

ÉPIDÉMIOLOGIE - ÉPISTÉMOLOGIE

Jan Carel ZADOKS

Section de phytopathologie, université agronomique de Wageningen,
B.P. 5025,
6700EE Wageningen, Pays-Bas

Résumé

Le mot épistémologie est un néologisme dérivé du grec classique, langue utilisée par les scientifiques pour exprimer des idées nouvelles, tout au moins avant l'époque actuelle des néologismes anglo-saxons. La terminaison « logie » provient du mot grec « logos », que l'on peut traduire par « science », comme dans « biologie », la science de la vie. La traduction du mot « épistèmè » est « art », « habileté », « connaissance » ou « science ». L'épistémologie est la science de la connaissance, la science du savoir. Cette science du savoir, dans une interprétation restreinte, est une branche de la philosophie qui s'adresse à l'origine et à la fiabilité des connaissances. Laissant de côté les aspects métaphysiques et psychologiques, j'aborderai ici l'aspect méthodologique. Probablement, il n'existe pas de vérité absolue et universelle. Nous, épidémiologistes, utilisons une description du monde visible qui nous convient, une description ritualisée, qui mène à une forme de vérité que l'on qualifie d'intersubjective. Les postulats de Koch, établis par un médecin-chercheur en 1890, constituent l'exemple par excellence de la description de base, ritualisée, acceptée par tous les pathologistes. Les postulats de Koch sont des règles permettant de démontrer qu'un agent biologique donné est la cause, et la cause unique, d'une maladie précise. L'agent pathogène et la maladie sont impliqués dans une relation typique, exclusive et univoque (un pathogène pour une maladie). Ces postulats se traduisent en termes écologiques qui assurent la transition de la maladie d'un individu à la maladie d'une population, c'est-à-dire à l'épidémie. Il y a peu de règles de base ou de postulats; mais ils nous servent de support et de garde-fou. Le résultat de l'utilisation des postulats est un fait, un constat, utile mais sans dynamisme. Une épidémie est un processus extrêmement dynamique. Pour décrire ce dynamisme, un vocabulaire approprié nous

est nécessaire, et nous avons également besoin de règles de relations - de règles combinatoires - que la mathématique pourrait nous procurer. Malheureusement les complexités mathématiques n'ont pas toujours une référence empirique, tandis que souvent les complexités phytopathologiques n'ont pas de descripteurs mathématiques. Face à ce vide, la langue de la simulation dynamique introduite par l'Américain Forrester est là, à la fois comme moyen de communication et comme instrument méthodologique. En utilisant cet instrument, il nous est devenu possible de manipuler les processus dynamiques, de les saisir dans nos esprits comme dans nos ordinateurs, et de les comprendre, comme un petit enfant appréhende les phénomènes élémentaires liés au temps et à l'espace en jouant avec ses voitures miniatures.

Les instruments méthodologiques

Le mot épistémologie est un néologisme dérivé du grec classique, langue utilisée par les scientifiques pour exprimer des pensées nouvelles, tout au moins avant l'époque actuelle des néologismes anglo-saxons. La terminaison « -logie » provient du mot grec logos, que l'on pourrait traduire par « science », comme dans « biologie », la science de la vie. Le mot épistèmè a pour traduction « art », « habileté », « connaissance » ou « science ». L'épistémologie est la science de la connaissance.

Cette science de la connaissance, dans une interprétation restreinte, est une branche de la philosophie qui porte sur l'origine et la fiabilité de la connaissance. Laissant de côté les aspects métaphysiques et psychologiques de l'épistémologie, je vais me focaliser sur ses aspects méthodologiques.

La méthodologie met en œuvre des instruments bien précis. Ces instruments sont les mots et les termes, le comptage et la mensuration, l'abstraction et les règles méthodologiques.

Les mots et les termes

Les mots et les termes nous servent à communiquer. Ils indiquent des conceptions parfois concrètes, parfois abstraites. « Table » renvoie à un concept concret, qui ne causera de malentendus que dans les sociétés en voie de développement qui ne connaissent pas le mobilier jugé par nous élémentaire dans la maison. « Résistance horizontale » est un concept bien connu des épidémiologistes, qui cause énormément de confusion (JACOBS et PARLEVLIET, 1993).

Les termes sont des mots souvent empruntés de langue commune, parfois du latin, du grec ou de l'anglais, avec des significations bien définies. Une définition est un énoncé donnant une explication unique à un mot, qui ainsi devient un terme.

Il y a deux types de définitions : générale ou opérationnelle (ZADOKS et SCHEIN, 1979). Une définition générale peut être trouvée dans un ouvrage de référence destiné à l'usage du plus grand nombre. Une définition opérationnelle doit paraître dans une publication spécifique, afin que le lecteur puisse refaire, répéter exactement, l'expérience réalisée par l'auteur. Le mot-clef est : répétition.

Voici un exemple de définition générale :

La période de latence est le délai entre la contamination et l'apparition des spores.

Voici un exemple, associé, de définition opérationnelle :

La période de latence est le délai, exprimé en jours, qui s'étend du jour de la contamination (jour 0) avec des spores (génération 0) jusqu'au jour de la première observation de nouvelles spores (génération 1).

Pour aider les scientifiques, des listes de termes, des dictionnaires et des encyclopédies sont publiés (AINSWORTH, 1971; CMI, 1969; ZADOKS et SCHEIN, 1979).

Le comptage et la mensuration

Pour décrire une réalité complexe, il faut catégoriser les objets et les idées. Voici des arbres, d'une certaine espèce, de telle variété, à un certain stade de développement, etc. Chaque catégorie d'attribut peut être décrite de façon plus ou moins détaillée. Il existe des entités que l'on ne peut que catégoriser, comme la couleur des yeux bleue ou brune. Parmi de telles catégories, il n'existe pas d'ordre objectif.

A d'autres entités, on attribue un rang, par exemple de forme (SAVARY *et al.*, 1989). On peut classer les feuilles d'espèces diverses selon leur forme, de lancéolée à arrondie et attribuer aux formes intermédiaires un nombre représentant un rang. Qu'un rang plus élevé soit attribué à une forme donnée plutôt qu'à une autre est affaire de goût. Néanmoins, il sera possible de réaliser des expériences et d'effectuer des tests statistiques en utilisant les valeurs de rang. Dans le cas des stades de croissance, il existe un ordre naturel, de petit à grand (ZADOKS, 1977; ZADOKS *et al.*, 1974).

Enfin, il est possible de mesurer les individus de chaque catégorie, en termes de longueur, largeur, poids, etc. Le résultat est utilisé dans les expériences et les analyses statistiques.

Abstractions

L'abstraction est la technique la plus puissante de la méthodologie scientifique. Cette technique peut être illustrée par des séries d'abstractions. Imaginons que nous prélevions un isolat d'un agent phytopathogène, que l'on appellera souche après purification. Sans difficulté, on s'imagine qu'il existe plusieurs souches d'un même génotype, qui, avec d'autres génotypes composent un phénotype, ensuite, une race physiologique, une *forma* ou *forma specialis*, une espèce, un genre, une famille, ou un ordre.

Une autre série d'abstractions est constituée par les notions de taille, de croissance, de taux de croissance et de taux relatif de croissance (tableau 1). Cette série s'utilise souvent en modélisation, comme la suivante : poids frais, poids sec, biomasse, énergie, entropie.

Tableau 1. Séries d'abstractions étalonnées et exprimées sous forme mathématique, telle qu'on en utilise en épidémiologie quantitative (d'après ZADOKS & SCHEIN, 1979).

	Formule		Dimension
	Calcul numérique	Calcul différentiel	
Variable	x_t	x_t	[L]
Croissance	$x_2 - x_1$	dx_t	[L]
Taux de croissance	$(x_2 - x_1)/(t_2 - t_1)$	dx_t / dt	[L · T ⁻¹]
Taux de croissance relatif	$[(x_2 - x_1)/(t_2 - t_1)] · (1/x_1)$	$(dx_t / dt) · (1/x_t)$	[T ⁻¹]

La variable x peut représenter une longueur [L], une surface [L²], un volume [L³] ou une masse [M]. L, M, et T représentent les dimensions : longueur, masse, temps. L'indice t attribué à la variable x_t indique qu'il s'agit d'une observation à un instant t .

Parmi les objectifs de ces abstractions en séries, il faut mentionner :

- la comparaison d'objets, en principe, incomparables, ou, tout au moins inégaux (par exemple, la croissance de populations humaines, d'insectes et d'agents phytopathogènes);
- la construction d'hypothèses de valeur de plus en plus générale;
- la prédiction de phénomènes nouveaux, encore inconnus, dont l'observation constitue le test d'une hypothèse.

Règles méthodologiques

Probablement, il n'existe pas de vérité absolue et universelle. Nous, épidémiologistes, utilisons une description du monde visible qui nous convient bien, une description ritualisée, qui mène à une forme de vérité qu'on qualifie d'intersubjective. Pour les phytopathologistes, une description fondamentale et ritualisée, acceptée par tous, suit les postulats de KOCH, chercheur et médecin qui les a formulés en 1890 (tableau 2).

Tableau 2. Les postulats de KOCH, proposés en 1890 (KOCH, 1891).

- | | |
|---|---|
| 1 | L'agent pathogène doit être isolé dans tous les cas de maladie observés, et sa distribution dans l'organisme doit correspondre à la distribution des lésions observées. |
| 2 | Il faut démontrer que l'agent pathogène est un être vivant; il doit être multiplié en dehors de l'organisme de son hôte originel pendant plusieurs générations. |
| 3 | L'organisme ainsi isolé doit reproduire la maladie chez d'autres animaux sensibles. |

Il convient de noter que KOCH était un médecin, comme les termes employés l'indiquent. Il était le premier à démontrer que le choléra et la tuberculose sont causés par des bactéries.

Les postulats de KOCH décrivent les règles nécessaires pour démontrer qu'un certain agent biologique est la cause, et la seule, d'une maladie donnée. L'agent pathogène et la maladie sont placés dans une relation typique et exclusive, une relation univoque : « un agent pathogène, une maladie ». Ces résultats se traduisent en termes écologiques lorsque l'on effectue la transition de la maladie d'un individu à l'épidémie - la maladie d'une population. Le nombre de règles fondamentales de ce type est bien limité, mais ils nous servent de guide et de garde-fou.

Le résultat de l'utilisation des postulats est un fait, un constat, utile, mais sans dynamisme. Une épidémie est un processus extrêmement dynamique. Pour ajouter le dynamisme nécessaire, il nous faut un vocabulaire approprié, qui existe maintenant, et des règles de relation ou de combinaison, que la mathématique nous procure. Malheureusement, les complexités mathématiques n'ont pas toujours de référence empirique, tandis que souvent les complexités épidémiologiques n'ont pas de descripteurs mathématiques. Face à ce vide méthodologique, la langue de la simulation dynamique, créée par l'Américain FORRESTER (1961), s'offre comme interprète et comme nouvel instrument.

Pour aider le développement de l'épidémiologie quantitative, ZADOKS (1972) a proposé des règles méthodologiques, qui ont été traduites en français par RAPILLY (1991), et sont indiquées dans le tableau 3. Également, pour combler les lacunes méthodologiques pour tester l'existence d'un transport aérien de l'inoculum phytopathogène, ZADOKS et BOUWMAN (1985; ZADOKS, 1988) ont proposé des règles permettant d'évaluer les preuves éventuelles de ce phénomène (tableau 4).

Tableau 3. Règles méthodologiques pour l'épidémiologie quantitative (ZADOKS, 1972; traduction par RAPILLY, 1991).

- 1 La (les) source(s) d'inoculum qui initie(nt) l'épidémie doit (doivent) être connues, et l'inoculum disponible doit être exprimé quantitativement.
- 2 Les effets des conditions de l'environnement sur le développement de l'épidémie et du parasite doivent être quantifiés en termes de relations entre les variables indépendantes (généralement abiotique) et les variables dépendantes (généralement de nature biotique).
- 3 Le taux d'accroissement du développement de l'épidémie pour les conditions climatiques considérées doit être calculé.
- 4 Il faut que l'on puisse calculer les niveaux épidémiques successifs à partir de la quantité d'inoculum primaire et des taux d'accroissement de l'épidémie précédemment calculés.
- 5 Le niveau final, calculé, de la maladie et les niveaux intermédiaires calculés doivent être égaux aux niveaux intermédiaires et final observés.

Proposée par RAPILLY :

- 6 Le temps nécessaire à une variable dépendante pour changer d'état doit être mesuré en fonction des variables de flux (dites aussi indépendantes).

Tableau 4. Règles pour la démonstration du transport d'un pathogène sur une longue distance (Zadoks et Bouwman, 1985; Zadoks, 1988).

- | | |
|----|---|
| 1 | La phénologie de la plante hôte dans la source doit être favorable à la maladie. |
| 2 | La phénologie de l'agent pathogène dans la source doit être favorable à l'émission de ses spores. |
| 3 | Les conditions atmosphériques doivent être favorables à l'émission des spores de l'agent pathogène. |
| 4 | Au moment du transport des spores, les courants aériens doivent mener de la source vers la cible. |
| 5 | Ces courants aériens doivent contenir des spores de l'agent pathogène. |
| 6 | Il faut capter les spores de l'agent pathogène sur la cible. |
| 7 | Les conditions atmosphériques sur la cible doivent être favorables à la contamination et à la pénétration des tissus des plantes-hôtes. |
| 8 | La phénologie des plantes-hôtes sur la cible doit être favorable à l'interception des spores de l'agent pathogène et à l'infection. |
| 9 | La phénologie de l'agent pathogène doit être compatible avec l'hypothèse de contamination. |
| 10 | Les caractéristiques génétiques du l'agent pathogène sur la cible doivent être les mêmes que celles dans la source. |

Il est à noter qu'en aérobiologie, on parle de source, de transport, et de cible. La source (de l'inoculum) est une plante, un champ, ou une région affectée. Le transport de l'inoculum est aérien, aquatique, ou humain. La cible est, à nouveau, une plante, un champ, ou une région de culture de la plante-hôte.

Références

- AINSWORTH G.C., 1971. *AINSWORTH & BISBY'S dictionary of the fungi*. Sixth Edition. Kew (Surrey) Commonwealth Mycological Institute. 663 p.
- Commonwealth Mycological Institute, 1968. *Plant Pathologist's Pocket Book*. Commonwealth Agricultural Bureaux. 267 p.
- FORRESTER J.W., 1961. *Industrial Dynamics*. Cambridge (Mass.) M.I.T. Press. 464 p.
- JACOBS T. & PARLEVLIET J.E., 1993. *Durability of Disease Resistance*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher. 375 p.
- KOCH R., 1891. *Ueber bakteriologische Forschung*. Verhandlungen X Internationalen Medicinischen Congres, Berlin, Hirschwald Verlag. pp. 35-47.
- RAPILLY F., 1991. *L'Épidémiologie en pathologie végétale. Mycoses aériennes*. Versailles, INRA. 317 p.
- SAVARY S., SUBBA RAO, P.V. & ZADOKS, J.C., 1989. A scale of reaction types of groundnut to *Puccinia arachidis* Speg. *Journal of Phytopathology* 124: 259-266.
- ZADOKS J.C., 1972. Methodology of epidemiological research. *Annual Review of Phytopathology* 10: 253-276.

- ZADOKS J.C., 1977. Un code décimal pour les stades de croissance des céréales. *Phytiatrie-Phytopharmacie* 26 : 129-140.
- ZADOKS J.C., 1988. Demonstration of long-distance dispersal in plant disease epidemiology: methodological criteria. *Aerobiology Newsletter* N° 27: 19-20.
- ZADOKS J.C. & BOUWMAN J.J., 1985. *Epidemiology in Europe*. pp. 329-369, in: *The Cereal Rusts*, vol. II (Roelfs, A.P. & Buschnell, W.R., Eds.), Academic Press, Orlando CA. 600 p.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T. & KONZAK C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
- ZADOKS J.C. & SCHEIN R.D., 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press, New York. 427 p.