans les sciences environnementales, en génétique ou en génomique.

En agronomie, la méta-analyse est utilisée de plus en plus fréquemment pour combiner des données issues d'études indépendantes, réalisées dans différentes régions du monde (Philibert *et al.*, 2012 ; Koricheva *et al.*, 2013 ; Makowski *et al.*, 2014).

Dans ce domaine, elle apparaît particulièrement utile pour synthétiser les connaissances disponibles sur des sujets controversés, par exemple sur l'impact des variétés génétiquement modifiées sur l'environnement, sur les performances de l'agriculture biologique, ou sur les conséquences du changement climatique sur la production agricole. En agronomie, la méta-analyse est souvent utilisée pour estimer les pertes ou les gains de rendements résultant de l'adoption de systèmes de culture alternatifs et pour analyser l'incertitude associée à ces estimations (Hossard *et al.*, 2016 ; Miguez et

Bollero, 2005 ; Ponisio *et al.*, 2014 ; Seufert *et al.*, 2012). De tels résultats apportent des éléments objectifs aux débats parfois controversés sur les avenir possibles de l'agriculture.

En agronomie, la méta-analyse n'est pas une approche de type *big data* : contrairement à celle-ci, la méta-analyse n'a pas vocation à analyser un flux continu et massif de données. Sauf exception, les jeux de données considérés dans les méta-analyses ne sont généralement pas massifs ; ils n'incluent le plus souvent que quelques centaines ou quelques milliers de données, et ne sont pas mis à jour en temps réel. Par ailleurs, dans une méta-analyse, les études sélectionnées doivent répondre à des critères de qualité stricts. Elles doivent inclure un traitement qui n'est pas exposé à l'effet que l'on souhaite évaluer, respecter les règles de la randomisation et être fondées sur des protocoles rigoureux. Lorsque ces critères de qualité sont respectés, les risques de confusion d'effet entre facteurs explicatifs sont faibles et les résultats peuvent être facilement interprétés.

Les principales étapes d'une méta-analyse

Il existe deux grands types de méta-analyse. L'objectif du premier type est d'estimer la taille moyenne de l'effet d'un traitement expérimental par rapport à un traitement de référence. La taille d'effet est généralement définie par un rapport entre la valeur d'une variable d'intérêt (par exemple, le rendement d'une culture) dans un traitement expérimental et la valeur de la même variable dans un traitement de référence. Les données sont alors utilisées pour estimer la valeur moyenne du rapport à travers les études disponibles, ainsi que l'intervalle de confiance associé.

En agronomie, cette approche a déjà été utilisée pour comparer différentes pratiques agricoles, voire différents systèmes de cultures. Par exemple, Miguez et Bolléro ont réalisé une méta-analyse de 37 études expérimentales pour

Note de synthèse

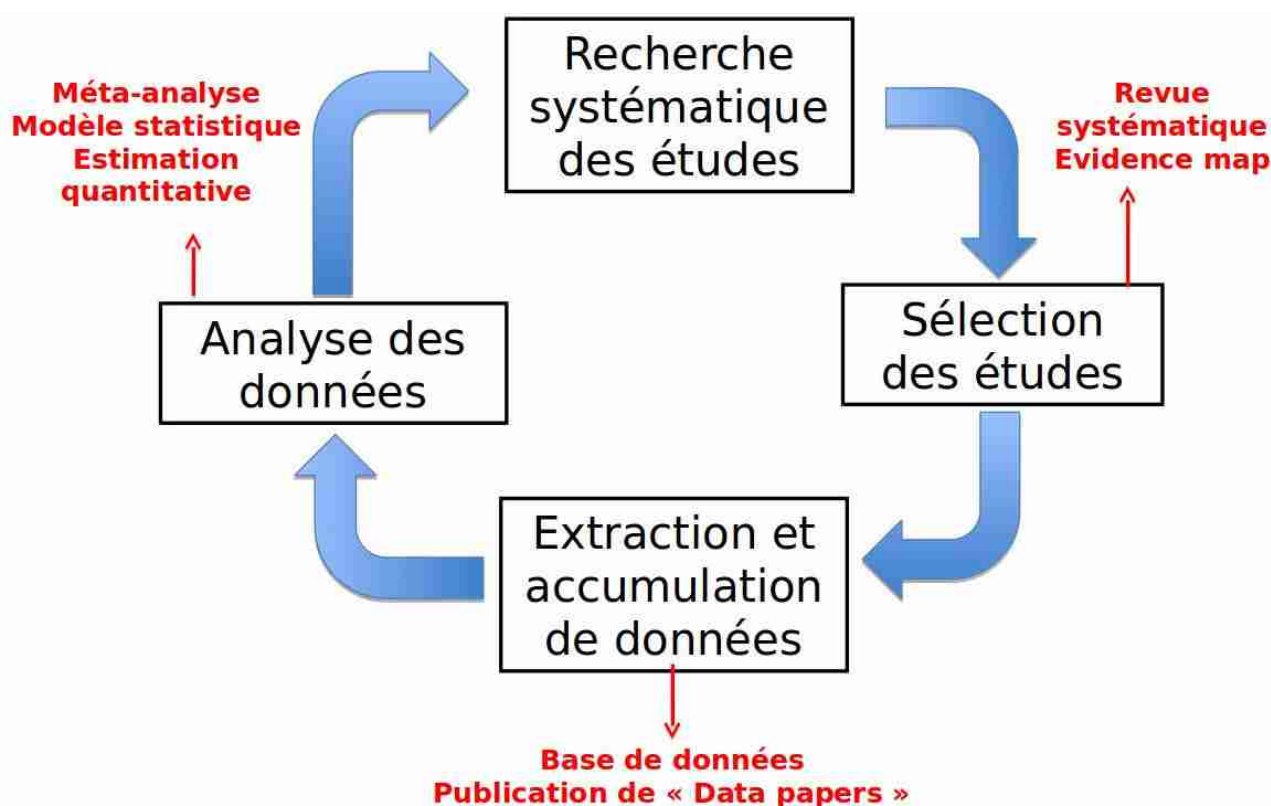


Figure 1. Le cercle vertueux de l'accumulation de connaissance. Les textes encadrés correspondent aux différentes étapes. Les flèches rouges indiquent les productions associées à chaque étape.

estimer le gain de rendement de maïs induit par l'utilisation de cultures intermédiaires (graminées ou légumineuses) (Miguez et Bolléro, 2005). Makowski *et al.* ont conduit une méta-analyse pour comparer l'efficacité de différents types de fongicides utilisés pour contrôler une espèce invasive de champignon pathogène (Makowski *et al.*, 2014). Hossard *et al.* ont réalisé une méta-analyse de plusieurs essais systèmes réalisés en Europe et en Amérique du nord pour comparer les rendements de systèmes de culture intensifs, biologiques et à bas intrants (Hossard *et al.*, 2016).

L'objectif du second type de méta-analyse (souvent appelé méta-régression) est d'estimer une relation entre une variable de réponse et une ou plusieurs variables explicatives, en utilisant un ensemble d'étude expérimentales incluant des

valeurs observées des variables considérées (Philibert *et al.*, 2013 ; Yu *et al.*, 2015). Ces deux types de méta-analyse comportent des étapes communes :

- définition de l'objectif de la méta-analyse : définition de la taille d'effet, variable de réponse, variables explicatives et population ;
- revue systématique : définition du protocole de recherche bibliographique, utilisation de bases de données bibliographiques, récupération des études ;
- sélection des études : définition de critères de sélection, application de ces critères aux études individuelles, élimination des études non conformes ;
- extraction des données des études sélectionnées à partir de fichiers, de tableaux et de figures ;

Note de synthèse

- analyse statistique : définition d'un ou plusieurs modèles statistiques, estimation des paramètres, estimation des quantités d'intérêt, analyse d'incertitude, analyse de sensibilité, analyse du biais de publication (ce biais est induit par une sélection des études reportant certains types de résultats, par exemple la publication préférentielle de résultats statistiquement significatifs).

Vers un processus d'accumulation de connaissances ?

L'utilisation de la revue systématique et de la méta-analyse est de plus en plus fréquente en agronomie. Une généralisation de leur utilisation pourrait, à terme, faire entrer ce domaine de recherche dans un cercle vertueux d'accumulation de connaissances (Figure 1).

La recherche systématique des études traitant de sujets stratégiques (plutôt que leur sélection *a priori*) permet d'identifier la plupart des études produites par la communauté scientifique à une date donnée et, ainsi, limite les risques de biais. La sélection des études à partir de critères explicites (définis en fonction de la question posée) renforce l'objectivité de la démarche des scientifiques et augmente sa crédibilité aux yeux des parties prenantes. L'extraction des données issues des études sélectionnées permet de produire des bases de données réutilisables par la communauté scientifique et facilite la vérification des résultats (Cernay *et al.*, 2016). L'analyse statistique des données permet d'estimer des quantités d'intérêt, de tester des hypothèses et d'analyser les incertitudes. Cette dernière étape est particulièrement utile pour l'aide à la décision ; celle-ci demande en effet des estimations quantitatives associées à l'analyse fine des incertitudes associées.

Le processus décrit par la figure 1 peut être à l'origine de différents types de valorisation scientifique :

- articles de type « revue systématique » valorisant les analyses qualitatives des articles sélectionnés ;
- bases de données réutilisables et « Data papers » présentant en détails les

caractéristiques de ces bases de données (notamment les méta-données) ;

- articles de type « méta-analyse » apportant les résultats quantitatifs de l'analyse statistique des données collectées.

Le processus décrit dans la figure 1 est itératif ; une synthèse de connaissances produite à une date donnée peut être mise à jour lorsque de nouvelles études sont produites. Une telle mise à jour a ainsi été réalisée pour évaluer les pertes de rendement induites par l'utilisation de systèmes de culture biologique par rapport aux systèmes conventionnels. Ainsi, en 2012, Seufert *et al.* ont publié une méta-analyse réalisée à partir de 66 études et ont estimé une perte moyenne de rendement de 25 % (sd 4 %) (Seufert *et al.*, 2012). La base de données a ensuite été mise à jour par Ponisio *et al.* ; ces auteurs ont estimé une perte moyenne de 19,2 % (sd 7 %) à partir de 115 études (Ponisio *et al.*, 2015).

Un des obstacles à la diffusion des méthodes de synthèse de connaissances réside dans le temps nécessaire à la sélection des études et à l'extraction des données. Lors de cette étape, les études répondant à certains critères (protocoles expérimentaux de bonne qualité, disponibilité des données, etc.) sont sélectionnées et les autres écartées. Les données publiées sous forme de tableaux et/ou figures sont ensuite extraites, puis archivées dans une base de données adaptée. Certains outils informatiques de type *text mining* peuvent faciliter la sélection des études et l'extraction des données, mais cette étape n'est généralement pas totalement automatisable et nécessite l'intervention d'une ou plusieurs personnes compétentes. En pratique, la sélection et l'extraction des données prennent ainsi souvent plusieurs mois pour chaque méta-analyse.

Récemment des auteurs ont décrit une nouvelle approche appelée *living systematic reviews*, qui donnerait la possibilité aux scientifiques de mettre à jour leurs bases de données quasiment en temps réel (Elliott *et al.*, 2014). Cette méthode a été initialement décrite dans le cadre de la recherche médicale, mais pourrait être adaptée aux sciences agronomiques. Les *living*

Note de synthèse

systematic reviews reposent sur des outils informatiques collaboratifs offrant la possibilité aux scientifiques de partager leurs données dans des dépôts informatiques communs. Ces données peuvent alors faire l'objet d'une analyse statistique dont les résultats sont publiés en ligne et mis à jour régulièrement. Cette démarche permettrait de réduire considérablement les délais entre la réalisation des études individuelles et celle de synthèses quantitatives de connaissances. Dans un futur proche, l'émergence de cette approche donnerait la possibilité aux scientifiques d'accumuler des données de manière beaucoup plus rapide sur des sujets stratégiques. Les résultats pourraient être mis à jour de manière efficace par un grand nombre d'experts, puis diffusés auprès d'un public large. L'utilisation de cette version moderne de la synthèse des connaissances faciliterait le partage des données et contribuerait à rendre les processus de prise de décision plus objectifs. Il faudra cependant veiller à définir des critères de qualité aussi stricts que ceux considérés dans les revues systématiques, afin d'éviter que des données de mauvaise qualité ne viennent réduire la fiabilité des conclusions.

Références

ANSES. 2016. *Evaluation du poids des preuves à l'ANSES : revue critique de la littérature et recommandations à l'étape d'identification des dangers*. Rapport d'expertise collective, Saisine 2015-SA-0089.

Borenstein M, Hedges LV, Higgins JPT, Rothstein HR. 2009. *Introduction to meta-analysis*. Chapter 20 : Meta-regression. Wiley.

Cernay C, Pelzer E, Makowski D. 2016. A global experimental dataset for assessing grain legume production. *Scientific Data*, 3, 160084 doi: 10.1038/sdata.2016.84.

Chalmers I, Hedges LV, Cooper H. 2002. A brief history of research synthesis. *Evaluation and the Health Professions*, 25 (1), 12–37.

Cochrane Organisation. 2017. www.Cochrane.org, dernier accès 17 février 2017.

EFSA. 2010. European Food Safety Authority; Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making. *EFSA Journal*, 8(6), 1637.

Elliott JH, Turner T, Clavisi O, Thomas J, Higgins JPT. 2014. Living systematic reviews: an emerging opportunity to narrow the evidence-practice gap. *PLoS Medicine*, 11, e1001603. Doi:10.1371/journal.pmed1001603.

Glass GV. 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5(10), 3-8.

Hossard L, Archer DW, Bertrand M, Colnenne-David C, Debaeke P, Erfors M, Jensen ES, Jeuffroy MH, Munier-Jolain N, Nilsson C, Sanford GR, Snapp SS, Makowski D. 2016. A meta-analysis of maize and wheat yields in low-input vs. conventional and organic systems. *Agronomy Journal*, 108(3), 1155-1167 .

Koricheva J, Gurevitch J, Mengersen K (eds.). 2013. *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton University Press, 520 p.

Ioannidis JPA. 2005. Why most published research findings are false. *PLoS Medicine*, 2 (8), e124.

Makowski D, Nesme T, Papy F, Doré T. 2014. Global agronomy, a new field of research. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 293-307.

Makowski D, Vicent A, Pautasso M, Stancanelli G, Rafoss T. 2014. Comparison of statistical models in a meta-analysis of fungicide treatments for the control of *Citrus* black spot caused by *Phyllosticta citricarpa*. *European Journal of Plant Pathology*, 139(1), 79–94.

Miguez FE, Bollero GA. 2005. Review of corn

Note de synthèse

yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Science*, 45(6), 2318–2329.

Philibert A, Loyce C, Makowski D. 2012. Assessment of the quality of the meta-analysis in agronomy. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 148, 72-82.

Philibert A, Loyce C, Makowski D. 2013. Prediction of N₂O emission from local information with Random Forest. *Environmental Pollution*, 177, 156-163 .

Ponisio LC, M'Gonigle LK, Mace K, Palomino J, de Valpine P, Kremen C. 2014. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society*, B 282, 20141396 .

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232.

Sutton AJ, Abrams KR, Jones DR, Sheldon TA, Song F. 2000. *Methods for meta-analysis in medical research*. Wiley, New-York, USA, 348 p.

Yu Y, Stomph T-J, Makowski D, van der Werf W. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: a meta-analysis. *Field Crop Research*, 184, 133–144.

Edité par

Jean-Claude Mounolou, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Christian Férault, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rapporteurs

Bernard Bourget est membre de l'Académie d'agriculture de France

Alain Pavé est membre de l'Académie d'agriculture de France.

Jérôme Leroy est fondateur de la société *Weenat*.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique «Notes de synthèse » des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

17 novembre 2016

Accepté

17 février 2017

Publié

28 février 2017

Citation

Makowski. 2017. Synthétiser les connaissances en agronomie, *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture*, 3(3), 1-7. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a129775>.



David Makowski, directeur de recherche à l'INRA, dirige l'unité mixte de recherche Agronomie (INRA, AgroParisTech) du centre Versailles-Grignon.

Construire les paysages ruraux : quels rôles pour les professionnels du paysage ?

Building country landscapes: what roles for the landscape professionals

Pierre Donadieu ¹

¹ Ecole nationale supérieure du paysage de Versailles-Marseille, 10 rue du Maréchal Joffre, 78000 Versailles

Correspondance :

p.donadieu@ecole-paysage.fr

Résumé

Cet article développe l'idée que les professionnels du paysage, avec les agriculteurs et les habitants des territoires, peuvent accompagner l'évolution des paysages agricoles. Pour y parvenir, de nouvelles compétences de médiation paysagiste sont disponibles pour mettre en œuvre les transitions écologiques et paysagères en cours. Elles s'appuient autant sur des indicateurs environnementaux que sur les émotions et les jugements que suscitent les caractères des spectacles des campagnes.

Abstract

This article develops the idea that landscape professionals can accompany the evolution of agricultural landscapes together with farmers and inhabitants of the territories. To achieve this, new landscape skills are available to implement the ecological and landscape transitions underway. They are based as much on environmental indicators as on the emotions and judgments aroused by the characters of the rural sceneries.

Keywords

Landscape, landscapist, landscape governance.

Mots clés

Paysage, paysagiste, gouvernance paysagère.

Aujourd'hui les paysages de l'agriculture sont l'objet de débats locaux et nationaux, principalement pour des raisons environnementales ou de santé publique (Aubertot *et al.*, 2005 ; Aubertot *et al.*, 2007 ; Lubello *et al.*, 2017). Parallèlement la notion de paysage fait l'objet d'attentions publiques multiples, notamment par le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. Très souple, elle se prête à des débats qui concernent à la fois l'environnement, la démocratie, le cadre de vie et la biodiversité. Elle permet de mettre en cohérence des actions publiques et des projets (Labat, 2013), mais, en même temps, elle laisse d'autant plus perplexes les acteurs des collectivités territoriales que la

perception subjective du paysage est mobilisée par les professionnels du paysage pour argumenter les projets d'intérêt général.

La Convention européenne du paysage de Florence, qui a été ratifiée par la France, définit en effet le paysage, dans son article 1a, comme « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations » (Council of Europe, 2000). Ce caractère – une combinaison de traits originaux – distingue un paysage d'un autre, le singularise et contribue à l'émergence du sens des lieux pour ses usagers, habitants et touristes notamment. Il fonde notamment la recherche d'une « politique du paysage » et d'« objectifs de qualité paysagère » (article 1b et c) par les « autorités publiques compétentes ». De ce point de vue, le paysage, matériel et immatériel, est considéré comme une construction sociopolitique.

La mise en œuvre de cette convention, du point de vue des actions publiques sur les paysages, est-elle restée vaine, voire utopique, ou, au contraire, est-elle effective ? Ces politiques publiques peuvent-elles s'appuyer sur la sensibilité des publics et des agriculteurs aux caractères paysagers d'un territoire ? La compétence des paysagistes français, pour produire et valoriser les spectacles de l'agriculture d'aujourd'hui et de demain, est-elle mobilisable ? Comment, avec une démarche globalisante (holistique), peuvent-ils pondérer les différents facteurs de la production des paysages ruraux ?

Le présent article développera, dans une première partie (intitulée « La transition environnementale »), les caractéristiques émergentes des professionnels du paysage (la posture d'engagement, l'enjeu de l'esthétisation de l'ordinaire, et la recherche de la participation habitante). Dans une seconde partie (intitulée « La transition paysagère »)¹, sera proposée une

méthode d'évaluation du caractère paysager d'un territoire, en s'inspirant de l'approche du sociologue et philosophe Edgar Morin, puis l'adaptation possible des pratiques paysagistes aux transitions en cours des paysages agricoles (Gauché, 2015).

1. Le paysagiste et la transition environnementale

Parmi les métiers du paysage, l'on distingue en France deux catégories de professions organisées. La première concerne les paysagistes concepteurs (ou architectes paysagistes), réunis dans la Fédération française du paysage (FFP, 2017), créée en 1982 et reconnue par la Fédération internationale des architectes paysagistes (IFLA, 2017), fondée en 1947 ; la seconde les entrepreneurs paysagistes représentés par l'Union nationale des entrepreneurs paysagistes (UNEP, 2017).

Historiquement associés à l'aménagement des jardins et des espaces publics, ces deux métiers, et notamment le premier, se transforment depuis la fin du siècle dernier en raison des transitions environnementales en cours et des politiques publiques qui sollicitent leurs compétences, sinon leur engagement militant.

Une partie des paysagistes concepteurs est formée sous l'égide du ministère de l'Agriculture à Versailles (École nationale supérieure de paysage) et à Angers (Agrocampus ouest), l'autre sous l'égide des ministères de la Culture (Écoles nationales supérieures d'architecture et de paysage de Bordeaux et de Lille) et de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche (Université de Tours, École de la nature et du paysage de l'INSA Centre Val de Loire à Blois). Ces cinq écoles délivrent les diplômes qui donnent accès au titre de paysagiste concepteur, dont le diplôme d'État de paysagiste pour les écoles de Versailles, Bordeaux, Lille et Blois, et celui d'ingénieur paysagiste à Angers.

¹ Cette transition, analogue aux transitions énergétique, climatique et environnementale, met en œuvre les principes juridiques définis par la Convention européenne du paysage (politique de paysage, objectifs de qualité paysagère, protection, gestion et aménagement du paysage).



Figure 1. Le parc de la Deûle, Lille Métropole (crédit M. Audouy). Un cadre de charme pour le jogging et la promenade des Lillois dans un ancien site agricole aux sols humides.

1.1. L'engagement des professionnels du paysage

Militant de causes devenues politiques comme le verdissement des villes, la reconquête de la biodiversité menacée, la mixité de l'espace public, l'alimentation urbaine de proximité, l'agro-écologie, etc., certains professionnels du paysage se chargent de missions nouvelles. Ils dénoncent l'indignité fréquente des conditions de la vie urbaine, voire rurale, et agissent au moyen de leur outil spécifique : le projet de paysage² pour faire reculer les ségrégations et les destructions de toutes sortes : sociales, ethniques ou écologiques. Sans être des élus, ils énoncent parfois des messages publics de résistance. Pour eux, l'art et la pratique du paysagiste ont un rôle social et politique³. Ils cherchent, notamment, à

2 Le projet de paysage complète le projet de territoire des urbanistes auquel il est souvent intégré. Il propose une organisation de l'espace des collectivités, selon des critères économiques, sociaux, environnementaux et sensibles (Donadieu, 2012).

3 En France, cette posture est adoptée, par

faire reconnaître ou à créer les caractères paysagers qui distinguent les territoires ruraux les uns des autres. Ce faisant, ils construisent de véritables projets de société qui témoignent du sens et des valeurs à l'œuvre dans la transformation des territoires. C'est le cas de la gouvernance du projet agri-urbain du Triangle vert des villes maraîchères du Hurepoix, initié en 2003 et réunissant cinq communes périurbaines au sud de Paris (Triangle vert, 2017).

Entre création artistique et ingénierie environnementale, entre représentation et présentation de la nature : spontanée, cultivée ou jardinée, le paysagiste peut ne pas choisir. Il emprunte aux compétences artistiques, scientifiques et technologiques. Il allie deux voies, la voie prosaïque, réaliste et

exemple, par le collectif Coloco associant des paysagistes concepteurs, des urbanistes, des architectes, des botanistes et des jardiniers. « Des stratégies territoriales à la construction de jardins, nous établissons une relation de continuité entre les échelles et les acteurs : le paysage est l'ensemble du vivant sous le regard des humains » (Coloco, 2016).

environnementaliste, de l'installation matérielle d'espaces dits durables (un réseau de haies par exemple ou une continuité hydraulique), et la voie poétique, qui crée ces milieux par et pour l'imagination, l'émerveillement et le bien-être du public. En s'appuyant sur les processus naturels du vivant, notamment végétal, et en organisant les formes spatiales suscitant le rêve, il encourage la possibilité de la qualité esthétique qui crée le sens et le caractère d'un paysage (figure 1).

1.2. Aspiration à l'œuvre et esthétique de l'ordinaire

Entre aspiration à l'œuvre d'art et esthétisation de l'ordinaire, urbain ou rural, la pratique paysagiste vise la production des qualités de l'espace. Elle est inspirée autant par des usages sociaux que par une promesse d'expériences et d'émotions dégagées de toute fonctionnalité. Comme l'écrivain ou le peintre, le paysagiste peut offrir une vision du monde exprimant un idéal esthétique. Cependant, et en général, ses projets se nourrissent surtout de normes techniques et juridiques incluant des régulations environnementales et sociales (la limitation des risques d'inondation, la reconquête de la biodiversité spontanée ou les fonctionnalités de circulations dites douces dans l'espace public, par exemple).

Le plus souvent, le paysagiste s'inscrit volontiers dans les utopies jardinières (les paradis sur terre), urbaines (les villes vertes ou « fertiles ») ou agronomiques (l'alternative agroécologique). Professionnel libéral, il met ses compétences de maître d'œuvre au service d'esthétiques et de fonctionnalités vertes et aquatiques (plantation de haies et de boisements, création de mares ou « méandrisation » des rivières, par exemple). Classiquement il végétalise et fleurit les quartiers d'habitation et les espaces publics. A ce titre, il est devenu un acteur de la biodiversification végétale et animale des territoires, notamment dans les communes des parcs naturels régionaux mettant en œuvre une charte paysagère intercommunale. Travaillant pour la planification territoriale et le verdissement des villes, le professionnel du



Figure 2. Jardins familiaux dans le parc Balzac à Angers (crédit. H. Davodeau). Esthétisés par la couleur bleue des cabanes, les jardins familiaux créent une identité des lieux (un caractère paysager) pour le public et les jardiniers.

paysage œuvre pour la mise en place de formes vertes et aquatiques pour les territoires : trame verte et aquatique, charpente ou ossature paysagère, réseau, corridor et continuité écologiques, ceinture, infrastructure et coulée vertes... Engagé dans des politiques publiques matérialisées dans des atlas et des plans de paysage, il rencontre souvent le monde agricole avec lequel le dialogue se noue à la faveur d'approches multidisciplinaires qui révèlent l'attachement des agriculteurs et des éleveurs à leurs paysages. Souvent, et avec raison, il convoque la mémoire des territoires dans une démarche patrimoniale de géographie historique (Balay *et al.*, 2012).

De plus en plus, certains paysagistes aspirent à de nouvelles pratiques de médiation paysagère. Celles-ci sont fondées sur la participation des usagers des paysages et des lieux concernés à la gouvernance des projets de paysage associés aux projets de territoire (Davodeau *et al.*, 2014 ; Montembault *et al.*, 2015). D'autres militent dans des actions d'accompagnement des transitions énergétiques⁴ ou de création de jardins communautaires dans le cadre des politiques

4 Par exemple, avec le collectif *Paysages de l'après-pétrole*, qui a pour objectif « de redonner durablement à la question du paysage un rôle central dans les politiques d'aménagement du territoire, dans un contexte de transition énergétique et plus largement de transition vers un développement durable » (Collectif Paysages de l'après-pétrole, 2017).

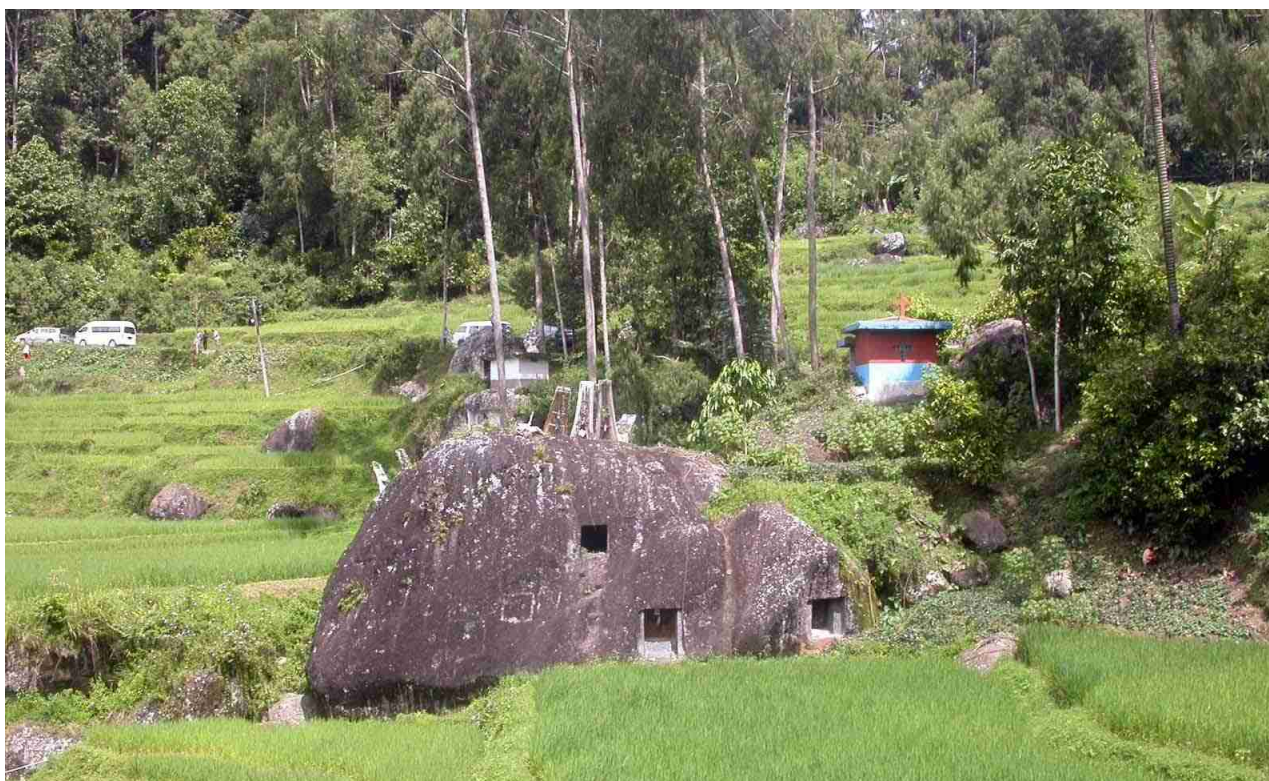


Figure 3. Rizières avec cimetière et chapelle (Indonésie, Sulawesi, 2014). Les formes authentiques de ce paysage agricole ont été construites sans paysagiste. Est-il possible de réinventer cette compétence avec de nouveaux modèles de production agricole, notamment agro-écologiques ?

publiques engagées dans ce sens. Dans ce dernier cas, il renouvelle l'art du paysage et du lieu, en s'intéressant à des lieux ordinaires (figure 2).

Dans la plupart de ces situations, le caractère des lieux voulu par le paysagiste répond à une maîtrise d'ouvrage publique urbaine. Il résulte de données économiques, environnementales et sociétales liées à l'intérêt public urbain. Car si l'identité perceptible du lieu n'existe pas, il lui revient de la créer, souvent en reproduisant des modèles existants (le fleurissement des villages par exemple) ! Dans l'espace rural, cette commande de caractérisation paysagère peut-elle exister ?

1.3. L'alternative du vernaculaire ?

Ici, vernaculaire est entendu au sens de ce qui est propre à une région, à un pays, à ses habitants

(synonyme de autochtone). Une soixantaine de pays, surtout occidentaux, disposent d'une compétence professionnelle paysagiste, plus ou moins organisée. Ce qui signifie qu'il existe dans ces pays des pensées et pratiques professionnelles de paysage encadrées par leur affiliation à la Fédération internationale des architectes paysagistes.

Attachées le plus souvent à l'exercice libéral de la profession d'architecte paysagiste comme maître d'œuvre ou conseiller de la maîtrise d'ouvrage, ces pratiques paysagistes affichent leurs ambitions pour la qualification des milieux ou des cadres de vie, surtout publics et urbains : *Landscape architects create place for people to live, work and play, and places for plants and animals to thrive. They also speak up for and care our landscapes* (Fédération internationale des architectes paysagers, 2016).

Le confort, la sécurité et les affects du public

autant que les enjeux de régulation environnementale ou sociétale, représentent l'essentiel de leurs objectifs d'aménagement matériel, par exemple avec la création des parcs publics ou l'aménagement des sentiers littoraux. Depuis 2005, le *Millenium ecosystem assessment* de l'Organisation des Nations Unies (ONU, 2005) donne un cadre général aux pratiques d'aménagement en indiquant les services écosystémiques que peuvent rendre les écosystèmes (urbains ou agricoles notamment) quand ils sont en bonne santé... Le caractère paysager d'un territoire traduira alors tout ou partie de ces services : approvisionnement, régulation environnementale, services sociaux, esthétiques et culturels.

En revanche, la plupart des cultures et des sociétés, pour un territoire donné, disposent d'une pensée paysagère authentique (Berque, 2008 ; 2016). Celle-ci indique que l'enjeu de la qualité du paysage est moins dans l'objet paysage et ses caractères matériels que dans la relation humaine à ces derniers. Au sens de la Convention européenne du paysage de Florence (Council of Europe, 2000), la qualité d'un paysage désigne la formulation par les autorités publiques compétentes, pour un paysage donné, des aspirations des populations en ce qui concerne les caractéristiques paysagères de leur cadre de vie (Article 1).

Cette pensée s'appuie notamment sur l'existence d'une relation vernaculaire à l'espace et à la nature, d'un savoir jardinier et agricole spécifique, et du mot paysage (dans la langue du pays) pour exprimer cette relation singulière à l'espace et à la nature, notamment par les pratiques littéraires et artistiques s'appuyant sur l'image, le son, l'odeur, le goût et le toucher. Ces pensées et pratiques paysagères héritées, souvent érigées en patrimoine culturel national ou régional, se maintiennent grâce à la vigilance de l'UNESCO et à l'économie du tourisme, mais peuvent disparaître dans l'indifférence générale. C'est le cas des paysages de terrasses d'oliviers près du village de Battir, au sud de Jérusalem, qui ont été classés « en péril ».

Elles s'appuient parfois sur l'adaptation originale des entreprises agricoles à leur milieu, comme

dans le cas des paysages culturels de l'agropastoralisme méditerranéen de la région des Causses et des Cévennes reconnus et classés en 2011 au patrimoine mondial de l'Humanité (Union régionale des Conseils d'architecture, d'urbanisme et d'environnement de Midi-Pyrénées, 2015.).

Quand ils sont vivaces, ces types de pensée et de pratique peuvent susciter ce que nous appellerons les états poétiques des publics dans la seconde partie. C'est le cas du spectacle des transhumances, des cérémonies du thé dans les jardins asiatiques, des édifices funéraires dans les rizières dans l'île de Sulawesi (figure 3), des spectacles de théâtre et des concerts dans les parcs publics ou à la campagne, des promenades contemplatives dans les jardins historiques, des lieux publics de nature (sur le bord des eaux, par exemple), de la découverte des paysages littoraux ou de montagne, ou encore des jardinages communautaires à travers le monde. Avec l'urbanisation des campagnes, l'on a pourtant souvent observé une perte considérable des savoirs vernaculaires ruraux, caractères paysagers souvent ordinaires qu'avait analysés l'anthropologue John Brinckerhoff Jackson (1909-1996) à la fin du siècle dernier aux États-Unis (Jackson, 2003).

Dans ce contexte, la production de l'essentiel des paysages ruraux à travers le monde continue pourtant à dépendre surtout des économies locales et de leurs modèles techniques plus ou moins mondialisés. Mais, selon les politiques publiques des pays, elles sont régulées de manière très variable par des actions dédiées à la qualification du milieu de la vie humaine et non humaine, notamment en valorisant la mémoire des lieux et la biodiversité spontanée et cultivée. En France et en Europe, des outils dédiés, comme les atlas départementaux ou régionaux de paysage, les observatoires photographiques de paysage, les chartes intercommunales de paysage des parcs naturels régionaux et les plans de paysage inclus dans les documents d'urbanisme des



Figure 4. Musée du Louvre à Lens, Catherine Mosbach, architecte paysagiste (crédit S. Keravel). L'esthétique des formes paysagères exprime la mémoire minière du site, l'allusion étant métonymique (la partie pour le tout) : la surface noire (pour le charbon) où s'enracine l'arbre (la vie) évoque l'attachement de la société locale à sa mémoire vernaculaire.

collectivités ont été généralisés depuis une vingtaine d'années.

Retenons que le caractère paysager d'un territoire est une construction autant sociopolitique que culturelle. Il n'apparaît secondaire par rapport aux autres politiques publiques que si les points de vue de toutes les parties prenantes de la gouvernance d'un territoire, notamment des habitants, ne sont pas réunies. Pour les professionnels du paysage, l'enjeu de la production et de la hiérarchisation des services écosystémiques est lié à la qualité du fonctionnement des écosystèmes, notamment agricoles et forestiers : dans le milieu rural, les actions paysagères proposées peuvent apporter, selon les commandes, les fonctionnalités écologiques et sociales recherchées en valorisant le caractère donné au site. Il demande donc un nouveau positionnement de leurs compétences interdisciplinaires. Dans le champ des sciences de l'environnement autant que des *landscape studies*, existent, comme nous allons l'examiner, des travaux de chercheurs qui permettent de se saisir de la question du bien-être humain et du rôle que peuvent jouer

les praticiens du paysage pour y contribuer.

2. Le paysagiste et la transition paysagère

Les aménités paysagères – les caractères d'agrément et de plaisir d'un lieu ou d'un paysage – ne sont évaluables que du double point de vue du sujet et de l'objet par des jugements de goût ou de valeur. Or elles deviennent de plus en plus significatives du point de vue de l'échange marchand (Oueslati, 2011). Dans le cadre de la transition paysagère, et de la construction des paysages et des lieux, qui détermine cette transition, comment peut-on interpréter les finalités des pratiques paysagistes d'un point de vue sociologique et philosophique ? En particulier concernant celles qui mettent en politique les jugements autant que les affects individuels et collectifs.

2.1. Poétique et esthétique

L'état poétique (Morin, 2016) est un état second où nous pouvons nous sentir amoureux, admiratif, en communion, émerveillé, transporté, transfiguré, inspiré. Il comporte souvent



Figure 5. Le parc public de l'Emscher (Ruhr) réalisé à Duisbourg par Peter Latz, architecte paysagiste, 1990. Les formes vernaculaires des anciens hauts fourneaux, mises en paysage et en public (scénographiées in situ et in visu), marquent le paysage avec la mémoire poétique de l'activité sidérurgique (crédit M. Audouy).



Figure 6. Terrasses de rizière (Indonésie, juin 2014). En choisissant l'éclairage d'une scène et son cadrage, le photographe de scènes agricoles devient paysagiste. Il reconnaît un paysage à travers son état poétique personnel comme une source de plaisir esthétique. L'agriculteur en perçoit le sens dans le cosmos animiste propre à sa culture.

l'émotion esthétique, « laquelle peut être légère comme un petit plaisir, et s'amplifier jusqu'à l'exaltation ou la béatitude, et de façon extrême à l'extase ».

Edgar Morin, théoricien de la pensée complexe, développe l'idée simple que l'esthétique, avant d'être le caractère propre de l'art et de la

recherche du beau, est une donnée fondamentale de la sensibilité humaine. Ainsi conçue, l'esthétique peut être considérée comme l'une des finalités des pratiques paysagistes, que ces professionnels soient des concepteurs (des architectes paysagistes ou des designers de paysage), des planificateurs de paysage, des gestionnaires d'espaces verts publics ou des entrepreneurs paysagistes. Les autres finalités des politiques publiques dans ce domaine relèvent de la sécurité, de la santé et de la qualité environnementale (de l'air, des sols, de la biodiversité...). Elles s'intéressent plus globalement au bien-être humain. Dans ce cadre, la démarche esthétique propre aux paysagistes promet de transformer l'attente sociale de qualité du cadre de vie (souvent non dite) en réalités vécues (figure 4).

Si le paysagiste concepteur (l'architecte paysagiste ou le paysagiste urbaniste) était un artiste, ce qu'il ne revendique pas le plus souvent, il lui appartiendrait de créer, dans l'espace public et privé, des œuvres d'art qui procurent ou devraient procurer des émotions esthétiques. Ce qu'il fait parfois aujourd'hui en s'inscrivant dans la tradition des architectes de jardins ou des paysagistes jardiniers, ou en travaillant avec des artistes (Chaussard, 2015).

Toutefois, quand son action est requise dans la construction des paysages contemporains (comme inspecteurs des sites, par exemple), c'est son jugement (de goût ou de valeur) qui est sollicité. Autant les jugements de goût ne sont pas discutables, autant ceux de valeur doivent être justifiés de façon à établir une subjectivité partagée avec le public, à la fois pour ce qui est acceptable et pour ce qui ne l'est pas. Car d'autres regards que le sien sur les paysages sont légitimes. Certains, recherchant des traits pittoresques, sont hérités de l'histoire de la peinture et de la littérature, d'autres, contemporains, peuvent remettre en cause les premiers. Sollicité par de nouvelles motivations dans des contextes inédits, le regard se met à aimer ce qu'il rejetait. Il tend à faire belles ou désirables la nature sauvage autant que les étendues agro-industrielles, les délaissés ferroviaires comme les bidonvilles, et les



Figure 7. Le public d'un concert au parc floral de Vincennes à Paris au mois d'août 2001. Le parc floral de Paris, créé par l'architecte paysagiste Daniel Collin, dans le bois de Vincennes, offre le cadre poétique d'écoute commune du concert par le public.

autoroutes autant que les ruines historiques. L'on peut s'émerveiller désormais du banal ou de l'ordinaire, autant que du singulier et du remarquable. Les modèles d'appréciation du paysage ont changé (figure 5).

2.2. Diversité des états poétiques

Reprenons le raisonnement d'Edgar Morin. Quand la forme esthétique prédomine, l'on a affaire à un état esthétique qui caractérise l'état poétique. Il est suscité par l'émotion, plaisante ou heureuse, qui est ressentie par chacun grâce à la fréquentation d'un lieu, d'un jardin, d'une rue, d'un chemin, d'un champ, le spectacle d'un troupeau ou d'une forêt ; grâce à un spectacle, une musique, un parfum ou une situation énigmatique. Ne pourrait-on pas parler d'émotions spatiales ? Elles impliquent en effet la présence émue du corps sensible dans l'espace apprêté ou non à cet effet. C'est le premier niveau de la perception des paysages par ses producteurs et ses spectateurs. Dans le monde rural, le ressenti dépend, entre autres facteurs, à la fois de la disponibilité et de l'attention du sujet, agriculteur ou non, et des formes agricoles perçues. Ce ressenti varie en effet selon qu'il s'agit de prairies en Normandie ou en Bourgogne, de vignobles du

Bordelais ou du Languedoc, de céréaliculture dans les plaines de Beauce ou du Berry, de vergers du sud-ouest ou de Lorraine, de serres du pays nantais, de bocages bretons ou vendéens, du maraîchage sur les côtes du Léon, de champs de lavande en Provence... Ainsi naît et se transmet le caractère paysager d'un territoire. Il fait la part du beau et du laid, autant que des autres raisons d'apprécier ou de rejeter les formes sensorielles d'un territoire.

L'état d'émerveillement ou d'enchantement, solitaire ou non, implique une émotion esthétique plus forte que dans le cas précédent. L'admiration, portée à son acmé, bouleverse le sujet, le submerge. Les jambes flageolent, la respiration s'accélère, le souffle est coupé. Le sujet est sidéré, ébloui, fasciné. La sensation poétique du sublime paysager est peut être proche de cet état, idéalement promis dans les œuvres paysagères et jardinières contemporaines, et très présent au XIX^e siècle (figure 6) (Briffaud, 2016).

L'état de communion suppose, entre personnes coprésentes, un accord (explicite ou implicite) de partage des sentiments inspirés par un lieu ou une situation mis en commun. Cet accord crée une communauté éphémère (le public d'un spectacle) ou non (une communauté religieuse, ethnique, familiale ou sportive par exemple). L'esthétique du lieu peut être configurée pour cette pratique (une église, un stade, une salle de mariage, un jardin, une rue...). Elle relève d'une construction sociale et culturelle de l'en-commun paysager, c'est-à-dire le résultat de la construction commune des paysages par les publics et les autres parties-prenantes de la production de paysages et de lieux, avec ou sans la médiation paysagiste. (figure 7) (Donadieu, 2012).

L'état de possession requiert pour le sujet collectif ou individuel d'être habité par une présence forte ou un sentiment personnel de croyance. Ces attitudes se retrouvent dans les happenings collectifs, les manifestations publiques y compris agricoles, les rave parties, certaines cérémonies religieuses ou sportives. L'état d'exaltation ou de transe qui peut



Figure 8. Université de Shenyang Jianzhu (The Rice Campus) en Chine. Kongjan Yu architecte paysagiste, Agence Turenscape consortium russo-chinois. Un cas rare, le recours à la riziculture pour aménager un campus universitaire. Les conditions paysagères sont créées pour susciter les états poétiques des étudiants et des enseignants.

caractériser la création artistique au moment de l'inspiration est un véritable état second qui peut conduire à l'extase poétique. Enfin l'état religieux (du mystique au sacré) qui suppose la ferveur, la piété, jusqu'à l'adoration est le propre des croyants. Ainsi, selon Edgar Morin, le bonheur de l'émotion esthétique peut devenir béatitude jusqu'à l'extase (Morin, 2016).

Ces états émotionnels sont recherchés par certains praticiens de l'aménagement de l'espace urbain (architectes, artistes, designers urbains,

paysagistes concepteurs, médiateurs ou jardiniers). Peut-il en être de même dans le monde rural ? Dans la plupart des cas, il s'agirait alors de mises en scène, en formes et en usages des lieux pratiqués par des publics. Ces scénographies existent déjà sous formes d'initiatives conçues pour engendrer des états de communion qui ne sont pas rares (spectacles de rues, expositions, concerts, randonnées de découverte d'un massif montagneux, d'une campagne ou d'un littoral). Ne s'agit-il pas de redécouvrir, sinon de rééduquer le corps sensible dans l'espace (figure 8) ?

2.3. Et le monde agricole ?

Que peut-il attendre d'une recherche d'états poétiques des publics, notamment des habitants et des touristes ? En sachant que les demandes sociétales de paysage de ces derniers relèvent surtout de modèles esthétiques d'appréciation des paysages ruraux en général, nés dans les cultures urbaines européennes et asiatiques et diffusés au cours de l'histoire par les arts, la littérature et le tourisme. Et en se souvenant que ces regards font souvent abstraction du travail agricole contemporain, ou en sélectionnent des figures plutôt traditionnelles.

De nombreux programmes de recherche français et européens ont insisté, depuis vingt ans, sur la nécessité et les difficultés pour les politiques publiques d'infléchir les pratiques qui produisent les paysages agricoles conventionnels (Toublanc, 2004 ;oublanc et Luginbühl, 2007 ; Luginbühl, 2015). Ils ont indiqué les difficultés de se limiter à une compréhension des paysages selon les seuls principes scientifiques de l'écologie du paysage (Baudry et Burel, 1999 ; Décamps et Décamps, 2004). Ils ont souligné la nécessité de mieux coordonner les compétences des écologues et des paysagistes (Morin *et al.*, 2016). Ils ont insisté sur les risques pour la diversité des paysages qu'impliquaient les processus normatifs des actions publiques paysagères (Candau *et al.*, 2007). En outre d'autres auteurs comme l'anthropologue Philippe

Descola et le philosophe François Jullien ont montré que le paysage était, par essence, une expérience culturelle sensible résistant aux différentes formes d'objectivation (Descola, 2005 ; Jullien, 2014).

Les paysagistes, notamment les concepteurs, qui ne sont pas en général formés pour dialoguer avec les agriculteurs, ne peuvent pas facilement les aider ni dans leurs projets à finalités économiques, ni à réduire les conséquences éventuelles de leurs pratiques sur l'environnement, notamment sur l'eau, les sols et la biodiversité spontanée. Entrepreneurs libéraux, les agriculteurs sont déterminés par le marché des biens agricoles et agroalimentaires, et selon leurs spécialités par la Politique agricole commune en Europe. Cela ne nuit en rien à leur sensibilité personnelle, y compris poétique, aux paysages qu'ils produisent, mais ne facilite pas toujours, selon les techniques culturelles choisies et leurs débouchés commerciaux, le débat local sur les qualités attendues par les habitants des territoires.

S'ils doivent infléchir leurs pratiques vers l'agro-écologie et ses services écosystémiques, c'est peut-être et d'abord en construisant avec les habitants le caractère paysager des territoires agricoles, quels qu'ils soient. C'est probablement et également en étant financés explicitement pour cela par les pouvoirs publics responsables des politiques des collectivités territoriales. L'utilisation du sol, dont les agriculteurs ont la propriété et/ou l'usage, est en général beaucoup plus le résultat de leurs pratiques techniques qu'une réponse concertée aux enjeux de l'habitabilité des territoires.

Rien n'exclut cependant qu'ils puissent, avec les paysagistes, produire les services écosystémiques attendus en étant rémunérés pour cela, s'il existe un coût supplémentaire pour eux ; et peut-être en arbitrant les choix difficiles par l'enjeu de la biodiversité spontanée et cultivée. À moins de considérer que ces services relèvent des biens communs, hors marché !

Autrement dit, il est souhaitable que les jugements et les affects des promeneurs et des amateurs de belles campagnes y trouvent place à la mesure de la diversité des situations

paysagères et agroécologiques que les agriculteurs y engendreront, avec ou sans les paysagistes médiateurs, dans ou hors du marché. Brièvement dit, en trouvant des intérêts à fournir tout ou partie des services écosystémiques, les activités agricoles ont la possibilité de devenir agroécologiques.

Mais cette position est-elle suffisante ? Etant donnée la perception de la politique par le public, on peut s'interroger sur la capacité des pouvoirs publics à réguler les marchés agricoles et agroalimentaires, surtout pour réduire les dysfonctionnements environnementaux et apporter les aménités paysagères positives que l'échange commercial et les modèles économiques adoptés ne produisent pas. Dans ces conditions de néolibéralisme, il est possible, sinon souhaitable du point de vue de la gouvernance territoriale, que les sociétés habitant les territoires reprennent en main leur destin local. Qu'elles fassent valoir leurs désirs d'infléchir la production agricole vers des objectifs agro-écologiques dont les caractères paysagers attendus seront issus.

Le souhait de la vie commune sur un territoire ne devrait-il pas se confronter avec les logiques économiques des agriculteurs qui décident de ce qui est offert à la sensibilité paysagère d'autrui sans son consentement en général ? Alors il serait possible de changer (un peu) certaines pratiques du monde agricole et de les infléchir vers la production d'un milieu de vie construit en commun. Et en se souvenant que les regards des publics sur le monde agricole, et les regards des agriculteurs sur leur propre monde, sont en train de changer, si l'on en juge par le succès actuel (pour la France en 2016) des produits agricoles dits biologiques. L'habitant est en puissance autant un consommateur qu'un citoyen du monde !

La résistance à l'uniformisation des paysages agricoles est un moyen de ce changement et certains paysagistes médiateurs en ont bien vu tout l'intérêt pour la reconstruction de nouvelles formes démocratiques d'aménagement du territoire plus participatives et délibératives.

Dans ce cas, il ne s'agit plus seulement de fleurir l'espace public, mais de reconnaître, pour les habitants d'aujourd'hui et de demain, l'intérêt de territoires agricoles et forestiers appropriables par tous. De les mettre en paysage comme identité (inter)communale souhaitable pour une majorité des habitants correctement informés. Une construction paysagère par le bas et non seulement par des propositions d'en haut, légitimes dans un état de droit, mais mal adaptées à leur finalité : le bien-être et le bien vivre ensemble quelque part.

Les agriculteurs peuvent-ils y participer ? Certainement, et même nécessairement, s'ils sont convaincus que les jugements de ceux qui regardent leurs exploitations agricoles sont plus ou aussi importants pour leur image d'agriculteurs que les revenus légitimes auxquels ils aspirent. Et d'autant plus que cette réputation ainsi accrue pourrait contribuer à augmenter leur chiffre d'affaire !

Conclusion

Échec des politiques de paysage dans le monde rural ? Non, car l'idée d'un monde meilleur, devenue réaliste, se concrétise partout où les projets de paysage et de territoire restent à l'œuvre avec des paysagistes, des urbanistes, des écobiologistes, des agriculteurs et des politiques publiques pour porter des pensées du paysage.

Néanmoins l'on peut s'interroger sur la pertinence de cette seule construction politique, car elle est davantage fondée sur des normes juridiques et techniques que sur la réinvention des valeurs culturelles propres aux identités paysagères vernaculaires. Celles-ci sont en principe portées par les sociétés habitantes, régulatrices potentielles avec les pouvoirs publics des acteurs économiques et environnementaux de la production des paysages.

Dans les deux cas, les professionnels du paysage sont investis de nouvelles compétences de co-construction démocratique des caractères paysagers des territoires avec et pour les habitants et les agriculteurs, entre autres acteurs de l'espace rural. Leur

approche globalisante leur donne les possibilités de trouver des solutions spatiales à la prise en compte et à la hiérarchisation locale des services écosystémiques que peuvent apporter les milieux agricoles aux territoires. Leur rôle de médiateur, reconnaissant l'importance de la participation habitante à la gouvernance territoriale des paysages avec le monde agricole, devrait alors pouvoir se développer à la faveur des politiques publiques dédiées en France à cet enjeu de politique locale.

Je tiens à remercier celles et ceux qui ont permis d'améliorer la forme et le fond de cet article : Denis Couvet, Nicole Mathieu, Pierre-Marie Tricaud, Nadine Vivier, Hervé This.

Références

Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, Gril JN, Guichard L. 2007. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux*, Expertise scientifique collective Inra-Cemagref (décembre 2005). 120 p. Expertises Collectives. <hal-01173732>

Berque A. 2008. *La pensée paysagère*, Archibooks + Sautereau, Paris, 111 p (réed 2016).

Balay C, Michelin Y, Morlans S, Orth D. 2012. La contribution des fleurs, *Journal des anthropologues*, 128-129, <http://jda.revues.org/5386>, dernier accès 22 janvier 2017.

Baudry J, Burel F. 1999. *Ecologie du paysage, concepts, méthodes et applications*, Lavoisier Tec et Doc, Paris, 362 p.

Briffaud S. 2016. *Face au spectacle de la nature. In Histoire des émotions ; tome 2, des Lumières à la fin du XIXe siècle* (Corbin A ed), Seuil, Paris, 57-78.

Candau J, Aznar O, Guérin M, Michelin Y, Moquay P. 2007. L'intervention publique

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Tribune libre

- paysagère comme processus normatif, *Cahiers d'économie et de sociologie rurale*, 84-85, 168-190.
- Chaussard A. 2015. *Le paysagiste et l'artiste en France : quelles collaborations ?*, Mémoire de master « Théories et Démarches du projet de paysage », École nationale supérieure de paysage/AgroParistech, Versailles, <http://topia.fr/travaux-d-etudiants/master-2-tdpp/#Chaussard>, dernier accès 12 novembre 2016.
- Coloco. 2016. <http://www.coloco.org/>, dernier accès 12 novembre 2016.
- Collectif Paysages de l'après-pétrole, <http://www.paysages-apres-petrole.org/>, dernier accès 10 mars 2017.
- Council of Europe. 2000. *European Landscape Convention*. <http://www.coe.int/en/web/landscape>, dernier accès 10 mars 2017.
- Davodeau H, Geisler E, Montembault D, Leconte L. 2014. La participation par les architectes et les paysagistes : vers une hybridation des pratiques ?, *Cahiers thématiques n° 13 de l'École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille : Paysage vs architecture : (in)distinction et (in)discipline*, 171-184.
- Décamps H, Décamps O. 2004. *Au printemps des paysages*, Buchet-Chastel, Paris, 240 p.
- Descola P. 2005. *Par-delà nature et culture*, Gallimard, Paris, 640 p.
- Donadieu P. 2012. *Sciences du paysage, entre théories et pratiques*, Lavoisier Tec et Doc, Paris, 230 p.
- Fédération internationale des architectes paysagers. 2016. <http://iflaonline.org/about/mission-and-vision/> dernier accès 12 novembre 2016 .
- FFP. 2017. <http://www.f-f-p.org/fr/>, dernier accès 13 mars 2017.
- Gauché E. 2015. *Le paysage à l'épreuve de la complexité : les raisons de l'action paysagère*. <http://cybergeog.revues.org/27245?lang=en>, dernier accès 10 mars 2017.
- IFLA. 2017. <http://iflaonline.org/fr/idem>, dernier accès 12 mars 2017.
- Jackson JB. 2003. *À la découverte du paysage vernaculaire*, Actes Sud, Arles, 277 p.
- Jullien F. 2014. *Vivre de paysage ou l'impensé de la raison*, Gallimard, Paris, 272 p.
- Labat D. 2013. *Le paysage, outil de l'action publique ?*, Métropolitiques, <http://www.metro-politiques.eu/>, dernier accès 12 novembre 2016.
- Lubello P, Falque A, Temri L (eds). 2017. *Systèmes agroalimentaires en transition*, Quae, Paris, 185 p.
- Luginbühl Y. (ed). 2015. *Biodiversité, paysage, cadre de vie, la démocratie en pratique*, Victoire éditions, Paris, 288 p.
- Montembault D, Toublanc M, Davodeau H, Geisler E, Leconte L, Romain F, Luginbühl A, Guttinger P. 2015. *Participation et renouvellement des pratiques paysagistes*, in *Biodiversité, paysage et cadre de vie. La démocratie en pratique* (Luginbühl Y ed), Victoire Edition, Paris, 171-187/288.
- Morin E. 2016. *Sur l'esthétique*, Robert Laffont, Paris, 125 p.
- Morin S, Bonthoux S, Clergeau P. 2016. *Le paysagiste et l'écologue : comment obtenir une meilleure collaboration opérationnelle ?*, Vertigo, <http://vertigo.revues.org/17356>, dernier accès 27 février 2017.
- Oueslati W (ed.). 2011. *Analyses économiques du paysage*, Quae, Versailles, 246 p.
- ONU. 2005. <http://www.millenniumassessment.org/fr/>, dernier accès 12 mars 2017.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)

Tribune libre

Toublanc M. 2004. *Paysages en herbe. Le paysage et la formation à l'agriculture durable*, Educagri, Dijon, 292 p.

Toublanc M, Luginbühl Y. 2007. *Des talus arborés aux haies bocagères : les dynamiques de pensées du paysage inspiratrices de l'action publique*, in *Paysages : de la connaissance à l'action* (Berlan-Darqué M, Luginbühl Y, Terrasson D eds). Quae, Versailles.

Triangle vert. 2017. [http:// www.trianglevert.org](http://www.trianglevert.org), dernier accès 10 mars 2017.

UNEP. 2017. <http://www.lesentreprisesdupaysage.fr/>, dernier accès 12 mars 2017

Union régionale des Conseils d'architecture, d'urbanisme et d'environnement de Midi-Pyrénées. 2015. *Paysages de Midi-Pyrénées, de la connaissance au projet*. Union régionale des Conseils d'architecture, d'urbanisme et d'environnement de Midi-Pyrénées et Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Midi-Pyrénées.

Edité par

Nicole Mathieu, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rapporteurs

1. Nadine Vivier, professeur émérite des universités de l'Université du Maine (Histoire contemporaine), membre de l'Académie d'agriculture de France.
2. Bertrand Hervieu, membre de l'Académie d'agriculture de France
3. anonyme

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique « Tribune libre » des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

14 novembre 2016

Accepté

9 mars 2017

Publié

13 mars 2017

Citation

Donadieu P. 2017. Construire les paysages ruraux : quels rôles pour les professionnels du paysage ?, *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (AF)*, 2017, 3(4), 1-14. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a204666>.



Pierre Donadieu est agronome et géographe. Il est professeur émérite en sciences du paysage à l'École nationale supérieure de paysage de Versailles-Marseille et membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France, section 7.

European Agricultural Societies, 1750-1850: experimenting and disseminating scientific 'progress'

Nadine Vivier ¹

¹ Professeur émérite des universités de l'Université du Maine (Histoire contemporaine), membre de l'Académie d'agriculture de France.

Correspondance :

Nadine.Vivier@univ-lemans.fr

Cet article est le texte d'une intervention effectuée lors du Colloque de l'Union européenne des académies d'agriculture UEAA (présidence française) « Science in agriculture : historical perspectives and prospective insights - Science en agriculture, perspectives historiques et prospective », Académie d'agriculture de France, Paris, 12 octobre 2016.

Résumé

Quand agriculture et science furent-elles associées ? Cet article pose l'hypothèse d'une implication de la recherche scientifique dans le progrès agricole à partir du dix-huitième siècle, lorsque les nouvelles théories économiques ont donné à l'agriculture un rôle primordial. Les gouvernements ont demandé aux scientifiques de résoudre les problèmes pour accroître la production agricole. La création de sociétés d'agriculture fut encouragée afin qu'elles diffusent les connaissances. Les premiers membres de ces sociétés appartenaient à l'aristocratie foncière ; progressivement furent recrutés des scientifiques, souvent membres d'académies des sciences. Les sociétés

d'agriculture ont d'abord consacré leurs travaux aux réformes des structures agraires comme voie du progrès. Une fois ces réformes acquises avec la Révolution française, leurs travaux se tournèrent vers les instruments agraires et la fertilité du sol. Ce fut l'époque des expériences faites par de grands propriétaires, qui souvent diffusaient aussi leurs résultats. Dans les années 1840, la chimie s'imposa progressivement à l'agronomie, et les sociétés d'agriculture purent prétendre diffuser les acquis de la recherche scientifique en agronomie.

Abstract

When did Science and Agriculture begin to be linked together? This paper posits that scientific research was first involved in agricultural progress in the eighteenth century when a new context increased the value of agriculture which, beyond its source of vital supplies to the population, became also the main source of wealth for a nation. Hence governments asked for scientific methods to solve agricultural problems and encouraged the creation of

Acte de colloque

agricultural societies aiming at the dissemination of achievements. At the beginning members of agricultural societies were mainly noble landowners; progressively scientists who were also members of academies of sciences were enrolled. Agricultural societies first thought about changing agrarian structures as the way to progress. After the French Revolution that achieved reforms, their works were dedicated to improving tools efficiency and soil fertility. It was the time of experiments by landowners who also tried to disseminate their results. In the 1840s, chemistry gradually subjected agronomy to its authority. From that time on, agricultural academies could claim to be a relay in disseminating scientific research.

Keywords

agricultural societies, academy, agronomy, Europe 18th century

Mots clés

sociétés d'agriculture, chimie, agronomie, Europe 18^e siècle

When did science and agriculture begin to be linked together? An initial spontaneous answer is: since the agricultural revolution. But when did this revolution occur? And how should agricultural science be defined and differentiated from experiments? From Columella to Olivier de Serres¹, agronomists were landowners who conducted experiments on their domain and compared their results to those from other farms: they did not use a scientific method in the way we understand it today; nonetheless they thought about the results of their experiments and recorded them in books. Recognized scientists were gradually asked to study soils, crops and their pests. My contention here is that scientific research was first involved in agricultural progress in the eighteenth century when a new context

1 Columella (4 AD-nearly 70 AD) was the most important writer on agriculture of the Roman empire; Olivier de Serres (1539-1619) was considered in France as the father of modern agronomy.

increased the value of agriculture that, beyond its source of vital supplies to the population, became also the main source of wealth for a nation (section 1). This new concern led to the creation of agricultural societies, all over Europe. Studying their members and their actions in the years following their creation and during the revolutionary wars (1792-1815) gives clues about their aims and the role of scientific research (section 2). Then, a look at the years 1830-1850 will show how scientists were increasingly trusted; farmers readily put their results into practice, adapting them to local conditions (section 3).

1. Links between science and agriculture in the 18th century: using science to increase agricultural efficiency

Until the 18th century large landowners in Europe conducted experiments to improve their production and they exchanged sometimes with some acquaintances, but in a sense their own experiments were a kind of secret, since having a beautiful estate was a proof of superiority (Vivier, 2009). A completely new approach arose with new economic theories. As early as the beginning of the eighteenth century, mercantilist doctrines were at the centre of the debates. According to mercantilists² (Colbert and William Petty), the wealth of a state emanated from its holdings of precious metal. Boisguilbert in France, and Cantillon³ in England, challenged this theory and saw wealth derived from both land and work. Then from the 1740's onwards in European countries the conjuncture (bad harvests and wars...) brought about the simultaneous appearance of new ideas and

2 Colbert (Reims, 1619-Paris, 1683), one of the principal ministers of Louis XIV".

William Petty (Romsey, 1623-London, 1687), a British polymath and a pioneer of econometry.

3 Boisguilbert (Rouen, 1646-Rouen, 1714), a French writer and economist, one of the important precursors of modern economic science.

Cantillon (Ireland, 1680-London, 1734) one of the most significant authors who marked the transition from mercantilism to classical economics.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
 Academic Notes from the French Academy of Agriculture
 (N3AF)
 Acte de colloque

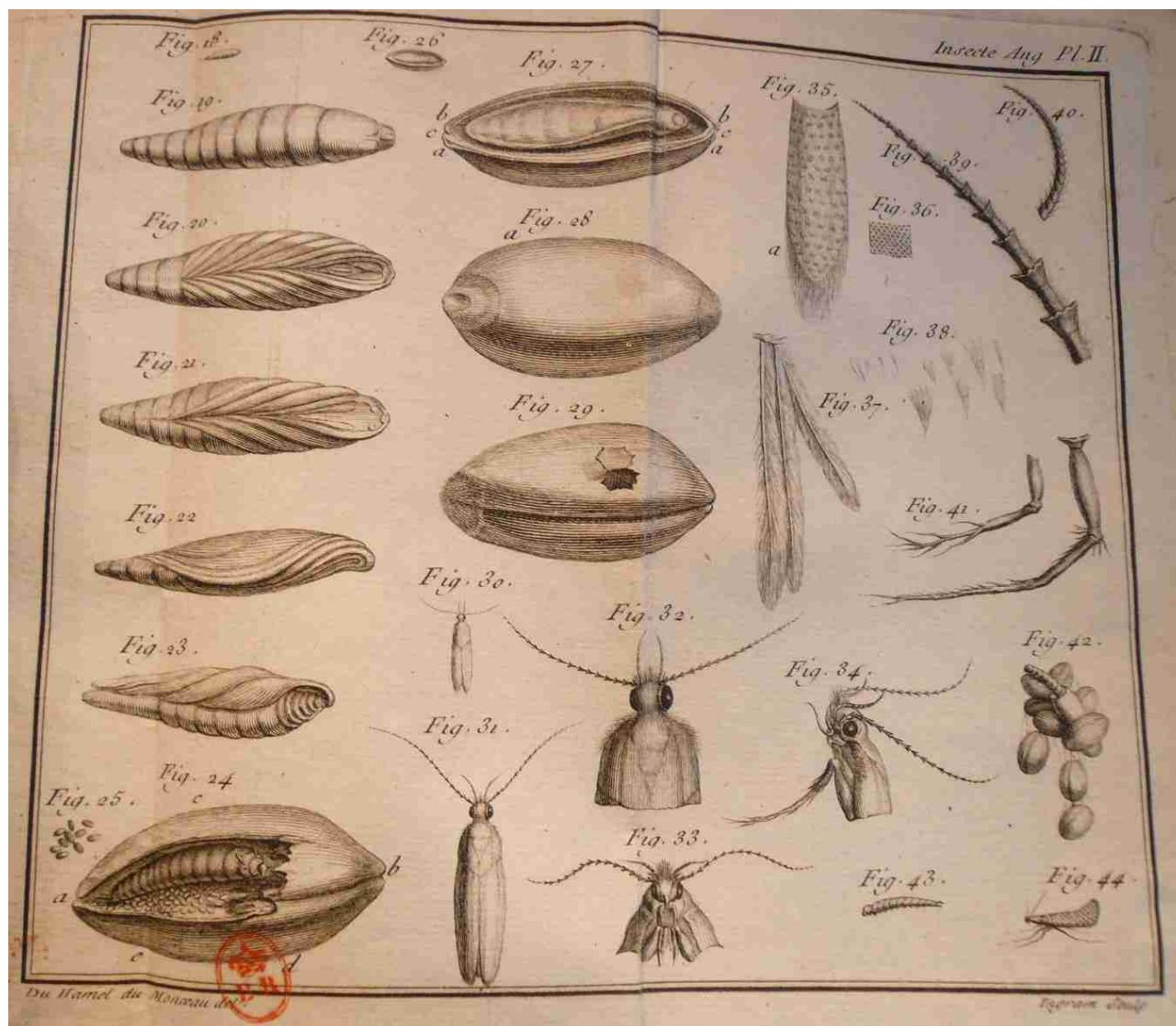


Figure 1. Planche from Duhamel du Monceau and Tillet, 1762. Description of the insect that ate grains in Angoumois. This shows what was a scientific description of the insect and its reproduction.

theories: kameralists in Germany, much concerned with economy and finances, ilustrados, the liberal agrarians in Spain, physiocrats in France who gained a wide audience across Europe and America between 1755 and 1770 (Steiner, 1998; Vardi, 2012). The physiocrats' theory was also philosophical and put forward the idea of a "natural order", which enjoined governments to respect liberty and

property. Whatever the theory, physiocrats thought that the fundamental wealth of society flowed from the consumption elements of production, which could only – or mainly- be provided by agriculture. To the extent that as the wealth of the nation was at stake, a patriotic issue was implied.

These favorable conditions gave rise to the introduction of a scientific approach to

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
 Academic Notes from the French Academy of Agriculture
 (N3AF)
 Acte de colloque

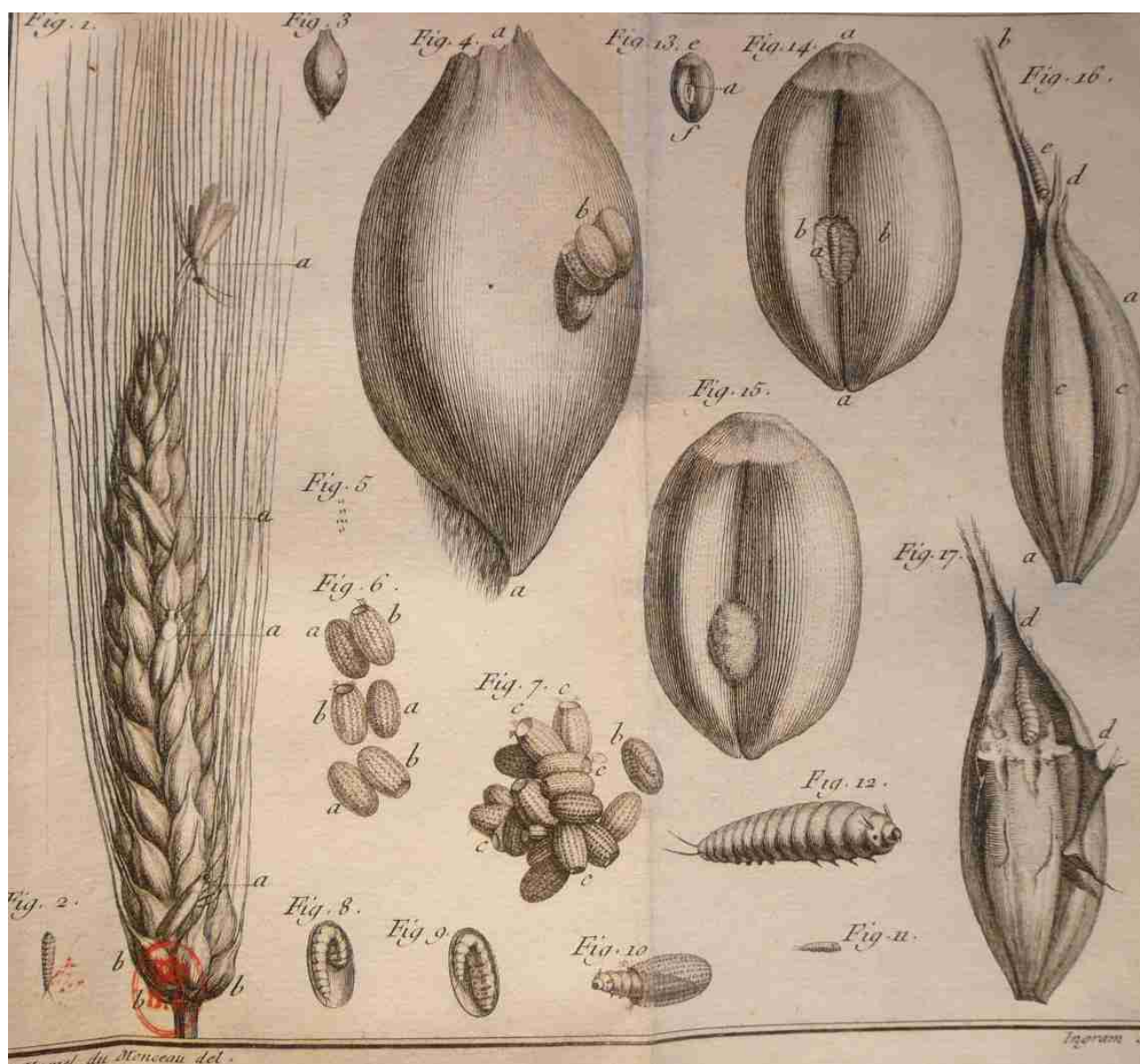


Figure 2. Planche by Duhamel Du Monceau and Tillet (1762) : Microscopic description of the insect, its eggs and larvae, their damage in wheat grains.

agriculture. Governments, aware of the need to increase production, set scientists to work. Let us take the French example. Two kinds of governmental measures led to thinking about the definition of science: the first one was the request to scientists to work on agricultural matters. The second one was the creation of agricultural societies. After the beginning of the eighteenth

century, the abbé Bignon (Paris, 1662-1743), chairman and secretary of the Académie des Sciences from 1699 to 1743, asked scientists to study botanical taxonomy, animal breeds, diseases, pests, and forestry (Bléchet, 2002). Agronomy formally became in 1753 a section of the Académie des sciences. King Louis XV (1715-1774) initiated experiments on clover,

lucerne and wheat bunt on his Versailles estate (Trianon), and in 1760 he sent Henri-Louis Duhamel du Monceau (Paris, 1700-1782) and Mathieu Tillet (Bordeaux, 1714-1791)⁴ to the Angoumois to study the preservation of grains.

Following Antoine Ferchault⁵ de Réaumur's methods (Réaumur, 1734), they identified the insect responsible for wheat bunt and looked for means to eradicate it (washing grain in lime water). Local agronomists were stimulated to further research and the King asked for public demonstrations of steaming spoiled wheat.

The King's concerns also focused on animals. Louis Jean-Marie Daubenton sought to improve sheep breeds, and Louis XVI (1774-1792) asked abbé Henri-Alexandre Tessier, a physician, to create an experimental farm in Rambouillet. Claude Bourgelat and Félix Vicq d'Azyr taught in the newly created veterinary schools of Lyons and Alfort (Bléchet, 2002; *Sciences et curiosités à Versailles*, 2010)⁶.

At the same time Henri Léonard Bertin (Périgueux, 1720-Spa, 1792), one of the five Louis XV's secretaries, was entrusted of many economic issues including agriculture (1763-1780). He created agricultural societies in France. In 1761, the statutes of the Agricultural Society of Paris specified: "Agriculture will be its unique occupation. It will aim at educating its countrymen mainly through example, [...] at studying by

constant practice all that could contribute to a flourishing agriculture [...]. The Society will be driven only by the love of the country" (Statutes in Passy, 1912). The first appointed members were distinguished landowners concerned with an increase of production. They ought to exchange their observations and diffuse them to the public.

These examples highlight two new features: involvement in agricultural research of famous scientists and a will of dissemination to a wide audience. To meet these goals, results of scientists members of the Académie des sciences had to be completed by the work of the newly created provincial or local agricultural societies devoted to agronomy that can be defined as "the living process of a science, not a sound, accurate, demonstrative and abstract science but a meeting place of the various sciences." It strives towards description, explanation and improvement of agricultural techniques (Bourde, 1967). Division and complementarity of missions were clear in the title of the *Annales de l'agriculture française*, Paris agricultural society's 1798 publication: "containing observations and dissertations on agriculture, on plants, animals, epizootic diseases, the destruction of pests, transactions of fertilizers".

4 Duhamel du Monceau (Paris, 1700 - 1782), a French physician, naval engineer and botanist; he was member of the Agricultural Society of Paris as soon as April 1761; Mathieu Tillet (Bordeaux, 1714-1791), a French botanist, agronomist and metallurgist; he was associated to the same society in 1761.

5 Réaumur (La Rochelle, 1683 - 1757) was an active member of the Académie des sciences. His works included the study of insects and he introduced the Réaumur temperature scale.

6 Louis Jean-Marie Daubenton (Montbard, 1716-Paris, 1799), a naturalist and contributor to the *Encyclopédie*.

Abbé Henri-Alexandre Tessier (Angerville, 1761-Paris, 1837), doctor and agronomist.

Claude Bourgelat (Lyon, 1712-Paris, 1779) a veterinary surgeon.

Félix Vicq d'Azyr (Valognes, 1748-Paris, 1794), a physician, anatomist and naturalist.

2. Agricultural societies, 1760-1790: experimentation and dissemination

2.1 Proliferation of economic societies

A recent collective research (Stapelbroek and Marjanen, 2012) tries to identify all over Europe those societies that aimed promoting economic development to increase the wealth of the nation. Hence, they often deserved the name of 'patriotic societies', all the more that economic rivalry between European countries amplified. Nonetheless there was a true will of international cooperation. The American politician and agronomist Thomas Jefferson (Shadwell, 1743-Monticello, 1826) highlighted this idea: "These societies are always in peace; however their

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

nations may be at war. Like the republic of letters, they form a great fraternity spreading over the whole earth" (Jones, 2016).

The rise of these economic societies, mainly devoted to agriculture, began with the Honorable Society of Improvers in the Knowledge of Agriculture in Scotland (1723), the Dublin Society of Improvement of Husbandry, Agriculture and other useful Arts (1731), the Royal Academy of Sciences and Arts of Prussia (1744), the Société d'agriculture et du commerce de Rennes (1757), the Bern Economic Society and the Accademia dei Georgofili in Tuscany (1753), which were the main models. In this period almost every province had its own society and they devoted considerable energy to the great agricultural concerns of the time.

Up to 562 societies were busy in the promotion of economic improvement in Europe and overseas. This number included:

- Great-Britain and Ireland: 82 agricultural societies
- France: 20 regional + 29 local branches
- Spain: 70 +14 in Spanish colonies
- German speaking countries : at least 71
- United Provinces: 57 (created in 1777)
- Denmark + Norway: 57
- Sweden 7
- Russia: 1

(Stapelbroek and Marjanen, 2012; Frångsmyr, 1989; Ballesteros, 2004).

All over Europe these societies followed similar patterns of activity. They held regular discussion sessions, and offered annual prizes for essays on a special question of social importance or on agricultural techniques. Information was exchanged between societies at an intense rate. Each had its own correspondents in other provinces and abroad and used them as consultants.

For example, Duhamel du Monceau was a member of agricultural societies of Paris, Leyden, London, Saint Petersburg, Stockholm, Edinburgh, Palermo and Padua. So was it for Arthur Young (Suffolk, 1741-1820), John Sainclair (Scotland, 1754-1835), Giovanni Fabbroni (Tuscany, 1783-1872) and Attilio Zuccagni (Florence,

1754-1807), etc.⁷ Their writings (letters and books) indicate how active were knowledge networks all over Europe, leading to the dissemination of publications, and debates about scientific findings and agricultural practices. The European knowledge network was supplemented by secondary national networks.

The fascination for agricultural science in this period reached also small provincial societies (not included in the count above): members of such societies kept abreast of the most recent research by reading and discussing the agricultural journal publications they received. Some of these societies followed the model of an academy of science: the Royal Society of Sciences and Literature in Nancy elected a botanist, three economists, in order to create an agricultural section in 1766. And when a separate agricultural society was founded in Nancy in 1820, it was chaired by Christophe Mathieu de Dombasle (Nancy, 1777-1843) who created Roville and had outstanding correspondents: the Scottish John Sinclair, the German Albrecht Daniel Thaër (Möglin, 1752-1828) and the Swiss Philipp Emanuel von Fellenberg (Bern, 1771-1844)⁸. Some other societies were "rustic societies", like the Thesmophores in Anjou who claimed in 1776 to be "simple and true men of the countryside" (Follain, 2010; Knittel, 2010). They read books and experimented. Midway between these two cases, the Academy of Arras had an important French correspondence network, under the direction from 1785 to 1792 of its secretary,

⁷ Arthur Young, an English writer on agriculture, economics, social statistics, famous as soon as 1790 for his agricultural travels in Europe.

John Sainclair, a Scottish politician, writer on finance and agriculture and the first person to use the word statistics in the English language.

Giovanni Fabbroni, a Tuscan physicist, chemist, agronomist and parliamentarian.

Attilio Zuccagni, a Florentine botanist, secretary of the Accademia de Giorgofili.

⁸ Three agronomists who created an experimental agricultural school: Mathieu de Dombasle, in Roville near Nancy; Thaer in Möglin (Brandenbourg) and the Swiss Philipp Emanuel von Fellenberg in Hofwyl near Bern.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

Philippe-Ferdinand Dubois de Fosseux (1749 - 1789) (Berthe, 1969).

As this model spread across Europe, the publication of economic books and pamphlets expanded. The quantity of printed reading matter related to agriculture dramatically increased in the second half of the eighteenth century. Journals were the forum to which farming experiments were sent (e.g. *Observations*, 1771 published by Abbé Rozier, an agronomist). The highly active European network meant a buoyant translation industry. English and Scottish works were rapidly translated at least in German and French. The interest in things English was a growing fashion.

Let us mention two kinds of those books. English agricultural writings could be adapted. One of the most influential translations was Jethro Tull's work (Berkshire, 1674-1741). During his tour in Europe, Tull compared the agriculture of France and Italy with that of his own country, and returning home he experimented on his estate some improvements. He described his achievements in 1733 in *Horse-hoeing husbandry*. He recommended a new more productive system based on the introduction of clover and sainfoin. The author criticized the use of dung and believed that dispensing with fallows and fertilizing the soil by continuous ploughing would produce more wheat. When Duhamel du Monceau was asked to translate the book, he decided to experiment with these principles himself and the result was his *Traité de la culture des terres* (1750) that further popularized Tull's ideas. Even though they became the subject of a long controversy and were subsequently shown to be completely wrong, they were received by a growing audience. (Bourde, 1967)

The "Grand Tour" across the Channel was in great vogue after 1750. Many travelers' accounts - this is a second kind of famous publications - praised the "Norfolk system" because it improved wheat yields. Its success was based on a system of large landed estates let out to farmers on leases; it introduced new methods such as marling to improve the soil and new crops such as turnips, and above all it brought about enclosure and the reduction of communal rights and practices.

These criteria seemed to be the prerequisite all the more in that Arthur Young judged every system in the light of the Norfolk. His works gained rapid popularity: *A six months tour through the North of England* published in 1770 was translated in German and in French in 1772-1775; then the *Tour of Ireland* was translated in 1780, the same year of publication (Müller, 1975). *Travels during the years 1787, 1788 and 1789, undertaken more particularly with a view of ascertaining the cultivation, wealth, resources and national prosperity of the kingdom of France*, published in 1792, were translated in French in 1793 and in Italian in 1794. Young was the forerunner of agronomic travels, which became the vogue during the Napoleonic Empire (Brassart, 2016).

2.2. First members and associated members elected: growing importance of scientists

Who was involved in this quest for agricultural progress? At the highest level those most renowned for their scientific work on agriculture became members of agricultural societies, and often they were also members of an academy of sciences. They were joined by senior clerics, administrative officers and large landowners who aimed at experimenting with new practices and testing their adaptation to local conditions of soil and climate (Stapelbroek and Marjanen, 2012). Did these societies admit practicing farmers and craftsmen in their ranks? At the very local level, "rustic societies" were composed of well-to-do farmers and smallholders. Some of the great societies did not admit farmers like the Bern Economic Society; some others tried to do so as the Leipzig Agricultural Society. In the Agricultural Society of Paris the first members in 1761 were chosen as representatives of the clergy and the nobility; as soon as the following year were also chosen Pépin, farmer in Montreuil near Paris, and the Duke of Noailles who managed a beautiful estate in Saint Germain and his gardener Claude Richard (Saint Germain-en-Laye, 1705-Versailles, 1784) became the chief gardener of Versailles (Stenzel, 2002). Then in 1783 entered scientists,

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

also members of the French Academy of Sciences (Daubenton, Thouin, Perronet, Lavoisier, La Rochefoucault, Angivillier, Fougereux and Abbé Tessier). They were joined in 1784-1785 by five other scientists, a few physicians and postmasters (usually large farmers who had to breed and provide post horses). In 1786, Broussonet, secretary of the Agricultural Society of Paris urged that “chemists be enlisted to better understand plant nutrition,[...] naturalists to enhance stock-raising and botanists”. Whether such an evolution can be seen in every society has to be determined. It was probably the case and it would justify their desire of assuming the word Science in their name (Passy, 1912).

3. 1800-1850: scientific research stand out in agronomy

3.1 Until the 1830s, experiments carried out by large landowners

In the 1780s, agricultural thinkers wanted to maximize the area of land under cereals cultivation and they were infatuated with the Norfolk system. This included a reform of agrarian structures: sharing out commons and suppression of collective rights was a process that induced in depth changes and that had heavy social consequences. Politicians were well aware of it: in Spain Gaspar Melchor de Jovellanos (1744-1811) and Pedro Rodriguez de Campomanes (1723-1802)⁹ understood it and wondered whether it was possible to reform agrarian structures without changing the structure of social domination (Luna, 2012). After the revolutionary period, either land reform was undertaken (Denmark, Sweden, France...) or governments strove to avoid it (Prussia, Austria, Russia) (Jessenne and Vivier, 2016). It seemed better to improve cultivation than to plough up waste land for cereals. Greater attention was paid to other

⁹ Jovellanos and Campomanes were both Spanish statesmen and economists, major figures of the *Ilustrados*. Jovellanos wrote in 1784 and it was published in 1795: *Informe sobre la ley agraria* (A report on the dossier of the Agrarian Law).

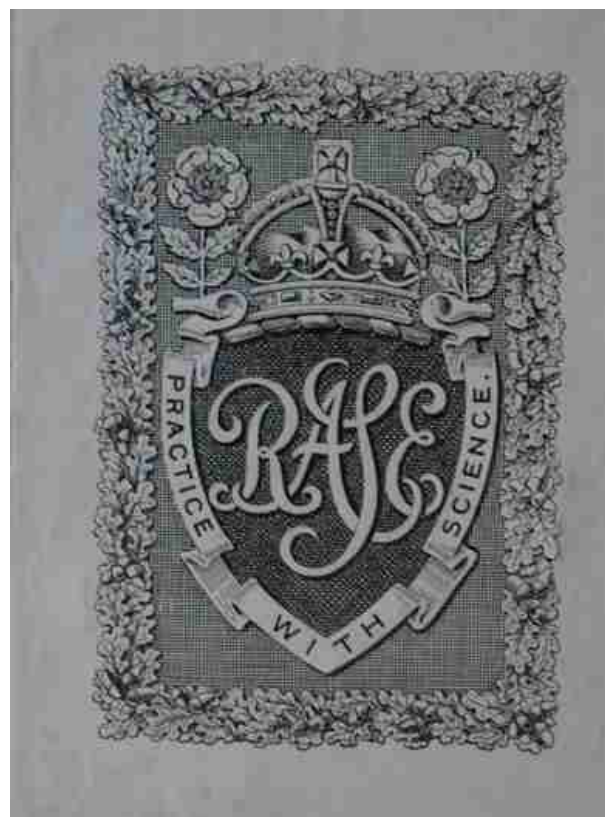


Figure 3. The motto of the Royal Agricultural Society of England.

crops, fodder crops, potatoes... So agricultural societies moved away from an interest in changing agrarian structures and concentrated on improving tools, manures and soil fertility. The questions set for their competitions no longer addressed great theoretical issues but practical problems. After 1800, the new generation of agricultural scientists had to support their theories with successful examples that could be replicated elsewhere. Pioneers of this method included John Sinclair, Albrecht Thaer, Emanuel von Fellenberg and Christophe Mathieu de Dombasle (Knittel, 2009). So did Cosimo Ridolfi (Tuscany, 1794-1865) who achieved agronomic experiments on his estate in Meleto and disseminated through the *Accademia de Georgofili* and the first agronomic institute in Italy (Pazzagli, 2008). They managed an estate, carrying out experiments on manures, on

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

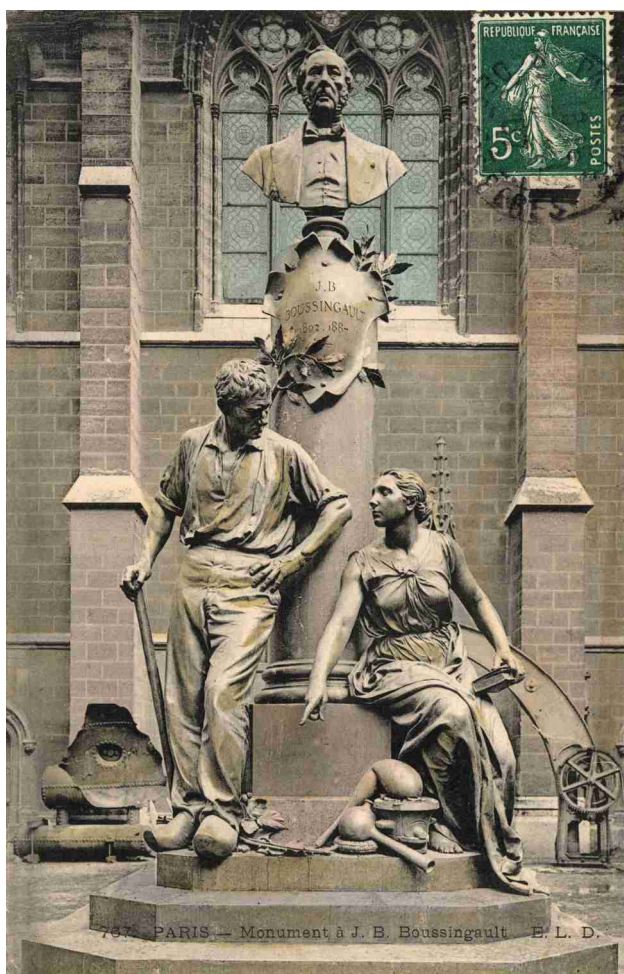


Figure 4. Monument to Jean-Baptiste Boussingault by Jules Dalou (1895), in the courtyard of the Conservatoire National des Arts et Métiers in Paris (CNAM: National Conservatory of Arts and Crafts). The monument is now in the garden of CNAM in la Plaine Saint Denis. Chemistry, teaching the farmer, is embodied in its two ways of dissemination: research and publication (book), experimentation (retorts) .

ploughing, crop rotations and methods of storing grain. Of course, scientific research was taken into account. The agronomist Adrien de Gasparin (Orange, 1783-1862) compared the farm with “a factory, a manufacture of organic products, supplied with capital and aiming at transforming the capital in order to increase it”. For this, different means were to be used: science like

chemistry, agricultural practice and observation in order to adapt cultivation to climate and soils (Gasparin, 1843). They also welcomed pupils for a vocational agricultural education. All these agronomists exchanged views on the results obtained on their model farms. They quickly rallied to their methods some large landowners and farmers called “practical farmers”. They aimed at disseminating their knowledge in a wide variety of books: farmers’ magazines, almanacs, calendars. Agricultural societies encouraged writing manuals for primary schools and for small farmers. Generally speaking, the ambition of such books was to popularise knowledge considered necessary to agricultural progress. They offered knowledge, techniques, and rhetorical strategies that helped train small- and medium-sized landowners (Depecker and Joly, 2015a, b).

3.2. 1830-1850: the rise of chemistry?

What changed between 1830 and 1850? Three figures and three moments highlight the increasing role played by chemistry in agronomy. In 1836 appeared an early alliance of farm and research laboratory. On his estate of Pechelbronn in Alsace, the chemist Jean-Baptiste Boussingault (Paris, 1801-1887) set up a laboratory to analyse soil, fertilizers and plants. He published in 1843 his results in a bulky report: *L'Économie rurale considérée dans ces rapports avec la chimie, la physique et la météorologie*. This influential book comforted the influence of French agronomy in Europe in the 1840s and 1850s. John Bennet Lawes (Harpden, 1814-1900) adopted the same method on his estate of Rothamsted in Hertfordshire; he created an experimental farm employing analytical chemistry (Jas, 2001). Lawes discovered and patented a manure formed by treating phosphates with sulfuric acid and thus initiated the artificial manure industry; he enlisted the services of a chemist, Joseph Henri Gilbert (1817-1901). Boussingault was the pioneer and great discoverer of many advances in soil and plant chemistry. He discovered that plant growth is proportional to the amount of

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

available assimilatory nitrogen, which in practical terms allows greater plant growth from the simultaneous application of phosphorus and nitrogen (Boussingault, 1843). Boussingault is a symbol of this period 1840-1850 when chemistry submitted agronomy to its authority.

Second key character, Justus von Liebig (Darmstadt, 1803-München, 1873) published in 1840 *Organic Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*, a book widely translated, highly influential but much criticized. While Liebig was not the discoverer of plant mineral nutrition (due to the German botanist Carl Sprengel, 1787-1859), he drew attention of the agronomists on the "Law of the Minimum", stating that plant growth is not determined by the total resources available, but by the scarcest available resource. A plant's development is limited by the one essential mineral that is in the relatively shortest supply (Brock, 1997). Lawes and Gilbert took part in the debate with Liebig who asserted that nitrogen was of little value in fertilizers, only minerals mattered. Based on Boussingault's painstaking experiments, Lawes proved that the proportion of nitrogen in fertilizer determined its value (Jas, 2001).

Last significant moment was Boussingault's appointment to the chair of agriculture of the Conservatoire des Arts et Métiers in Paris. The chair was previously held by Leclerc-Thouin (1798-1845)¹⁰ who wanted to improve agricultural practice by various means and not only experimental sciences. This appointment showed that the time of "practical farmers", of "empiricism" was over. But there was no rupture because those chemists never neglected the practical farmers' achievements. *A contrario*, Liebig in Germany had no regard for farmers' knowledge, he only trusted work in the laboratory and this can explain the opposition of the German population to chemists' power and the necessity of the experimental stations that were created after 1850.

The use of the term "science" by the agricultural societies reflected this evolution. It was clear at first that they were devoted to agronomy, i.e. practical knowledge. But the *Annales de*

l'agriculture française changed its title in 1830 to *Annales administratives et scientifiques*. They returned to the previous title in the following year, without any justification. Nonetheless, a paper included in the 1831 issue asserted: "Science is not yet arrived to always claim that practice must be humble before it"¹¹. It was too early to show pretensions to scientific activity. In 1840 the Royal Agricultural Society of London adopted a motto: "Practice with Science" (Brassley, 2008).

From this time onwards, sciences and agriculture could be officially associated and no more be separated, probably thanks to the place seized by chemistry. Science percolated to farmers via local farm-schools, a few high agricultural schools and experimental stations, books, comices (Marache, 2005). Farm-schools and scientific books did not reach a broad audience, only a small proportion of farmers. Comices, local associations in link with the agricultural societies, could more widely disseminate new findings. They often tried new fertilizers, the same way they had encouraged the crossbreeding of cows and sheep. The results were offered publicity during the annual contest, when the best farmers, successful with new methods, were rewarded (Vivier, 2011). The multiplication of institutions aiming at disseminating agricultural 'progress' led to a reform of some of the missions assigned to agricultural societies and turned them to a new role from the 1850s onwards.

Références

Annales de l'agriculture française. An IX-1812. Contenant des observations et des mémoires sur l'agriculture en général... Par une société d'agriculteurs ; rédigées par le c. Tessier, de la Société d'agriculture du département de la Seine, etc. 1831.

¹¹ « La science n'est pas encore venue à pouvoir toujours prétendre que la pratique doit s'humilier devant elle »

¹⁰ He also was secretary of the Royal Agricultural Society in Paris, 1843-1845.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

- Annales administratives et scientifiques*. 1831. Huzard, Serie 3 8(49) 21.
- Ballesteros AL. 2004. *Entre en vapor y el arado romano : elites, instituciones y difusión del cambio, técnico en la agricultura, Córdoba, 1780-1870*. Cordoba, Grupo Historia social agraria, 171 p.
- Berthe L. 1969. *Dubois de Fosseux, secrétaire de l'Académie d'Arras, 1785-1792, et son bureau de correspondance*. Chez l'auteur, Arras, 460 p.
- Bléchet F. 2002. *L'abbé Bignon, président de l'Académie royale des Sciences : un demi-siècle de direction scientifique*. In Demeulenaere-Douyère C, Brian É (eds), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme, à l'occasion du troisième centenaire du règlement instituant l'Académie royale de sciences (26 janvier 1699)*. Éd. Tec & doc, Paris, 548 p.
- Bourde A-J. 1967. *Agronomie et agronomes en France au XVIIIe siècle*. S.E.V.P.E.N, Paris, 3 vol, 1743 p.
- Boussingault J-B. 1843. *Économie rurale considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie*, Béchet jeune, Paris, 1843-1844, 2 vol; 2e éd, 1851, 2 vol; traduit en allemand et en anglais.
- Brassart L. 2016. Les enfants d'Arthur Young. Voyageurs et voyages agronomiques dans la France impériale. *Annales historiques de la Révolution française*, 3, 109-131.
- Brassley P. 2008. *Agricultural Education, training and advice in the UK, 1850-2000*. In Vivier N (ed) *The State and Rural societies. Policy and Education in Europe, 1750-2000*. Turnhout, Brepols, 259-278.
- Brock WH. 1997. *Justus von Liebig, The Chemical Gatekeeper*. Cambridge University Press, Cambridge (second edition 2002), 394 p.
- Depecker T., Joly N. 2015a. Agronomists and accounting. The beginnings of capitalist rationalisation on the farm (1800-1850). *Historia Agraria*, 65, 75-94.
- Depecker T Joly N. 2015b. La terre et ses manufacturiers. L'introduction d'une raison gestionnaire dans les domaines agricoles (1800-1850). *Entreprises et Histoire*, 65, 12-23.
- Duhamel du Monceau H. 1750. *Traité de la culture des terres, suivant les principes de M. Tull, anglois*. H.-L. Guérin et L.-F. Delatour, Paris. Nouvelle édition corrigée et augmentée, 6 vol. publiés de 1753 à 1761.
- Duhamel du Monceau H, Tillet M. 1762. *Histoire d'un insecte qui dévore les grains de l'Angoumois; avec les moyens que l'on peut employer pour le détruire*. H.-L. Guérin et L.-F. Delatour, Paris, 314 p.
- Follain A (ed). 2010. *Une société agronomique au XVIIIe siècle. Les Thesmophores de Blaison en Anjou*. Editions Universitaires de Dijon, Dijon, 280 p.
- Frängsmyr T (éd). 1989. *Science in Sweden: the Royal Swedish Academy of sciences: 1739-1989*. Science History Publications (Watson), Canton, MA. viii, 291 pages.
- Gasparin A. 1843. *Cours d'agriculture*,. Bureau de la Maison rustique, Paris, 1843-1851 en 5 volumes ; puis Dusacq, Paris (1850-1863), 6 vol.
- Grefte F, Griset P. 2015. *350 ans de l'Académie des Sciences : une Compagnie en son siècle*. Le Cherche midi, Paris, 255p.
- Jas N. 2001. *Au carrefour de la chimie et de l'agriculture : les sciences agronomiques en France et en Allemagne, 1850-1914*. Éditions des Archives contemporaines, Paris, 433 p.
- Jessenne J-P, Vivier N. 2016. Libérer la terre !

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

- Une Europe des réformes agraires (vers 1750-1850)? In Les réformes agraires dans le monde. *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 2016/4-4bis (64-4/4 bis), 27-65.
- Jones PM. 2016. *Agricultural enlightenment, knowledge, technology, and nature, 1750-1840*. Oxford University Press, Oxford, 72.
- Knittel F. 2009. *Agronomie et innovation. Le cas Mathieu de Dombasle (1777-1843)*. Presses Universitaires de Nancy, Nancy, coll. « Histoire des Institutions Scientifiques », 517 p.
- Knittel F. 2010. *Agronomie et sociétés savantes*. In Follain A (éd) *Une société agronomique au XVIIIe siècle. Les Thesmophores de Blaison en Anjou*. Éditions Universitaires de Dijon, Dijon, 251-266.
- Liebig J. 1840. *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, XII-353 p.
- Luna PF. 2012. La propiedad y el trabajo en la reflexion de Jovellanos. *Revista Asturiana de Economia*, 45, 75-95.
- Marache C. 2005. Encourager plus que l'agriculture. Le rôle du comice central agricole de la Double dans le développement rural local. *Ruralia*, 16-17, 75-99.
- Müller HH. 1975. *Akademie und Wirtschaft in 18. Jahrhundert*. Akademie-Verlag Berlin, Berlin, Studien zur Geschichte der Wissenschaften der DDR, 3, 298.
- Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts. 1771 to 1793. Journal published by abbé Rozier*, Le Jai, Paris.
- Passy L. 1912. *Histoire de la société nationale d'agriculture de France, 1761-93*. Reynouard, Paris, 475 p.
- Pazzagli R. 2008. *From private initiative to state intervention: the origine of public agricultural education in Italy*. In Vivier N (ed) *The State and Rural societies. Policy and education in Europe, 1750-2000*. Turnhout, Brepols, 231-246.
- Réaumur R-A. 1734-1742. *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes*. Imprimerie royale, Paris, 6 vol.
- Saule B, Arminjon C. 2010. *Sciences et curiosités à la cour de Versailles*. RMN, Paris. « Versailles et l'essor de l'agronomie », 155-156.
- Stapelbroek K, Marjanen J. 2012. *The rise of economic societies in the eighteenth century: patriotic reform in Europe and North America. Basingstoke (GB)*. Palgrave Macmillan, New York, 388 p.
- Steiner P. 1998. *La science nouvelle de l'économie*, Presses universitaires de France, Paris, 127 p.
- Stenzel J. 2003. *Les jardins de Saint Germain-en-Laye*. Université Paris 1, mémoire de maîtrise, 2 vol, 177 et 112 p.
- Tull J. 1733. *Horse-hoeing husbandry, or an Essay on the principles of vegetation and tillage designed to introduce a new method of culture*. G. Strahan (the author), London, X-269 p.
- Vardi L. 2012. *The physiocrats and the world of the Enlightenment*. Cambridge University Press, Cambridge, 315 p.
- Vivier N. 2009. *European agricultural networks, 1750-1850: a view from France*. In Broad J (ed) *A common agricultural heritage? Revising French and British divergence*. Agricultural History Review Supplement, 5, 23-34.
- Vivier N. 2011. *Les comices agricoles et la Société d'Agriculture de la Sarthe*. Bulletin de

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)

Acte de colloque

la Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe (Les 250 ans de la Société d'Agriculture de la Sarthe), 873, 135-148.

Reçu

12 décembre 2016

Accepté

16 mars 2017

Publié

6 avril 2017

Edité par

Hervé This, AgroParisTech-Inra International Centre for Molecular Gastronomy, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Citation

Vivier N. 2017. European Agricultural Societies, 1750-1850: experimenting and disseminating scientific 'progress'. *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF)*, 2017, 5, 1-13. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a144685>.

Rapporteurs

Peter Jones, Emeritus Professor of French History University of Birmingham.

Corinne Marache est Maître de conférences en histoire contemporaine, UFR Humanités, Université Bordeaux Montaigne.

Malcolm Hadley, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Paul Vialle, membre de l'Académie d'agriculture de France.



Nadine Vivier est professeur émérite des universités de l'Université du Maine (Histoire contemporaine), membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique «Actes de colloques» des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

The impact of agricultural science 1850-2016: from a gentleman's amusement to the saviour or the world?

Paul Brassley¹

¹ *Honorary University Fellow, University of Exeter, UK*

Correspondance :

paulbrassley@aol.com

Cet article est le texte d'une intervention effectuée lors du Colloque de l'Union européenne des académies d'agriculture UEAA (présidence française) « Science in agriculture : historical perspectives and prospective insights - Science en agriculture, perspectives historiques et prospective », Académie d'agriculture de France, Paris, 12 octobre 2016.

Résumé

Vers 1850, les sciences agronomiques se sont transformées : d'un passe-temps d'amateur, elles sont devenues un travail de professionnels. Et cela a soulevé de nouvelles questions : la science agronomique était-elle simplement l'application des sciences pures aux questions agricoles, ou bien était-elle plus, et, en ce cas, de quels problèmes les agronomes devaient-ils traiter ? Cet article soutient l'hypothèse d'un développement au 19^e siècle dû aux institutions agronomiques ; leurs modèles et leurs structures n'ont changé que récemment, en raison de la croissance des travaux de recherche et développement dans les pays à

revenus intermédiaires. L'article traite ensuite brièvement des résultats et des lacunes de la discipline, et discute les facteurs qui peuvent expliquer la plus ou moins grande influence de ses découvertes. En conclusion, il plaide pour des recherches sur l'histoire internationale de l'agronomie.

Abstract

By 1850 agricultural science was already changing from an amateur pursuit to a professional occupation. As it did so, new questions arose: was agricultural science simply the application of the pure sciences to agricultural problems, or was it something more, and therefore with which problems should agricultural scientists concern themselves? This paper argues that the major nineteenth-century development was in the institutions of agricultural science, and that the patterns and structures developed then have only recently changed as a result of the increase in research and development in middle income countries. There follows a brief review of the achievements

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

and shortcomings of the discipline, and a discussion of the factors that make its discoveries more or less influential. Finally the conclusion briefly argues for more work to synthesise a global history of agricultural science.

Keywords

agricultural science; R&D; science history; institutional change

Mots clés

science agricole, recherche et développement, histoire des sciences, changements institutionnels.

The title of this paper is designed to be debatable and disputable. Was agricultural science merely an amusement for gentlemen in the middle of the nineteenth century, with the implication that its results were unimportant and that it had little impact? Is the world currently facing problems that only agricultural science can solve, so that its impact is potentially enormous? And if the answer to either question is 'yes', or even 'yes, to some extent, up to a point', what happened to change agricultural science from one state to the other? The discussion in this paper is, as a result of the author's knowledge and experience, largely based on the British experience and the literature in English. Nevertheless, it is important to remember that comparable developments in agricultural science were happening in other countries, sometimes earlier, sometimes later (Fernández Prieto, 1992; Bieleman, 2010; Jones, 2016a).

Gentlemen with an interest in agriculture and some degree of scientific approach to its problems existed by 1850 (Vivier, 2016). This is not the place to attempt a complete listing of them, for to do so would be to survey the progress of agricultural science up to that date. Furthermore, to decide whether they were truly gentlemen is to stray into a minefield of social and historical semantics (Bédarida, 1991; Price, 1993). While de Saussure (1767-1845) was born into a family with money, Mathieu de Dombasle

(1777-1843) was an estate manager, and Boussingault (1801-1887) received a professional training as an engineer, although by the end of their lives they would probably all have been accepted as gentlemen (Jones, 2016b; Jones, 2016c). Humphry Davy, born the son of a woodcarver in 1778, was employed by the Royal Institution when he published his *Elements of Agricultural Chemistry* in 1813, but he was a baronet by the time of his death in 1829 (Knight, 1992). Similarly, Justus von Liebig (1803-1873) was the son of a hardware merchant and employed as a professor at the University of Giessen when he published *Chemistry in its Applications to Agriculture* in 1840 (Brock, 1997). Albrecht Daniel Thaer (1752-1828), an adherent of the humus theory of plant nutrition and an agricultural writer and educator, might be described as a gentleman by virtue of his achievements and marriage. He trained in medicine, married the daughter of a nobleman, was given land by Frederick William III of Prussia, and made his Mögelin estate into an agricultural academy (Harwood, 2005). John Bennet Lawes (1814-1900) was born into a family of minor gentry in Hertfordshire in south-east England, inherited the family estate, and would have been wealthy enough to have lived off his private income, but the agricultural research for which his Rothamsted estate became famous was financed by the profits from the *Lawes Chemical Manure Company* (Russell, 1966; Dyke, 1993). By the middle of the nineteenth century, therefore, agricultural science was beginning to be more than simply a gentleman's amusement, although it would be difficult to argue that it had achieved the status of a profession in the same way that medicine or the law might be so called.

That the world faces problems of dealing with climate change and feeding a projected population of 9 billion by 2050 is indisputable; whether agricultural science can solve the problems is more debatable (Conway, 2012; Brassley and Soffre, 2016). The point is that agricultural science now has a claim to take part in the debate, and agricultural scientists are now among those who might have something useful

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

to contribute to it. But this is not an undisputed claim, and agricultural scientists are unlikely to be alone in commenting on climate change and future food production. The problem they face, as Giuditta Parolini has argued, is that the definition of agricultural science is ambiguous (Parolini, 2015). To some it might seem to be simply the knowledge and techniques of the pure sciences (the alternative term is “natural sciences”), such as botany, zoology, genetics, chemistry, physics, etc, applied to agricultural problems. Others might argue that it is, or should be, husbandry, or farming operations, carried out under experimental conditions using scientific methods, with statistical analysis of the results. However, this second view of the subject risks confusion with agricultural technology and its history, which most observers would see as a wider or more comprehensive subject area. Deborah Fitzgerald, for example, defines agricultural technology as “the process of systematically cultivating plants and animals, including the economic, mechanical, human, scientific, and institutional forces that support such activity” (Fitzgerald, 1991). In her definition, therefore, the history of agricultural science would be no more than one component of the history of agricultural technology. There is also a problem of translation. “Agricultural science” translates into French as “les sciences agronomiques”. Leaving aside the problem of its pluralisation, it is worth reminding non-English readers that an “agronomist” in Britain is a person concerned with the growth of crops, often by advising farmers on the selection of varieties and appropriate applications of fertilisers and pesticides. Clearly this implies a much narrower understanding of the term than “les sciences agronomiques” implies in French, and in other languages too.

There is also an argument about whether it is the role of the agricultural science simply to explain what is happening in agricultural processes, or to prescribe improvements or alternative methods for practising farmers to adopt. It is the contention of this article that this ambiguity is important because it creates uncertainty about who should do agricultural research and what they should do. It also implies that what constitutes agricultural

science might change over time; that what would be recognized as agricultural science in one century might be different from how it was perceived earlier or later. Since sciences are human constructs, and consequently have a history, it is worthwhile to examine the emergence of agricultural science from something more than a gentleman’s amusement to a possible solution of some of the world’s major long-term problems. In that way it might perhaps be possible to see how this ambiguity has arisen.

Much of what was published as agricultural science in the 19th century was more descriptive than analytical. In England the nearest thing to a journal of agricultural science in the 19th century was the *Journal of the Royal Agricultural Society of England*. The Society was established in 1838, and one of its objectives, expressed in its motto “Practice with Science”, was to encourage the application of science to agriculture. The first volume of the journal was published in 1840 (Goddard, 1988). By 1878 it was a mature publication, and that year’s articles covered a variety of topics, from drainage, moorland reclamation, the early fattening of cattle, and the pathology of pleuro-pneumonia, to the chemical analysis of bat guano by the consulting chemist to the Society, Dr Voelcker. With the possible exception of this last article the remaining contents were almost entirely descriptive, and indeed Professor Yeo, writing on pleuro-pneumonia, stated that he had “tried to avoid any expressions which involve theories” (Yeo, 1878).

By the beginning of the 20th century in Britain the number of scientists working on agricultural problems had increased, and several of the more prominent ones decided that a new *Journal of Agricultural Science* was needed. Its first volume, in 1905, reflected the dominance of chemistry in the agricultural science of the time, but also contained one of the first articles applying Mendelian genetics to the breeding of wheat varieties (Biffen, 1905). It remained dominated by UK-based authors writing mostly on temperate agriculture until almost the end of the 20th century, but in the last twenty years or

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

so it has become an international journal, with a preponderance of authors based outside the UK and much greater coverage of tropical agriculture. There seems to be little doubt that, despite the subsequent prominence of the *Journal of Agricultural Science*, the expansion of the subject in continental Europe and the USA was much more rapid in the later 19th century than it was in Britain, at least of the number of research institutions is any measure of scientific activity. Even Japan and Brazil had as many research stations as Britain by the 1890s (Brassley, 2000; Harwood, 2009). This was reflected in the number of abstracts of agricultural science papers published in the *Monthly Bulletin of Agricultural Intelligence and Plant Diseases*, in which the impression is that only a small minority of the abstracted papers were in British publications. This *Monthly Bulletin* was published from 1909 by the International Institute of Agriculture, which had been established in Rome in 1905, and would go on to produce an increasing range of surveys of agricultural science and social science across the world until its work was subsumed into that of the United Nations Food and Agriculture Organisation after the Second World War (Pan-Montojo, 2016). It is clear that by the early 20th century agricultural research was well-established across most European countries and the USA.

The effectiveness of agricultural research, then and later, is more difficult to judge. The ambiguity and uncertainty about what agricultural research is, or where its boundaries lie, make it difficult to assess its impact. Several different approaches may be found in the literature. Perhaps the most obvious is to analyze the impact of research on the output or productivity of agriculture. Silvey, for example, analyzed cereal yields in England and Wales and claimed that roughly half of the yield increase was the result of genetic change, and Harris conducted a similar exercise for potatoes (Silvey, 1978; Harris, 1980). The problem with this is that output can be affected by non-scientific factors such as agricultural policy and trade. In circumstances in which farmers are being encouraged by government policies, or high prices, to maximise output, they are likely to increase labour and capital inputs, and *vice versa*

in different policy and trade environments. Another difficulty is that the effects of research can take a long time to reveal themselves. A study of productivity in agriculture in the USA argued that the effects of research and development might not become apparent for between 35 and 50 years (Alston *et al*, 2015).

An alternative approach is to examine the extent to which agricultural science produces discoveries or useful explanations of agricultural problems, on the assumption that farmers who understand why things happen will respond more quickly to environmental or policy changes. While this is probably true, it does not produce any easily-understood metrics for assessing impact. A third, and perhaps the most frequently-employed approach, is peer review, but Kuhn would probably argue that this is likely to be the least effective method because it is more likely to privilege the current paradigm and less likely to accept radical changes (Kuhn, 1962).

In the long run, it may be that one of the most useful ways of assessing science is to examine the development of its professional institutions. University departments, research stations, libraries, journals, and learned societies may not by themselves carry out research, but they increase the effectiveness of the individuals who do, and their influence may be greater than that of any single individual. Harwood, for example, has argued that the problems studied by biologists, and the methods and theories they produced, have all been affected by the institutions within which they worked (Harwood, 2009). Looking back from the twenty-first century, it might be argued that the greatest and longest-lasting contribution of the period between 1850 and 1914 was in the emergence of these institutions of agricultural research, and that those countries that were most successful in developing them, which would not include Britain, made the most progress. By 1850 gentlemen such as Thaer and de Saussure were dead, and their successors, such as Wilhelm Crusius (1790-1858) at *Mockern and Lawes at Rothamsted* were more employers of professional scientists than active scientists themselves, although Lawes was certainly a very

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

active writer about agricultural science (Jones, 2016). The professionals, such as Justus von Liebig at Giessen and his student Joseph Henry Gilbert, who was employed by Lawes at Rothamsted, became the leaders of the discipline (Brock, 1997; Brassley, 2000). By 1900, according to one estimate (Grantham, 1984), there were 500 or so agricultural research stations in the world, employing 1500 professional scientists, but they were not evenly distributed. The bulk of them were in continental Europe and the USA, but very few were in Africa or Asia, and perhaps surprisingly few in Britain .

Grantham argued that the extent of agricultural research was likely to be greater if a country possessed a scientifically-literate bureaucracy, many scientists, farm organisations that favoured research, state funding, and succeeding generations of scientists trained by existing practitioners (Grantham, 1984). This neatly explains why there were so many researchers and research institutes in Germany and so few in Britain, at least until Sir Daniel Hall (1864-1942), who became the Director of Rothamsted after Lawes died in 1900, extracted funding for agricultural research from the Development Commission from 1910 onwards (Rogers, 1999). In 1892, for example, Britain, Spain and Portugal each had one agricultural experimental station, compared with 67 in Germany, 54 in the USA and 53 in France, according to one report (Cousins, 1895). Grantham's success conditions were met in the 20th century in most developed countries, and, as the authorship of articles in the Journal of Agricultural Science mentioned above suggests, over the last twenty years the contribution of the middle-income countries, in particular China, India, Brazil and South Africa, has increased considerably. According to a report in the prestigious science journal Nature, by 2011 government-funded agricultural research spending in middle-income countries was higher than that in high-income countries, although the increasing proportion of private-sector research spending in the latter meant that the high-income countries still spent more in total. Since private-sector research may not be disinterested these trends have not always been welcomed. As the

authors of the report concluded, "the retreat from public agricultural research and development by rich countries, and the continued comparatively low levels of investment in many poorer countries, are concerning" (Pardey *et al*, 2016). The changes in agricultural technology that occurred in the 20th century are well-known; the extent to which they were produced by agricultural science is perhaps more debatable. One area in which science clearly made a contribution was plant and animal breeding. From the use of Mendelian genetics to produce new wheat varieties early in the century, to the subsequent development of population genetics and the later development of genetic engineering, science obviously affected crop breeding (Brassley and Soffe, 2016). In animal breeding, the development of artificial insemination techniques, especially for cattle and pigs, was enormously influential. By 1960, 63 per cent of the dairy herds in Britain used only artificial insemination to impregnate their cows (MMB, 1960). Similarly, it is difficult to see how the range of herbicides, fungicides and insecticides currently available to arable farmers, or the vaccines, anti-parasitic treatments and antibiotics used by animal producers could have emerged without the efforts of scientists in general and agricultural scientists in particular (Blaxter and Robertson, 1995). On the other hand, the increased use of fertilisers and purchased livestock feeds appears to have more to do with the decisions of farmers than agricultural scientists, although the scientists have been involved in producing a greater range of products and finding ways in which they can be used with increased precision (Blaxter and Robertson, 1995). Likewise the mechanisation and motorisation of farming operations was perhaps more a product of the machinery industry than of agricultural science until recently, when there has been increased emphasis on automatic control of a variety of devices from tractors to milking machines (Dewey, 2008).

If it is clear that agricultural science has moved on from being a gentleman's amusement (if indeed it ever was so), is it also likely to be seen,

in future, as the saviour of the world? The need to feed an increased world population is clearly a problem to which agricultural science might make a contribution. There is also the issue of agriculture's contribution to the greenhouse gases that promote global warming, and the concomitant question of how agriculture can react to climate change (Brassley and Soffe, 2016). Despite ideas about history repeating itself, historians also know that circumstances change so that the repetition is rarely exact; prediction is better left to economists, who can put error terms into their algorithms. To argue that agricultural science has assisted farmers in feeding a rapidly-increasing world population (from 1.2 billion in 1850 to 2.5 billions a century later, but then 7.3 billion at present) is one thing; to argue that they will continue to do so is a different matter (Cameron, 1993; Millstone and Lang, 2008).

As Table 1 demonstrates, world wheat yields have doubled since 1970, and perhaps more significantly yields of wheat, barley and potatoes in developed countries are at least twice the world average, so that there is much room for improvement with existing technology. On the other hand, there is some evidence that the rate of technical change in developed countries is slowing down (Alston *et al*, 2015). One estimate for the USA found that the annual rate of growth in multi-factor productivity was 2.07 per cent between 1949 and 1990, but only 1.18 per cent from 1990 to 2007 .

Many people would also argue that the undoubted achievements of agricultural science have also been accompanied by problems. Plant breeding has increased crop yields, but genetically modified organisms remain controversial, at least in Europe. Not all of the fertilisers applied to fields become incorporated into crops. Part of the nutrient content is washed into rivers, and thence to the sea, with effects that one observer termed "an unprecedented large-scale biogeochemical experiment whose eventual impacts we can predict only poorly" (Smil, 2001). Pesticides have enabled farmers to increase yields or reduce costs, but there are numerous examples of their deleterious effects on wildlife, from the impact of chlorinated hydrocarbons on the breeding success of raptors (*i.e.* hawks and falcons) to the effects of neonicotinoids on bees (Whitehorn *et al*, 2012; Henry *et al*, 2012; Goulson, 2013). Animal feeds by themselves are usually benign, but their increased use in intensive livestock operations has meant that the concentration of animals has increased in some regions to the point that it produces eutrophication problems. Many of the vaccines and anti-parasitic drugs used by farmers also appear to be without side-effects, but the use of antibiotics in agriculture, especially their incorporation in feeding stuffs for non-acute use, has led to antibiotic resistance problems (Bud, 2008). The contribution of science to farm mechanisation is, as argued above, debatable, but there is no doubt that the use of heavier machinery has produced soil structure problems, and the replacement of

Table 1: World and UK yield data

	World 1970	World 2012	UK 1965- 1969	UK 2014
Wheat (tonnes per hectare)	1.5	3.1	3.9	8.6
Barley (tonnes per hectare)	1.7	2.7	3.6	6.4
Potatoes (tonnes per hectare)	13.3	18.9	24.9	47.0
Milk (litres per cow)			3686	7897
<i>Source: World 1970 data from FAO, 1971; 2012 data calculated from http://faostat.fao.org/site/567 (accessed 26/7 April 2014). UK 1965-9 data from Marks and Britton, 1989:164, 175, 230; 2014 data from DEFRA, 2016: 42-57 .</i>				

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

muscle power by fossil-fuel-derived power is obviously one of the sources of greenhouse gases.

At a more theoretical level, Scott has argued that agricultural science does not deal well with complexity, as a result of which it may ignore long-run effects such as the soil structure and water quality problems mentioned above, and that scientific approaches that have worked well in Europe and North America have been less successful in Africa (Scott, 1998). Similar methodological issues have been discussed by Harwood, who points out that experiment-based research does not always resolve conflict by producing evidence for one theory or against another (Harwood, 2015). He cites the example of high-yielding plant varieties that were tested under experimental conditions which proved to be more favourable than those found on the farms for which the new varieties were designed. Therefore, he argues, it is important to know why some theories and experiments have been more successful than others in persuading farmers to adopt new technologies. This question was discussed in relation to the development of artificial insemination in pigs by Brassley, who put forward the idea that different actors gain and lose authority over a scientific debate at various stages of the development of a technology, and that these authority changes are often accompanied by changes in the discourse employed, whether scientific or practical, and the media used, which can vary from scientific journals to word-of-mouth dialogue (Brassley, 2007).

In conclusion, to return to the questions posed at the beginning of this paper, it appears that by the middle of the 19th century the time when gentlemen amateur scientists (or “natural philosophers”, as they would probably have called themselves) might make a significant contribution to agricultural science was already passing. The subsequent history of the discipline is one in which, perhaps by the end of the nineteenth century, and certainly by the beginning of the First World War, it had developed the professional institutions that enabled it to be recognised as an independent branch of applied science. However, this is not to say that its role or purpose remained

uncontroversial, or even that the boundaries of competence between agricultural science and other pure or applied sciences were firmly or clearly drawn. Nevertheless, researchers who would describe themselves as agricultural scientists can legitimately claim at least some of the credit for increased understanding of agricultural operations and for the technical changes that have enabled farmers to feed a dramatically-increasing world population. The other question posed at the outset, about whether this will continue to be the case, is, we have argued, not one for historians. They should be busy enough with further work on the history of agricultural science, which still lacks, at least in the English language, an approachable, comprehensive, international survey. Whether this survey should best be approached as a collection of studies of agricultural sciences in different countries, or of individual branches of the subject (e.g. fertilisers, plant physiology, genetics, animal growth studies, etc.) across the whole world, would depend upon the interests of the contributing historians. The ideal approach might be a study of the subject as a whole across the entire world from an individual scholar, but whether a historian exists with sufficient expertise and time to accomplish such a project is a different question.

Références

Alston JM, Andersen MA, Pardey PG. 2015. *The rise and fall of U.S. farm productivity growth 1910-2007*. University of Minnesota, Department of Applied Economics, Staff Paper P15-02, 23.

Bédarida, F. 1991. *A Social History of England, 1851-1990*. Routledge, London, 2nd Edition, 36-40.

Bieleman J. 2010. *Five Centuries of Farming: a short history of Dutch agriculture 1500-2000*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

- Biffen J. 1905. Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. *Journal of Agricultural Science*, 1(1), 4-48.
- Blaxter KL, Robertson N. 1995. *From Dearth to Plenty: the modern revolution in food production*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Brassley P. 2000. *Agricultural science and education*. In Collins EJT (ed) *The Agrarian History of England and Wales*, 3(1) 1850-1914. Cambridge University Press, Cambridge, 594-649.
- Brassley P. 2007. Cutting across nature? The history of artificial insemination of pigs in the United Kingdom. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences*, 38 (2), 442-461.
- Brassley P, Soffe R. 2016. *Agriculture: a Very Short Introduction*. Oxford University Press, Oxford, 109-113.
- Brock WH, 1997. *Justus von Liebig: the chemical gatekeeper*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-145.
- Bud R. 2008. *Penicillin: triumph and tragedy*. Oxford University Press, Oxford, 330 p.
- Cameron R. 1993. *A Concise Economic History of the World: from Palaeolithic times to the present*. 2nd edn, Oxford University Press, Oxford, 325.
- Conway G. 2012. *One Billion Hungry: can we feed the world?*, Cornell University Press, Ithaca NY, 439 p.
- Cousins HH. 1895. *Translator's Preface*. In von Wolff E, *Farm Foods, or the rational feeding of farm animals*. Gurney and Jackson, London, iii-x.
- DEFRA [Department of Environment, Food and Rural Affairs, UK]. 2016. *Agriculture in the UK*, 2015. Available online at <https://www.gov.uk/government/statistics/agriculture-in-the-united-kingdom-2015>, 42-57.
- Dewey P. 2008. *Iron Harvests of the Field: the making of farm machinery in Britain since 1800*. Carnegie Publishing, Lancaster, 368 p.
- Dyke GV. 1993. *John Lawes of Rothamsted: pioneer of science, farming and industry*. Hoos Press, Harpenden.
- FAO [Food and Agriculture Organisation of the UN]. 1971. *Production Yearbook*, vol 24 1970. FAO, Rome .
- Fernandez Prieto L. 1992. *Labregos Con Ciencia: estado, sociedad e innovación tecnolóxica na agricultura galega, 1850—1939*. Edicións Xerais de Galicia, Vigo .
- Fitzgerald D. 1991. Beyond Tractors: the history of technology in American agriculture. *Technology and Culture*, 32(1), 114-126 .
- Goddard N. 1988. *Harvests of Change: the Royal Agricultural Society of England 1838-1988*. Quiller Press, London, 1-78.
- Goulson D. 2013. An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50, 977-987 .
- Grantham G. 1984. The shifting locus of agricultural innovation in nineteenth-century Europe: the case of agricultural experiment stations. In Technique, spirit and form in the making of modern economies: essays in honor of William N. Parker. *Research in Economic History, Supplement*, 3, 191-214 .
- Harris PM. 1980. *Agronomic research and potato production in practice*. Kn Hurd RG et al. (eds), *Opportunities for Increasing Crop Yields*. Pitman, London, 205-217.
- Harwood J. 2005. *Technology's Dilemma:*

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

- agricultural colleges between science and practice in Germany, 1860-1934*. Peter Lang, Bern, 78-79.
- Harwood J. 2009. *Universities*. In Bowler PJ and Pickstone JV (eds), *The Cambridge History of Science, vol. 6, The modern biological and earth sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 90-107.
- Harwood J. 2015. *Comments on experimentation in twentieth-century agricultural science*. In Parolini G (ed) *Experimentation in twentieth-century agricultural science. History and Philosophy of the Life Sciences*, 37(3), 326-330.
- Henry M, Béguin M, Requier F, Rollin O, Odoux J-F, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S, Decourtye A. 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*, 336, 348-50.
- Jones PM. 2016. *Agricultural Enlightenment: knowledge, technology and nature, 1750-1840*. Oxford University Press, Oxford. a: 161-187; b: 23-24; c: 173.
- Knight D. 1992. *Humphry Davy: science and power*. Blackwell, Oxford, 288 p.
- Kuhn TS. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 212 p.
- Marks H, Britton D. 1989. *A Hundred Years of British Food and Farming: a statistical survey*. Taylor and Francis, London, 164, 175, 230.
- Mellanby K. 1981. *Farming and Wildlife*. Collins, London, 178 p.
- Millstone E, Lang T. 2008. *The Atlas of Food*. University of California Press, Berkeley, 20.
- MMB [Milk Marketing Board]. 1960. *Dairy Facts and Figures 1960*. Milk Marketing Board, Thames Ditton.
- Pan-Montojo J. 2016. *International Institutions and European Agriculture: from the IIA to the FAO*. In Martiin C, Pan-Montojo J, Brassley P (eds), *Agriculture in Capitalist Europe, 1945-1960: from food shortages to food surpluses*. Routledge, London, 23-43.
- Pardey PG, Chan-King C, Dehmer SP, Beddow JM. 2016. Agricultural R & D is on the move. *Nature*, 537(7620), 301-303 .
- Parolini G (ed). 2015. *Experimentation in twentieth-century agricultural science. History and Philosophy of the Life Sciences*, 37(3), 231-341 .
- Price R. 1993. *A Concise History of France*. Cambridge University Press, Cambridge, 155-156.
- Rogers A. 1999. *The Most Revolutionary Measure: a history of the Rural Development Commission, 1990-1999*. Salisbury: the Commission. Rural Development Commission, Salisbury, 17-21.
- Russell EJ. 1966. *A History of Agricultural Science in Great Britain, 1620-1954*. George Allen and Unwin, London, 493 p.
- Scott JC. 1998. *Seeing Like a State: how certain schemes to improve the human condition have failed*. Yale University Press, New Haven.
- Silvey V. 1978. The contribution of new varieties to increasing cereal yield in England and Wales. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany*, 14, 367-384.
- Smil V. 2001. *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*. MIT Press, Cambridge MA, 180.
- Vivier N. 2016. *European Agricultural Societies, 1750-1850: experimenting and disseminating scientific progress, powerpoint*

Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Acte de colloque

presentation available at <http://www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/colloque/academie/union-europeenne-des-academies-dagriculture-ueaa-presidence> .

Vivier N. 2017. European Agricultural Societies, 1750-1850: experimenting and disseminating scientific 'progress'. *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF)*

Whitehorn P, O'Connor S, Wackers F, Goulson D. 2012. Neonicotinoid pesticide reduces Bumble Bee colony growth and queen production. *Science*, 336, 351-352 .

Yeo GF. 1878. Report on the Pathological Anatomy of Pleuro-Pneumonia. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 2(14), 169-205.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique «Actes de colloques» des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

12 décembre 2016

Accepté

16 mars 2017

Publié

2 mai 2017

Citation

Brassley P. 2017. The impact of agricultural science 1850-2016: from a gentleman's amusement to the saviour of the world? , *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture*, 2017, 3(6), 1-10.
<https://doi.org/10.58630/pubac.not.a505824>.

Edité par

Hervé This, AgroParisTech-Inra International Centre for Molecular Gastronomy, membre de l'Académie d'agriculture de France.

Rapporteurs

Laurent Brassart est Vice-Président Culture, médiation scientifique et Learning Center , et Maître de conférences en histoire moderne à l'Université de Lille 3

Nathalie Joly est Maître de conférence en sociologie, AgroSupDijon/UMR CESAER.

Malcolm Hadley, membre de l'Académie d'agriculture de France.



Paul Brassley est Honorary University Fellow en histoire de l'agronomie à l'Université d'Exeter, UK. Il a été Chair de l'Executive Committee de la British Agricultural History Society.

Notes
académiques
de
l'Académie
d'agriculture
de
France



ACADÉMIE
d'AGRICULTURE
de FRANCE

AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT