
Réflexions sur les ontologies dans une perspective de théorie générale des objets géographiques

Patrice Langlois
UMR CNRS IDEES – Université de Rouen

COS-MA-GEMS – Strasbourg 28 Mars 2007

Le(s) concept(s) d'ontologie

- **En informatique** : Ensembles (de concepts, de classes, de catégories, de types), structurés par des relations taxinomiques et sémantiques.
- **En philosophie** : c'est un discours (*logos*) portant sur ce qui **est** ou ce qui **existe** (*ontos*)
- (F. Nef) : *L'ontologie formelle est la discipline qui, avec la méthode scientifique, essentiellement axiomatique, analyse les traits catégoriaux de notre appréhension de la réalité sous toutes ses formes (abstraite ou concrète, effective ou fictionnelle, extensive ou intensive, etc.)*

Le(s) concept(s) d'ontologie

Ces deux définitions ne possèdent pas la même richesse expressive:

- ❑ **Le concept informatique d'ontologie**, reste dans le domaine de l'algèbre relationnelle, où les ensembles et les relations ne peuvent être manipulés qu'en extension, donc portent sur des ensembles finis. Ils ne peuvent déduire de nouvelles propriétés d'un domaine, mais seulement extraire ce qui est déjà présent dans le système d'information.
- ❑ **Le concept philosophique d'ontologie**, peut utiliser tous les langages de la connaissance scientifique pour définir et analyser un domaine, et en particulier celui des mathématiques, (de la logique propositionnelle, de la théorie des ensembles, de la géométrie, de la topologie, etc.)

Quel langage pour une ontologie disciplinaire ou interdisciplinaire ?

- Le langage mathématique fournit une **syntaxe** riche, non ambiguë, capable de déduire des propriétés nouvelles, et pouvant s'appliquer à tous les domaines de la connaissance.
- La **sémantique** associée à ce discours doit être réalisée par les définitions qui mettent en relations les concepts mathématiques et les concepts du domaine disciplinaire.
- Par exemple : Le concept de localisation géographique peut être associé sémantiquement à celui de point en géométrie euclidienne dans une définition.

Pour une ontologie formelle et formalisée de la géographie

- L'objectif n'est pas de faire le recensement des objets de la géographie, (lieu, territoire, paysage, relief, réseau, front pionnier, ville, forêt,...) mais d'en faire une caractérisation formelle à travers des propriétés communes.
- Nous proposons une construction des objets dans une démarche de complexification progressive (ontogénèse et systémogénèse), à travers la caractérisation de 3 mondes (\neq de ceux de Popper), ou trois phases du cycle d'ontogénèse:
 - Le monde réel
 - Le monde (transitionnel) des observations (perceptions naturelles ou instrumentales, informations)
 - Le monde des connaissances (naturelles ou scientifiques)

Le monde réel

- **Le monde réel** : est ce qui préexiste à la perception, à la réflexion et au discours. On peut néanmoins émettre une théorie du réel, comme constitué d'un continuum infiniment complexe, où règne avant tout le hasard, et l'indéterminé, dans un magma d'une infinie diversité matérielle et de phénomènes, dans lequel on suppose exister quelques régularités et permanence, quelque intelligibilité, ayant permis à l'homme d'y vivre, d'y agir et d'y développer une intelligence capable de s'en faire une représentation et y réfléchir.
- **Le monde réel est théorisé par l'articulation de 3 concepts :**
 - **L'espace physique**
 - **La matière (comprenant énergie et information)**
 - **Le temps**

Le monde des représentations (ou des observations)

- C'est celui qui découle des perceptions naturelles et instrumentales.
- Ce monde est **relatif à l'observateur**, ou plus généralement à la discipline, qui fixe un domaine d'étude, un niveau d'échelle de ses observations, un ensemble de thématiques
- En géographie : le domaine et le niveau d'observation est celui de la « surface » terrestre, comprenant l'atmosphère et les terres et les océans, la biosphère. Ce domaine est celui de la perception naturelle de l'homme, ce qui rend plus difficile l'élaboration de théories, dans la mesure où celles-ci sont en concurrence avec les représentations issues des perceptions naturelles, alors que l'astronomie ou la physique des particules, éloignées des perceptions naturelles ne se heurtent pas directement à la simplification des représentations mathématisées de la réalité.
- Le domaine d'observation de la géographie est en intersection forte avec toutes les disciplines des SHS, d'où l'intérêt d'une réflexion ontologique interdisciplinaire
- Le monde observé est composé de **représentations** particulières du monde réel. Ces représentations peuvent être issues de la perception humaine (image mentale), ou des acquisitions et mesures instrumentales (photo, température,..) , voire institutionnelles (sondage, recensement de population, ...)
- Ces représentations, utilisées dans un but scientifique, seront formalisées sous le nom d'**observations** (à la fois, l'action d'observer et le résultat de cette action)

Le monde des connaissances

- Le monde des connaissances, ne préexiste pas mais se construit.
- C'est celui où les représentations perçues prennent un sens, à travers une structure.
- Le sens est défini par une mise **en relation** de différentes représentations particulières de différents types (visuelles, auditives, tactiles, olfactives), reliées à la fois:
 - entre elles,
 - avec des états intérieurs (émotions, sentiments, souvenirs, habitudes)
 - avec des représentations plus abstraites (objets, symboles, mots, phrases, concepts, paradigmes, archétypes, règles sociales),
- Parmi les connaissances, certaines sont volontairement plus structurées, formalisées que d'autres (les dernières), ce sont les connaissances scientifiques, qui entrent dans un ensemble de conventions sociales de présupposés, de connaissances scientifiques, de théories partagés par une communauté scientifique

Le monde réel : -L'espace physique

- L'espace physique, au niveau de réalité abordée par la géographie, et par les SHS en général, est correctement modélisé par un **espace affine euclidien à trois dimensions**, à travers lequel la géométrie classique a toute sa place, et nous offre ses résultats.
- Le lien sémantique avec la géographie passe par l'équivalence entre le concept géographique de **localisation** et celui de **point** dans un espace affine euclidien tridimensionnel. Cet espace physique est donc vide
- Remarques:
 - 1) Dans la conception classique de l'espace physique, le temps ne peut constituer une 4^{ième} dimension de l'espace physique, au sens géométrique du terme, car il est d'essence différente
 - 2) Même si elle plus juste dans l'absolu, utiliser la conception einsteinienne, d'un espace quadridimensionnel, n'a pas d'intérêt dans un contexte de HSH
 - 3) Les espaces utilisés en modélisation peuvent être dégradés par rapport à cette espace physique de référence
 - 4) L'espace physique contient les humains, mais l'espace social (qui est une abstraction) n'a rien à voir avec l'espace physique.

Le monde réel : -Le temps

- Le temps est un continuum ordonné unidimensionnel, qui ordonne (dans un monde non relativiste) la survenue des évènements par la relation d'ordre totale « A est survenu avant B »
- À chaque instant est associé un nombre réel t , par l'intermédiaire d'un repère constitué d'une origine des temps et d'une unité de mesure du temps. La durée est l'écart entre deux instants : $t_2 - t_1$.

Le monde réel : -La matière

- Si l'espace est un continuum de points géométriques, la matière ne peut se formaliser directement et de manière absolue. La matière réelle est donc une réalité qui dépasse l'intelligibilité globale, absolue et indépendante de l'observateur.
- On peut imaginer la matière comme un champ matériel infiniment complexe (conception continue), ou formée de « grains » emboîtés ou disjoints, d'une grande diversité de contenus et de formes discontinus occupant des portions d'espaces de tailles variables.

Le concept d'observation :

- La seule manière d'accéder au réel est de passer par le filtre de l'observation.
- L'observation utilise un instrument:
 - naturel comme l'œil,
 - technologique comme un appareil photo, un GPS,
 - institutionnel comme l'INSEE, le CNES, l'IGN
- Une volonté et une action humaine
 - Volonté d'observer un **fait** ou une succession de faits (**phénomène**),
 - ⇒ Sélection d'un domaine spatio-temporo-thématique
- Un résultat (de type information)
 - Un médium (psychique, physique, électronique,...)
 - Un espace de représentation
 - Une structure informationnelle (symbolique, textuelle, graphique, etc.)
 - Un contenu (nommé aussi observation)

Définition formelle d'une observation géographique

Une **observation**, comme résultat de l'action d'observer, à un instant donné, est définie par cinq entités : (E, D, G, M, m) telles que :

- E : est l'espace de représentation (topologique, normé, métrique, pseudo-euclidien, euclidien de dimension d)
- D : est le **domaine** d'observation qui est une partie de E ,
- G : est la **granularité** définie par une famille finie $G = \{A_i\}_{i=1..n}$ de parties formant une partition de D ,
- M : un **ensemble descriptif** des états possibles de la matière
- m : une **variable matérielle** ou **variable descriptive**, c'est une application $m : G \rightarrow M$, qui associe à chaque grain A_i une valeur matérielle $m_i = m(A_i)$.

L'espace de représentation E

L'espace de représentation E peut être plus ou moins structuré, selon l'objectif et le moyen d'observation.

- ❑ Espaces topologiques : (voisinage, ouvert, fermé, intérieur, frontière,...) : adapté à l'espace des relations sociales
- ❑ Espaces métriques (métrique, semi-métrique, dissimilarité)
- ❑ Espaces normés, (concept de longueur)
- ❑ Espaces euclidiens et affines de dimension $d=2$ ou 3 (concept d'angle, propriétés d'invariance par transformations : isométries, similitudes, etc)

- ❑ Espaces pseudo-euclidiens (relativité restreinte),
- ❑ Espaces de Riemann (Courbure, relativité générale)

observation d'un phénomène géographique

- Pour caractériser l'évolution spatiale et matérielle, nous utilisons le terme de « phénomène » dans le sens d'une succession temporelle discrète ou continue de faits observés.
- Le temps ne peut pas toujours être pris comme un absolu pour l'étude des phénomènes. Nous introduisons pour cela la notion de **temporalité** relative à un phénomène. Elle exprime comment ce phénomène « utilise » le temps pour se structurer.

La notion de temporalité

- Elle est relative à un phénomène.
- Le temps ne peut pas toujours être pris comme un absolu pour l'étude des phénomènes. Nous introduisons pour cela la notion de **temporalité** relative à un phénomène. Elle exprime comment ce phénomène « utilise » le temps pour se structurer.

La notion de temporalité

La temporalité d'un phénomène φ se définit par

- un intervalle de vie $T=[t_{\min}, t_{\max}]$ de durée $a = t_{\max} - t_{\min}$
- un pas de temps minimal dt , (sa granularité temporelle)
- Une base de temps $B_T=\{ t_k \mid k \in K \}$ qui rythme le phénomène
- un support temporel d'activité $\tau:T \rightarrow \{0, 1\}$

$$\mathcal{J}(\varphi) = (T, dt, B_T, \tau)$$

L'observation d'un phénomène φ se définit alors par les huit entités:

$$\mathcal{O}(\varphi) = (D, G, M, m, T, dt, B_T, \tau)$$

Le concept d'objet comme lien entre le réel et la connaissance

La notion d'objet apparaît comme ayant une essence à la fois matérielle et cognitive, car il implique :

- un lien vers le réel à travers l'observation d'une parcelle de d'espace–temps–matière et
- un lien d'identification et de différenciation de cette matière en rapport avec le monde la connaissance

Définition formalisée d'un objet géographique

Etant donnés :

- ❑ une observation $O = (D, G, M, m)$
- ❑ un ensemble de noms J
- ❑ une relation d'identification $\varphi : G \rightarrow J$ qui identifie certains grains avec certains noms
- Un **objet géographique matériel** de nom j est un couple (S_j, C_j) formé de son support spatial (ou localisation) et de son contenu.
- Le support spatial S_j est la partie de D constituée par la réunion des grains de nom j .
- Le contenu matériel C_j de l'objet j , est la partie de M formée de la réunion des contenus $m(A)$ des grains de nom j .
- L'application f qui, à chaque nom j de J , associe l'objet $o_j = (S_j, C_j)$ est appelée **couche d'objets matériels** relative à l'observation O

Propriétés des objets : stationnaires, mobiles, particules

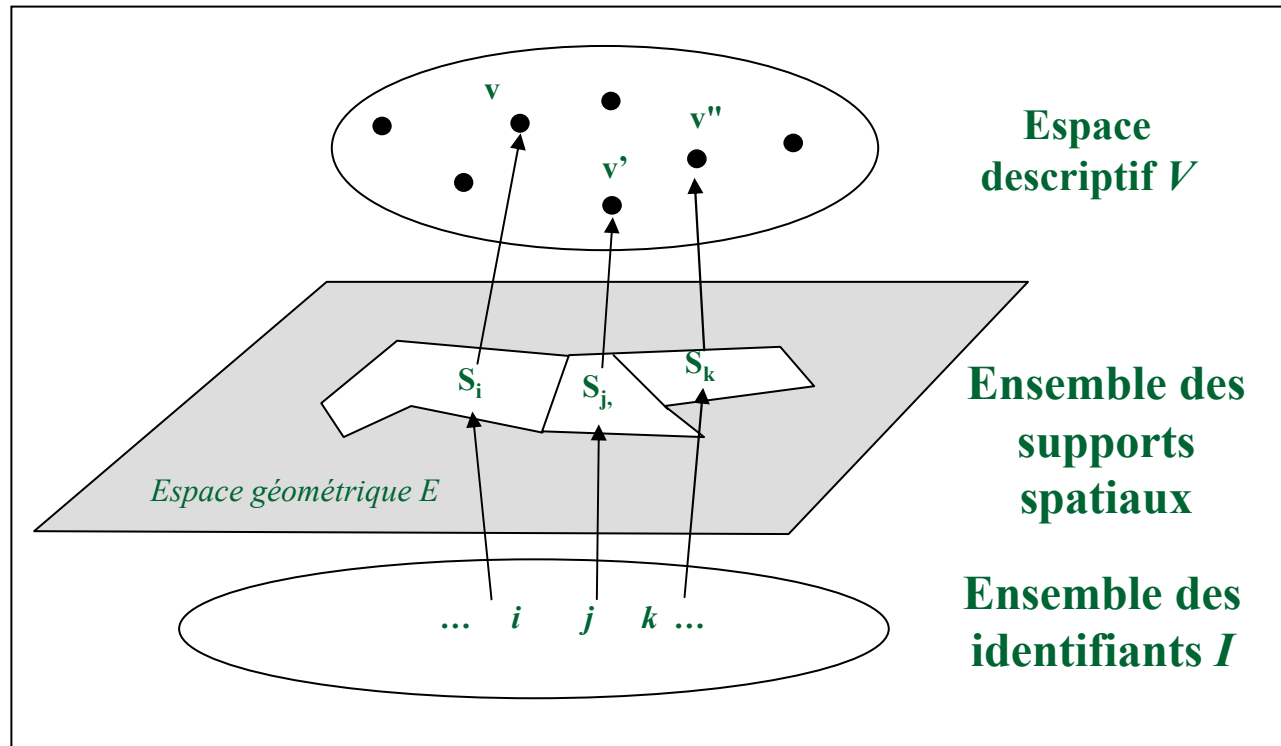
Pour être **stationnaire**, un objet doit être quasi-immobile et topologiquement quasi-invariant (de manière à pouvoir servir de référentiel aux mobiles).

Sinon il est qualifié de **mobile** s'il fait partie du même niveau d'échelle, ou de **particule** sinon.

Plusieurs postulats sont envisageables selon la problématique:

- Hypothèse de séparation des objets (intersection toujours vide)
- Hypothèse de mélange des objets (intersection non vide possible)
- Hypothèse d'impénétrabilité (intersection possible mais de mesure nulle) → apparition de la notion de frontière
- Le choix de la dimensionnalité des objets
- Le principe d'emboîtement

objet géographique (é)valué



- Une simplification de la matérialité consiste à la remplacer par une évaluation numérique, vectorielle ou qualitative
- la couche d'objets est dite évaluée : $\{ (S_j, v_j) \mid j \in J \}$

objets dynamiques : événements, processus

Événement :

Un événement e est défini par un instant t , une localisation x , la description s d'un fait et éventuellement par une durée de l'évènement Δt . C'est donc un triplet : $e = (t, x, s)$ si l'évènement est **discret**, ou un quadruplet $e = (t, \Delta t, x, s)$ s'il est **durable**.
Éventuellement, un événement peut être inexistant (noté « \emptyset » ou « — »).

Dans un système dynamique, une transition d'un état vers un autre est un événement discret et la persistance d'un état entre deux transitions est un événement durable.

objets dynamiques : évènements, processus

Processus explicite :

On appelle processus explicite, une fonction $f : I \times T \rightarrow \mathcal{P}(D) \times V$ telle qu'à chaque objet i et à chaque instant t , elle donne la localisation $x_{i,t} \subset D$ et l'état $y_{i,t} \in V$ de cet objet.

Pour un objet i donné, on note $f_i : T \rightarrow \mathcal{P}(D) \times V$ le processus restreint à l'objet i . On a donc:

$$f(i, t_k) = f_i(t_k) = o_{i,k} = (x_{i,k}, y_{i,k})$$

Un processus explicite est souvent la marque d'un **système simple**, puisque la position et l'état de chaque objet sont calculables directement à chaque instant

objets dynamiques : évènements, processus

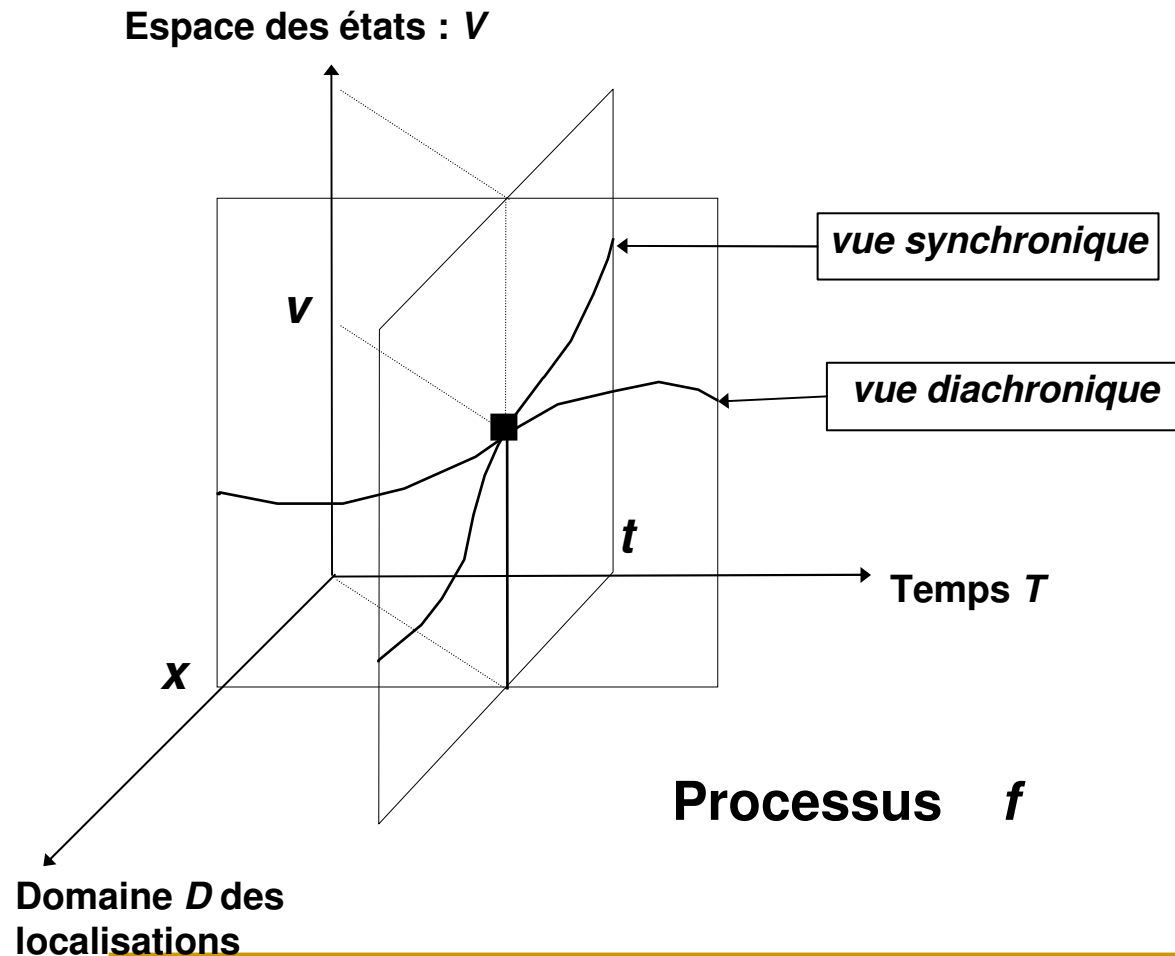
■ Processus itératif :

On appelle processus itératif relatif à une base de temps B_T et à une configuration initiale C_0 , une fonction $f : B_T \times \mathcal{P}(D) \times V \rightarrow B_T \times \mathcal{P}(D) \times V$ qui permet de calculer la configuration C_{k+1} , à partir de la configuration précédente C_k pour tout $k = 1, 2, \dots, K$.

■ Simulation :

On appelle simulation sur la base de temps B_T depuis une configuration initiale C_0 , selon le processus f , la partie de $B_T \times \mathcal{P}(D) \times V$ formée des évènements $e_{i,k}$ relatifs à tous les objets de I et tous les instants de B_T . On peut projeter la simulation selon une vue diachronique $\text{Dia}(i) = e_{i,\bullet}$ pour un objet $i \in I$ (qu'on appelle aussi trajectoire de i), ou selon une vue synchronique $\text{Syn}(k) = e_{\bullet,k}$ à un instant t_k . (ou configuration de la couche à l'instant t_k).

objets dynamiques : évènements, processus

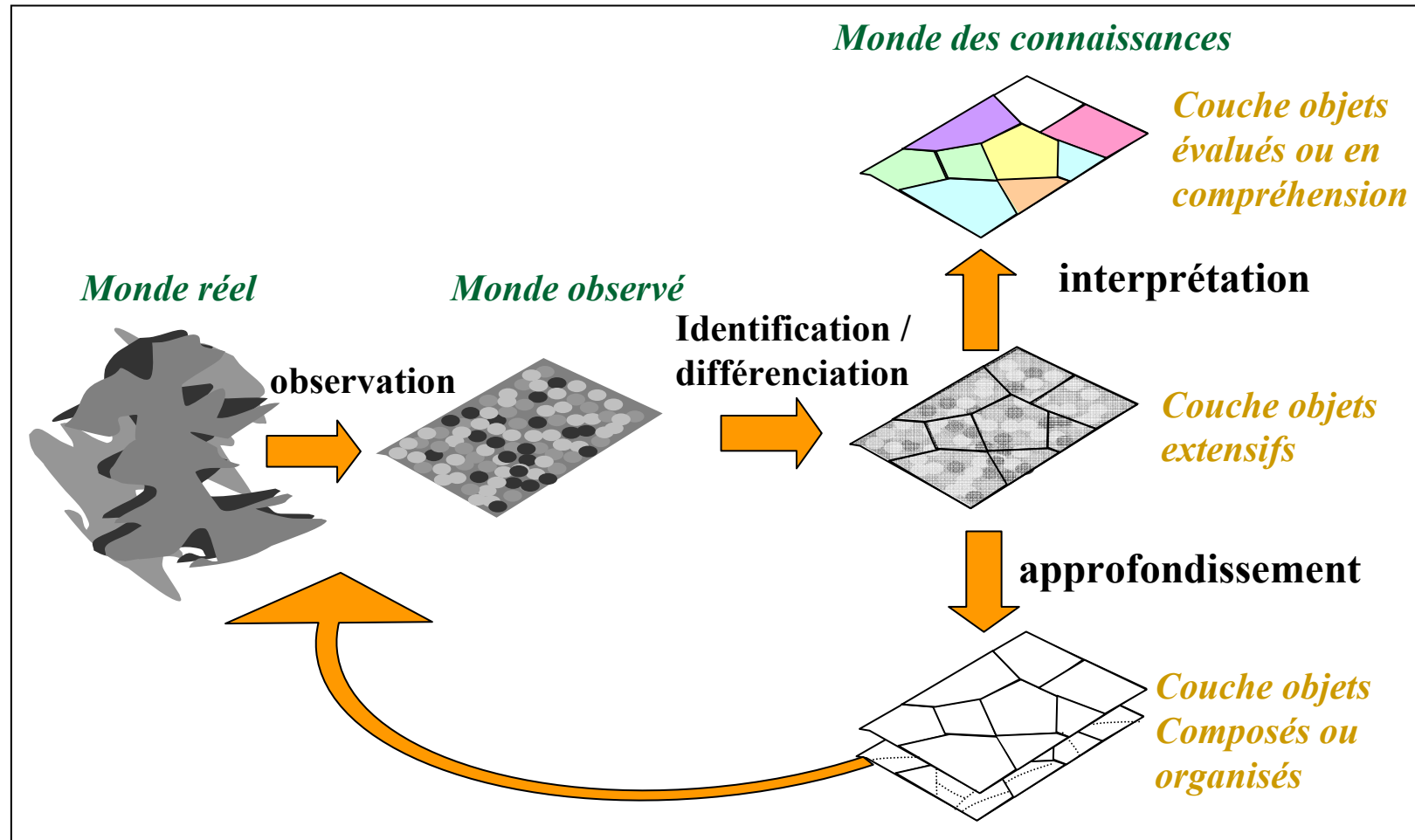


Simulation :

On appelle simulation sur la base de temps B_T depuis une configuration initiale C_0 , selon le processus f , la partie de $B_T \times \mathcal{P}(D) \times V$ formée des évènements $e_{i,k}$ relatifs à tous les objets I et tous les instants de B_T .

On peut projeter la simulation selon une **vue diachronique** (ou trajectoire de i), ou selon une **vue synchronique** à un instant t_k (ou configuration à l'instant t_k).

Cycle de l'ontogénèse



De l'objet au système

- Les observations se succèdent, s'empilent, se croisent, à différents niveaux d'échelles spatiales, temporelles, sous différents points de vues thématiques.
- La connaissance se construit par la fusion de cette multitude d'observations en un concept plus vaste celui de système.
- Un système est un ensemble d'objets, les agents, qui sont:
 - organisés intérieurement et extérieurement,
 - en interaction interne et externe,
 - possèdent un comportement : interaction intérieur-extérieur

Un système est relatif à un objectif (interne ou externe)

Approche systémique

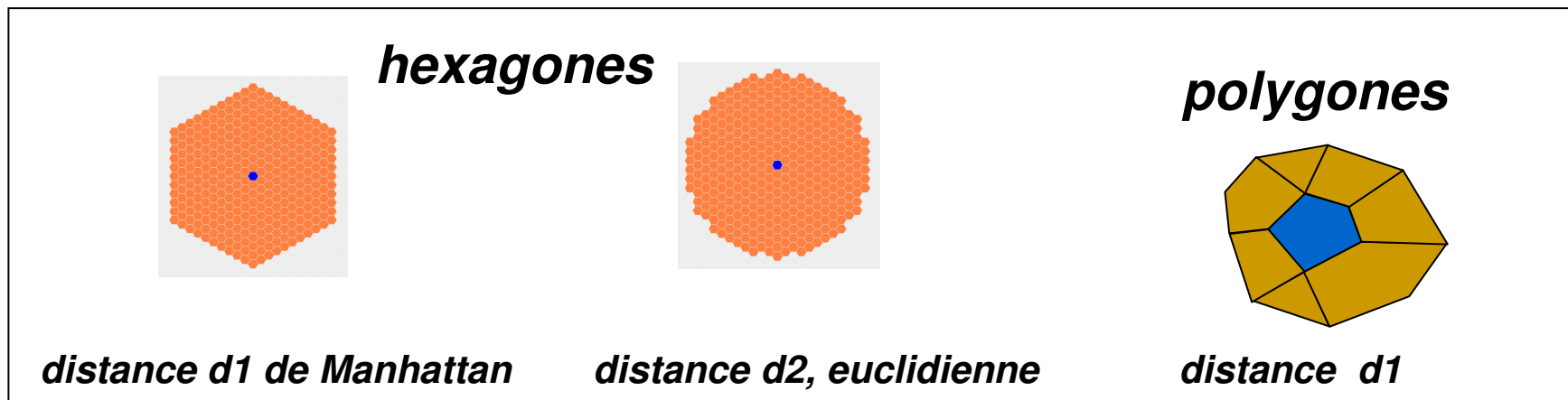
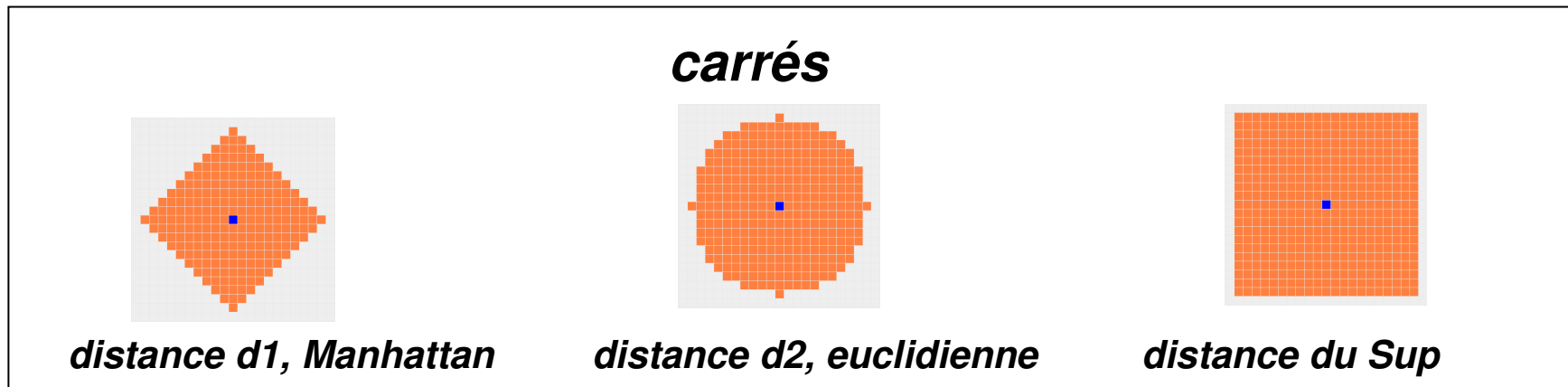
La notion d'agent

Un agent est un objet dynamique, élément d'un système, donc en interaction avec les autres agents du système. L'agent peut contenir d'autres agents (en tant que composants ou de passagers) formant un système interne. Un agent possède un comportement global, résultant d'un ensemble de comportements élémentaires.

Un comportement élémentaire est un processus, qui peut être dicté par d'une organisation dont il fait partie (rôle), ou faire partie intégrante de lui-même

Approche systémique: topologie

L'organisation spatiale minimale utilise la topologie de l'espace, qui peut être induite par la distance



Approche systémique organisations

Une organisation est un ensemble de relations entre les objets d'un système.

Une organisation peut être :

- Statique ou dynamique (temps)
- Fixe ou Avoir certains degrés de liberté (espace)

Types d'organisations:

- Algébrique (purement relationnelle, ou définie par des opérations)
- Organisation définie par des règles
- Organisations spatiales

Approche systémique organisations

Exemples d'organisations algébriques:

- Relation d'ordre
- Relation d'équivalences (partition en classes)
- Relations arbres
- Relation de treillis
- Relations hiérarchisées (niveaux, composés-composants)

Exemples d'organisations spatiales

- Surfaiques, linéaires, ponctuelles,
 - Surfaiques : Carroyage, Triangulation, zonage quelconque
 - Linéaire : Arborescences, Réseaux, isolognes emboîtées,
 - Ponctuel : réseau régulier de points, semis quelconque
 - Mixte: ex: Surface d'écoulement, lignes de talweg, points cuvettes.

Approche systémique

Action, réaction, rétroaction, interaction

Une action élémentaire mobilise trois entités (s, m, c):

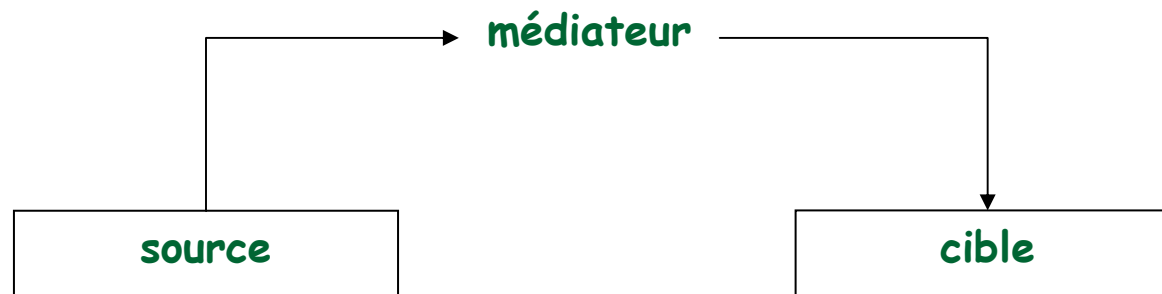
La source : (ou l'émetteur du médiateur)

La cible (ou le récepteur).

Le médiateur :

discret : (une information, un objet, une particule, etc.)

continu : (un flux d'énergie ou de matière, une somme d'argent, etc.).



Approche systémique

Action, réaction, rétroaction, interaction

- Une action : modifie seulement l'état de la cible (s agit sur c par l'intermédiaire de m).
- Une réaction : est une action de c sur s en réponse à une action de s sur c
- Une rétroaction : est une réaction de contrôle, pour la régulation d'une action principale
- Une interaction : modifie à la fois la source et la cible, voire le médiateur

Approche systémique

Interactions

Une interaction élémentaire peut être:

- **Orientée:**

ex: déplacement d'un mobile M de P1 en P2 : (P1, M , P2)

- **Non orientée :**

ex : collision de 2 mobiles M1 et M2 en un lieu P : (M1, P, M2)

- **Conservative :**

• Ex : flux de matière F d'une quantité q d'un stock s_1 en P1 vers un stock s_2 en P2 : ((P1, s_1), (F, q), (P2, s_2)) donne la transformation

$$F(s_1, q, s_2) = (s_1 - q, s_2 + q)$$

Approche systémique (dé)composition d'un agent

Un agent peut se décomposer par :

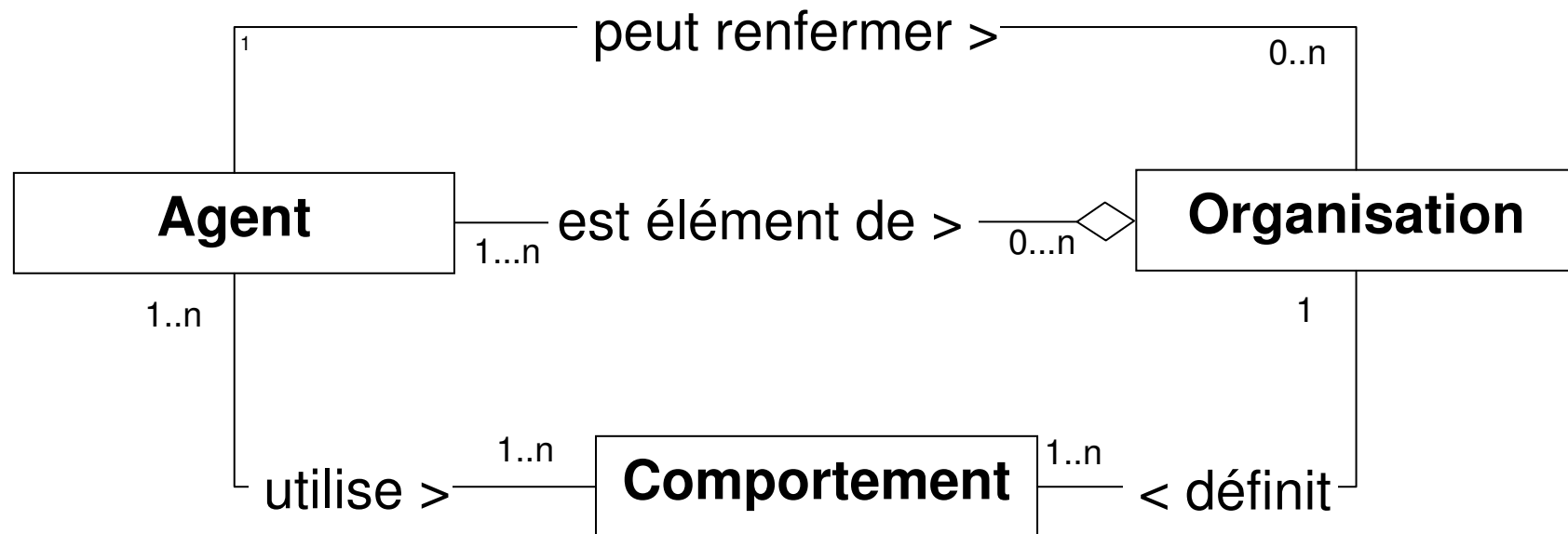
- un découpage **fonctionnel** (en sous-processus) et
- un découpage **temporel** (en phases).
- un découpage **spatial** en sous-agents : ses composants qui forment un système intérieur à l'agent.

Un agent peut contenir :

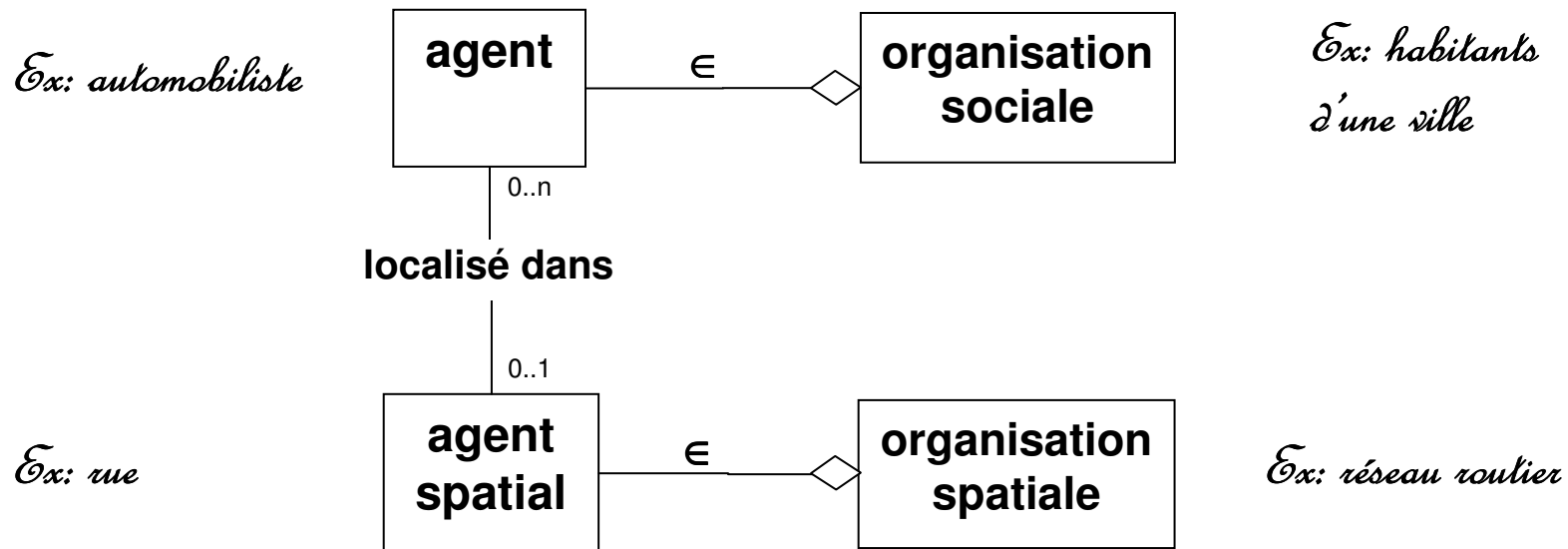
- Une ou plusieurs organisations (contenant des agents fixes ou mobiles)
- Un ensemble de comportements propres ou hérités

Approche systémique

Agent - Organisation - Comportement



Approche systémique Agent localisé



L'environnement est constitué
d'une organisation d'agents (au moins)