
La genèse systémique d’empreinte pour une maîtrise de l’observation de la Terre

Mireille Fargette¹, Maud Loireau², Najet Raouani³,
Thérèse Libourel⁴

1. Institut de Recherche pour le Développement - IRD, UMR 228 Espace-Dev,
500 rue Jean-François Breton, 38093 Montpellier Cedex 05, France
mireille.fargette@ird.fr

2. Institut de Recherche pour le Développement - IRD, UMR 228 Espace-Dev,
Univ. de Perpignan-UPVD, 52 rue Paul Alduy, F-66860 Perpignan Cedex 09,
maud.loireau@ird.fr

3. Institut supérieur agronomique Chott-Mariem, UR 13AGR 04,
Université de Sousse, Tunisie
nraouani@yahoo.com

4. Université de Montpellier, UMR 228 Espace-Dev,
500 rue Jean-François Breton, 38093 Montpellier Cedex 05, France
therese.libourel@umontpellier.fr

RÉSUMÉ. Ce travail s'intéresse à l'observation, à la connaissance scientifique construite à partir de ce qui est perçu (Lien de Sens) d'un monde systémique complexe. La démarche conduit à proposer le concept d'empreinte dans le cadre scientifique interdisciplinaire « Système - Réalité - Monde perçu - Modèle », à le mettre à l'épreuve des données, puis à proposer la démarche d'ontologie systémique. Celle-ci permet de déployer le Lien de Forme du domaine systémique au monde perçu, d'analyser et décrire la part pertinente de la donnée et de montrer en quoi l'ensemble de ce travail essentiellement symbolique peut contribuer à la maîtrise sémantique, technologique et numérique de la collecte et analyse des données et de l'observation de la Terre. Les illustrations portent principalement sur l'oasis. Ce travail discute ce qu'il apporte dans la construction d'une science de l'observation.

ABSTRACT. This work is interested in observation, in scientific knowledge acquired from what is perceived (Link making Sense) from a complex systemic world. The approach leads to proposing the concept of imprint within the interdisciplinary framework "System – Reality – World as perceived – Model" and testing it against data, then to proposing systemic ontology as an approach. This makes it possible to deploy the Link making Shape from the systemic domain to the world as perceived, to analyze and describe the relevant part in the data and to show how the whole of this mostly symbolic work can contribute, with respect to semantic, technological and digital aspects, to better control data collection and

analysis and Earth observation as a whole. Illustrations mainly focus on oasis. This work discusses its contribution to constructing an observation science.

MOTS-CLÉS : modélisation conceptuelle, ontologie systémique, science de l'observation, passages Système - Monde perçu, existence géographique, contenu de donnée, reconnaissance du signal, analyse de physionomie, interdisciplinarité, oasis, Lien de Sens, Lien de Forme.

KEYWORDS: Conceptual modeling, Systemic ontology, Observation science, Paths linking Systems to the world as perceived, Geographical existence, Data content, Signal recognition, Physiognomy analysis, Interdisciplinarity, oasis, Link making Sense, Link making Shape.

DOI:10.3166/RIG.31.135-197 © 2022 Lavoisier

1. Introduction

Le travail qui suit s'intéresse à l'observation de la Terre et à son suivi. Toutefois, on ne peut aborder cette question en termes scientifiques sans s'interroger préalablement sur celle de la relation de l'homme au monde qui, de façon empirique, passe par l'expérience d'observation, celle-ci prise dans son acception la plus large. Nous abordons les deux points, observation du monde et relation au monde, et les liens qui les unissent dans le travail présenté ici afin d'asseoir une démarche et profiler une science de l'observation.

L'aventure technologique est indissociable de l'aventure humaine (Leroi - Gourhan, 1964, 1965) ; elle occupe incontestablement une place grandissante dans la pratique de gestion du quotidien, mais aussi dans la façon de questionner le monde, de le voir et le concevoir, de le connaître et l'interpréter. Ainsi, par exemple, les avancées des dernières décennies en matière d'observation de la Terre par voie satellitaire restituent de toujours plus imposants jeux de données acquis par des capteurs toujours nouveaux pour ce qui est de leurs caractéristiques technologiques (gammes et registres des canaux exploités, capacité à affiner la résolution, récurrence temporelle). De tels jeux de données intéressent l'activité scientifique *s.s.* (acquisition de connaissance) ou l'activité gestionnaire (suivi, gestion relative à ce monde, prise de décision relative à ce temps). Ils proposent de nouvelles caractéristiques pour renseigner et dessiner le monde, critères qui s'ajoutent ou se confrontent à ceux fournis par les capteurs physiologiques ou leurs substituts technologiques directs. De même, le déploiement d'une puissance de calcul toujours croissante et celui de l'intelligence artificielle s'immiscent entre le monde et l'homme (Ganascia, 2020).

L'aventure humaine s'ancre dans sa relation au monde. Les travaux conduits en anthropologie, sociologie, psychologie, psychanalyse et philosophie ont montré la richesse, en complexité comme en diversité, des schèmes de représentation que l'être humain construit seul ou collectivement et vit individuellement ou en partage au sein de groupes d'individus plus ou moins organisés. Ce constat porte en particulier sur ce qui le lie au monde qui l'entoure, qu'il s'agisse d'une conception de rang individuel ou collectif (Descola, 2010, 2011). Les déploiements de

mythologies, de cosmogonies, de spiritualités, de pensées d’ordre philosophique ou scientifique fondent autant de paradigmes qui assurent la relation au monde selon leurs ontologies propres, explicites ou implicites. On constate l’extrême relativité de telles représentations et leur diversité quant à leur degré d’explicitation.

1.1. Enjeux, problématique et objectifs

Dans le monde toujours plus ouvert qui est le nôtre (monde hyperconnecté, donnant la parole à des millions de voix, la distance n’entravant plus la communication), l’information de toute sorte abonde, se partage, se contredit. Nous nous confrontons à la profusion, à la diversité, parfois la contradiction et même l’incompatibilité des points de vue et à la « relativité des choses » qui en découle. L’académie d’agriculture, parmi d’autres, s’interroge sur ce relativisme et sur la place des sciences dans un tel contexte (Chevallier-Le Guyader, 2019). Dans le même temps et paradoxalement, l’urgence de la communication bien comprise, celles de la compréhension des choses et de la compréhension mutuelle sont toujours plus grandes, le besoin de justesse de notre relation au monde aussi, clé du discernement et, en conséquence, du bien fondé de nos décisions. En effet, les enjeux planétaires appellent une méthode qui permette un dialogue constructif et l’élaboration de solutions coordonnées. En l’état, et sans prôner pour autant l’unicité du monde et de ses représentations, ce qui serait délétère et totalitaire, est-il possible de poser la question : existerait-il une représentation « correcte (ou la moins fausse) » du monde ? Comment la figurer, l’apprécier ? Selon quelle qualité, quels critères ? Une représentation adéquate du monde (approchant au plus près possible la réalité) serait un premier gage de succès des actes ensuite posés sur ce monde.

Étant considéré l’enjeu et admise la diversité aux traits rapidement brossés ci-dessus, étant aussi reconnue notre filiation ancrée dans la culture occidentale qui a vu naître et s’élaborer la démarche scientifique¹, elle-même nécessairement (Bachelard, 1934 : « La science crée de la philosophie » ; Wolff, 2010) adossée à la pensée philosophique, nous nous reconnaissons dans le même temps en exploration des interfaces de larges pans de connaissance et de larges pans d’inconnu. Par voie de conséquence, nous nous reconnaissons aussi non spécialistes de si larges « espaces » auxquels le monde et le questionnement contemporains nous confrontent cependant. Dans ce contexte pourtant plus restreint, la complexité des enjeux et la diversité des connaissances scientifiques à impliquer nous met à nouveau en face de la diversité des points de vue, ces derniers ayant pour origine cette fois les diverses disciplines, des sciences de l’homme et des sociétés aux sciences de la nature, de la vie, de la terre et de l’univers. Pour être partagé de façon satisfaisante entre spécialistes de disciplines parfois très éloignées les unes des autres, ce savoir, comme toute représentation, doit être explicité entre disciplines. Or le domaine

1. sans la résumer en un positivisme trop sommaire, comme nous en met en garde Bouleau (2017).

scientifique possède les méthodes pour raisonner, analyser, décrypter, représenter en partage, les connaissances et, *in fine*, les rendre explicites, accessibles, ouvertes.

Comment se situer et vivre dans le monde ? Comment situer les nouveaux modes d'observation et voies d'acquisition de données évoqués ci-dessus dans le cadre de diversité précédemment évoqué ? A partir d'observations, construit-on des mondes parallèles (sans communication ni relation de sens entre eux), des mondes concurrents ou des mondes complémentaires ? Des facettes d'une même réalité ? Suit-on le même schème qui nous confirme (et risque éventuellement de nous enfermer) dans nos propres représentations et une certaine routine ?

Les questions de correspondance de jeu de données à jeu de données mais aussi de communication entre individus se trouvent donc posées à propos de ce qui est observé puis représenté.

De façon plus générale, pour habiter notre monde « avec intelligence et sagesse » (Bouleau, 2021) tout en tirant parti d'un déploiement technologique, il est important de mettre en relation, d'une part une interprétation plurielle et partagée de ce monde, fondée sur la connaissance scientifique issue de la contribution combinée et interdisciplinaire des domaines scientifiques concernés (l'écologie, la biologie, la géologie, la géographie, l'agronomie, les sciences humaines et sociales, etc.) avec, d'autre part, les propositions et les nouveaux acquis de l'observation de la Terre et de son suivi (observation diachronique) menés par exemple en observatoire, en plein essor depuis quelques décennies.

Dans ce contexte, notre réflexion a donc pour origine le questionnement croisé sur, d'une part, les notions d'observation, de suivi environnemental et d'observatoire scientifique sociétés - milieux (Loireau *et al.*, 2017), d'autre part, le renouvellement constant et la démultiplication de la capacité d'observation² de la Terre par satellite (Cazenave, 2013), et s'intéresse aux voies possibles d'un travail en interdisciplinarité. Elle pose la question scientifique : comment observer la Terre pour traiter de l'interprétation de la réalité ?

De façon pragmatique, pour comprendre le monde qui nous entoure (le découvrir, lui donner sens, s'y situer, s'y repérer, identifier les formes qui s'y trouvent), **l'important est, pour commencer, de bien observer**. La figure 1 et l'encadré 1 ci-après posent la problématique de l'expérience d'observation avant toute normalisation par la démarche scientifique. Trois moments particuliers de cette aventure y sont pointés :

- trouver la **signification** d'un contenu observé, donc créer de la connaissance ;

2. capacité d'observation et de suivi par télédétection ; l'ampleur des espaces couverts, la fréquence temporelle toujours augmentée des collectes de données, la variété de la gamme spectrale et de la taille pixellaire démultiplient le potentiel et la rapidité de réponse à nombre de questions d'ordre environnemental (Cazenave, 2013).

- par extension, faire se correspondre (et donc donner du sens par l’établissement d’une **correspondance**) des contenus obtenus « en parallèle », observés au cours d’expériences d’observation indépendantes sur une même fenêtre d’observation ;
- savoir **reconnaître** l’observé à l’aide d’un savoir préalable, un champ de connaissance plus vaste et déjà établi.

Ces trois démarches pourtant distinctes sont souvent regroupées sous le seul terme d’interprétation.

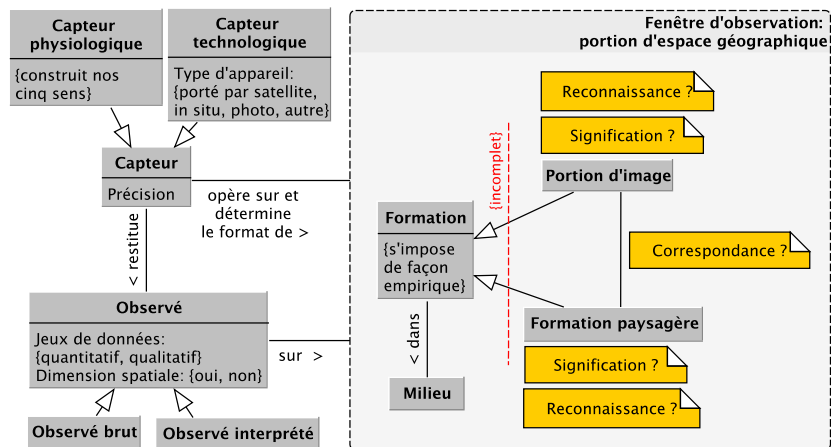


Figure 1. Expérience d’observation - Problématique de départ, avant toute normalisation par la démarche scientifique (voir encadré 1)

L’intention de ce travail est d’asseoir une démarche d’observation en précisant ce qui associe observation et connaissance dans la relation au monde que nous entretenons. Elle est aussi d’élargir l’assise, l’enracinement interdisciplinaire de la démarche. Nous gageons que comprendre et expliquer les relations mises en jeu au moyen d’une ontologie systémique y contribuera en même temps qu’elle épaulera l’exercice de l’interdisciplinarité, lui aussi requis par l’objectif.

1.2. Premières difficultés et grands traits de la démarche

Toutefois, des difficultés apparaissent dès la lecture de l’encadré 1. Une forte subjectivité imprègne en effet la sémantique des termes tels que par exemple observation, perception et monde perçu, interprétation, ainsi que, en bout de course, le résultat du processus d’observation (pris dans son ensemble) vers une représentation du monde. La relation au monde, propre à chacun, met encore l’accent sur la forte relativité des propos sur le monde et des interprétations que l’on en tire. Enfin, l’absence d’explicitation de la démarche augmente la confusion. Que

met on par exemple, pour ce qui relève de la démarche, derrière les termes signification, correspondance, reconnaissance, interprétation, posés en figure 1 ?

Encadré 1 - Expérience d'observation - Problématique de départ, avant toute normalisation par la démarche scientifique (voir figure 1)

De façon très générale, le processus d'observation dépend avant tout de la présence d'un capteur (qu'il soit physiologique, technologique, etc.), celui-ci déterminant le format de la fenêtre d'observation qui lui est associée. Ce capteur [ou un ensemble de capteurs, de même type ou pas, repartis dans la fenêtre] . Les capteurs physiologiques portés par des organismes biologiques rapportent, sur les caractéristiques de milieu ou d'un élément d'intérêt l l l'origine par l'homme, qui mettent en jeu des propriétés et mécanismes physico-chimiques complexes. Le développement technologique propose d'autres modes de capture [à l'image ou voisins de ceux détenus par des organismes biologiques *e.g.* - l l chauve-souris pour détecter les obstacles, ou un système d'orientation des oiseaux sensible au magnétisme terrestre], d'autres capteurs l 'intérêt] qui renseignent sur d'autres caractéristiques du milieu tout aussi complexes [l'opacité et la couleur au-delà du visible, la sonorité au-delà de l'audible, la dureté, la rugosité au-delà du palpable, le magnétisme]. Par exemple, l'observation de la T ll ll enregistrées les radiations reçues de la Terre, dans et au-delà du registre du visible. Les capteurs construits de main d'homme captent des données qui se distinguent par leur nature l l l'origine percevoir ; le monde reconnu comme tangible s'étend du fait de l'évolution technologique des capteurs. Le monde perçu est donc capteur-dépendant et certaines caractéristiques du monde nous sont transparentes, faute du capteur *ad hoc*.

De façon générale, une observation est une expérience de la réalité rendue tangible par la présence de capteur *ad hoc* opérant dans la fenêtre d'observation (il faut donc qu' l

l l'origine du jeu de données (l') est dépendante des caractéristiques propres du capteur, de la sensibilité aux conditions extérieures, etc. et de son mode opératoire. L' l l l réalité vers laquelle le c .

La fenêtre d' 'espace géographique, dont l'emprise l l , voire des contingences de lieu [*e.g.* une barre d'immeuble ou une montagne qui barre la vue ou la prise de vue photographique] et des caractéristiques du capteur [*e.g.* la taille de la fauchée d'un capteur satellite]. Dans l'espace délimité peuvent émerger des formations qui « s'imposent » aux sens, par leur limite et leur contenu qui les distinguent de ce qui les entoure [elles viennent spontanément, qu'il s'agisse d'une montagne ou d'un lac, d'individus représentant des êtres vivants, de « constructions » d'origine animale ou humaine, etc.], constat plus ou moins empirique produit par la perception, mais aussi phénomène vécu, « expérimenté dans son corps » l'origine de l'expérience phénoménologique : *cf.* Husserl in Bakewell (2018) ; voir aussi Pitte (2010) dans une perspective plus géographique]. De telles formations peuvent alors polariser, organiser l'observation, par la structuration de l'espace qu'elles suggèrent.

L'expérience d'observation peut (facultativement) tenir compte de ces formations dans son protocole d'observation et/ou d'analyse. Sinon la fenêtre d'espace unique sur lequel l'observation est menée. L'expérience d'observation commence par être brute ; elle s'élabore ensuite, lorsque le jeu acquis est progressif

autres, interprété. L'expérience d'observation brute est par exemple un jeu de données sous sa forme de réception, ou bien une formation (un sous-ensemble, empiriquement délimité du jeu de données) dont la présence et la physionomie (contenu souvent synthétique et qualitatif) sont constatées. Chez les organismes conscients, percevoir, distinguer des formations dans le milieu et leur attribuer du sens (signification), ou bien les reconnaître (reconnaissance) relèvent de l'interprétation au sens large. De plus, il peut y avoir télescopage de l'étape « capture de données par un capteur » avec l'étape « interprétation de l' » , des filtres s'interposant et/ou l'interprétation étant plus ou moins indissociable de la réception - sensation reçue du capteur.

Non raisonnée, l'interprétation est arbitraire ; conditionnée, programmée, elle est contrainte [l'apprentissage diffère dans sa genèse, selon qu'une intelligence s'active, ou qu'une « intelligence artificielle » est en construction (apprentissage par machine). Le conditionnement (chez les êtres vivants) peut être vu comme un cas limite qui ne nécessite pas ce que l'on entend en général par intelligence]. Raisonnée, elle repose plus librement sur une étape analytique et sur un savoir. L'interprétation appelle l'intelligence ; elle est tout d'abord empirique, intuitive ; elle peut devenir plus explicitement fondée sur l' l l

Quand plusieurs expériences d'observation sont menées sur la même fenêtre d'observation, par différents capteurs ou par renouvellement de l'expérience, la question de leur correspondance se pose.

Tout ceci montre la difficulté de préciser **une méthode pour asseoir l'observation** alors que l'expérience d'observation, l'expérience du monde ne sont jamais les mêmes, d'un individu à un autre, chacun les vivant personnellement, par et dans son corps et selon sa propre histoire individuelle et collective. Le courant de pensée de la phénoménologie (*cf.* Husserl à l'origine puis l'école plus largement, *in* Bakewell, 2018) a amplement documenté cette position mais aussi des romanciers qui évoquent ce vécu au travers du corps (Yourcenar, 1951). Au flou contenu dans la relation de l'individu au monde s'ajoute la complexité de la relation collective d'une société au monde. Il s'ensuit à nouveau un relativisme qui accentue encore la difficulté et semble rendre vaine toute tentative de « normalisation ». Dans ce contexte, le mouvement post-moderne de sociologie des sciences « est une préciosité universitaire totalement incapable de construire une pensée collective » (Bouleau, 2021), qui dénonce la difficulté mais n'apporte aucune proposition constructive pour la circonvier. En fin de compte, une forte **polysémie** existe, qui contribue à la confusion déjà mentionnée.

Avant de poursuivre et, parce que ce travail est interdisciplinaire et s'adresse à des lecteurs , il est important d'admettre que la polysémie des termes est inévitable. Or la communication non ambiguë nécessite, au moins pour le temps de l'échange, un **vocabulaire partagé**. Nous proposons, en annexe, une liste de termes que nous définissons ; ce sont des concepts-clés dans le cadre de ce

travail : empreinte et genèse d'empreinte, entité et épure, existence et existence géographique, formation, milieu, observé et monde perçu, ontologie systémique, forme et *Lien de Forme*, physionomie, réalité, référentiel, sens et *Lien de Sens*, système, modèle et compartiment, tangible. Pour chaque terme mentionné, il ne s'agit pas d'imposer de façon définitive une définition à une large communauté au sein de laquelle un consensus n'existe pas. Il est cependant nécessaire que le lecteur assume cette polysémie et accepte, pour le temps de sa lecture, le sens que les auteurs attribuent à ces termes. Cette liste, à entrées multiples et concertantes, est plus riche qu'un glossaire puisqu'elle montre aussi les relations que les termes entretiennent entre eux (dans la cohérence de notre travail) et/ou en quoi ils se distinguent les uns des autres.

Nous illustrons ci-dessous, à partir d'éléments en figure 1, trois points qui nous semblent cruciaux pour dégager ensuite une piste pour l'étude de la question posée.

– **Point 1** : L'observé résulte de l'observation qui est une action, un processus. On constate cependant beaucoup de flou à propos de la notion d'expérience d'observation. Certains ont déjà en tête l'expérience scientifique qui se distingue en particulier par son souci d'objectivité et son intention de prendre (du mieux possible) la distance nécessaire à l'impartialité. Plus précisément, l'observation consiste dans ce cas en l'acquisition des données selon une méthode, un protocole qu'elle veut rigoureux, vérifiable, reproductible et partageable avec tous et donc tout d'abord explicite (l'ontologie formelle du concept d'observation OBOE³ et les principes directeurs pour la gestion et l'administration des données scientifiques FAIR⁴ s'y emploient). Nombreux sont ceux qui voient cependant dans l'expérience d'observation (et c'est le parti de la figure 1 et de l'énoncé de son titre) le processus dans son entier, de l'observation jusqu'à la « leçon » que l'on en tire, jusqu'à l'interprétation ; c'est bien le cas, vécu, de tout homme dit « d'expérience ». La **subjectivité** et le **relativisme** s'engouffrent par cette brèche et sont source de nombre de malentendus non seulement dans le résultat énoncé à partir de ladite expérience mais aussi sur la notion de processus opérant qui mène au résultat : un mode quasi-réflexe ou conditionné, le mode le plus sommaire ; un mode pensé, mais encore représenté par pure intuition (non explicité), ou bien un mode pensé, empruntant des cheminements que l'on précise pour mener une science de la compréhension ou bien une science de l'explication, par exemple selon des raisonnements de nature probabiliste ou logique (de type inductif⁵, déductif⁶, hypothético-déductif, abductif⁷).

3. The Extensible Observation Ontology: <https://github.com/NCEAS/oboe>

4. Findable, Accessible, Interoperable, Reusable : <https://www.ouvrirlascience.fr/fair-principles/>

5. L'induction (George, 1997) est une forme d'inférence qui généralise ce qui est connu de quelques cas à l'ensemble des cas de la même espèce ; plus largement, elle englobe toute inférence comportant une « projection » du connu vers d'autres cas non connus. Sa conclusion ne serait qu'une conjecture dont la vérité ne peut être garantie (Hume, in George, 1997). Il est parfois possible de réduire un raisonnement inductif à un raisonnement déductif.

– **Point 2** : La relation que nous avons au monde (figure 2 et encadré 2), fondée sur un bipôle monde tangible - représentation symbolique, est ambivalente : cette relation fonctionne tantôt dans un sens (acquisition issue d'observation qui va s'insérer dans l'abstraction), tantôt dans l'autre (lecture du monde tangible avec le concours de représentations déjà acquises) ; elle est à l'origine de processus itératifs pas toujours conscients ni contrôlés. Ces processus, non seulement souvent implicites mais aussi propres à chaque individu, sont la source de flou dans le mode d'acquisition de connaissance sur le monde, sur la qualité des acquis ou la pertinence des décisions qui s'ensuivent. **Subjectivité, imprécision** dans le message, voire **incommunicabilité** représentent de nouvelles sources de difficulté.

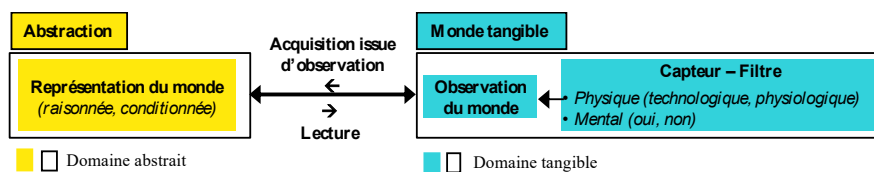


Figure 2. A l'origine de la relation au monde (voir encadré 2)

Encadré 2. A l'origine de la relation au monde (voir figure 2)

La relation que nous avons au monde qui nous entoure consiste dès l'origine en la conjugaison d'observations et de représentations. Elle peut être schématisée par une relation complexe qui confronte et relie dans un va et vient continuels deux domaines, le domaine du tangible qu'il est possible de percevoir avec le concours de capteurs, et le domaine de l'abstraction : 1) du monde tangible vers l'abstraction, une relation d'acquisition d'observations menées sur le monde, une démarche composite mais non explicitée, allant de l'observation jusqu'à la symbolisation des représentations et des connaissances, 2) du domaine de l'abstraction vers le monde tangible, une mise en relation de ces deux mondes par la lecture des produits de l'observation selon les schèmes abstraits préalablement acquis. La démarche n'en est pas explicitée non plus. La lecture se fonde donc sur les représentations intériorisées du monde, qu'elles aient été transmises par l'éducation ou acquises par auto-apprentissage. L'apprentissage est une phase de construction, l'auto-apprentissage est une phase de construction autonome ; induite à la suite d'une observation par une remise en cause, une absence de réponse selon les schèmes préalablement connus, elle entraîne la révision des représentations en cours.

6. dont la voie royale en science est (et a longtemps été) le raisonnement hypothético-déductif.

7. 'tion (George, 1997) consiste à expliquer u

desquelles on pourrait inférer le phénomène à expliquer.

La relation au monde tangible consiste donc en ces liens de deux types, souvent impliqués
 processus itératifs, 1) où capteurs physiologiques ou technologiques interviennent en tant que
 filtres auxquels peuvent se surimposer des filtres mentaux liés aux représentations préalables,
 pour aboutir à des observations plus ou moins objectives ; 2) où les représentations du monde
 ou même de quasi-conditionnements où la réflexion intervient peu ou pas.

Une telle ambivalence de la relation est classique jusque dans le domaine
 scientifique où toutefois le souci de clarté suppose qu'elle soit prise en compte,
 explicitée et maîtrisée. Par exemple les observatoires OSAGE (Loireau *et al.*, 2015,
 2017) distinguent dans leur fonctionnement, le mode recherche (qui permet
ad hoc.
 la figure 1 : la
 connaissance
 (sup

– **Point 3 :** En conséquence, se conjuguent assez spontanément l'intuition et
l'empirisme⁸ dont les sources de pertinence se perdent aux origines mêmes de notre
 relation au monde et dont on ne connaîtra jamais les tâtonnements initiaux ni la
 première itération. Goodman (1954, *Fact, Fiction and Forecast*, in Lecourt, 2018)
 s'intéresse à ces commencements où « l'esprit est en marche dès le départ, émettant
 des projections spontanées tous azimuts. Peu à peu, le mécanisme corrige et canalise
 son processus projectif ». Par exemple, le concept de formation mentionné en
 figure 1 témoigne de ce moment où l'on se heurte au fonds de représentation et de
 connaissance, venant de la nuit des temps et fruit de cette relation au monde. Il
 charrie sa part d'induction mais il est aussi, souvent, le support premier
 d'observations plus méthodiques qui enrichissent le corpus de connaissance.

D'emblée, pour tenir compte des difficultés soulevées, notre démarche doit :

- rechercher **l'objectivité** (tout en sachant qu'elle ne peut-être totale) et donc se
 donner un cadre qui nous le permette, autant que possible ;
- distinguer et mentionner de façon claire tout au long du travail quelle
 orientation est utilisée de la relation au monde ; nous les appelons *Lien de Sens*⁹ (du
 monde tangible à sa représentation symbolique) et *Lien de Forme* (de la
 représentation abstraite vers le monde tangible) ;

8. où intervient plus particulièrement le raisonnement de type inductif.

9. Pour montrer qu'il s'agit d'un groupe nominal doté du sens précis que nous lui donnons ici,
 l'expression

– admettre que la connaissance ne peut embrasser le monde dans son entier ni que la lumière soit faite sur l’intégralité de notre relation au monde ; procéder par partie, par point de vue, par modèle partiel/incomplet et imparfait ;

– mais admettre toutefois que l’ensemble de ces difficultés ne nous empêche pas de poser un référentiel existant au-delà de notre seule relation (subjective, limitée, partielle) au monde et de la représentation (incomplète, imparfaite) que l’on s’en fait ;

– avoir conscience de la polysémie de nombreux termes et, pour y remédier, partager, le temps de la lecture, un même vocabulaire.

Cette vigilance ayant été mise en avant, le travail commence par poser le cadre conceptuel (2) où sera proposée l’hypothèse heuristique¹⁰ idoine qui structure la suite du développement. Il illustre en partie 3 l’ensemble des différents liens qui animent la relation au monde (*Lien de Sens* et *Lien de Forme*). Le cheminement du *Lien de Forme*, du monde systémique au monde perçu, est explicité (4) pour déboucher vers une maîtrise de l’observation (5) avant de discuter (6) ce qu’apporte notre hypothèse heuristique, tout particulièrement l’hypothèse de genèse d’empreinte dans la construction d’une science de l’observation, puis l’utilité de sa mise en pratique en observatoires société-milieu.

Enfin, nous posons l’intention de nous situer dès que possible dans le monde de la géographie et, cela va de soi, des sciences qui sont en relation avec elle. En effet, l’intention ultime de la géographie embrasse, de façon très large, l’étude de la relation de l’homme à son milieu.

2. Cadre conceptuel

2.1. Démarche scientifique

La démarche scientifique est une méthode qui élabore une représentation raisonnée du monde. Les figures 3 et 4 en précisent les processus abstraits et les concepts :

– la démarche dans son ensemble améliore autant que possible l’indépendance de l’objet observé du sujet observant, démarche vers l’objectivité ; le *cogito* et l’objectivation sont à l’avènement de la pensée et du raisonnement scientifique (Descartes *in* Moreau, 2016) ; au 17^e siècle, le chimiste et physicien Robert Boyle

¹⁰ A l’origine, l’idée d’une hypothèse heuristique est due à Karl Popper. Plus précisément ici : « Partie de la science qui a pour objet les procédures de recherche et de découverte » (*Le Robert*), qui analyse la découverte de faits. En psychologie, on parle de carte heuristique pour désigner une carte mentale et des relations entre ces idées (*Mind Mapping* ou *Carte Mentale*). Hypothèse heuristique : hypothèse adoptée provisoirement comme idée directrice indépendamment de sa vérité absolue (CNRTL).

précise qu'il faut s'effacer devant les faits en les rapportant de façon honnête, en se détournant de tout excès interprétatif ou spéculatif (Shapin et Schaffer, 2011) ;

– la part expérimentale de la démarche (Bernard, 1865, 1877) et la réfutabilité (Popper *in* Juignet, 2015) permettent le test d'une idée formulée sous forme d'hypothèse et de gagner en certitude, dans le cadre d'une théorie, de façon rationnellement justifiée ;

– l'ordonnement par la causalité et la théorisation (Krivine, 2018) élaborent une représentation raisonnée du monde et construisent la connaissance scientifique.

Par le travail sur soi (au sens individuel ou collectif au sein d'une société), ces processus cognitifs permettent l'élaboration progressive puis l'enrichissement de la connaissance scientifique par raisonnement-réflexion sur l'acquis, par son organisation en une mémoire ordonnée et partagée, en un savoir transmis par l'éducation. C'est la mise en situation (par confrontation au monde) de la connaissance, représentée à cet effet par un modèle (ou plus simplement par un énoncé hypothétique) lié à un questionnement, qui permet de progresser (en gagnant en certitude).

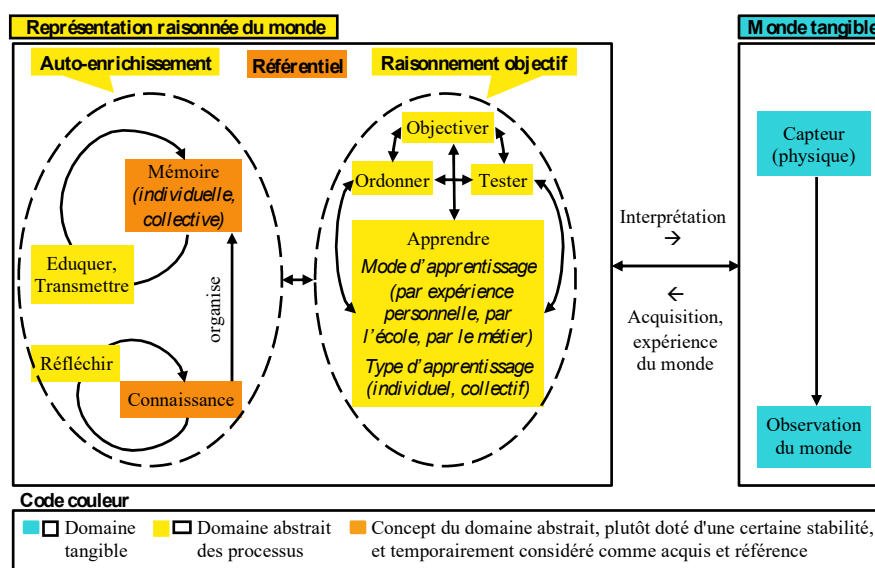


Figure 3. Raisonner et réfléchir - Vers une représentation raisonnée du monde

La démarche scientifique (figure 4) revient à une mise à l'épreuve volontaire d'un modèle et donc de la connaissance qui l'étaie. Mis à l'épreuve, confronté à des données lors d'un protocole dûment construit, le modèle, posé comme hypothèse, se

voit (on non) corroboré et la certitude attribuée à l’énoncé ou au modèle, augmentée ou dénoncée.

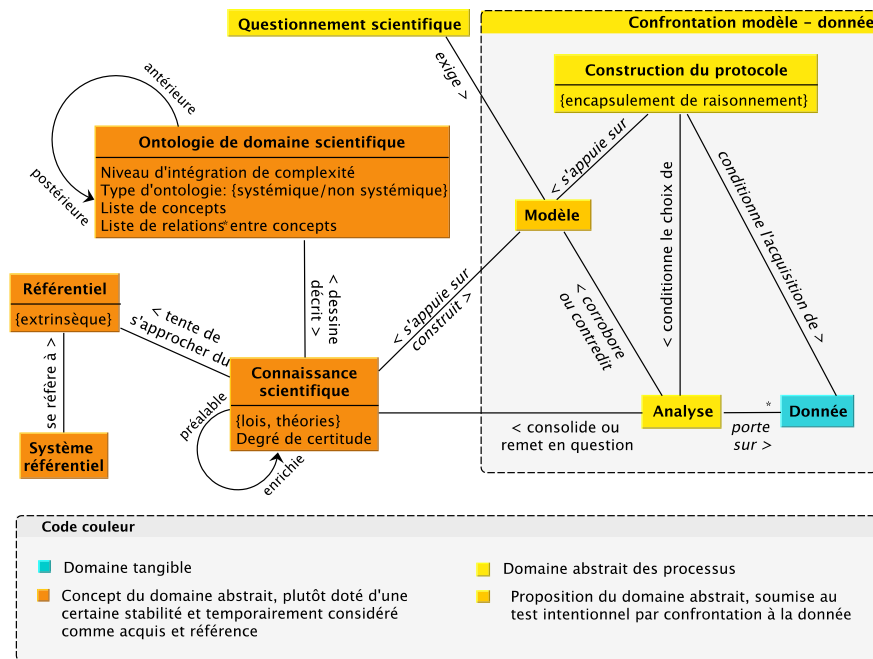


Figure 4. La connaissance et la démarche scientifiques

La démarche scientifique organise à la fois l’observation du monde (protocole d’observation, protocole d’analyse) et les acquis qu’elle en tire ; elle admet l’existence d’un **référentiel** (abstrait, conceptualisé), duquel la connaissance tente de s’approcher, progressivement au fil des études. La manifestation perçue du monde est liée à l’expérience d’observation que l’on en a, inféodée à nos sens et capteurs ; elle est donc manifestation filtrée, partielle voire déformée par nos sens et nos interprétations ou représentations. Nos expériences sont avant tout « incarnées » (cf. Merleau-Ponty *in* Bakewell, 2018). Sartre (*in* Bakewell, 2018), tout en participant lui aussi au courant phénoménologique¹¹, ne remet cependant pas en cause l’existence d’une vérité extrinsèque, à laquelle nos expériences sont confrontées sans pouvoir l’atteindre pleinement. Avec un positionnement ontologique différent, le mythe de la caverne de Platon témoigne aussi (par l’imperfection des formes projetées sur le mur de la caverne) de la quête d’un référentiel externe ; même si nous ne pouvons nous extraire de la caverne, la limite

11. Courant initié par Husserl au début du 20^e siècle (*in* Bakewell, 2018) puis largement discuté ensuite en particulier en France. Courant d’analyse de l’expérience individuelle en tant que reçue, ressentie, vécue et donc relative à chacun, subjective.

de l'entreprise est assumée, comme l'admet simplement Bouleau (2021). Ainsi l'approche scientifique ne signifie pas pour autant l'absence de présupposés ou de questionnements métaphysiques associés qui guident le travail (Bachelard, 1940), la formulation d'hypothèses à tester ensuite (*cf.* Popper *in* Lecourt, 2018), et peut-être même tout le contraire : « Si l'esprit peut changer de métaphysique, il ne peut se passer de métaphysique » (*cf.* Simondon *in* Lecourt, 2018). Dans la démarche scientifique, cette notion extrinsèque, indépendante et existant en dehors de nous, devient la « référence ». Cette démarche tente de dépouiller toute expérience de sa part subjective, et donc d'objectiver. Une cohérence s'échafaude, par raisonnement et réflexion, en modèle¹² pour décrire un système ; cohérence construite à partir des faits constatés ou étudiés ; elle ne relate pas des événements mais construit des relations, restitue des enchaînements (Rousseau, 1989 [1755]) et, par itération, elle est toujours remise à l'épreuve de nouveaux faits. Les faits corroborent (et non pas parfaitement vérifient) ou bien réfutent l'état des connaissances ou l'hypothèse testée (*cf.* Popper, *in* Juignet, 2015). Popper parle de « vérisimilitude », car on n'atteint pas la vérité absolue.

E ê ' ll l l
 mémoire en l' l l'
 l' l
 l' l - ,
 l ,
 (l' l l l ()
 ordonne des concepts ou des idées, mais aussi infère, propose des hypothèses, construit des modèles, fournit des interprétations) ; la connaissance scientifique se , l -dessus,
 l l' , l'abstraction (figure 3) ;
 celle-ci construit lois, théories¹³ et dessine ontologies de domaines scientifiques plus ou moins complexes (figure 4). Nous proposons de nommer ontologie systémique une ontologie fondée sur la connaissance de systèmes complexes, en particulier celle de leur structure-fonctionnement¹⁴ et de leur dynamique. Cette approche ontologique systémique, en tant qu'abstraction construite pour définir le référentiel extrinsèque,

12. Un modèle ou un ensemble de modèles, chacun, plus simple que le tout, ne parlant que , - chacun des mille points lumineux (étoiles émettant ou joyaux réfléchissant la lumière), dit quelque chose de la lumière (Serres, 2014).

13. Une « bonne » théorie non seulement explique, propose avec une vraisemblance l l' ll l' l : inconnu, et anticipe sur son observation ultérieure ; , l : e.g. l' l' l l N par Le Verrier, en utilisant la théorie de la gravitation de Newton ; hypothèse confirmée en 1846 par la première observation (*a posteriori*), de cette planète, non encore connue (Krivine, 2018).

14. Structure et fonctionnement sont les deux faces d'une même pièce, au moment de l'observation. On aborde le l' l' ... l l'on est par exemple morphologiste ou physiologiste, géographe ou écologue.

pourrait être rapprochée de la position de Leibniz (Triclot, 2005) qui recherche le « calcul parfait et ainsi toucher la vérité » ou à celle de Gonsseth (*in* Bachelard, 1950) qui réfléchit à l'exactitude en mathématiques.

Nous approchons et appelons **système** un référentiel dont on reconnaît, au plan des idées, l'existence objective par la « cohérence » qu'il instaure au niveau fonctionnel et évolutif. Il s'agit d'une organisation qui donne sens, dont l'existence (idéelle/abstraite) n'est liée à la contingence matérielle et à la contingence spatiale que dans un second temps (à partir du moment où le système est implanté, voir plus loin la figure 5).

Le concept système appelle un certain nombre d'autres concepts explicités par Fargette *et al.* (2019a) : le fonctionnement dont découle le concept de processus ; la structure dont découle le concept d'organisation ; la dynamique à l'origine du concept de changement et donc d'histoire ; le compartiment¹⁵, modèle extrait par tel point de vue sur le système, qui interprète, organise, décrit le système¹⁶. Ces concepts ont été explorés en les illustrant dans le cas des sciences biologiques et écologiques (Fargette *et al.*, 2019a) et, plus largement des sciences de la Terre et de la vie (Fargette *et al.*, 2018).

Le **modèle** (figure 4) permet de tester une hypothèse ou de vérifier ce que l'on connaît du système référentiel dont il décrit et représente de manière symbolique les caractéristiques et propriétés mises en perspective par un point de vue ; c'est un construit (de tête d'homme¹⁷) relatif à un point de vue et à la qualité de la connaissance sur laquelle il se fonde ; il représente, à un moment donné, une organisation d'un pan de savoir correspondant à une question posée ou au point de vue qui lui est associé. Descartes (*in* Moreau, 2016) aurait utilisé le terme « synthèse » à propos de la démarche qui le construit ; on peut aussi parler d'interprétation. Il est plus ou moins consolidé ou spéculatif selon le besoin et peut même être hypothétique ; à la base d'une question scientifique posée, il est alors la formulation d'une hypothèse scientifique. Sa manipulation permet de travailler une question selon un point de vue spécifique (Minsky, 1995). Les points de vue modélisateurs et les modélisations qui en résultent sont divers dans les outils et symboles qu'ils utilisent et les démarches qu'ils mènent ; même pour des

15. Le compartiment approche le système ; le compartiment « parfait » est système (Fargette *et al.*, 2019a).

16. Souvent, particulièrement dans le cas de systèmes complexes et malgré la conscience de la nécessité d'appréhender le système dans sa globalité, on se contente d'une vision partielle de ses facettes et propriétés en une seule vision ; la notion de point de vue est incontournable, à laquelle correspond le concept de compartiment ; le système est représenté, de ce point de vue-là, par un modèle.

17. Le relativisme culturel apporte une complexité supplémentaire à la notion de point de vue et la représentation qui en découle. Sans occulter de tels écarts de points de vue, liés à la diversité intra-inter-culturelle, il faut reconnaître que la notion de « partie vs totalité » de ce relativisme et à la diversité des perspectives induites par celle des points de vue.

questionnements apparentés, ils montrent leur diversité par le domaine de connaissance que chacun traite ou le focus qu'il adopte. Un concept peut lui-même être décrit par un modèle¹⁸ ayant opté pour un focus particulier (point de vue). Une ontologie est un modèle qui ordonne des concepts selon certains critères, par exemple ' systémique.

La connaissance scientifique dont la forme de savoir est légitimée par la démarche scientifique, construit un monde intelligible et une interprétation (une proposition d'interprétation), un ensemble de théories ; exprimées sous forme de modèles qui décrivent/définissent/« disent » (approche par modélisation, en l'état de la connaissance) le système référentiel ou bien énoncent des hypothèses à son propos. Il existe une **dialectique entre modèle et système** et il y a parfois redondance ou au contraire hiatus entre eux selon l'état de la connaissance, selon les points de vue, toujours parcellaires. L'identité exacte système - modèle verrait l'objectif atteint, la réponse trouvée, sans erreur, le modèle s'identifiant alors à la limite vers laquelle il tend.

C'est sur le relief qu'apporte, telle la vision binoculaire, cette dialectique que se fonde la (l'acquisition de) connaissance et sur ses aspérités (mise en évidence de contradictions ou de vacuités) que naît le questionnement scientifique, que s'élaborent interprétation et hypothèses à tester. La démarche scientifique n'est jamais à l'arrêt. Ce travail laborieux pour améliorer le résultat est peut-être à rapprocher des notions défendues par Rousseau (1989 [1755]) de conjecture (conjecturer n'est pas imaginer mais « tirer de la nature des choses ce qui est le plus probable ») et de perfectibilité (en tant qu'elle permet à l'homme de s'améliorer, ici dans son entreprise de connaissance).

La connaissance scientifique ne peut être certitude incontestable. Par contre, selon Descartes, Leibniz et nombre de scientifiques, elle ne peut que viser la vérité, qu'avoir pour intention d'approcher la/une vérité¹⁹ ; admettre « une » et non « la » vérité revient à adopter « un » modèle pour en parler (à partir « d'un » certain point de vue) et à actualiser ce modèle, à renouveler si nécessaire le point de vue, voire changer de paradigme. La connaissance scientifique, une fois « acquise » (testable, testée et re-testable), est transmise et devient collective : elle correspond à « un » nouvel état de connaissance orienté, avec un certain degré de certitude, vers « le » référentiel et, en l'état, corpus de connaissance partagée, non dogmatique, toujours possiblement remise en cause, quand cela s'avère nécessaire.

En résumé, la démarche scientifique (figure 4) se construit à partir d'une question de recherche plus ou moins large. Elle exige un modèle formel²⁰, construit

18. par exemple, l'espèce, la cellule ou la division cellulaire, l'... ns ce travail, le concept d'épure, modèle géographique (cf. partie 4).

19. Est-... l'... l'... l'... interprétations pour « comprendre le complexe » (Bouleau, 2017), nous interdit ' l' concept de vrai, ne serait-ce que en tant que limite ?

20. Un modèle formel peut être conceptuel, logique, mathématique, etc.

sur la base de la connaissance scientifique disponible et formulée sous forme d'ontologies dont le niveau d'intégration reflète la complexité. Le modèle mobilise et ordonne les seuls concepts et relations pensés et posés comme pertinents étant donné le focus (objectif, échelle) pensé et posé comme adapté à la question ; il synthétise une hypothèse complexe. Érigé sur la connaissance préalablement acquise, il conduit aux protocoles adéquats d'observation et d'analyse (modes d'échantillonnage, de collecte et d'analyse des données) qui concrétisent le raisonnement et explicitent l'action (le raisonnement est encapsulé dans le protocole). L'analyse porte sur des données observées. Les résultats de l'analyse corroborent ou contredisent ce modèle. En conséquence, la connaissance scientifique qui lui est liée s'en voit consolidée, enrichie ou bien au contraire réfutée, invitée à la révision.

Ainsi le modèle, par les choix qu'il fait, pose une hypothèse sur l'organisation ou le fonctionnement, propose une interprétation dont on accepte cependant la remise en cause lors d'un test qui le confronte à une (nouvelle) expérience du tangible, à un (nouveau) jeu de données.

L'ensemble est bien sous-tendu par une représentation raisonnée du monde et l'abstraction qui l'accompagne : au monde complexe que nous observons correspondraient des systèmes (complexes²¹ et des modèles complexes proposant des points de vue, des interprétations, des hypothèses) tandis que la dialectique modèle-système permettrait de poser le test. Les propos de Krivine (2018) « trouver comment approcher au mieux une fonction idéale définie dans des espaces de très grande dimension », de Jean Perrin (1913, *Les Atomes*, in Krivine, 2018) « La science remplace du visible compliqué par de l'invisible simple », sont autant de témoignages de cette démarche, chacun usant d'un vocabulaire, d'une image, etc. pour parler de « l'âme du fait » défendue par Poincaré (in Bouleau, 2017) car, au-delà du constat du simple fait, c'est comme si, dans un moment de fascination, et avec le vocabulaire utilisé ici, le système en soi et complètement compris d'une part et la compréhension complète du système d'autre part se croisaient dans la réflexion pour, un temps, ne faire qu'un [« On les croyait des "buts" » ils deviennent des moyens. », cf. Bachelard, 1950]. Et n'est-ce pas cela que nous recherchons ? Le « système complètement compris » s'approcherait alors du système référentiel [comme le calcul parfait des mathématiciens, l'approche holiste des systémiciens, la vérité des philosophes, l'exactitude²² discursive de Gonseth, cf. in Bachelard, 1950]. Même si nos modèles scientifiques imparfaits reflètent nos interprétations et représentations, ils tendent vers ce référentiel alors même que nous ne le saisissons jamais complètement [« une éternelle reprise des sources du vrai », cf. Bachelard, 1950].

21. agrégations et/ou emboîtements de systèmes élémentaires ou complexes en interactions, tout.

22 d'exactitude (Bachelard, 1950).

2.2. Existence géographique

En s'appuyant sur le cadre formel système - modèle de la démarche scientifique et en déclinant ci-dessous la réflexion dans le cas de la géographie, il est posé le concept d'existence²³, en tant que concept partagé par toute science quand elle déploie ses lois, ses raisonnements, ses outils, et le concept de réalité²⁴ dans le cas de l'existence géographique. La figure 5 et l'encadré 5 proposent un modèle général où sont introduits et précisés le concept d'existence, l'existence géographique et la réalité de l'instance planète Terre.

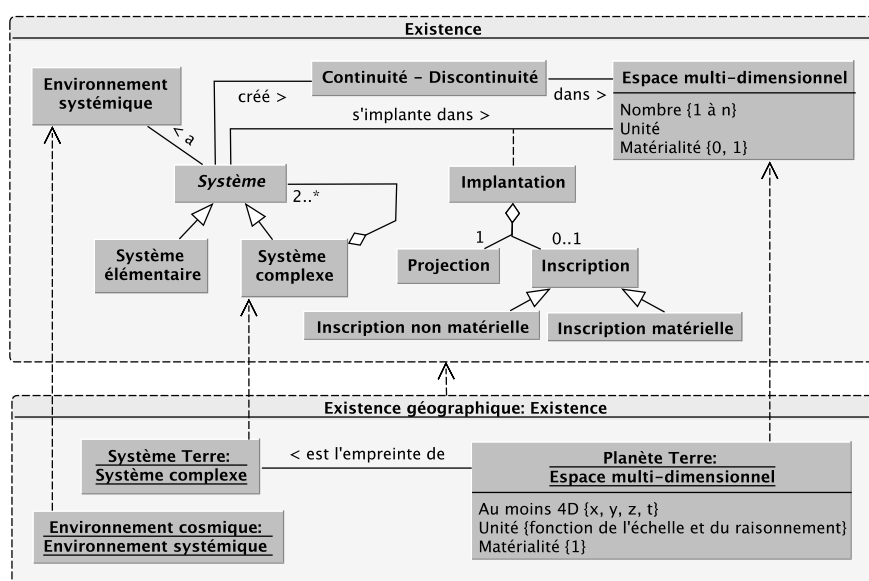


Figure 5. Existence géographique et réalité de la planète Terre (voir encadré 5)

Dans le cadre ainsi défini, système Terre est une instance de système complexe, fonctionnant et évoluant (dynamique) dans son environnement cosmique, lui-même instance d'environnement systémique. Une fois le système Terre implanté, avec toute sa complexité dynamique et fonctionnelle, en planète Terre, les processus systémiques se déploient et, par voie de projection et inscription, la planète Terre devient le théâtre des phénomènes énergétiques et géographiques leur correspondant et qui s'y inscrivent. La matérialité serait donc le principe à l'origine de la réalité,

23 ' ' 1 concret » ; les symboles, les idées existent.

24 1 1 ' II apteur, une forme « en soi », non encore perçue ni pensée par quiconque. De composante matérielle, la réalité est référentiel concret (cf. partie 2.4).

inscrite dans un espace appréhendé à l'échelle planétaire ou aux échelles infra-planétaires et possédant quatre dimensions (x, y, z, t) dites spatiotemporelles.

Encadre 5. Existence géographique et réalité de la planète Terre (voir figure 5)

Un système, en tant qu'organisation abstraite, est en capacité de fonctionner dans son environnement systémique, du fait de sa qualité de cohérence (viabilité) et selon les principes qui le constituent. Par son implantation dans un espace multidimensionnel, sa structure et son fonctionnement sont rendus effectifs et attestent de son existence dans cet espace. L'existence tient à l'implantation, que celle-ci consiste en projection seulement ou, facultativement en plus, en inscription ; la projection relève de l'instantané tandis que l'inscription, matérielle ou non, rend possible la mémorisation (*i.e.* au-delà du labile).

Ce faisant (*i.e.* dès qu'il est implanté), le système créé des continuités et des discontinuités dans l'espace et les limites où il s'inscrit.

La connaissance scientifique conçoit progressivement et affine le modèle de (chaque) système par l'étude des caractéristiques et des continuités - discontinuités de l'espace lui correspondant (domaine de définition, nombre de dimensions et limites ; selon quels registres et unités ? Parmi celles-ci, et pour ce qui nous intéresse ici, la dimension temporelle intervient-elle ? ' ainsi conçu fait-il appel à une matérialité ou bien reste-t-il dans le monde de l'abstrait ?).

La géographie constate et étudie un cas particulier d'existence (l'existence géographique), dont le sens est ontologiquement attaché au système Terre, instance de système, et à sa logique, imprimée dans la réalité de la planète Terre. Les points de vue qui y sont portés sont divers, portant sur son fonctionnement (selon différentes composantes/points de vue : mécaniques, énergétiques, etc.), sa matérialité, son histoire et ce à différentes échelles et selon divers focus.

Nous positionnons le concept d'empreinte :

- la planète Terre, inscrite dans un espace quadridimensionnel, est l'empreinte du système Terre ;
- l'empreinte est associée à la fois au concept d'inscription matérielle et à la notion de mémoire qui l'accompagne (Viers, 1967 ; Leroy-Gourhan, 1965).

Une fois le système Terre implanté, projeté et (donc) inscrit dans la matérialité, l'empreinte résulte du fonctionnement du système et de ses changements de fonctionnement au cours du temps. L'empreinte est non seulement reflet de l'instantané²⁵ mais elle peut aussi enregistrer, retenir²⁶ (ou effacer) les événements et ainsi révéler un passé, une histoire.

25. Empreinte instantanée : *e.g.* vue par satellite des formations cycloniques (nébulosité, température, pression, vent).

26. Empreinte avec mémorisation : *e.g.* les formes géologiques, les biomes, etc., et leur répartition sur la planète.

Les sciences géographiques, adossées à d'autres sciences de la Terre, de la vie, des sociétés, s'intéressent à ce qu'un espace de ce monde révèle du système Terre.

2.3. Ontologie de domaine : cas de la classification pour ordonner la connaissance et pour aider à reconnaître

La méthode de classification présentée en figure 6 (et encadré 6 ci-après) peut être utilisée pour proposer un ordonnancement de la connaissance et ainsi aider à en définir le contenu ; elle consiste à regrouper des instances autour de concepts, selon une organisation hiérarchique, celle-ci fondée sur le partage organisé (ici emboîté) de leurs attributs ou propriétés. Les classes ainsi constituées et organisées correspondent à un point de vue, en l'occurrence le choix des critères retenus et de leur poids, qui détermine leur place dans la hiérarchie. Pour procéder, elle se fonde sur l'analyse et la comparaison des instances que l'on veut classer et sur les choix préalablement faits (*a priori*), eux-mêmes fondés sur de la connaissance plus ou moins assise et une théorie plus ou moins solide.

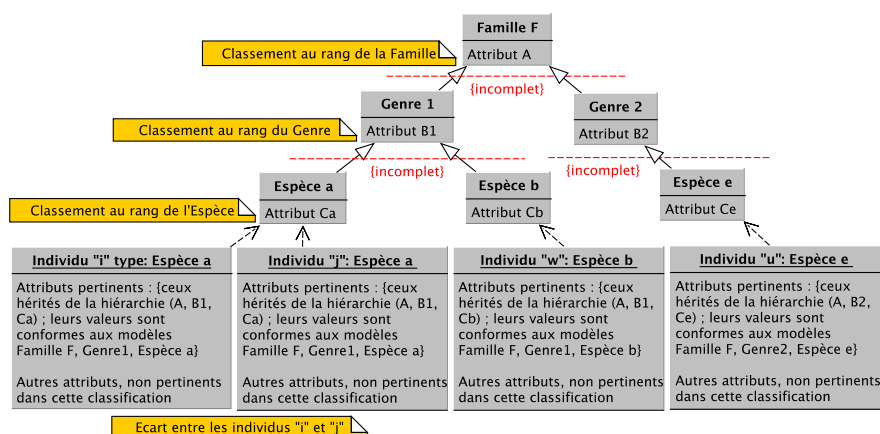


Figure 6. De l'ordonnancement de la connaissance à la reconnaissance - Classification et identification (voir encadré 6)

Par exemple, dans les sciences biologiques, sur le fonds d'étude et de description d'individus, la méthode de classification commence par l'observation, la comparaison d'individus et leur regroupement guidé par leur ressemblance²⁷ : caractères partagés (approche structurale) et/ou leur héritage commun (approche dynamique, évolutive). Il s'agit de la phase de construction d'une classification où les individus ainsi regroupés appartiennent par exemple à une même espèce (dont ils

27. où s'inscrit une variation « naturelle » (figure 6).

sont des instances) et donc à une lignée ontologique en remontant les rangs de la classification. La classification des organismes, ensuite l'arbre évolutif du vivant, ont été et sont encore en permanente construction et révision ; à un moment donné, chacun est le reflet de l'état des connaissances selon ce point de vue. Une classification à la fois bien menée (méthodologie) et menée sur un objet d'intérêt et selon un point de vue pertinents, présente un contenu doté de sens et reflète un arbre du vivant référent, approché par un certain état de connaissance. En particulier une connaissance de type systémique (en l'occurrence ici celle relevant de la biologie et de l'évolution) infuse ses acquis de connaissance dans les classifications de cet exemple. Réciproquement, sur la base de la connaissance contenue et ordonnée dans une telle ontologie et en reconnaissant le sens attaché aux concepts biologiques d'espèce et d'évolution, on peut assigner à une classe de rang espèce, et par là identifier et nommer, des individus observés selon le protocole *ad hoc*.

**Encadré 6. De l'ordonnement de la connaissance à la reconnaissance -
Classification et identification (voir figure 6)**

L'ensemble des attributs d'une classe se range :

- ou bien dans le « α » partagé par toutes les classes appartenant à une même classe supérieure dans la hiérarchie ;
- ou bien en « corolle », correspondant à certains critères (de type caractère ou modalité de caractère) qui au contraire apportent des éléments de distinction entre ces mêmes classes.

A chaque rang de la classification, les classes s'organisent et s'emboîtent selon une hiérarchie fondée sur le partage des caractéristiques- α

En descendant dans la classification 1 α (l'ensemble des attributs partagés par l'ensemble des membres de la classe), est toujours plus grand. En représentation des connaissances, la hiérarchisation opère par spécialisation de concepts. En biologie, par exemple, on parle de taxons de rang espèce, genre, famille, ordre, etc. en remontant les rangs de la classification.

La mesure et la comparaison des attributs entre individus d'une même espèce dans le monde réel (instances) révèlent un écart (statistique) donc une diversité, une dispersion possible autour de la valeur constatée chez l'individu de référence appelé type. La nature et l'origine de la variation sont importantes à connaître et vont être discutées en partie 4 (*cf.* figures 11 et 14).

Réciproquement, à partir de donnée(s) observée(s)/mesurée(s) sur un individu, l'assignation de celui-ci à une classe-Espèce (c'est-à-dire l'identification dans le contexte de la classification en jeu) concentre l'observation sur les caractères pertinents (les attributs de classe correspondante (Il (α 'une classe de rang supérieur. Dans le même temps, elle prend en compte l'écart au type au moment de l'assigner, ou pas, à telle classe et donc d'en faire une de ses instances. Une telle décision est assistée par modèles statistiques ou probabilistes.

D'autre part, selon le rang de classement choisi et donc l'ensemble des attributs dits « de α » qui le définit (et dont dépend le protocole d'observation), deux instances seront assignées à la même classe ou au contraire, seront dans des classes différentes. Par exemple,

l'observation est celui de l'Espèce a, soit « A, B1, Ca », les individus i et j seront identifiés en tant qu'instances de l'Espèce a, tandis que les individus w et u seront identifiés en tant qu'instances de l'Espèce b, soit « B, B1, Cb », l'observation est celui du Genre 1, soit « A, B1 », alors les individus i, j et w relèveront de la même classe [taxon] (Genre 1) tandis que l'individu u restera distinct.

critères de discrimination et, partant de là, les caractéristiques à observer et le résultat de la démarche d'identification : l'observé. Nous reviendrons sur ce point dans la suite du travail.

Une classification serait exacte d’une part, si elle représentait au plus près le référentiel ; d’autre part, ’l ’ plus d’ambiguïté dans l’identification (*i.e.* l’assignation d’un nom à un individu) ; les requis en termes de clarté et distinction seraient alors remplis (Descartes *in* Moreau, 2016).

Le recul dans le domaine des sciences biologiques (des sciences de la systématique à celles de l'évolution) donne un relief particulier à la démarche de classification, notamment par l'attention portée au cadre conceptuel, aux types de caractères retenus (Barriel et Bourgoïn, 2000), et sur lesquels portent les « observations », et aux soubassements conceptuels, mathématiques ou statistiques (Page et Holmes, 2004 ; Baele *et al.*, 2018) œ construire les classifications et les « arbres ». Ce recul met en lumière comment, au fil du temps et du questionnement scientifique, non seulement l'amélioration de la capacité d'observation et d'analyse, mais aussi les ajustements, voire les révolutions d'interprétation qui définissent le cadre théorique, façonnent et affinent le modèle approchant le système ; le concept systémique d'évolution et la théorie de l'évolution du vivant sont devenus décisifs, en tant que paradigme pour décrire, interpréter, comprendre le vivant (Lecointre et Le Guyader, 2001), pour donner les bonnes clés d'organisation des taxons (élaboration d'une ontologie issue de la systématique) et réciproquement d'identification d'individus (assignation à une classe, appartenance à un taxon).

En observation de la Terre, domaine scientifique et technologique encore récent (Cazenave, 2013 ; Kugler *et al.*, 2019), la terminologie de classification est aussi utilisée, dont la méthode reflète au moins en partie cette approche vieille de plusieurs siècles dans le domaine de la systématique en biologie (Linné, 1758 ; Fischer et Tassy, 2014), de quelques décennies dans celui de l'évolution du vivant (Lecointre et Le Guyader, 2001) et de quelques millénaires dans la pensée aristotélicienne (*cf.* Aristote *in* Dhondt, 1961). En télédétection par exemple, on observe des portions d'espace géographique. Par l'analyse de données spatialisées (leur contenu, leur organisation et leur dynamique spatiale) dans une image satellitaire par exemple, on souhaite, *in fine*, distinguer, qualifier sur des polygones des témoins de structures [*e.g.* *landcover*, forêt, ville, etc. *cf.* Lucas *et al.*, 2019], ou de matière (Lane *et al.*, 2015), de processus [*e.g.* production agricole et ses

modalités, cf. Fargette *et al.*, 2017] ou de dynamique temporelle [e.g. déforestation, cf. Village Daza *et al.*, 2020].

Il est intéressant de noter aussi que Rousseau (1989 [1755]) évoque les premiers tâtonnements des hommes qui ont découvert la possibilité de catégoriser le réel. Il envisage la problématique de la « bonne généralisation » dont dépendent, selon lui, les réussites ou les échecs de la science comme de la philosophie.

2.4. Hypothèse heuristique et démarche d'ensemble

L'expérience du monde (cf. figure 1) et la connaissance que l'on en acquiert (cf. figures 2 et 3) relient et confrontent dans des processus d'aller-retour complexes et itératifs un bipôle : le monde tangible tel que reçu de notre expérience d'observation et le monde représenté, ordonné selon notre découverte et notre compréhension. Pour comprendre le monde et notre relation au monde par une approche systémique, pour tenir compte aussi des difficultés de la problématique d'observation citées en introduction et des pistes mentionnées pour y remédier (cf. point 3 en partie 1.2) et convenir au cadre conceptuel présenté ci-dessus, nous proposons :

- de remplacer le bipôle initial (monde tangible-monde représenté) par un quadripôle [modèle - système - réalité - monde perçu] dont nous détaillons ci-dessous chacun des pôles et leurs associations ;

- de découpler pour un temps le processus d'aller - retour présenté dans ce bipôle pour considérer, séparément et l'un après l'autre, le *Lien*²⁸ de Sens et le *Lien* de Forme.

Ainsi, le temps de ce travail, l'hypothèse idoine (cf. l'idonéisme²⁹ de Gonseth) est proposée (figure 7), qui constitue notre hypothèse heuristique (cf. note 10) entre tout et partie, entre abstrait et concret³⁰ (elle est organisée selon les deux axes de la boussole posée sur la figure 7) : 1) verticalement : le tout (version holiste : système et réalité, registre du haut) *vs* la partie (version point de vue : modèle et monde perçu, registre du bas) et 2) horizontalement : l'abstrait (système et modèle, registre de gauche) *vs* le concret (réalité et monde perçu, registre de droite).

Les concepts de système, modèle, système référentiel ont été introduits en partie 2.1 ; réalité et empreinte, en partie 2.2. La distinction entre le concept de monde perçu (mentionné en partie 1) et celui de réalité permet de rendre compte de

28. « Lien » est défini dans le sens du Centre national de ressources textuelles et lexicales (<https://www.cnrtl.fr/definition/lien>): « un élément qui réunit, rattache deux choses entre elles, assure leur relation, les met en rapport ; le rapport lui-même ».

29. « L'idonéisme se situe dans une « IV » » [Gonseth, 1947 in Bachelard (1950)].

30. Il est intéressant de noter que Bachelard (1938) considère comme « scientifique la relation concret-abstrait ».

- 1 **l'observation** : « le monde perçu témoigne de la réalité » et réciproquement « la réalité se manifeste dans le perçu (*i.e.* les données

observées) ». Toutefois le monde perçu restitue une partie seulement, incomplète et biaisée (filtrée, déformée) de la réalité. En prenant conscience des contraintes « incontournables », *a priori* (les préjugés selon le

en repoussant le référentiel au- maîtriser l' adéquats. Cette maîtrise ;

– entre modèle et monde perçu, la **confrontation** : « ce qui est perçu du monde est formalisé³¹ en un modèle qui explicite une organisation » (modèle systémique conçu à partir de données analysées) et réciproquement « un modèle prédit, décrit (et éventuellement recherche dans les données) ce que l'on pourra observer » (entre une connaissance modélisée voire même théorisée et le monde perçu, modèle de préfiguration de la donnée « attendue », qui peut assister la construction de protocole d'observation – cf. parties 4 et 5) ;

– entre modèle et système, la **compréhension par le raisonnement** (cf. système compris) passe par l'enrichissement progressif de la connaissance et par la théorisation ; l'intégration vers le tout gagne en complexité et tend vers le système référentiel : « le modèle décrit une proposition d'organisation/propose une interprétation selon une vision partielle du système (*i.e.* un point de vue) » ; « il enrichit et s'intègre dans une vision plus large » ; et réciproquement « le système plus complexe est à l'origine de la proposition de modèle en tant qu'hypothèse à tester, à confronter au monde perçu et, par-là, à la réalité » ;

– entre système et réalité, nous proposons le processus de « genèse d'empreinte » (concept explicité dans ce travail mais voir aussi Fargette *et al.*, 2018, pour sa première mention) qui tient à l'implantation et au fonctionnement du système référentiel : « Le système se projette et s'inscrit dans la réalité » (ce faisant il génère une empreinte) et réciproquement « l'empreinte révèle l'activité systémique ». Wittgenstein (1921, *Tractatus*, in Lecourt, 2018) pose une

« "ressemblance" de nature logique – un isomorphisme – entre le "tableau" que constitue la proposition » [ici, le système référentiel] « et la réalité. Ainsi la logique est le "miroir du monde". »

En conséquence, les concepts d'empreinte et de passage peuvent être définis comme suit.

– **Empreinte** : Précédant la diversité des points de vue mentionnée plus haut, ce qui se donne³² à voir a pour origine un système (complexe), celui-ci étant générateur d'empreinte dans la réalité du monde. La genèse d'empreinte procède du fait du système, indépendamment du sujet³³ qui ensuite observe, du capteur qui capte. L'empreinte préexiste à toute observation. L'empreinte est donc inscription dans le

31 S 1 V l' l l' l (MOOC « Renaissance en Val de Loire », université de Tours).

32 , l , de tangible.

33 Q ' l l l

référentiel concret (réalité) et découle d'une logique systémique relevant du référentiel abstrait (système référentiel). La réalité peut être vue comme un agrégat d'empreintes, chacune relevant d'un système à un niveau d'intégration donné.

La relation système - empreinte proposée ici est à rapprocher de celle entre système et « physionomie du lieu » défendue dans le domaine de la géographie (Claval, 1974 ; Brunet, 1974 ; Brossard et Wieber, 1984) comme dans celui de disciplines qui lui sont liées, tout en mettant un accent sur l'aspect plutôt systémique, comme par exemple l'agronomie (Deffontaines, 2004 ; Michelin, 2008). En conséquence, suivre l'évolution d' , ou de façon plus générale l'évolution de tout système socio - bio - physique d'une part, et le suivi du changement de la physionomie des espaces concernés d'autre part, sont deux points de vue sur la même relation.

– **Passage :** Le « passage » tel que posé en figure 7 est donc un raccourci du monde perçu vers la logique systémique qui lui est liée. Cette simplicité apparente ne doit en rien faire oublier la complexité à laquelle il s'adosse. Le passage, thème central de l'heuristique, entre les mondes abstrait et concret peut être parcouru dans un sens ou dans l'autre (*Lien de Sens* et *Lien de Forme*). Lorsqu'il est explicité en modèle, il propose une interprétation qu'il est possible de tester. Sinon, il demeure simple concordance (corrélation, covariation ou autres associations selon le mode de « calcul » adopté).

Nous constatons que l'hypothèse heuristique proposée en figure 7 mobilise la confrontation scientifique et la compréhension progressive vers une connaissance intégrée du monde (discutées en partie 2), qu'elle introduit le concept de genèse d'empreinte et celui d'empreinte qui en découle, et qu'elle positionne la science de l'observation pour maîtriser l'observation.

Nous proposons d'illustrer, en partie 3, la genèse d'empreinte de notre hypothèse heuristique à partir d'exemples en situation oasienne. Ce faisant nous détaillons un exemple de *Lien de Sens* en partie 3.1.1 (construit ici selon un raisonnement inductif) ; nous examinons le bien fondé du concept d'empreinte en partie 3.1.2 (selon un raisonnement hypothético-déductif et la confrontation modèle - monde perçu) ; une fois l'hypothèse d'empreinte corroborée en partie 3.1.2, nous introduisons en partie 3.2 le modèle géographique « Épure » et par là l'illustration du *Lien de Forme*.

Le *Lien de Forme* sera plus méthodiquement exploré en partie 4 (selon une démarche discursive³⁴) pour synthétiser en partie 5 certains aspects du contexte systémique auxquels se confronte l'observation et qui conduisent, en partie 6, à une science de l'observation.

34. Qui procède par raisonnements successifs (opposé à intuitif) : cf. Bachelard (1950) commentant Ferdinand Gonseth.

3. Illustrations en oasis

Les illustrations s'appuient sur un travail réalisé sur l'oasis de Nefta (sud de la Tunisie) précédemment publié (Fargette *et al.*, 2017, 2019b).

3.1. Du monde perçu à l'abstraction : le Lien de Sens et le concept d'empreinte

L'intention n'est pas de revenir ici sur le détail des protocoles d'acquisition et d'analyse des données, ni sur celui du contenu précis de la typologie des systèmes de culture, de la description des types ou sur les chiffres de la performance d'assignation (voir pour cela le contenu de Fargette *et al.*, 2017). Nous présentons plutôt la démarche suivie (le raisonnement et les opérations), conformément au cadre formel que nous nous avons donné et en quoi elle rencontre l'hypothèse heuristique (*cf.* figure 7).

3.1.1. Illustration d'un Lien de Sens en oasis

Pour répondre à la question « Quels types d'agriculture en oasis ? », une expérience d'observation et son analyse ont été menées par un agronome, en tant qu'expert de ce domaine scientifique, pour aboutir à l'établissement d'une typologie de systèmes de culture (Fargette *et al.*, 2017). En suivant les éléments de démarche scientifique présentés en figures 4 et 6, la figure 8 illustre le raisonnement et les opérations effectuées.

Il y a une diversité de types de systèmes de culture en oasis, qui sont liés à la diversité des types de fonctionnement, comme autant de spécialisations du système de culture. Chaque type résume un ensemble cohérent de traits en lien avec les équipements, les savoirs et les actions déployés dans les parcelles agricoles de l'oasis.

Raisonnement

– La question « Quelles agricultures en oasis ? » (figure 8) est abordée par le concept de système de culture ; le point de vue choisi sur le système est celui de la « typologie » ;

fonctionnels, diversité systémique organisée qui conjugue les traits en un fonctionnement effectif sur chaque parcelle agricole. La typologie rend compte de la diversité des types de fonctionnement, comme autant de spécialisations du système de culture. Chaque type résume un ensemble cohérent de traits en lien avec les équipements, les savoirs et les actions déployés dans les parcelles agricoles de l'oasis.

– Cette proposition s'appuie sur la connaissance agronomique qui, lors d'une approche systémique en exploitation agricole, croise, dans une ontologie du domaine (*cf.* figure 4) agronomique, des aspects biologiques, environnementaux et socio-

(liées). Toute exploitation agricole présente un ensemble de traits fonctionnels qui sont autant de propriétés plus ou moins diversifiées, spécifiques et

cohérentes pour assurer son fonctionnement et sa longévité. Une exploitation agricole, par son « profil fonctionnel » se rattache à un type de cette classification.

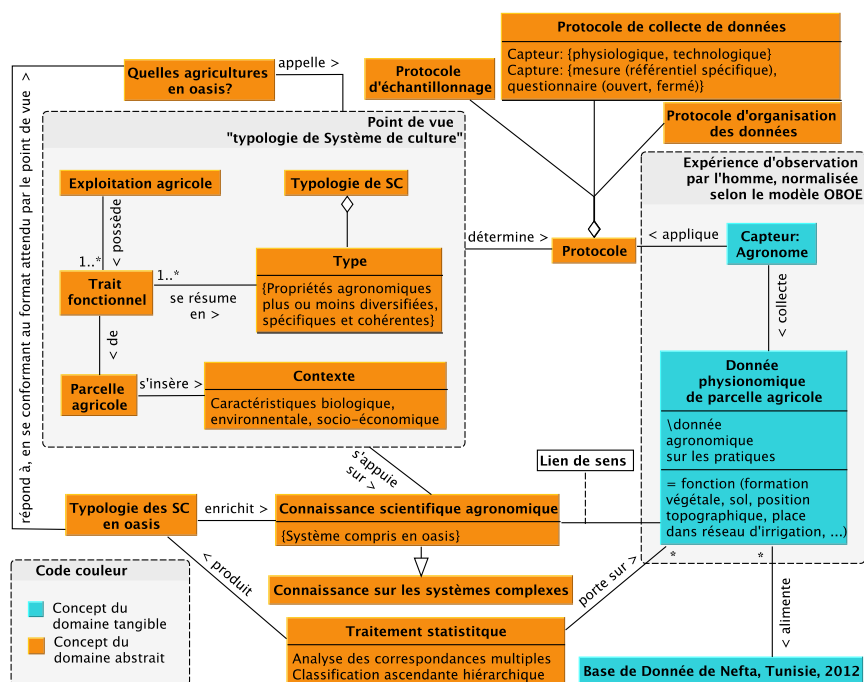


Figure 8. Acquisition d'un Lien de Sens en oasis

– Les protocoles d'échantillonnage et de collecte des données tiennent compte de la connaissance disponible sur les systèmes en jeu et le contexte où ils se déploient, ce qui implique aussi temps et espace. Façonnés par la connaissance experte que l'agronome a des facteurs et des interactions pertinents pour le système de culture en jeu, les protocoles suivent son point de vue pour expliciter les jeux de données à acquérir ; le protocole d'organisation des données peut aussi prévoir la structure d'une base de données et l'explicitation des métadonnées, ici encore à partir de la connaissance experte de l'agronome. Ceci est un préalable à la collecte-même des données qui prend ensuite une forme adaptée au contexte (fiche d'observation directe sur le terrain, grille d'entretien avec les acteurs).

Opérations

– L'expérience d'observation (figure 8) : la collecte des données (jeu de données D1) a eu lieu en l'oasis de Nefta, de mars à juin 2012 ; elle a été guidée par les protocoles et menée par le capteur, en l'occurrence un homme, praticien formé à cet exercice ; elle porte sur la physionomie des parcelles agricoles et repose aussi,

fondamentalement, sur la connaissance et sa modélisation (l'ontologie du domaine agronomique, contenue dans l'expérience de l'expert). La question modélisée selon le point de vue « typologie de système de culture » est à l'origine de la collecte des données.

L'ensemble est décisif pour structurer la base de données. La donnée collectée respecte aussi le format de l'ontologie de l'observation OBOE³⁵ (Madin *et al.*, 2007).

– Le traitement des données : l'analyse multivariée des données distingue, organise la diversité que déploie dans l' , en l'occurrence l' , dans des parcelles agricoles en classant les parcelles selon le bouquet de pratiques³⁶ qui y est constaté. Sont ainsi dégagés des types, par classification. L'organisation fonctionnelle de chacun des types est synthétisée, à partir des traits fonctionnels décrits tels qu'en témoigne l'observation des pratiques dans les parcelles et regroupés sous un même type. Ce résultat enrichit la connaissance agronomique en fournissant, en oasis, un ordonnancement dont on pourra ensuite vérifier la pertinence. Il est assigné un type à chacune des parcelles où a été menée la collecte de données.

La typologie des systèmes de culture oasiens ainsi obtenue est le résultat d'une expérience cognitive qui répond à la question initialement posée. Il s'agit d'une classification faite de spécialisations, qui s'inscrit dans celle, plus large, des systèmes de culture en général, une ontologie « simple », c'est-à-dire une hiérarchie arborescente, faite d'emboîtements. En reprenant les termes de l'hypothèse heuristique (*cf.* figure 7) : le monde agricole oasien, perçu par un agronome (qui récolte un jeu de données D1), est formalisé en un modèle systémique qui s'intègre dans une compréhension plus large des agrosystèmes. Entre monde perçu et système, nous venons d'acquérir de la connaissance, de parcourir un *Lien de Sens*.

3.1.2. Le concept d'empreinte : mise à l'épreuve en oasis

En suivant la démarche scientifique présentée en figure 4, la figure 9 illustre en oasis le raisonnement et les opérations effectuées pour confronter l'hypothèse d'empreinte aux données.

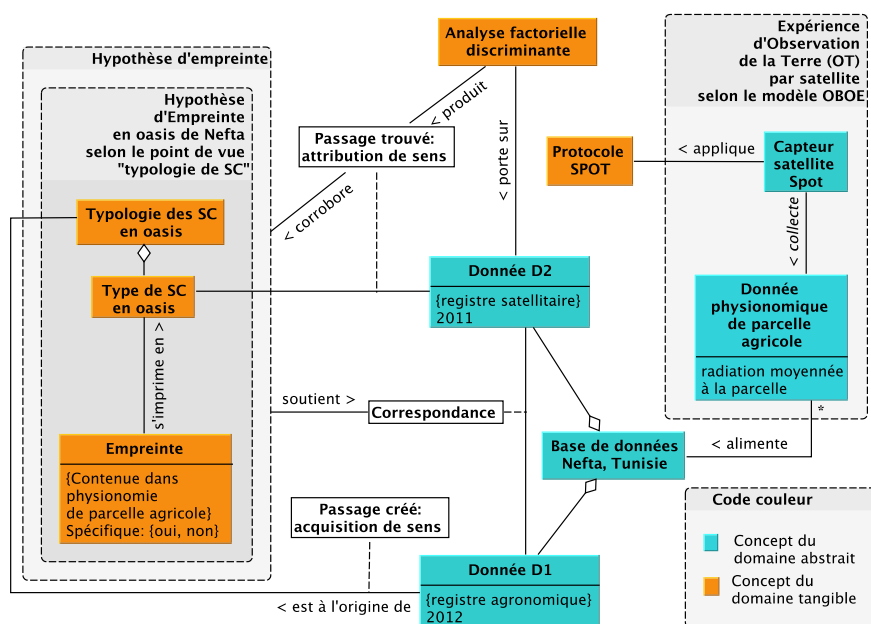
S l l l l l
du point de vue « typologie des systèmes de cultures » utilisé en partie 3.1.1 pour construire la typologie en oasis.

Raisonnement

– S l l l l (cf. figure 7), des jeux de données, indépendants (monde perçu) et portant sur la même empreinte (réalité), devraient

35. Ontologie formelle à un haut niveau de conceptualisation / généralisation explicitant la l' : <https://github.com/NCEAS/oboe>.

36. en tant que témoins de traits fonctionnels.



Dans le cas de l'oasis, la logique systémique contenue dans la typologie de systèmes de culture devrait être contenue dans l'empreinte de chacun des types de systèmes de culture, une signature leur correspondre dans la réalité, que l'on devrait retrouver dans la physionomie³⁷ des parcelles agricoles (monde perçu). Dans le cas le plus net, il y aurait spécificité (signature au sens le plus strict³⁸) : à un type de système de culture serait associé, sous un mode d'observation donné, une seule physionomie et *vice versa*.

– De plus, les jeux de données correspondant à deux modes d’observation indépendants des parcelles agricoles portent sur la même empreinte (issue du même système de culture en place) et de ce fait devraient manifester la même logique systémique (*i.e.* ne pas être indépendants l’un de l’autre).

37. *cf.* encadré 1, *cf.* la « physionomie des lieux » introduite en partie 2.4, à la suite de la
l' *cf.* vocabulaire partagé.

38 O , 1 , 1 1

Plus précisément, nous proposons de confronter la représentation par typologie des systèmes de culture (en l’occurrence la classification en types, obtenue ci-dessus à partir du jeu de données D1, partie 3.1.1) à un deuxième jeu de données (D2) dont la nature et le mode d’acquisition sont indépendants du premier, en l’occurrence des données satellitaires. Ces deux jeux de données portent sur la physionomie des parcelles agricoles, chacun dans son registre d’observation et selon son propre protocole d’observation. Pour rappel, c’est dans la parcelle agricole que s’imprime le système de culture.

– Nous souhaitons vérifier si cet autre jeu de données (D2) est compatible avec la première représentation (référentielle). Pour ce faire :

- Une relation, un passage est recherché ici entre la physionomie de chaque parcelle (en l’occurrence maintenant dans le jeu de données D2) et les types de systèmes de culture précédemment définis à partir de D1 ; cette typologie précédemment acquise sur des bases agronomiques³⁹ sert en quelque sorte de référentiel.

- L’existence d’une telle congruence sera admise selon la qualité (mesurée par le taux de véracité des propositions d’assignation de chaque parcelle à un type systémique de la typologie de référence). Un passage serait ainsi permis entre le jeu de données D2 et la typologie référentielle.

- La vérification de l’existence de cette congruence corroborera l’hypothèse heuristique.

Opérations

– L’expérience d’observation de la Terre (notée OT en figure 9) par capteur satellitaire (oasis de Nefta, juin 2011) est différente et indépendante de la première expérience d’observation par un agronome, quant à la nature de son registre de données : radiations appartenant à des canaux spécifiques de l’imagerie Spot, rapportées à chacune des parcelles (par ailleurs typées dans le référentiel). Les données OT ramenées à chaque parcelle correspondent à sa physionomie, selon cet autre mode d’observation.

– Nous recherchons, par analyse factorielle discriminante, le passage entre la physionomie OT de chaque parcelle (jeu de données D2) et un type de système de culture appartenant à la typologie systémique de référence. La qualité du résultat est vérifiée par le test d’assignation⁴⁰ des données OT de chaque parcelle à un type de système de culture.

– On trouve un taux satisfaisant, de l’ordre de 80 %, de conformité à la typologie systémique (voir Fargette *et al.*, 2017 pour le détail de l’analyse).

39. Les capteurs utilisés en agronomie de terrain et en télédétection sont de natures indépendantes.

40

La diversité de physionomie des parcelles, contenue dans le jeu de donnée D2 OT, est compatible avec la typologie systémique pré-établie à partir de données agronomiques (D1). Si elle ne l'avait pas été, l'hypothèse d'empreinte en oasis aurait été contredite et, par-là, l'hypothèse heuristique. Bien que les méthodes d'observation soient indépendantes, les jeux de données ne le sont pas. L'hypothèse heuristique est corroborée. Les jeux de données D1 et D2 sont liés (correspondance), soutenus par l'empreinte.

3.2. De l'abstraction au monde perçu : le Lien de Forme et l'intuition du modèle géographique « Épure »

Pour répondre à la question « Qu'est-ce qu'une oasis ? », nous empruntons un certain nombre d'éléments à un travail précédemment publié (Fargette *et al.*, 2019b), travail de terrain et d'échanges entre experts du monde oasien. Nous souhaitons une définition générale, qui ne retienne que les caractères suffisamment partagés par toute oasis, pour n'en exclure que le minimum. Nous avons le choix de l'aborder d'un point de vue plutôt descriptif : les structures et les formes que l'on voit se dessiner ; ou bien plutôt explicatif, systémique : les fonctions et les processus constatés, qu'ils relèvent du monde bio-géophysique ou de celui des hommes, d'ailleurs fortement imbriqués la plupart du temps. Or, selon l'hypothèse heuristique proposée en partie 2.4 et figure 7, les deux définitions se répondent, même si chacune parle sa langue propre (système ou géographique) puisque le concept d'empreinte fait le lien entre système abstrait et réalité concrète.

Pour illustrer le *Lien de Forme* (du système vers le monde perçu, cf. figure 7), nous commençons par une description en termes systémiques de l'oasis, pour en « déduire » ensuite (par la traduction utilisant un vocabulaire pictographique) ce que les éléments abstraits de description (en termes de fonctionnement, structure, dynamique) donnent à voir dans le concret. De manière synthétique à partir de Fargette *et al.* (2019b), nous décrivons ainsi (encadré 10) ce que nous appelons l'Entité⁴¹ Oasis (équivalent de compartiment systémique de Fargette *et al.*, 2019a) puis l'Épure Oasis qui profile en paroles (encadré 10) puis en modèle (figure 10) ce qui se donne à voir (équivalent de modèle géographique) (cf. partie 4.1).

L'épure, très simple, dessinée en figure 10, ne retient que le principal, le plus important, le plus partagé, de ce qui a été conçu, pour commencer, dans la compréhension systémique et la description synthétique de l'Entité Oasis. La correspondance systémique - géographique est contenue dans ce modèle de passage, sorte de programme, de préfiguration de la forme. L'entité (système), « donne forme » (genèse d'empreinte), « se donne à pré-voir », « prend forme », selon ce modèle géographique que nous nommons épure, avant même que de se montrer réellement dans l'empreinte.

41. système ou quasi-

1 ' 1 considère trop ouvert pour être système.

Encadré 10. De l'entité oasis (compartiment systémique) à son épure (modèle géographique) (voir figure 10)

Entité Oasis

L'oasis est rendue possible par une ressource en eau rare mais accessible en zones sèches et son réseau de distribution, des cultures végétales et des habitants produisant et coordonnant le tout ; elle communique avec l'ailleurs, proche ou lointain.

Chacune joue le rôle de relai pour des échanges qui la dépassent. Les systèmes de culture sont spécifiques en agroforesterie et combinent de très diverses cultures intercalaires, associant plantes pérennes et cultures annuelles ; les parcelles agricoles sont regroupées pour être irriguées (système intensif). Les agriculteurs et leurs familles s'organisent pour le partage de services (ressource en eau, production agricole, services urbains, etc.) et leur protection (tempêtes de sable, insécurité, etc.).

Leurs habitations sont le plus souvent indépendantes mais proches des parcelles cultivées pour en faciliter l'accès, ne pas entraver les travaux agricoles et optimiser les aménagements collectifs, en particulier d'irrigation ; des flux denses, diversifiés et à double sens existent entre les parcelles cultivées et les lieux d'habitation. L'oasis résulte d'une adaptation de l'homme au milieu en zone aride, de sa capacité à s'organiser en société dans des conditions de milieu contraignantes (conditions climatiques, isolement). Une oasis n'est pas autarcique.

Épure Oasis

L'oasis se situe le long d'une rivière, à proximité d'une source de piémont, de puits artésiens ou de forages, au débouché d'une *foggara*. Elle se caractérise toujours par un périmètre irrigué permanent, qui contraste fortement avec les abords arides de l'oasis et présente une forte densité végétale à plusieurs étages, dont ceux de ligneux pérennes. Il est toujours connecté à une zone d'habitat permanent groupé autour de marqueurs urbains (marché, école, mosquée, etc.).

Outre le réseau de desserte de proximité, l'ensemble possède des voies de communication au long cours (pistes, chemins de terre, routes goudronnées... : cf. cordon ombilical). L'orientation, l'extension, les continuités ou discontinuités spatiales de l'oasis dépendent des conditions locales du milieu.

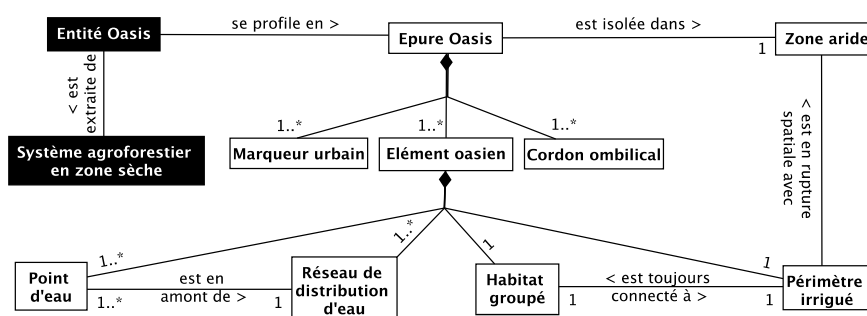


Figure 10. De l'entité oasis (compartiment systémique) à son épure (modèle géographique) (voir encadré 10)

Ainsi, en reprenant à partir de l'hypothèse heuristique posée en figure 7, la connaissance systémique de l'oasis (*cf.* le système compris) permet de proposer un modèle de passage (modèle géographique, épure) qui prédit, préfigure une forme à venir, décrit (langage pictographique) l'oasis, sorte de « pré-image », de « portrait-robot », qui trouve son origine dans l'entité que le point de vue porté sur le système a dégagé. Le cheminement le long du *Lien de Forme*, passage de l'abstrait au concret, est bien là ; il mérite d'être précisé.

Toujours selon l'hypothèse heuristique et de façon générale, aux entités (systèmes ou compartiments extraits de systèmes, parties de système), correspondent des formes projetées, inscrites sur la planète *via* le processus de genèse d'empreinte. Elles seront donc représentées dans une fenêtre d'observation, un paysage⁴² ou une image satellitaire (*cf.* figure 1), etc. Quelle que soit l'échelle planétaire considérée ou la (les) discipline(s) impliquée(s), une entité répond de la forme à venir. Il en est ainsi des entités systémiques de type biologique, biogéophysique⁴³ (Lacoste et Salomon, 1999) ou social⁴⁴ (Ramognino, 2014), qui façonnent aussi la planète. Chacune de ces disciplines a recours au concept d'entité, abstrait, de nature systémique et qui contient en germe (modèle, programme) dans son épure, la forme concrète prise dans la réalité, forme découlant de la cohérence systémique. Vont y figurer les caractéristiques matérielles et spatiotemporelles⁴⁵ (registres conceptuels décrivant la réalité, *cf.* figure 5) relatives à la structure⁴⁶ de l'entité ou aux signes de son fonctionnement⁴⁷ et de ses interactions⁴⁸ (donc traduites du registre systémique), chacune en puissance de s'inscrire dans le concret (par la genèse d'empreinte). Le *Lien de Forme* aussi est donc très général.

La suite du travail propose de parcourir, de façon discursive, le chemin du monde des systèmes jusqu'au monde perçu et donne consistance au raccourci appelé *Lien de Forme*. Il en décrit les étapes et en discute les enseignements.

4. Construction du signe : ontologie systémique de l'empreinte et *Lien de Forme*

L'ontologie de l'empreinte se réfère à l'ascendance systémique de l'empreinte (*cf.* figure 7). Nous parlerons d'ontologie systémique. Nous allons maintenant

42. ' 1 graphes, des agronomes, ou des écologues...

43. qui prendront la forme *e.g.* ' 1 1 ê 1 1 ï

44. 1 1 ' 1 ' ll

45. *e.g.* pour une entité biologique : la traie l'œ l'
papillon, en passant par les différents stades de la larve chenille.

46. *e.g.* pour une entité biologique : structure individuelle : un cône de patelle attaché au fond rocheux aquatique ; structure collective : un récif corallien.

47. *e.g.* un barrage de castors, un paysage agricole...

48. *e.g.* 1 ' (' ; turricules des lombrics, témoins de leur activité et de leur contribution à la fertilité des sols.

parcourir le *Lien de Forme*, du système originaire de l’empreinte à une forme concrète, observable (réalité) qui sera observée (monde perçu).

4.1. Concevoir l’entité, modéliser l’épure

Une entité (monde abstrait) est extraite (par un point de vue) du système ; elle correspond (figure 11) à une portion (de système) dont la logique dépend d’un regroupement cohérent de traits fonctionnels. On peut aussi qualifier l’entité (figure 11) de façon synthétique par sa nature⁴⁹ et sa fonction⁵⁰. Le langage du modèle de l’entité est systémique, celui des lois (structurelles, fonctionnelles, adaptatives) sélectionnées par le point de vue.

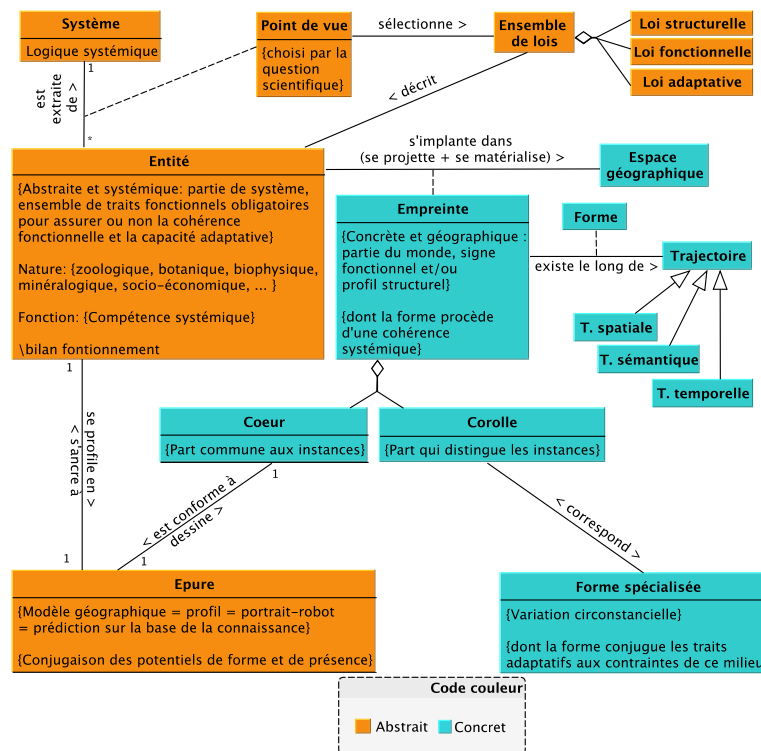


Figure 11. Ontologie systémique de l’empreinte

49. attachée à la ou les domaines scientifiques concernés par le point de vue.

50. indiquée par le bilan (mono- ou multidimensionnel) de son fonctionnement dont se détachent éventuellement une ou plusieurs compétences systémiques notables.

53. e.g. modalités sémantiques : l'œ - chenille - papillon et la somme des formes
'l' ; modalité spatiale : zone de distribution géographique, mobilité de chaque stade ; modalités temporelles : caractère stable ou labile, modifiable, périodique, saisonnalité de chaque stade.

E l ê œ

distingueront les unes des autres par leur corolle. Celle-ci tient aux formes spécialisées, variation d'origine circonstancielle liée aux circonstances de lieu (qualités et contraintes de milieu, interactions de logique systémique en ce lieu). Par exemple, la capacité d'adaptation des êtres vivants, par les lois et mécanismes qui la régissent, est diversifiante ; on en retrouve les effets dans les attributs et propriétés de corolle (correspondant aux formes spécialisées issues de l'adaptation). Le regroupement des caractères en entités et l'ordonnement des entités selon le partage des caractères se retrouve dans une classification telle que ce qui est présenté en figure 6.

– *Importance du choix de l'ancrage systémique* : Un système peut être à l'origine de plusieurs entités (figure 12). Plus ou moins apparentées mais générées par des points de vue différents (e.g. point de vue « système de culture », point de vue « état sanitaire », point de vue « composant espèce »), les entités obtenues n'entretiennent pas le même lien de parenté avec le système (spécialisation, composition, état) ; elles ne mettent pas l'accent sur les mêmes caractéristiques systémiques (cf. entité en figure 11) ; par voie de conséquence, elles présentent des épures différentes. Pour les cas proposés en figure 12, les épures correspondant aux déclinés du système agroforestier en oasis sont différentes, même si les entités traitent toutes de végétation et de cultures en oasis.

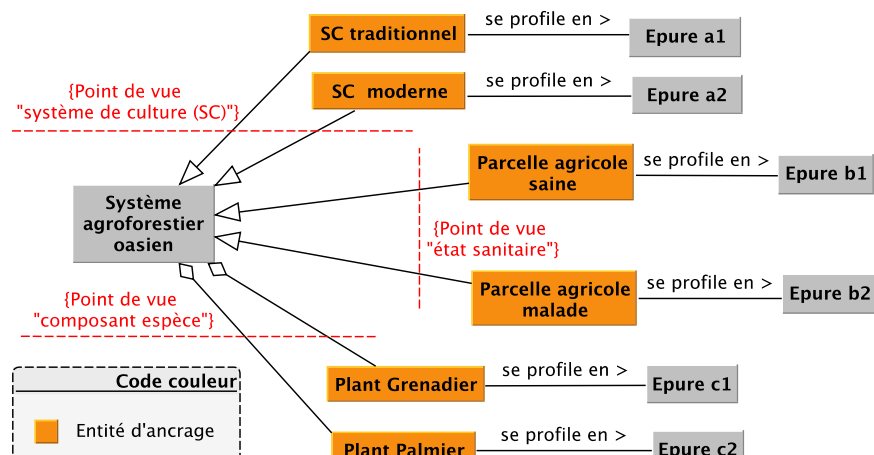


Figure 12. Importance du choix de l'entité d'ancrage - Illustration en oasis

Par exemple, l'interprétation des valeurs de l'indice NDVI (associé à la réflectance des pigments chlorophylliens des plantes), classiquement utilisé pour

une des situations⁵⁴ et à chaque

point de vue et la confusion qui
 la source d'erreur d'ancrage de
 entité référente), celle pertinente à
 onnement. Outre la diversité des
 distinction de diverses entités, le
 focus (en lien avec le niveau de
 œ ll

but de raisonnement, de cibler
e systémique de l'empreinte.

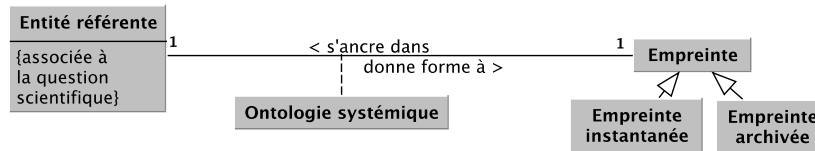
et al., 2021 ; Boutin, 2022) de la propagation de maladies virales (logie, en l'occurrence mieux cibler (sur à l'autre) pour éviter les biais, traité. En reprenant notre cadre, nous posons la question de l'interaction entre les différents vecteurs de maladies et à l'achopper sur le constat du fait que les caractères à retenir pour la décrire sont en fait la question de santé posée. Ceci nous amène à proposer des propositions de l'exactitude défendue, nous avons reconnu qu'un édifice exige d'être fondé. »

s du concept d'empreinte d'une
rmet de placer les différentes
forme.

vivant dans la matérialité. Qu'elle
 de l'entité, l' (œ
 fonctionnels de l'entité qui, en
 'empreinte.

$$\hat{e} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{es}$$

13a



13b

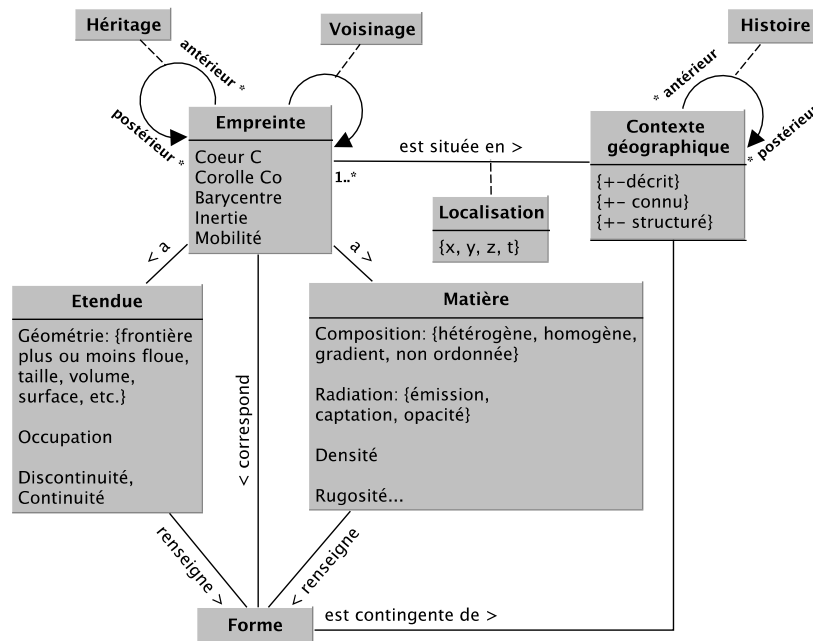


Figure 13. Le concept a) d'empreinte et celui b) de sa forme

C'est la démarche d'ontologie systémique (construit symbolique) qui trace le chemin de l'entité à sa forme. L'empreinte est inscription matérielle instantanée ; il est aussi parfois possible qu'elle perdure dans le temps (elle enregistre et retient) et révèle alors de façon matérielle un héritage (empreinte archivée⁵⁵). Au-delà de la genericité (ce qui est prédit, par l'épure, comme commun aux futures observations) æ l'empreinte, la situation en tel lieu de l'espace géographique (et la localisation qui en découle), induit la singularité. Genericité et singularité sont ultimement portées et constatées sur les instances dans la réalité. L'empreinte donne

55. Série stratigraphique « enregistrée » - géologie et histoire de la Terre ; séquence génétique (reproduite et transmise) et évolution du vivant ; vestiges archéologiques et histoire de l' ; etc., è l' ,

à voir ses caractéristiques d'œ Il en une synthèse matérielle, de forme générale et/ou spécialisée, à laquelle peut s'adjoindre, sous une forme concrète aussi, son héritage (systémique) archivé⁵⁶.

E l' ê l
, l l l des critères de localisation
permettant de décrire le voisinage et la mobilité. De sa composition et sa géométrie
résultent par exemple un nombre de propriétés physiques (barycentre, inertie, etc.)
en lien avec les caractéristiques de la matière impliquée, en alliage ou pas (densité,
émetteur ou capteur de radiations, opacité, rugosité, etc. l'
l l',
positionnée l l' ll', l

4.3. Vers l'observation d'instances d'empreintes : les concepts de caractère, de signe et de signal

L'empreinte est un assemblage (agrégat) logique de caractères ; ses instances sont décrites selon ces caractères à partir de données observées (cf. caractéristiques de l'instance ; figure 14).

L'ensemble décrit en figure 13b fournit un premier format (générique de haut niveau) au recensement des caractéristiques de toute empreinte lors de l'expérience d'observation menée sur ses instances. Ces caractéristiques s'organisent de façon générale selon les quatre axes d'un « schème⁵⁷ » (figure 14) : 1) celui de l'espace géographique, de nature concrète et de dimension 4 (x, y, z, t), 2) celui du comportement spatio-temporel et du mouvement dans cet espace, 3) celui de la connectivité (dans l'espace, avec le milieu et avec le voisinage plus ou moins lointain), 4) celui de l'activité dans l'espace et de son résultat (en lien avec le bilan de son fonctionnement systémique, cf. figure 11).

En tant que construit abstrait adossé à une ontologie de domaine, l'entité référente annonce les caractères dont l'empreinte hérite et, parmi ceux-ci, ceux qui contribuent au dessin de son épure. Dans cette représentation, ce qui est « accidentel⁵⁸ » n'a pas statut de caractère ; en conséquence il n'est pas enregistré ; au mieux, il l'est en tant qu'anecdote. Nous avons en effet vu (cf. figure 12) que la

56. e.g. une vallée fluviale inscrite dans une vallée glaciaire, ce qui révèle la modification de p, l l

57. chez Kant, représentation intermédiaire entre les phénomènes perçus par les sens et les l'

58 P l l', ê a) pertinente à noter lors du recensement de soldats blessés (et à ce titre figurer dans les caractères recensés), ou bien b) le ll (l : œ ll l -

question posée induit le point de vue sur le système et le focus choisi, par là l'entité d'ancrage ; ceci est déterminant dans la définition des caractères de l'empreinte qui correspondent, en matérialité, aux caractères annoncés dans l'épure, demeurant au

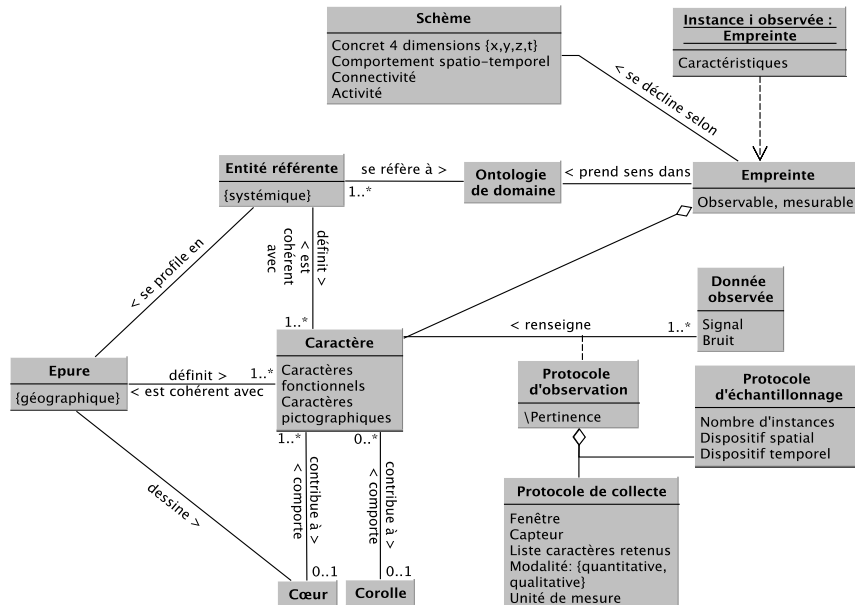


Figure 14. Instance d'empreinte

Le concept d'empreinte, inscription de l'entité dans la réalité (cf. figure 7) s'instancie⁵⁹. Réciproquement et de façon idéale, l'instance observable dans la réalité témoigne de l'empreinte.

Selon cette vision, les données pertinentes sont celles qui renseignent les classes de caractères de l'empreinte et les protocoles d'observation (échantillonnage et collecte) sont construits et adaptés à cet effet. Ainsi, la démarche d'ontologie systémique surplombe le raisonnement et assiste la conception et la structure de la base de données au service de l'expérience d'observation. On retrouve ici le commentaire de Hansen (cf. Lecourt, 2001) : « tout compte rendu d'observation est lesté de théorie » ; et on peut alors dire que la théorie le lesté dès la préparation de sa méthodologie. En partie 3.1.1, le savoir expert de l'agronome préparant sa campagne de terrain (protocoles) en est une illustration : les données collectées sont physiologiques (cf. figure 8) ; tout en décrivant des pratiques agronomiques

59. Inscription en n « copies () » ; par exemple,

constatées sur le terrain, elles renseignent les traits fonctionnels de l’entité parcelle agricole.

En figure 15, le déroulé du *Lien de Forme* est repris pour aller de l’entité jusqu’au monde perçu : l’ancrage systémique de l’empreinte (son ontologie systémique) permet de profiler l’épure, « profil-robot » abstrait, de l’empreinte (cf. figure 11).

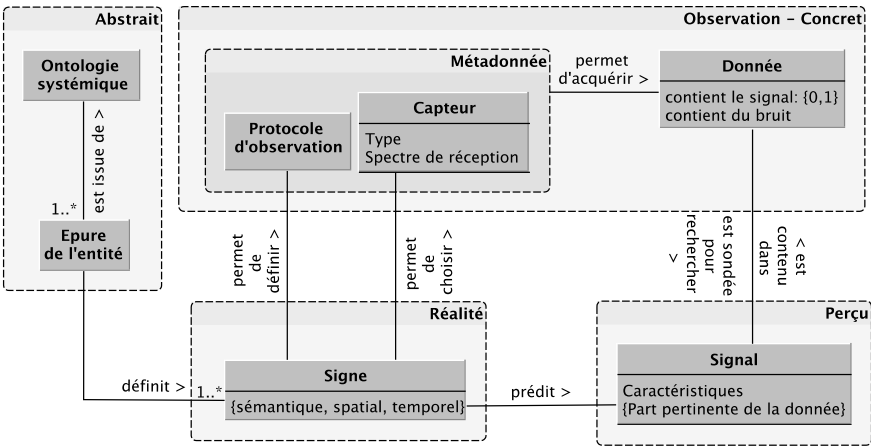


Figure 15. Cheminement de l’épure au signal dans la donnée

L’agrégat de caractères de l’empreinte (cf. figure 14) ainsi constitué correspond donc à un ensemble de signes (figure 15) à la fois concrets, inscrits dans la réalité, et porteurs de sens (message) du fait de leur ascendance systémique ; de nature qualitative ou quantitative, ils sont potentiellement observables - mesurables. L’association d’un protocole d’observation à chaque signe (avec en particulier l’intervention de tel type de capteur, aux caractéristiques physiques/techniques définies) permettra de lui associer un signal dans le monde perçu (*i.e.* passé au filtre du capteur⁶⁰ et donc selon les termes spécifiques au capteur). Ceci est vrai de toute observation, qu’elle soit effectuée par des capteurs de conception technologique ou par les capteurs physiologiques humains⁶¹. En conséquence, le dessin de l’épure est associé en aval à un signal ou un bouquet de signaux acquis selon des conditions et

60. La mesure de la présence de pigments chlorophylliens ne sera pas restituée dans les
ê 1 1 , 11 1 1 1 ,
collectées, qui lui est propre.

61. dans ce cas (e.g. l’œ l l’ ê l
1 l’ 1 ê
, w l’ 1 1 , 1 ê
répétabilité sont pris en charge dans les protocoles (e.g. , 1
, ê 11 , 1 1 1 1 ôl etc.

protocoles précis d’observation sur le terrain. Le signal forme le contenu pertinent de la donnée.

Il y a un décalage du signe au signal ; il est toutefois connu et, en remontant le lien, il est théoriquement possible de « sonder » (par la recherche de la présence du signal dans le contenu de la donnée acquise), la présence ou non des signes correspondant à l’épure dans le jeu de données.

Au plus près du terrain, l’adéquation du capteur et celle du protocole d’observation à la problématique peuvent être optimisées (choix d’une meilleure focale, diminution du bruit) par la connaissance préalable des signes contenus dans l’épure et celle des propriétés des capteurs. De nouveaux capteurs, ayant une sensibilité mieux adaptée au registre des signes, peuvent aussi être conçus.

La donnée contient aussi du bruit, lié aux caractéristiques du capteur ainsi qu’aux conditions de capture. Cependant la pertinence ou non du contenu de la donnée ne se limite pas à la limitation technique des capteurs. L’apport de ce travail sur le *Lien de Forme* dans le décryptage (pertinent vs non pertinent) du contenu de la donnée sera plus précisément discuté en partie 5.

Le chemin que nous avons suivi est long, de l’entité (abstraction de départ, fondée sur la connaissance acquise antérieurement) à la donnée (telle qu’on peut la collecter plus ou moins empiriquement, cf. figure 1). De façon idéale, ce chemin pourrait être consolidé par les travaux relevant de nombreuses compétences, de la systémie⁶² à laquelle il est fait appel dans tant de domaines scientifiques, à l’informatique et l’électronique⁶³ (cf. partie 5), pour expliciter, ordonner la connaissance et la formaliser selon le *Lien de Forme*.

5. Du signe à la maîtrise de l’observation

Nous proposons trois perspectives sur le travail effectué, la première synoptique sur les mondes systémique et perçu (figure 16), la deuxième analytique sur la donnée (tableau 1), et la troisième sur la manière dont ce travail s’inscrit dans la recherche de la pertinence de la donnée et de son analyse (figure 17).

Nous croisons en figure 16 les deux approches distinctes pour comprendre le monde, l’une fondée, de prime abord, sur l’approche systémique, l’autre sur

62. “In the context of systems science and systems philosophy, systemics is an initiative to study systems. It is an attempt at developing logical, mathematical, engineering and philosophical paradigms and frameworks in which physical, technological, biological, social, cognitive and metaphysical systems can be studied and modeled. The term “ ” was coined in the 1970s by Mario Bunge and others, as an alternative paradigm for research related to general systems theory and systems science” (Wikipedia).

63

traitement et de l’ 1 1 l’ 1

l'organisation de l'espace géographique, toutes deux complémentaires et dialoguantes. La première vise une compréhension holiste ; elle adopte toutefois, pour gérer la complexité, une démarche par compartimentation des systèmes. En raisonnant sur les acquis de connaissance, elle organise des concepts, en crée de nouveaux si nécessaire (en l'occurrence ici l'entité d'ancrage, l'empreinte et son épure). La seconde exploite l'expérience du monde (la part plus particulièrement expérientielle) pour prendre en compte les caractéristiques⁶⁴ de l'espace (ses continuités ou discontinuités ou les gradients) qui conduisent à sa fragmentation en formations et à son organisation spatiale. L'enjeu est de faire converger ces deux approches vers une représentation cohérente, une compréhension commune.

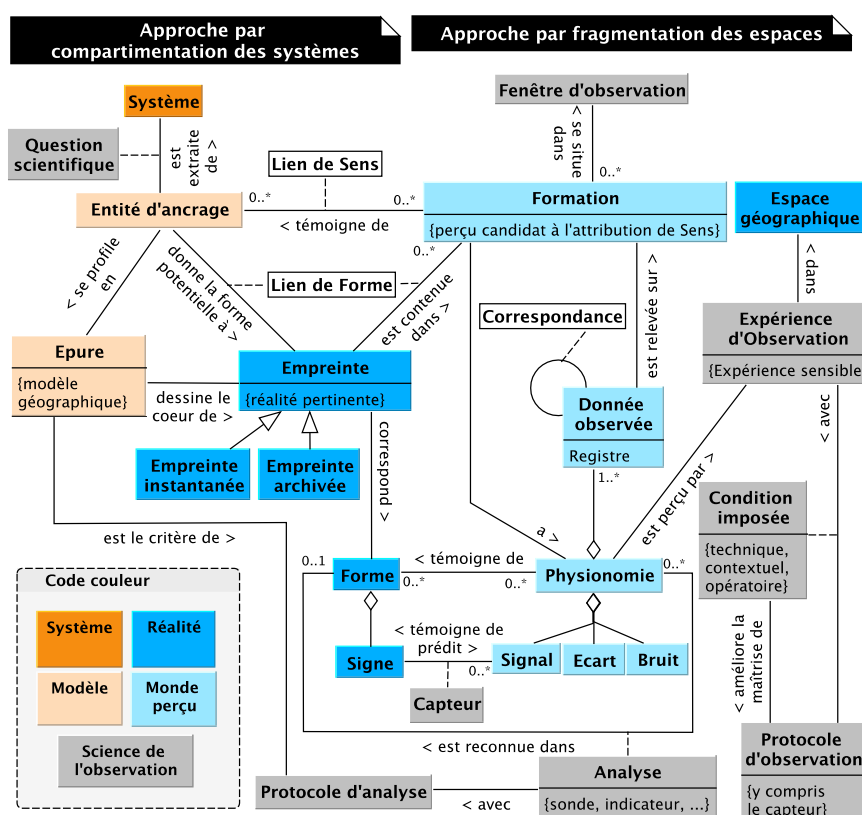


Figure 16. Schéma synoptique système - Monde perçu et science de l'observation

La figure 16 propose une synthèse des concepts clés de ce travail et de leurs relations :

64. obtenues de façon intuitive ou méthodique.

– Le passage entre système et monde perçu se décline à différents niveaux⁶⁵ : entité-formation ; empreinte-formation ; forme-physionomie ; signe-signal ; il ouvre la voie au potentiel prédictif de l'épure (dessin de sonde) ; la sonde recherche dans le monde perçu des signaux directement prédits par le signe (et permet ainsi de reconnaître et donner sens à la donnée) ; toutefois il est aussi possible de leur substituer des indicateurs leur correspondant tout en étant issus d'un jeu de données d'un autre registre ; ceci est parfois préférable, voire même nécessaire, quand la collecte des seconds est techniquement plus simple ou moins onéreuse, par exemple les indicateurs paysagers présentés et argumentés par Loireau et Fargette (2022) ;

– Le *Lien de Forme* et le *Lien de Sens* qui ont participé au déroulé du raisonnement y sont resitués ; en observatoire (*cf.* partie 6), ce sont eux qui activent les phases de recherche (acquisition de sens) ou de suivi (attribution de sens) ;

$$\begin{array}{ccccccc} & -L' & & l' & & \delta l & l' \\ (cf. \text{figure 7}) \text{ est pr\'esent\'ee} & l' & & ' & & l & ; \end{array}$$

– Les éléments à maîtriser pour passer d’une expérience d’observation originelle et non formalisée (*cf.* figure 1) à une science de l’observation restent en grisé.

L’empreinte, si elle est localisée là où a lieu l’expérience d’observation, constitue la partie pertinente de la donnée, le signal contenu dans la donnée et en lien avec la question posée ; l’empreinte contribue par sa présence et sa forme, à la physionomie du lieu. Toutefois, entre d’une part la physionomie (*cf.* encadré 1) d’un lieu, d’une fenêtre d’observation, d’une formation et, d’autre part, la forme de l’empreinte, des bruits se superposent dans la donnée physionomique *in situ* (figure 16 et tableau 1). Ils sont contingents⁶⁶ du lieu (en tant que co-occurrence aléatoire) et correspondent à des accidents qui frappent (en dehors de la logique systémique retenue et de son épure) dans sa matérialité la portion d’espace concernée par l’empreinte. De tels accidents ne sont pas pertinents ; leurs sources ne relèvent pas de l’ontologie systémique considérée et brouillent le déchiffrement qui recherche (par voie de sonde) l’empreinte dans la physionomie. Par exemple⁶⁷, sur une surface cultivée (empreinte A, se référant à un système de culture A), se trouve un bombement correspondant à un tumulus (sépulture se référant au système néolithique B). Un tel constat n’a rien à voir avec une activité agricole ; il n’appartient pas au système A et ne figure pas dans l’entité « parcelle agricole », ni dans la description de l’empreinte correspondante. Le système B est indépendant (sans interaction, au sens systémique) du système A. Le bombement lié au tumulus est contingent du lieu et induit une anomalie de ce point de vue, à ne pas prendre en compte dans la description de la parcelle. L’existence d’un nombre indéterminé de composants systémiques s’inscrivant⁶⁸, en se superposant et se combinant, sur un même espace géographique,

65 l l l' l l' l l' ll
perçu.

66. en raison de relations topologiques qui ont été codifiées par ailleurs.

67. Ceci est un exemple de succession chronologique d'évènements indépendants en un lieu.

68. De façon imagée, nous parlons d' *millefeuille systémique* ».

chacun responsable de sa propre empreinte, complexifie la physionomie de l'espace concerné.

A l'issue de la phase de l'analyse, l'analyse du *Lien de Forme* a permis de spécifier le contenu du signal proposé, l'analyse du signal ; la démarche permet aussi de pointer les sources de difficulté, les facteurs qui brouillent le signal avec du bruit simultanément collecté et contenu dans la donnée observée. Le tableau 1 recense les sources de bruit, les biais induits par les contraintes de protocole, au bruit né de la capture-même de la donnée.

Tableau 1. Clé de lecture du contenu de la donnée - Séparer le bon grain de l'ivraie

Constituants de la donnée	Sources	
	Nom	Pertinence
–	Signe	–
Signal	Cœ l' (de signes)	1
Écart lié à la variation adaptative	C ll l' (adaptation circonstancielle)	0/1
Cumul : surimpression au cours de l'	Mémoire (empreinte archivée)	0/1
Bruits causés par des événements fortuits : – s , mais indépendants ; – s , indépendamment à différentes époques de l'.	Contingence du lieu de l' l' l' (aléa)	0
Bruits liés : – au biais de la mauvaise adéquation du capteur au signe ; – au biais de la mauvaise représentativité l' ll .	Limites du protocole ,	0
Bruits liés : – à l' ; – aux conditions du milieu au moment de l' ; – au technicien.	Limites dans le déroulé de l'	0

Il est important d'en tenir compte au moment de l'interprétation de l'observé, quelle que soit la méthode d'analyse retenue. Bien qu'un même jeu de données (par exemple le contenu d'une même image satellitaire) puisse être utilisé pour traiter diverses questions, et même si certaines sources d'erreur ou d'imprécision, strictement inféodées aux caractéristiques du capteur, sont donc invariantes quelle que soit la question traitée, il est aussi primordial de noter que la part pertinente de la donnée et donc sa capacité (voire son incapacité) à répondre à la question posée, sera variable car relative avant tout à la question posée. La part pertinente tient en effet à l'ancrage sur l'entité pertinente et en cela à la prise en compte de ce qui est variation adaptative, circonstancielle mais aussi à la part (variable) de l'histoire qui peut cumuler, surimprimer les formes pourtant relatives au même système (empreinte archivée).

Des données sont acquises par observation puis analysées, que la démarche d'observation isole ou non⁶⁹, en préalable à l'analyse, des données relatives à des formations distinctes, candidates à l'attribution de sens. Ainsi, avec ou sans fragmentation préalable (figure 16), une formation⁷⁰, selon que l'analyse de sa physionomie, en lien avec la question (i), y reconnaît la présence de signaux relatifs à l'épure (i), deviendra, avec un indice de confiance à déterminer, témoin de l'entité (i) et endossera (avec ce degré de confiance) le sens contenu dans l'entité (i) (figure 17). Le *Lien de Forme* se « branche » de façon optionnelle sur un processus d'observation et d'interprétation du monde, pour l'épauler et l'enrichir par la connaissance préalablement acquise. Dans l'exemple « oasien » (cf. figure 10), un algorithme construit à partir de l'Épure Oasis interviendrait alors dans l'analyse des données.

Toutefois, constater dans la donnée la présence du signal (i), conforme à l'épure (i) n'assure pas (du moins pas avec un indice de confiance de 100 %) l'association de la donnée à l'entité (i) en tant que donneuse de sens (i) ; il s'agit seulement de corroboration de cette hypothèse (raisonnement poppérien). Par contre, ne pas y reconnaître la présence du signal (i) assure⁷¹ la négation de la proposition (réfutation). Cependant, en tenant compte de cette contrainte d'ordre logique, l'inférence issue du *Lien de Forme* (sur les caractéristiques d'épure, de signe et de signal) pourra ensuite être associée à d'autres raisonnements dans des combinaisons d'analyse plus performantes.

Aussi l'apport majeur de l'analyse selon le *Lien de Forme* consiste dans le concept de genèse systémique d'empreinte (ontologie systémique) et donc dans l'importance du choix pertinent de l'entité d'ancrage (entité référente) sur laquelle se

69 ' 1 ' 1 l' 1 1
 dans la seule démarche ' (1 1
 70 S l' ' l' 1 l' 1 1
 ê ' 1
 71 1 l' 1 (rait
 , 1 l'

fonde, pour chaque empreinte, la modélisation géographique de son épure. Cet exercice, en précisant le contenu sémantique de chaque empreinte, permet de pointer ce qu'il est pertinent de noter au cours de l'observation et ce qui n'est pas pertinent étant donné la question (point de vue) et le focus (l'entité) choisis. Ensuite, afin de distinguer ou assimiler des épures proches, il pourrait être constitué des bibliothèques de références, elles-mêmes fondées par exemple sur des classifications de formes, de signes ou de signaux. De telles classifications expertes (*cf.* figure 6) enrichissent la mémoire et affinent la recherche de sens de toute connaissance scientifique correspondante.

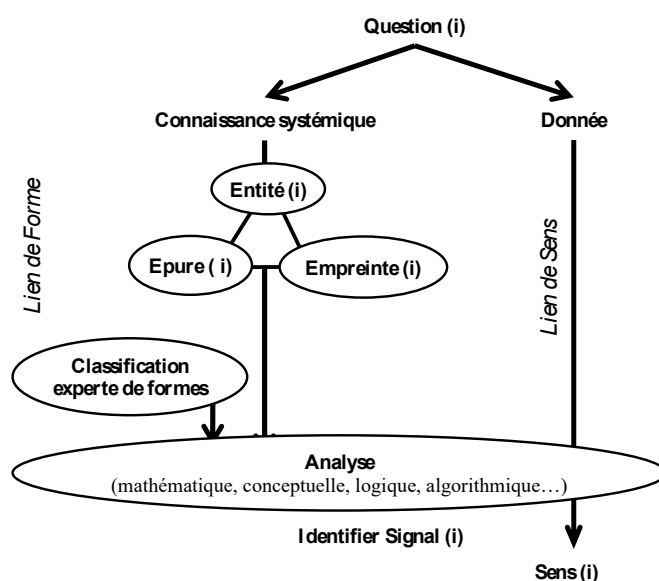


Figure 17. Conjugaison du Lien de Sens et du Lien de Forme

L'enjeu de ce travail est de fait plus large qu'un apparent détour par le *Lien de Forme* ; la mise en jeu de ce dernier rejoint l'un des défis actuels analysé par l'Inria (2016) :

« travailler en intelligence artificielle en combinant des sources de connaissances et des sources de données ; intégrer des modèles et des ontologies dans le processus d'apprentissage. »

Alexandre (2019) pointe le même enjeu entre intelligence artificielle et neurosciences. La genèse systémique d'empreinte est une proposition de source de connaissance pour enrichir les processus d'apprentissage dans le domaine de l'observation de la Terre. En effet, une expérience d'observation taille une fenêtre d'observation de façon (plus ou moins) arbitraire, avec plus ou moins de

considération de l’étendue de chacun des systèmes en jeu sur cette étendue. A l’issue du travail d’observation, les capteurs restituent un corpus de données correspondant à des portions d’empreintes, à la superposition et au cumul d’empreintes plus ou moins partielles (un millefeuille systémique) et ceci sans l’a priori d’un point de vue. Si au contraire un point de vue est assumé lors de l’expérience d’observation (y compris son analyse), le protocole qui la conduit a pour objectif de minimiser le bruit contenu dans l’observé selon ce point de vue. Il se fonde en particulier sur la démarche d’ontologie systémique de l’empreinte. L’algorithme construit à partir du « Modèle géographique Épure » pourrait ainsi saisir et mettre à disposition la connaissance experte contenue dans l’épure pour accompagner et même guider l’observation.

L’expert apporte une connaissance structurée (modélisée, ordonnée, classée, etc.) dans son domaine de compétence, un supplément d’information qui pourra faciliter ou améliorer l’observation et l’analyse :

- raccourcissement du raisonnement, simplification de l’analyse et moindre temps de calcul en précisant la question⁷² ;
- meilleure qualité du résultat en proposant un meilleur focus du protocole d’observation et d’analyse, en enrichissant et modélisant l’hypothèse, en préfigurant certaines sources de difficultés.

Ce raisonnement n’est cependant pas linéaire. Les inférences issues du *Lien de Forme* pourront (facultativement) intervenir dans la logique des raisonnements qui conduisent l’observation⁷³, puis son analyse⁷⁴. Elles pourraient aussi intervenir dans la combinaison de raisonnements pour aboutir à des séquences hautement plus interconnectées. S’ouvrent alors, en psychologie et sciences cognitives, l’investigation des raisonnements humains et, en intelligence artificielle, l’algorithmique pour asseoir les approches par reconnaissance ou par prédiction, le traitement de la donnée et du signal.

6. Discussion : pour une science de l’observation

Notre travail s’intéresse, à partir de l’expérience du monde, à ce construit scientifique, raisonné à partir d’une question (Bachelard, 1938 : « C’est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. ») qui initialise et formalise le point de vue. Le construit scientifique est en constante élaboration entre abstrait et concret, systémique et perçu. Il est le lieu où se développent et s’expriment les questionnements scientifiques, les méthodes,

72. question vague « Q ’ -ce- ’ ? » remplacée par « l’ ’ 1 ’ ’ , oasis ».

73 l ’ ’ 1 ’ ’ Il construction des capteurs.

74 1 l ’ ’ 1 ’ ’ etc.

raisonnements et protocoles, par lesquels il donne corps et sens à l'expérience empirique du monde.

Raisonnement

Notre travail montre que les raisonnements des systèmes au monde perçu sont complexes ; ils conjuguent, ordonnent un ensemble d'inférences plus élémentaires de type déduction, induction, abduction. La psychologie (George, 1997) dit que de telles combinaisons ne sont pas obligatoirement uniques et universelles et montrent souvent un polymorphisme dans l'expression qu'elles peuvent prendre d'un individu à l'autre devant une même question. La diversité des formes d'inférences assure la flexibilité du raisonnement et, par-là, son adaptabilité. Poincaré (1913, *in* Bouleau, 2017) faisait le commentaire qu'il n'y a pas de logique ni d'épistémologie indépendantes de la psychologie. La psychologie distingue cinq temps dans une heuristique⁷⁵, que notre travail illustre : a. *la prise en compte du problème* - cf. partie 1, l'introduction ; b. *l'incubation, recherche de solution, rumination parfois longue* - cf. partie 2, la connaissance et la démarche scientifique, que nous nous devons de respecter ; c. *l'illumination* - cf. figure 7, partie 2.4, l'hypothèse d'empreinte ; d. *l'explicitation qui descend dans les détails* - cf. parties 3, 4 et 5, la démarche exposée ; e. *la validation* - cf. partie 3.1.2, le test d'hypothèse sur le concept d'empreinte.

D'où l'importance du raisonnement pour la démarche scientifique, et de faire la part aussi (cf. partie 2, cadre conceptuel), entre le conditionnement (ni explicite, ni raisonné) qu'il faut éviter, l'intuition (pas nécessairement explicite mais qui peut, par exemple, susciter des hypothèses) et le raisonnement que l'on veut rationnel ; celui-ci est non seulement conscient mais il doit suivre Descartes (*in* Moreau, 2016) qui pose la nécessaire clarté d'explicitation et le besoin de séparation claire entre les items. Il est intéressant de noter que la clarté exigée dans la démarche n'exclut cependant pas l'intrusion du « rêve », source parfois d'inventivité « transgressive » au moment de poser théories, hypothèses ou modèles à tester et d'énoncer les prémisses de la démarche. Ainsi Kekulé en 1890, dans un discours devant le Société allemande de chimie (*in* Krivine, 2018, préface de J.C. Ameisen) :

« Apprenons à rêver, Messieurs, et alors, peut-être, nous découvrirons la vérité. Apprenons à rêver. Mais gardons-nous de révéler nos rêves tant qu'ils n'auront pas été évalués et éprouvés par la raison et l'entendement de nos états de veille. »

Théorie

Krivine (2018) insiste sur le besoin de théorie, et de « bonne » théorie⁷⁶, à tester, sans laquelle l'abondance de données perdrait de son utilité. Il est donc important de construire les bonnes propositions d'interprétation (cf. figure 7), celles qui sont les

75. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Heuristique_\(mathématiques\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Heuristique_(mathématiques))

76. « U

pas vrai. » (Krivine, 2018).

meilleures candidates à procurer du sens à l'expérience d'observation du monde, celles qui sont riches de données potentielles à collecter (*i.e.* données paysagères de terrain, contenu d'image satellitaire, *cf.* figure 1) pour les confronter à ce que la théorie avance (confrontation aux données, à l'expérience). Les concepts d'empreinte et d'épure d'empreinte ont été construits dans cette intention.

A l'opposé, la collecte et l'analyse, voire la fouille de données et le big data, dans un cheminement sans *a priori*⁷⁷, sans prémisse (ni intuition explicite ou implicite, ni hypothèse préalable), a pour vocation d'être riche en suggestions, propositions (hypothèses, modèles ou scénarios) qu'il s'agit d'extraire pour ensuite les investiguer plus avant. Une telle démarche de « fouille » est un point possible d'initialisation d'un raisonnement, parfois d'une itération, pour construire de la connaissance. Le travail présenté en partie 3.1.1 en est un exemple qui, à partir de données agronomiques, propose une typologie de systèmes de culture, référente pour la mise à l'épreuve du concept d'empreinte en partie 3.1.2.

De façon plus large, nous théorisons dans notre travail sur le passage entre systèmes et monde perçu, eux-mêmes associés à deux types de théories préexistantes ; l'une de type systémique, sur la base de travaux engagés par Fargette *et al.* (2018, 2019a) ; l'autre de type géographique (George et Verger, 2000 ; Gouyon et Leriche, 2010) au sens large, incontournable dès que l'intérêt de la réflexion porte sur la Terre, son fonctionnement et son histoire géologique, biologique, anthropologique et sociale.

Maîtrise de la démarche

Le caractère scientifique de la démarche tient aussi à l'ordonnancement explicite des concepts, ici dans le cadre formel de l'hypothèse heuristique système - réalité - monde perçu - modèle (*cf.* figure 7), et à la possibilité de confronter la théorie aux données, ici la mise à l'épreuve (test) du concept d'empreinte dans la théorie de passage. Il reste maintenant à mener la mise à l'épreuve sur données, en intelligence artificielle, du concept d'épure (modèle géographique) et de l'utilité des concepts entité d'ancrage systémique, épure d'empreinte, forme et signe.

Les protocoles d'observation précis et documentés (rendus ainsi partageables et répétables), couplés à des raisonnements complexes mais explicités, consolident une connaissance scientifique acquise selon un processus d'observation maîtrisé. Le processus d'observation se distingue du seul processus expérimental (expérimental à distinguer d'expérientiel), très sollicité depuis le 19^e siècle⁷⁸. Avec des *habitus*

77. *i.e.* des protocoles « neutres / génériques », absence de « théorie fondatrice » sur la réalité, absence de « choix » l'« observé » (OBOE)

78. « rapport au monde » (Bouleau, 2017) l'« expérimental » (Belhoste, 2018) l'« expérimentation, pièce majeure de la démarche et des sciences (*i.e.* l'« expérimentation, pièce majeure de la démarche et des sciences »)

sensiblement différents, ils sont complémentaires dans ce qu'ils contribuent à construire (explorer, expliciter, décrire, tester).

Enfin l'étude menée sur les sources d'écart et de bruit dans la donnée (cf. tableau 1) permet d'augmenter la pertinence, la précision et la fiabilité des résultats par la maîtrise de la démarche d'observation : en adaptant au mieux (par le choix de l'entité d'ancrage) les protocoles de collecte et d'analyse de la donnée à la question posée ; en poursuivant l'amélioration du protocole par exemple par le développement de capteurs mieux adaptés à la question [« Les instruments scientifiques doivent être considérés non comme des outils perfectionnés mais comme des "théories matérialisées" », cf. Bachelard, *in* Lecourt, 2018], pour ne pas citer, cela va sans dire, l'amélioration du contrôle du déroulé même de l'observation.

Science de l'observation

La rigueur et l'explicitation du raisonnement, l'utilité d'une théorie rendue testable, la maîtrise et la précision de la démarche de collecte et d'analyse des données, la capacité de contrôle et d'amélioration de ce contrôle font d'une démarche d'observation ainsi construite une science de l'observation.

Observatoire scientifique

Les questionnements contemporains complexes⁷⁹ sur l'environnement et plus largement sur les changements globaux et la mondialisation nécessitent recherche et suivi environnemental et sollicitent les observatoires scientifiques. Par exemple, les observatoires scientifiques en appui aux gestionnaires de territoire (observatoire OSAGE, Loireau *et al.*, 2017) décrivent les dispositifs scientifiques, techniques et organisationnels qui facilitent le déploiement d'une science de l'observation. La théorie du passage système - monde perçu y serait appropriée pour solliciter et intégrer des connaissances scientifiques nombreuses et diverses. La confrontation d'une telle pluralité, voire l'interdisciplinarité qui peut en naître, doit aboutir à l'enrichissement mutuel.

Il existe un parallèle entre l'acquisition de connaissance et l'utilisation de connaissance commentées dans ce travail et les séquences de recherche et de suivi du modèle OSAGE d'observatoire (Loireau *et al.*, 2017), deux types de démarches où la connaissance préalable n'a pas le même statut par rapport à la démarche d'observation ; dans le premier cas, la connaissance est construite (acquisition de sens) à partir de l'analyse de données observées tandis que dans le second, la connaissance acquise sert à attribuer du sens à ce qui est observé. Dans notre travail, la partie 3.1.1 illustre typiquement ce qui peut avoir lieu au cours d'une séquence de

l P l l' vs l' ,
processus écologiques en observatoire.

79. par exemple les « wicked problems » ou « wicked questions » posés dans le domaine de la « Sustainable Science » (Wehrden *et al.*, 2018 ; Oberlack *et al.*, 2019) correspondent à la complexité par excellence.

recherche en observatoire tandis que la partie 3.1.2 prépare le déploiement sur de larges espaces d’une observation dans une séquence de suivi (en se donnant les moyens d’acquérir des indicateurs relevant du registre satellitaire).

Dans le dispositif scientifique de tels observatoires, s’élabore le travail sur la connaissance systémique plurielle en interdisciplinarité (cet aspect se rapprocherait du domaine symbolique débattu dans ce volume) ; dans leur dispositif technique, sont menées la gestion et l’analyse des flux de données (ce qui se rapprocherait aussi bien du domaine numérique que symbolique). Une ontologie fondée sur la connaissance systémique est un gage de bon ajustement et de pérennité non seulement des raisonnements mais aussi des outils conçus et des passerelles en interdisciplinarité. Par ailleurs, le croisement des disciplines impose l’explicitation des non-dits⁸⁰. Ce croisement et l’enrichissement mutuel qui doit en résulter peut être grandement aidé par l’« ingénierie ontologique », en analysant les relations entre disciplines et en articulant leur complémentarité. L’intelligence artificielle, par sa composante ontologique, d’une part assisterait ce rapprochement interdisciplinaire, d’autre part utiliserait les raisonnements systémiques (langage partagé, utilisé dans différents domaines) en tant que source d’algorithmes, constructions associant modèles et inférences et/ou données.

Les approches symbolique et numérique débattues dans ce volume ne s’opposent donc pas dans notre proposition d’une maîtrise de l’observation de la Terre. Coexistantes dans tout processus cognitif, concertantes même et complémentaires, elles interviennent dans l’expérience du monde, le rapport du concret (réalité et monde perçu) à l’abstrait (système et modèle), tantôt la découverte du monde (et sa description), tantôt sa lecture. Synthèse symbolique spontanément opérée dès l’origine puisque le corps et le cerveau sont intrinsèquement liés (Bouleau, 2017 ; mais aussi cf. école phénoménologique, in Bakewell, 2018), l’expérience du monde (fondée sur l’observation, la perception) est fondatrice : philosophie rationaliste de Spinoza, liberté de penser de Kant⁸¹, courant des Lumières dans son ensemble (Belhoste, 2018). De ce cheminement itératif abstrait - concret résulte un processus de construction du rapport au monde. Fondée sur cette itération, une telle construction permet d’ordonner, commenter l’expérience du monde et lui fournit un sens. De l’adoption d’une démarche aux critères scientifiques, il découle que le sens fourni enrichit la connaissance, mais aussi se réfère et se nourrit de la connaissance scientifique acquise.

Marx, dans son *Introduction générale à la critique de l’économie politique*, a écrit (in Krivine, 2018) :

80

l’

l’

non seulement bien sûr dans le « pack de connaissance » mais aussi dans les pratiques du métier, la « façon de fonctionner ».

81. pour qui la liberté de penser ne peut se concevoir sans l’appui de l’approche de la connaissance telle qu’elle est défendue par les Lumières.

« La méthode qui consiste à s'élever de l'abstrait au concret n'est pour la pensée que la manière de s'approprier le concret, de le reproduire en tant que concret pensé. »

En d'autres temps, dans ses lettres, Galilée (*in* Wismann, 2017) qui s'interrogeait sur la place que tiennent les mathématiques à l'intérieur de la physique telle que celle-ci commençait à se développer avec lui et autour de lui à son époque, considérait qu'elles correspondaient à « l'encodage du divin dans la création ». Plutôt que de considérer de telles positions comme caduques, opposées, inconciliables, ... Il exprime, avec les mots propres à sa culture et son siècle, ce besoin partagé de mettre en relation l'abstrait (symbolique) et le concret (numérique) ; ce que commentent Kant (1781, 1787) :

« Notre connaissance procède de deux sources fondamentales de l'esprit, dont la première est le pouvoir de recevoir les représentations (la réceptivité des impressions), la seconde le pouvoir de connaître par l'intermédiaire de ces représentations un objet (spontanéité des concepts) ; par la première nous est donné un objet, par la seconde celui-ci est pensé en relation avec cette représentation (comme simple détermination de l'esprit). Intuition et concepts constituent donc les éléments de toute notre connaissance, si bien que ni des concepts, sans une intuition leur correspondant de quelque manière, ni une intuition sans concepts ne peuvent fournir une connaissance. [...] C'est seulement dans la mesure où ils se combinent que peut se produire de la connaissance. »

et Bachelard (1950) :

« En élevant le débat, si la connaissance est un essentiel et constant ajustement de la nature de l'esprit et de la nature des choses, on voit bien que les dialectiques du concret et de l'abstrait - de l'intuition et de la rigueur - de l'expérimental et du rationnel sont des dialectiques motrices, dès l'instertile l O l synthèse dialectique qui est, comme dit Gonseth, « le rythme même du progrès scientifique ». »

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme investissements d'avenir pour le projet EQUIPEX GEOSUD portant la référence ANR-10-EQPX-20.

Bibliographie

- Alexandre F. (2019). *De quelles façons l'intelligence artificielle se sert-elle des neurosciences ?* Évènement « Le procès de l'IA », Univ. de Bordeaux : <https://theconversation.com/de-quelles-facons-lintelligence-artificielle-se-sert-elle-des-neurosciences-124402>.
- Bachelard G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*, Alcan, ISBN 2-13-054249-2.

- Bachelard G. (1938). *La Formation de l’esprit par la destruction et la reconstruction de la connaissance objective*. Paris, Vrin, ISBN 2-7116-1150-7.
- Bachelard, G. (1940). *La philosophie du non*, PUF.
- Bachelard G. (1950). L’exactitude discursive. *Études de philosophie des sciences*. n° 10, *Revue de philosophie*, N° 1 (Suisse), Éditions du Griffon, p. 7-10.
- Baele G., Dellicour S., Suchard M., Lemey P., Vrancken B. (2018). Recent advances in computational phylogenetics. *Current Opinion in Virology*, 31, p. 24-32.
- Bakewell S. (2018). *Au café existentialiste : la liberté, l’être et le cocktail à l’abricot ?* Albin Michel, EAN : 9782226392732.
- Barriel V. et Bourgoïn Th. (2000). Caractères. *Biosystema*, n° 18. Société française de systématique, Paris, ISBN : 2-906892-18-1.
- Belhoste B. (2018). *La science moderne de la Renaissance aux Lumières*. MOOC, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne-16009 : <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/la-science-moderne-de-la-rennaissance-aux-lumieres/>.
- Bernard C. (1865). *Introduction à l’étude de la médecine expérimentale*. Reed. Champs, Flammarion, Paris, ISBN : 9782081307582.
- Bernard C. (1877). *Leçons sur le diabète et la glycogénèse animale*, B B II.
- Bouleau N. (2017). *Penser l’éventuel ; Faire entrer les craintes dans le travail scientifique*, Ed. Quae, Sciences en questions, eBook : 02556NUM.
- Bouleau N. (2021). *Ce que Nature sait, La révolution combinatoire de la biologie et ses dangers*, PUF et discussion autour de cet ouvrage : vidéo 1 : <https://youtu.be/RwjeBBXRgVY> ; vidéo 2 : <https://youtu.be/JeKvcm7YQ-Y> ; vidéo 3 : <https://youtu.be/XOAM-MQmh0k>.
- Boutin J.-P. (2022). *La ville et sa croissance favorisent-elles les moustiques ? Oui ! Mais, la méthode pour l’évaluer n’est pas encore au top !* Site de la Société francophone de médecine tropicale et de santé internationale. https://societe-mts.fr/la-ville-et-sa-croissance-favorisent-t-elles-les-moustiques-oui-mais-la-methode-pour-levaluer-nest-pas-encore-au-top/?utm_source=sendinblue&utm_campaign=Newsletter_N_6_2022&utm_medium=email.
- Brossard Th., Wieber J.-C. (1984). Le paysage, trois définitions : un mode d’analyse et de cartographie. *Espace géographique*, tome 13, n° 1, p. 5-12. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1984.3887>.
- Brunet R. (1974). Analyse des paysages et sémiologie. Éléments pour un débat. *Espace géographique*, tome 3, n° 2, p. 120-126. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1974.1460>.
- Cazenave A. (2013). *La terre et l’environnement observés depuis l’espace*. Leçons inaugurales du Collège de France. Collège de France / Fayard.
- Chevallier-Le Guyader M-F. (2019). Éditorial. *Le Mensuel*, n° 46, sept., Académie d’agriculture de France. <http://i5vg.mjt.lu/nl2/i5vg/m6jky.html>.

- Claval P. (1974). Géographie et sémiologie. *Espace géographique*, tome 3, n° 2, p. 113-119. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1974.1459>.
- Deffontaines J-P. (2004). L'objet dans l'espace agricole. Le regard d'..... In: *La revue de la Société française de géographie*, vol. 12, n° 3, p. 299-304 ; <http://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2004-3-page-299.htm>.
- Descola P. (2010). *Diversité des natures, diversité des cultures*, Bayard Ed. ISBN : 978-2-227-50065-5.
- Descola P. (2011). *L'écologie des autres ; l'anthropologie et la question de nature*, Paris, Ed Quae, coll. « Sciences en questions » : <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9639>.
- Dhondt U. (1961). *Science suprême et ontologie chez Aristote*. Revue philosophique de Louvain. Série 3, tome 59, n°61, p. 5-30. <https://doi.org/10.3406/phlou.1961.5068/>
- Fargette M., Loireau M., Raouani N., Kadri Zara M., Simon H., Libourel T., Sghaier M., Leibovici D. (2017). Modélisation de la diversité des systèmes de culture, de l'observation à la détection : cas de l'..... N (D, Tunisie). *Cah. Agric.* 2017, vol. 26, n° 4, article n° 45009, Doi :10.1051/cagri/2017042 fdi:010070799.
- Fargette M., Loireau M., Ben Kathra N., Kiari H., Libourel T. (2018). Conceptual analysis of Climate Change in the light of Society-Environment relationships; Observatories closer to both systems and societies. *Developing and Communicating Climate Change Information for Decision Making*, Serrao-Neumann S., Coudrain A et Coulter L. (Eds), Springer, Nature, Dordrecht, The Netherlands, p. 29-48. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74669-2_3; https://doi.org/10.1007/978-3-319-74669-2_3.
- Fargette M., Loireau M. et Libourel T. (2019a). The relationship between Man and his environment: a systemic approach of the viability of « System Earth ». *Coviability of Social and Ecological Systems : Reconnecting Mankind to the Biosphere in an Era of Global Change. Vol. 1 : The Foundations of a New Paradigm*, O. Barrière et al. (Eds), Dordrecht, Springer Nature, eBook ISBN : 978-3-319-78497-7 ; Doi : 10.1007/978-3-319-78497-7 ; <https://www.springer.com/us/book/9783319784960>.
- Fargette M., Loireau, M., Sghaier, M., Raouani, N. et Libourel, T. (2019b). The future of oases in North Africa through the prism of a systemic approach: towards which type of viability and coviability? *Coviability of Social and Ecological Systems: Reconnecting Mankind to the Biosphere in an Era of Global Change. Vol. 2 : Coviability Questioned by a Diversity of Situations*, O. Barrière et al. (Eds), Dordrecht, Springer Nature, eBook. <https://www.springer.com/us/book/9783319781105#otherversion=9783319781112>.
- Fischer M.S. et Tassy P. (2014). Analyse cladistique : le débat Mayr-Hennig de 1974. *Biosystema*, n° 29. Société française de systématique, Paris.
- Ganascia, J. G. (Ed.). (2020). Communication et connaissance : Supports et médiations à l'âge de l'information, CNRS Éditions via OpenEdition.
- George C. (1997). *Polymorphisme du raisonnement humain : une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle*. Presses universitaires de France, Paris, coll. « Psychologie et sciences de la pensée ». <https://www.cairn.info/--.htm>.

- George P. et Verger F. (2000). *Dictionnaire de la géographie*. Terme « géographie », p. 212, 7^e édition, © Presse Universitaire de France, 1970, ISSN : 21330479243.
- Gouyon P.H. et Leriche H. (sous la dir.)(2010). *Aux origines de l'environnement*, Fayard. France info.
- Inria (2016). *Intelligence artificielle le défi de l'IA*, livre blanc Inria. <https://www.inria.fr/fr/intelligence-artificielle-les-defis-actuels-et-l'action-dinria>.
- Juignet P. (2015). Karl Popper et les critères de la scientificité. *Philosophie*. <https://philosciences.com/112>.
- Kant E. (1781, 1787). *Critique de la Raison pure, Logique transcendantale, introduction*, AK, III, 75, p. 143. <https://www.les-philosophes.fr/auteur-kant.html>.
- Kolimenakis A., Heinz S., Wilson M.L., Winkler V., Yakob L., Michaelakis A., Papachristos D., Richardson C., Horstick O. (2021). The role of urbanisation in the spread of Aedes mosquitoes and the diseases they transmit. *A Systematic Review*. PLoS Negl Trop Dis. 2021 Sep 9, vol. 15, n° 9: e0009631. doi: 10.1371/journal.pntd.0009631. PMID : 34499653; PMCID: PMC8428665.
- Krivine H. (2018). *Comprendre sans prévoir, prévoir sans comprendre*. Cassini.
- Kugler T. A., Grace K., Wrathall D. J., de Sherbinin A et al. (2019). *People and Pixels 20 Years Later: The Current Data Landscape and Research Trends Blending Population and Environmental Data*, Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s11111-019-00326-5>.
- Lacoste A et Salamon R. (1999). *Éléments de biogéographie et d'écologie*, Nathan, coll. « fac ».
- Lane M. D., Bishop J.L., Dyar M. D., Hiroi T., Mertzman S.A., Bish D. L., King P. L. et Rogers A. D. (2015). Mid-infrared Emission Spectroscopy and Visible/near-infrared Reflectance Spectroscopy of Fe-Sulfate Minerals. *American Mineralogist*, 100, p. 66-82. <https://ur.booksc.eu/book/37940353/5c699e>.
- Lecointre G. et Le Guyader H. (2001). *Classification Phylogénétique du Vivant*, Éditions Belin.
- Lecourt D. (2018). *La philosophie des sciences*. 7^e édition (1^{ère} édition 2001), PUF, ISBN: 978-2-13-080397-3.
- Leroi-Gourhan A. (1964). *Le geste et la parole. Tome 1. Technique et langage*, Éditions Albin Michel, EAN : 9782226198402.
- Leroi-Gourhan A. (1965). *Le geste et la parole. Tome 2. La mémoire et les rythmes*, Éditions Albin Michel, EAN: 9782226198419.
- Linné C. (1758). *Systema Naturæ*.
- Loireau M., Fargette M., Desconnets J.-C., Libourel T. (2015). Observatoire Scientifique en Appui à la GEstion du territoire (OSAGE) : entre espaces, temps, milieux, sociétés et informatique. multigr. Conférence internationale annuelle SAGEO - *Spatial Analysis and Geomatics*, 2014/11/24-27, Grenoble. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-02/010064550.pdf

- Loireau M., Fargette M., Desconnets J.C., Khiari H. (2017). Observatoire scientifique en appui aux gestionnaires de territoire, entre abstraction OSAGE et réalité ROSELT/OSS. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 27, n° 3, p. 303-333.
- Loireau M., Fargette M. (2022). Science paysagère au service de l'observatoire scientifique Sociétés-Milieus en appui à la gestion territoriale. jimis:8762 - *Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Sciences*, 5 janvier, vol 6 - *Observatoires scientifiques Milieus / Sociétés, nouveaux enjeux* : <https://doi.org/10.46298/jimis.8762> ; HAL: hal-03430947v2.
- Lucas R., Mueller N., Siggins A., Owers C., Clewley D., Bunting P., Kooymans C., Tissot B., Lewis B., Lymburner L. et Metternicht G. (2019). *Land Cover Mapping using Digital Earth Australia*. Data, 4, 143. <https://www.mdpi.com/journal/data>.
- Madin J., Bowers S., Schildhauer M., Krivov S., Pennington D. et Villa F. (2007). *An Ontology for Describing and Synthesizing Ecological Observation Data*. *Ecological Informatics*, vol. 2, n° 3, p. 279-296.
- Michelin Y. (2008). *L'approche sémiologique au service de la mise en évidence du lien produit agricole - paysage : l'exemple de l'AOC Saint-Nectaire*. <http://epublications.unilim.fr/revues/as/3409>.
- Minsky M. (1995). Matter, mind and models. Rev. Version of the essay. *Semantic Information Processing*, M. Minsky (Ed.), Cambridge MA, MIT Press.
- Moreau D. (2016). *La philosophie de Descartes*. Vrin, « Repères philosophiques », Paris. Philosophie 2.0, une introduction à la philosophie : <https://www.les-philosophes.fr>.
- Oberlack C., Breu T., Ciger M., Harari N., Mathez-Stiefel S-L., Messerli P., Moser S., Ott C., Providoli I., Tribaldos T., Zimmermann A. et Schneider F. (2019). *Theories of Change in Sustainability Science. Understanding How Change Happens*. GAIA, vol. 28, n° 2, p. 106-111.
- Page R.D.M. et Holmes E.C. (2004). *Molecular Evolution. A Phylogenetic Approach*, 3rd edition, Blackwell.
- Platon, *La République*, VII.
- Pitte JR. (2010). *Le génie des lieux*, CNRS Éditions, coll. « Débats ».
- Ramognino N. (2014). *Les entités sociales : réflexions ontologiques*. *SociologieS*, Grands résumés. <http://journals.openedition.org/sociologies/4650>
- Livet P. et Nef F. (2009). *Les Êtres sociaux. Processus et virtualité*, Paris, Éditions H M M N R <http://sociologies.revues.org/4647>].
- Rousseau J.-J. (1989 [1755]). *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes*, Gallimard, coll. « Folio Essai ».
- Serres M. (2014). *Yeux*, Éditions Le Pommier, Paris, ISBN : 978-2-7465-0779-1.
- Shapin S., Schaffer S. (2011). *Leviathan and the Air-pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, vol. 1, Princeton University Press.

- Triclot M. (2005). « Penser, c’est calculer » : éléments pour une préhistoire de l’informatique. *Journée d’études EDIIS*, EDIIS, Lyon 1, Feb., Lyon, France. Hal-01526653.
- Viers G. (1967). *Éléments de géomorphologie*, Nathan.
- Village Daza D. A., Sanchez Moreno H., Porta L., Portantiolo Manzolli R., Bolivar-Anillo H. J. et Anfuso G. (2020). *Mangrove Forests evolution and Threats in the Caribbean Sea of Colombia*. Water, vol. 12, n° 4, 1113. <https://doi.org/10.3390/w12041113>.
- Wehrden H. von, Guimarães M. H., Bina O., Varanda M. *et al.* (2018). Interdisciplinarity and transdisciplinarity research: finding the common ground of multi-faceted concepts. *Sustainable Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0594-x0123456789>.,-volIV.
- Wismann H. (2017). D’où vient la notion de fonction ? *Sciences de la vie, sciences de l’information*, Gaudin T., Lacroix D., Maurel M.-C., Pomerol J.-C. (dir.), Colloque de Cerisy, p. 176-183.
- Wolff F. (2010). *Notre humanité. D’Aristote aux neurosciences*, Éditions Fayard, Paris.
- Yourcenar M. (1951). *Mémoire d’Hadrien*, Éditions Plon, Paris.

Annexe – Vocabulaire consensuel et à entrées multiples

Voici le sens donné à certains termes à l’issue du dialogue entre les auteurs étant donné leurs points de vue disciplinaires en biologie, écologie, agronomie, géographie et science de la donnée et des modèles (vocabulaire partagé). Ce sont tous des concepts-clés dans le cadre de ce travail.

Cette liste est à entrées multiples et montre les relations que les termes entretiennent entre eux et/ou en quoi ils se distinguent les uns des autres (vocabulaire croisé). A sa façon, ce corpus propose en soi un résumé du contenu sémantique de ces concepts-clés.

Compartiment (*cf.* « système »)

Empreinte, genèse d’empreinte (*cf.* figures. 7, 11, 13, 16)

De nature concrète, l’**empreinte** est un concept charnière entre les domaines systémique et géographique. Elle permet la communication entre eux, fonde le passage et conduit le raisonnement ontologique qui donne aux choses du monde concret leur sens systémique. L’empreinte permet de raconter (orthographe et grammaire) le monde réel (*cf.* « réalité ») qui procède de système(s), de leur structure, de leur fonctionnement, de leur dynamique (*cf.* « système »). C’est par la **genèse d’empreinte** que la réalité prend forme, par l’empreinte, inscription de système(s) dans la matérialité. Par son ascendance, l’empreinte se réfère (ontologie) à une entité systémique unique, l’entité d’ancrage (*i.e.* compartimentation systémique) dont elle matérialise l’existence. L’empreinte est logique ; c’est de son ascendance systémique, via la genèse d’empreinte, qu’elle tient sa cohérence, et par là le sens qu’elle donne à la réalité, ainsi que les grandes lignes de sa forme et de son

étendue. Sans l’empreinte, le monde perçu serait inintelligible. L’empreinte est incontournable. L’empreinte est un concept géographique.

L’empreinte est ontologiquement distincte de la formation et de sa physionomie (cf. « formation » et « physionomie ») ; l’empreinte ne correspond pas (ou pas totalement) à la formation, elle ne retient d’elle que ce qui parle d’une (seule) origine systémique. Elle peut aussi spatialement chevaucher plus d’une formation, ou même s’inscrire au-delà de la formation. C’est par les concepts d’empreinte et d’épure (cf. « épure ») que l’on peut dénouer la confusion que risque de contenir ce que l’on appelle formation, perçue et arbitraire (donc sujette à caution).

Entité et épure (cf. figures 10, 11, 12, 16)

De nature abstraite, l’**entité** est un compartiment (cf. « système ») extrait d’un système par un point de vue. Elle regroupe les propriétés principales, nécessaires à une logique systémique selon ce point de vue disciplinaire, pluri ou inter-disciplinaire. Elle peut être quasi système.

Selon le *Lien de Forme*, l’entité d’ancrage devient référente ; elle se profile en **épure**, concept abstrait où sont recensées les caractéristiques et de forme (cf. « forme ») encore en potentiel de s’inscrire dans la réalité. L’épure est modèle géographique qui dessine l’empreinte, lui donne forme. L’exemple donné avec l’oasis en présente les propriétés (en termes systémiques) et les formes correspondantes (en termes géographiques). Dans la démarche d’ontologie systémique, l’entité d’ancrage est décisive dans le dessin de l’épure qui en découle.

Épure (cf. « entité »)

Existence et existence géographique (cf. figure 5)

Concept très général, l’**existence** tient à l’implantation d’un système dans un espace à n dimensions, et donc au déploiement de ses lois, de sa logique dans cet espace. L’**existence géographique** tient à l’implantation d’un système (et au plus haut niveau d’intégration, du Système Terre) dans l’espace géographique, caractérisé par ses 4 dimensions (spatio-temporelles : x, y, z, t) et sa matérialité.

Extrinsèque (cf. « référentiel »)

Formation (cf. figures 1, 16)

La formation est perçue empiriquement par l’observateur, émerge « spontanément » du milieu qui la contient (par fragmentation de l’espace), « elle saute aux yeux », elle est constatée sans qu’une interprétation fondée sur un raisonnement ou une connaissance préalable ne semblent être à l’origine de son constat. L’enjeu est ensuite de lui attribuer un sens possible selon une logique systémique.

Forme (cf. « ontologie systémique »)

Lien de Forme (cf. « ontologie systémique »)

Lien de Sens (cf. « sens »)

Milieu

Le milieu correspond à l'ensemble des conditions, des facteurs qui caractérisent le contexte environnemental (bio-physico-socio-écologico-écono-systémique) auquel est soumis un élément d'intérêt dans un espace géographique.

Modèle (cf. « système »)

Monde perçu (cf. « observé »)

Observé et monde perçu (cf. figures 1, 7, 15, 16 ; tableau 1)

L'**observé** est ce qui est restitué par des capteurs physiologiques ou technologiques (cf. « tangible ») ; il se présente sous la forme de tableaux de données non agrégées ou bien sous forme synthétique, par exemple la physionomie d'une formation. L'expérience d'observation dont il découle est toutefois une expérience limitée par la nature des capteurs. La perception (quelle qu'elle soit la nature) est une expérience limitante. Le **monde perçu** résulte, dans son ensemble, de cette expérience. Il est variable selon la technologie de capture mise en jeu. Celle-ci est évolutive avec l'amélioration des technologies et la mise en place de nouvelles technologies (qui proposent de nouveaux registres de perception). N'oublions pas (même si ce n'est pas le sujet ici) que des représentations individuelles et collectives, culturelles peuvent se surimposer aux capteurs eux-mêmes, en tant que filtres (manque d'objectivité) ou infléchir l'interprétation. De tels « biais » peuvent de plus se modifier dans le temps. Les protocoles d'observation et la démarche scientifique dans son ensemble ont pour intention de minimiser de tels biais.

Ontologie systémique, *Forme et Lien de Forme* (cf. figures 7, 11, 12, 13 14, 15, 16, 17)

Avec le recours à l'organisation systémique et plus particulièrement dans ce travail au processus de genèse d'empreinte, la démarche (telle une volée de marches qui représentent les étapes du passage) recherche a) l'ascendant systémique à partir duquel poser le raisonnement (analyse critique du choix de l'entité posée pour l'ancrage) ; puis b) la forme que cette entité prendra en tant que projet (modèle géographique) [il s'agit de l'épure], puis dans le monde réel [il s'agit de l'empreinte], puis dans le monde perçu [il s'agit d'un bouquet de signaux]. Le **Lien de Forme** en est le raccourci intuitif qui « se descend » de l'organisation systémique vers le monde perçu (données). L'**ontologie systémique** est la construction formelle de ce raisonnement qui s'ancore (en amont) dans une entité systémique et pose (en aval) la forme, la contextualise et la distingue des physionomies apparentes (cf. physionomie). La **forme** est une propriété de l'empreinte : l'empreinte prend forme ; la forme est la synthèse dessinée à partir de l'épure (modèle géographique) et concrétisée dans la réalité ; elle est décrite, répertoriée selon la liste de caractères pertinents que définit l'entité. La forme correspond, dans le monde concret au cœur et à la corolle de l'empreinte, respectivement « programmés » dans l'épure et la variation circonstancielle. Parce qu'elle se réfère à une seule entité d'ancrage par son ontologie systémique, la forme est pure.

Le *Lien de Forme* permet, selon un point de vue, de caractériser la forme, dotée de logique systémique, pour la rechercher dans un observé complexe (cf. « observé »). De façon idéale, les protocoles d'observation doivent alors tenir compte, au plus près, des propriétés de forme de l'empreinte. L'ontologie systémique donne ainsi les clés d'une « lecture à rebours » de l'espace géographique. L'organisation de la connaissance selon cette démarche est utile à la « lecture du monde » (en y reconnaissant des formes et par conséquent des empreintes).

Physionomie (cf. figures 8, 9, 16)

La physionomie relève du monde perçu (cf. « monde perçu »). Lors d'une expérience d'observation, et dans le cas où l'espace est fragmenté, une physionomie est attribuée à une formation. Si l'espace n'est pas fragmenté, la physionomie se rapporte à la fenêtre d'observation ; elle correspond à une synthèse de l'observé sur cet espace.

La physionomie peut contenir un nombre de formes (cf. « forme » et « empreinte »), juxtaposées ou surimposées, correspondant à autant de points de vue différents initiant chacun son ontologie propre, chacun à partir d'une entité d'ancrage pertinente et unique. En effet, en un lieu donné, différents systèmes sont à l'œ
 1 1 D 1 1 1
 le seul point de vue retenu, ces effets aux origines diverses sont des accidents fortuits et contingents du lieu (sans aucune logique apparente) ; ils figurent cependant aussi dans la physionomie. On serait dans l'erreur de les confondre avec l'empreinte, de les lui attribuer, d'où l'utilité du travail fondé sur la démarche d'ontologie systémique. De telles observations sont hors-sujet et participent au bruit d'une donnée composite, brouillée et, en cela, « dégradée », bruit que la qualité des protocoles et la logique d'échelle d'observation tentent de minimiser.

La physionomie observée contient donc plus que l'empreinte (la forme pure) et, en ce sens, brouille l'empreinte. Ni la formation ainsi « observée », ni sa physionomie ainsi « décrite », ne sont proprement systémiques.

Lire une physionomie (dans toute sa diversité) c'est y décrypter, y distinguer les empreintes à l'aide de leurs épures respectives (leurs modèles géographiques respectifs, utilisés en tant que critères dans les protocoles d'observation et/ou les protocoles d'analyse). Chacune, individuellement et en interaction, participe à la synthèse observée dans la physionomie générale.

Réalité (cf. figures 5, 7, 16)

Elle procède de l'existence géographique (cf. « existence ») et elle est de composante matérielle. Elle est en soi, elle existe, qu'elle soit perçue ou non par un capteur, qu'elle soit pensée ou non par un « agent ». Non encore diminuée, appauvrie, déformée, fragmentée par la perception, elle est entière et référentiel concret. La réalité procède de système(s) implanté(s) et inscrit(s) dans l'espace géographique (elle procède de leur structure, de leur fonctionnement et de leur dynamique). La réalité est une empreinte (la planète Terre, empreinte du système

Terre) ; elle peut aussi être considérée comme un agrégat d'empreintes, celles-ci correspondant aux inscriptions de systèmes de moindre niveau d'intégration (*i.e.* des composants systémiques du système Terre).

Référentiel et extrinsèque (*cf.* figures 4, 7)

Dans le domaine scientifique dont la démarche commence par l'objectivation, le référentiel est extrinsèque c'est-à-dire qu'il ne dépend pas de l'être qui raisonne ou du capteur qui observe. La réalité (*cf.* « réalité ») est référentiel concret. Le système (*cf.* « système ») est référentiel abstrait. Référentiel « système » et référentiel « réalité » sont intimement liés en sciences, en particulier par le concept d'empreinte.

Sens et Lien de Sens (*cf.* figures 7, 8, 16, 17)

Il s'agit de la signification recherchée, du sens systémique trouvé, *i.e.* de l'intelligibilité conférée par une cohérence systémique du comment (comment c'est fait - structure typée ; comment ça fonctionne - fonctionnement expliqué ; comment ça change - évolution suivie, expliquée, etc.). Le **Lien de Sens** « se remonte » du monde perçu (données) vers l'organisation systémique (structurelle, fonctionnelle, évolutive).

Système, modèle et compartiment (*cf.* figures 4, 7)

Ensemble de lois, structuré et fonctionnant, le **système** est le principe organisé (... mais aussi se transformer (évolution) ou disparaître s'il n'est plus viable (extinction) (Fargette *et al.*, 2019a). Le **modèle** (ce que l'on comprend du système) tend vers le système. Le modèle parfait serait celui qui présenterait le système dans son entier (version holiste). Le système est la référence extrinsèque que chaque modèle ne peut représenter que selon un point de vue, par compartimentation systémique. Le modèle est construit et représente un **compartiment** (une partie de système, parfois quasi-système) extrait par un point de vue sur le système. De nature abstraite, le système est en soi (et, une fois implanté, il existe), qu'il soit modélisé ou non, qu'il soit pensé ou non. Non encore diminué, déformé, compartimenté par la raison et ses limites, il est entier et référentiel abstrait.

Tangible (*cf.* figures 15, 16)

Caractéristique de la réalité (le référentiel concret), capable d'être perçue (touchable, visible, etc.), tout autant que soit à disposition le capteur adéquat (*cf.* « observé »). Le fait d'être concret ne suffit pas pour être observé : il faut aussi que les conditions de perception et les propriétés physiologiques ou technologiques du capteur permettent la capture du signal, formule dégradée du signe. Dans ce travail le terme tangible est une extension à tout capteur de la définition du CNRTL : « Que l'on peut connaître en touchant ; fait d'être perceptible par le toucher ».