Espaces Conceptuels et Intelligence Artificielle I

Espaces conceptuels

Salim Lardjane
Université de Bretagne Sud
Laboratoire de Mathématiques de Bretagne Atlantique

Représentations

« A computer program capable of acting intelligently in the world must have a general representation of the world in terms of which its inputs are interpreted. Designing such a program requires commitments about what knowledge is and how it is obtained. Thus, some of the major traditional problems of philosophy arise in artificial intelligence. »

J. McCarthy & P. J. Hayes (1969)

Représentations

« Ce qui connaît tout le reste, sans être soi-même connu, c'est le sujet. Le sujet est, par suite, le substratum du monde, la condition invariable, toujours sous-entendue, de tout phénomène, de tout objet ; car tout ce qui existe, existe seulement pour le sujet. Ce sujet, chacun le trouve en soi, en tant du moins qu'il connaît, non en tant qu'il est objet de connaissance. »

Arthur Schopenhauer – Le Monde comme volonté et comme représentation (1819, 2ème éd.1844).

Cet exposé est basé sur les Chapitres 1 à 5 de l'ouvrage

Conceptual Spaces : The Geometry of thought

de Peter Gärdenfors
MIT Press, 2000

Représentations

Considérons une jungle végétale ou des individus peuvent se déplacer avec différents objectifs (Gärdenfors, 2000). On souhaite décrire leurs déplacements à travers la jungle.

Les mouvements des individus sont contraints de deux manières.

Représentations

Premièrement, par *l'environnement* : roches, arbres, buissons, rivières, etc, leur bloquent le passage et les empêchent de se déplacer en ligne droite et de voir loin devant eux.

Deuxièmement, leurs *corps* n'autorisent que certains mouvements : ils ne peuvent pas faire des pas de trois mètres, il ne peuvent pas prendre des passages de 10cm de largeur, ne peuvent pas grimper sur des pentes trop raides, etc.

Représentations

Ces contraintes déterminent une classe de trajectoires possibles à travers la jungle.

Parmi les différentes possibilités, les individus ont tendance à choisir les chemins les plus *efficaces* localement.

A ce stade, les trajectoires choisies par les individus ne peuvent être décrites qu'à un niveau très concret et très détaillé.

Représentations

Le *langage* n'est pas suffisant pour ce faire; les instructions de voyage sont données préférentiellement par la praxis, c'est-à-dire en *montrant* le chemin.

La représentation verbale la plus proche est du type « faire deux pas vers le tronc de l'arbre, puis tourner à gauche et passer sous la branche, tourner à droite et enjamber le rocher...».

Comme les trajectoires sont déterminées par les interactions dynamiques entre les individus et leur environnement, ce niveau de représentation sera appelé *sub-conceptuel*.

Représentations

A long terme, les mouvement des individus causent des changements dans l'environnement; quelqu'un déplace un rocher qui bloque le passage, quelqu'un casse un branche qui obscurcit la vue, et l'usure du sol rend certaines routes plus faciles à emprunter.

Représentations

De cette façon, des *chemins* à travers la jungle sont établis et rendent le voyage plus efficace.

Les chemins permettent de se diriger donc de planifier son voyage.

On peut dessiner une carte du système de chemins.

Représentations

Bien qu'une carte ne puisse être traduite complètement sous forme verbale, une description différente des routes devient possible.

On peut dire « se déplacer de 30 mètres vers l'ouest, tourner à droite, et suivre le chemin vers le bas de la colline et au croisement prendre à gauche ...».

Ces descriptions sont moins compliquées que celles collant aux trajectoires.

Il n'est plus nécessaire de prendre en considération la région en dehors des chemins, car on peut supposer que les contraintes physiques rendent plus pratique d'emprunter les chemins.

Représentations

Ce nouveau type de description des routes présume que les dimensions spatiales (générant des directions telles que nord, ouest, etc) sont disponibles dans la représentation.

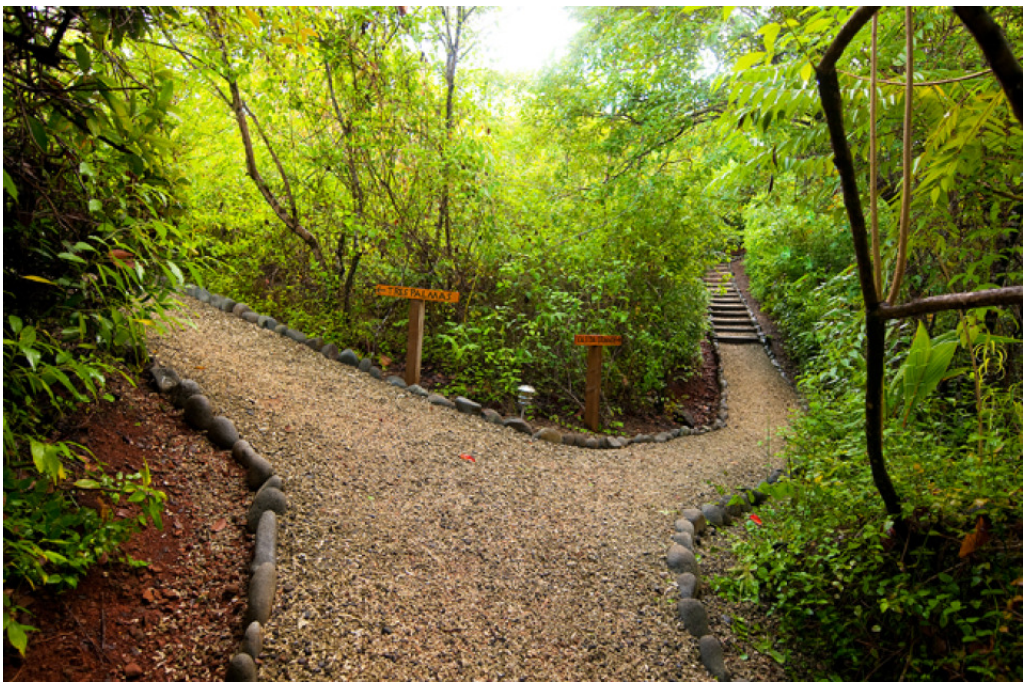
De plus, on doit être à même de déterminer des *distances* dans la région.

On représente à présent l'information de voyage sous une forme spatiale au niveau *conceptuel*. La structure *géométrique* de l'espace du problème est constitutive de ce type de représentation.

Représentations

Lorsque les voyages des habitants de la jungle résultent en un système complexe de chemins, ces chemins se croisent naturellement en différents points.

Croisements et autres lieux sont dotés de noms et des pancartes sont positionnée.



Représentations

Une forme encore plus efficace de description des routes émerge : « aller de A à B, tourner à gauche et aller à C... ».

Les détails de se qui se passe entre les croisements ne sont plus nécessaires, puisqu'on suppose qu'il existe un unique chemin entre A et B qui peut être emprunté sans problème.

On atteint à présent le niveau *symbolique* de représentation, où les pancartes sont les symboles les plus proéminents. Pour que ce type de représentation fonctionne comme outil de communication, il est requis qu'il y ait une connaissance commune des endroits auxquels réfèrent les noms.

Représentations

La principale leçon à tirer de cette histoire est qu'il n'existe pas une unique façon de représenter le monde.

Sur les trois niveaux, ce sont les mêmes phénomènes qui sont représentés, c'est-à-dire les mouvement des personnes à travers la jungle. La différence tient au niveau de détail utilisé dans la représentation de leurs mouvements.

Notons que le niveau le plus bas de description est en principe toujours applicable, alors que des *conditions sont requises* pour les niveaux suivants. Dès lors que ces conditions sont satisfaites, la description subconceptuelle devient inutilement complexe.

La cognition

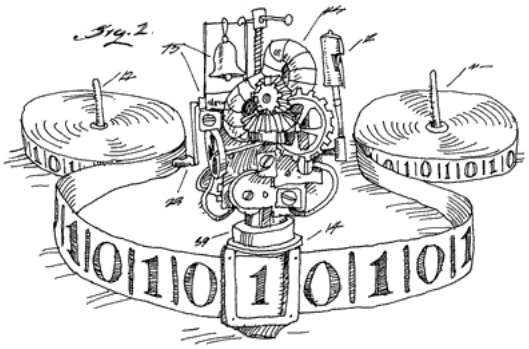
La notion de *cognition* regroupe l'ensemble des fonctions dont est doté un système, biologique ou informatique, à l'aide desquelles il construit une *représentation opératoire* de la *réalité* à partir de ses perceptions, susceptible de nourrir ses raisonnements et de guider ses actions.

Elle inclut en particulier la fonction de *connaissance*, qui met en jeu la mémoire, le langage, le raisonnement, l'apprentissage, l'intelligence, la résolution de problèmes, la prise de décision, la perception et l'attention.

Modélisation des représentations

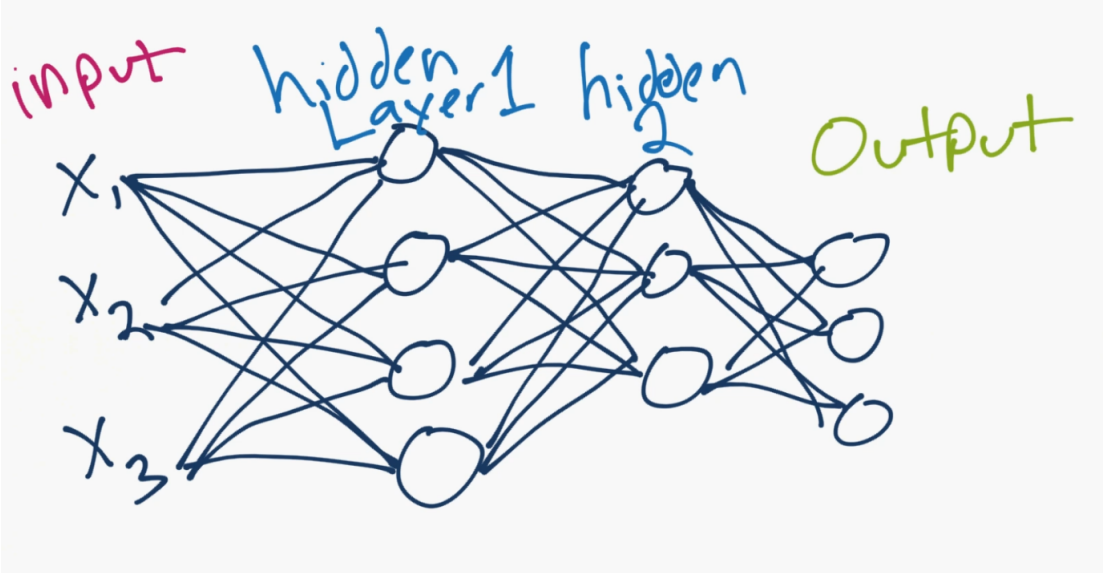
Il existe deux approches dominantes de la modélisation des représentations.

1. L'approche *symbolique* part du présupposé que les systèmes cognitifs peuvent être décrits comme des *machines de Turing* (Turing, 1936). De ce point de vue, la cognition est assimilée à un calcul faisant intervenir la manipulation de *symboles*.



Modélisation des représentations

2. La deuxième approche est *l'associationisme* où l'association entre différents éléments d'information conduit à une représentation. Le *connexionisme* est un exemple d'associationisme qui consiste à modéliser les associations à l'aide de *réseaux de neurones artificiels*.



Modélisation des représentations

Les approches associationiste et symboliques sont souvent considérées comme des approches rivales mais elles sont en fait complémentaires.

Il existe cependant divers aspects des phénomènes cognitifs dont aucune des deux approches précédentes ne parvient à rendre compte.

Modélisation des représentations

Il s'agit en particulier des mécanismes *d'acquisition de concepts*, qui sont essentiels à la compréhension de nombreux phénomènes cognitifs.

Représentations symboliques

Stewart (1996) : « In the computational paradigm, symbolic representations are theoretical primitives so that it is not really possible to study their evolutionary emergence, because there are no conceptual categories available for specifying the situation before symboles came into being ».

Représentations symboliques

En plus du problème de la genèse des prédicats, leur développement dans un système cognitif n'est pas facilement modélisé au niveau symbolique.

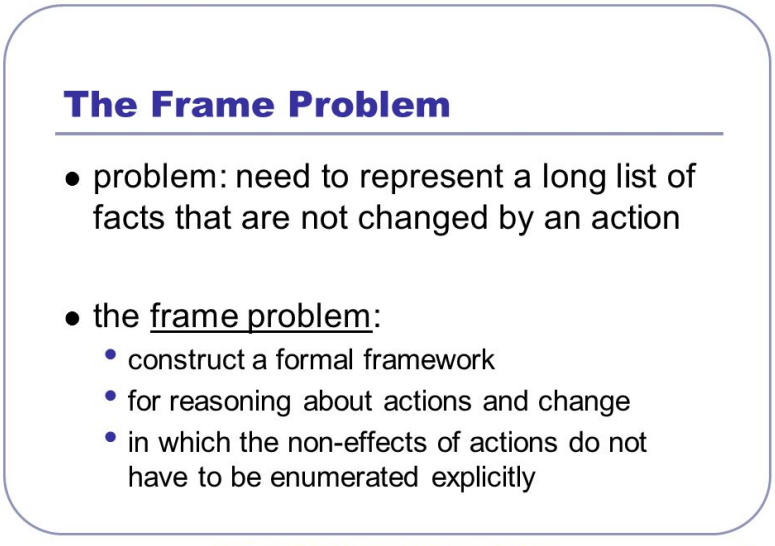
Même après qu'un agent ait appris un concept, le sens du concept change très souvent comme résultat de nouvelles expériences.

Dans le cadre du mode symbolique de représentation, il n'y a pas de façon satisfaisante de modéliser la *dynamique* des concepts.

Deux autres problèmes récurrents de l'approche symbolique sont le problème du cadre (frame problem) et celui du fondement des symboles (symbol grounding problem).

Le problème du cadre

Le problème du cadre (McCarthy & Hayes, 1969) est le suivant : dans le cadre des représentations symboliques, comment décrire les résultats des actions d'un agent sans avoir à décrire un grand nombre de faits qui ne sont pas des conséquences de ces actions ?



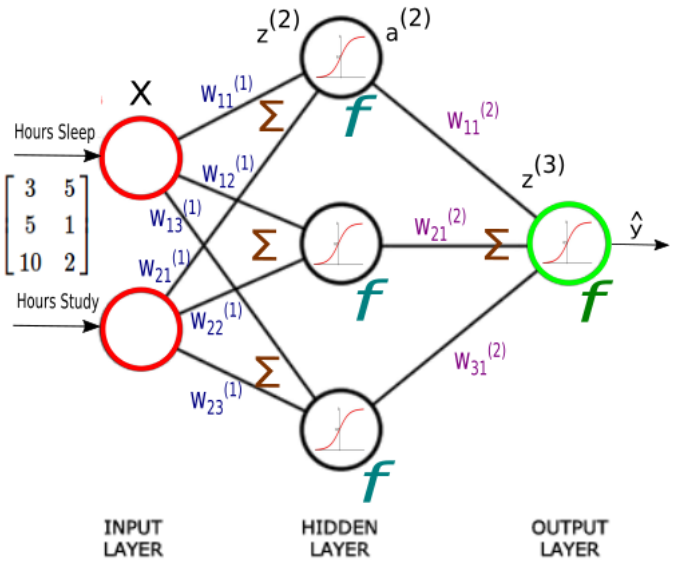
Le problème du fondement des symboles

Le Problème du fondement des symboles (Harnad 1990) peut se formuler ainsi : comment un mot, ou plus généralement un symbole, acquiert-il son sens ?

Autant le problème du cadre que le problème du fondement des symboles trouvent une solution dans le cadre de l'approche conceptuelle.

Connexionisme

Durant les dernières décennies, l'associationnisme a été revitalisé par nouveau modèle de la cognition : le connexionisme.



Les systèmes connexionistes, également appelés réseaux de neurones artificiels (RNAs, ang. ANNs) consistent en un grand nombre d'unités simples interconnectées (les « neurones »).

Connexionisme

Chaque unité reçoit une « activité », excitatrice ou inhibitrice, comme entrée et transmet une activité aux autres unités, calculée selon une fonction, en général non linéaire, des entrées.

Le comportement du réseau dans sa globalité est déterminé par l'état initial d'activation et par les connexions entre unités.

Les entrées du réseau modifient graduellement les « poids » des connexions entre unités selon une *règle d'apprentissage* (Rumelhart & McClelland, 1986).

Connexionisme

Les unités n'ont pas de mémoire en elle-même mais les entrées présentées sont représentées indirectement via les modification de poids qu'elles ont causées.

Les modèles connexionistes peuvent être classifiés selon leur *architecture* et leur *règle d'apprentissage*.

Connexionisme

Selon le connexionisme, les processus cognitifs ne doivent pas être représentés par des manipulations de symboles, mais par *la dynamique des formes d'activité* dans des RNAs.

Van Gelder (1995) : « Rather than computers, cognitive systems may be dynamical systems; rather than computation, cognitive processes may be state-space evolution within these very different kind of systems ».

Connexionisme

Des RNAs ont été développés pour différents types de tâches, parmi lesquelles la vision, le traitement du langage, la formation de concepts, l'inférence et le contrôle de moteurs.

En faveur des RNAs, le fait que ces modèles sont beaucoup moins sensibles au bruit dans les entrées.

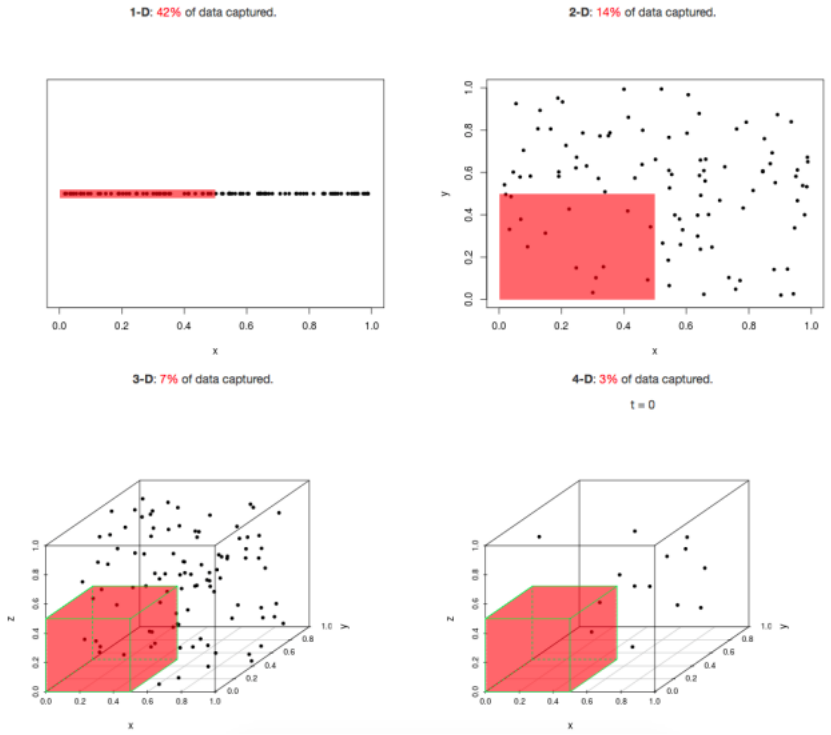
De plus, les mécanismes d'apprentissage fournissent une réponse à la question de l'apprentissage de nouveaux concepts .

Quels sont alors les inconvénients des RNAs pour représenter l'information ?

Un problème récurrent est que de tels systèmes requièrent un *ensemble d'apprentissage* important pour apprendre les structures pertinentes.

Connexionisme

Schyns, Goldstone et Thibaut (1998) : « Only with great experience is the system able to categorize accurately...The curse of dimensionality is such that unbiased machines designed to discover many types of new perceptual features flexibly will often need implausibly large training sets to achieve good categorizations ».



Connexionisme

Les mécanismes d'apprentissage sont *beaucoup plus rapides* au niveau conceptuel. La raison pour laquelle les réseaux de neurones apprennent si lentement est qu'ils ont un grand nombre de paramètres : tous les poids des connexions entre neurones sont traités comme des variables indépendantes qui sont ajustées lentement quand le système est en phase d'apprentissage.

Un autre problème est que même si l'on sait qu'un RNA a appris à catégoriser correctement les entrées, on peut ne pas être à même de décrire ce que le RNA obtenu représente.

Ce type de problème est récurrent dans les applications des RNAs à des problème d'apprentissage (effet boîte noire).

L'approche conceptuelle

On compare fréquemment les expériences que l'on vit à des souvenirs d'autres expériences. Nous expérimentons parfois des choses entièrement nouvelles mais, la plupart du temps, ce qu'on entend ou ce qu'on voit est plus ou moins la même choses que ce que l'on a déjà rencontré.

L'approche conceptuelle

Cette capacité cognitive montre que l'on peut, consciemment ou inconsciemment, *mettre en relation* nos diverses expériences. En particulier, on peut dire dans quelle mesure un nouveau phénomène est *similaire* à un phénomène déjà rencontré.

Le rôle de l'approche conceptuelle est de rendre compte de cette mise en relation des expériences, c'est-à-dire de ce que l'on perçoit, de ce dont on se souvient ou de ce qu'on imagine.

L'approche conceptuelle

La notion fondamentale de l'approche conceptuelle est celle de *dimension*.

Définition D : On appellera *dimension* d'une classe d'objets une application de celle-ci vers un espace *géométrique*, représentant un attribut quantitatif ou qualitatif des objets considérés.

La structure géométrique associée à une dimension est souvent déduite de théories scientifiques. On précisera cette notion dans la suite.

Définition EC : On appellera *espace conceptuel* engendré par les dimensions $D_1, \ldots, D_n$ l'image de l'application $(D_1, \ldots, D_n)$.

Un espace conceptuel est un ensemble de n-uples. Chaque élément des n-uples est un point d'un espace géométrique.

L'approche conceptuelle

Comme exemple de dimensions, mentionnons la température (d'un corps), le poids (d'un corps), la luminosité (d'une étoile), la hauteur (du son) et les trois dimensions spatiales usuelles : hauteur, largeur et profondeur (d'un corps).

Les dimensions spatiales et la luminosité sont perçues par le système visuel, la hauteur de son par le système auditif, la température par des capteurs thermiques et le poids par des capteurs synesthésiques.

L'approche conceptuelle

Il n'y a, en général, pas une seule façon de choisir une dimension pour représenter un attribut particulier mais un vaste éventail de possibilités.

Considérons la dimension "temps". En sciences, le temps a pour image la droite réelle. Si le présent est assimilé au point 0, le futur correspond aux réels strictement positifs et le passé aux réels strictement négatifs.

Cette représentation du temps dépend de la culture dans laquelle on est. Des personnes de cultures différentes peuvent utiliser des dimensions temporelles différentes. Par exemple, dans certains contextes culturels, le temps est vu comme une variable circulaire (Gärdenfors, 2000).

L'approche conceptuelle

Il est à noter que certaines dimensions sont purement *catégorielles*, c'est-à-dire qu'elle ne permettent que de répartir les objets dans différentes classes.

Deux exemples sont les classifications des espèces biologiques à l'aide *d'arbres phylogénétiques* et les relations de parenté dans les sociétés humaines.

L'approche conceptuelle

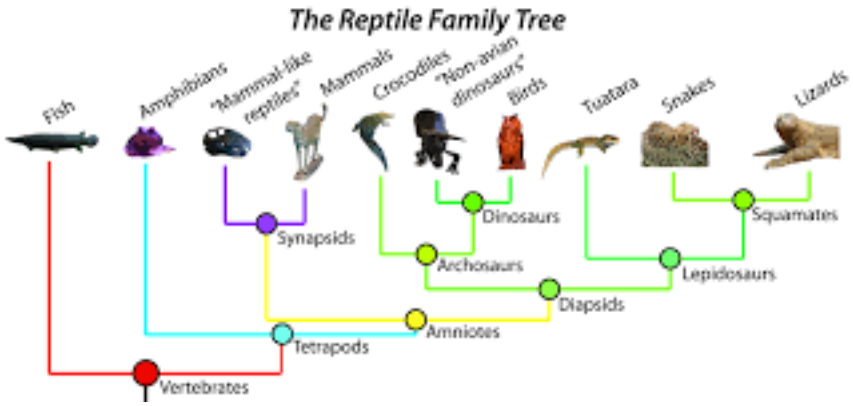
Les noeuds d'un arbre phylogénétique représentent différentes espèces dans l'échelle de l'évolution, les noeuds les plus proches de la racine de l'arbre représentant des espèces plus anciennes (éteintes).

La distance entre deux noeuds peut être mesurée par la longueur du chemin qui les relie.

Ainsi, même pour l'image d'une dimension de nature catégorielle, on peut parfois distinguer une structure géométrique rudimentaire.

L'approche conceptuelle

Par exemple, dans la classification phylogénétique des animaux, il est justifié de dire que les crocodiles sont plus proches des oiseaux que des lézards.



Représentations conceptuelles

Si on analyse les systèmes cognitifs biologiques d'un point de vue évolutionniste, les processus cognitifs des animaux les plus simples peuvent être décrits au niveau subconceptuel.

Pour de tels organismes, les modèles basés sur les RNAs peuvent être les plus appropriés.

Représentations conceptuelles

Pour les animaux plus avancés, en particuliers, les mammifères et les oiseaux, il existe des mécanismes sophistiqués de formation de concepts et d'apprentissage. Ces mécanismes peuvent être modélisés au niveau conceptuel.

Représentations conceptuelles

On peut conjecturer que seuls les humains présentent une cognition basée sur des représentations symboliques en ce sens que certaines formes de pensée sont basées sur la manipulation de symboles de façon gouvernée par des règles.

Interprétation phénoménale et scientifique des dimensions

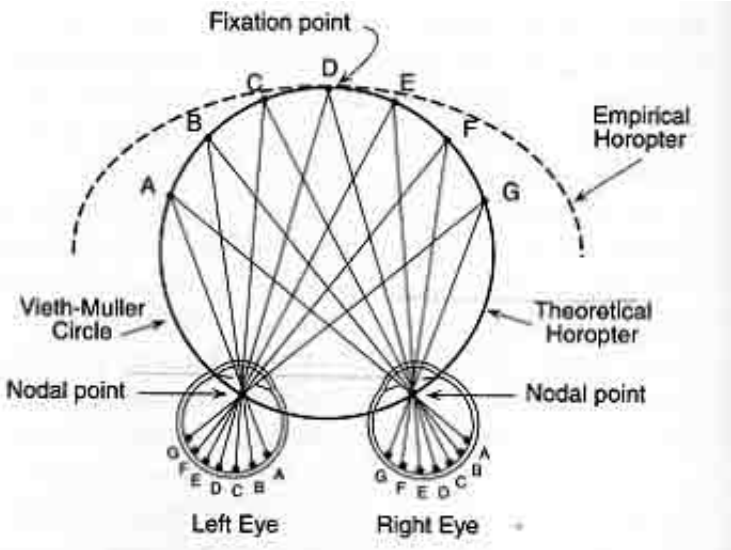
Il est important de distinguer entre une interprétation phénoménale (ou psychologique) et une interprétation scientifique (ou théorique) des dimensions.

L'interprétation phénoménale concerne les structures cognitives (perception, mémoire, etc) des êtres humains et autres organismes.

L'interprétation scientifique considère les dimensions comme faisant partie d'une théorie scientifique.

Interprétation phénoménale et scientifique des dimensions

Exemple : notre espace visuel phénoménal n'est pas un espace euclidien tridimensionnel parfait car il n'est pas invariant par transformation linéaire. Le *modèle* de Rudolf Luneburg (1947) le représente comme une variété hyperbolique de courbure constante.



Interprétation phénoménale et scientifique des dimensions

Cela pourrait expliquer *l'illusion lunaire* : la lune paraît plus grande quand elle est plus proche de l'horizon, alors qu'elle a la même taille "objective" tout le temps.

Identification des dimensions

Dans un espace conceptuel utilisé pour la construction d'un système cognitif artificiel, les structures géométriques des dimensions sont choisies par le constructeur du système.

Les structures des dimensions sont intimement liées aux méthodes utilisées pour mesurer les dimensions en situation expérimentale.

Ainsi, le choix des dimensions dans une situation constructive donnée dépendra des capteurs utilisés et de leur fonction.

Identification des dimensions

Par contre, les dimensions d'un espace conceptuel phénoménal ne sont pas obtenues directement à partir des perceptions ou des actions des sujets, mais doivent être inférées à partir de leur comportement.

Identification des dimensions

Il existe diverses techniques *statistiques* permettant d'identifier les dimensions d'un espace phénoménal.

L'une des plus connue est la technique MDS (Multi-Dimensional Scaling, Shepard 1962, Kruskal 1964).

Géométrie

L'image d'une dimension d'un espace conceptuel est dotée d'une structure géométrique.

Un système axiomatique permettant de développer la géométrie peut être construit à partir de deux relations fondamentales : *l'intermédiarité* et *l'équidistance*, définies sur un espace de points.

Dans la plupart des systèmes axiomatiques, on introduit également les notions fondamentales de droites et de plans, mais celles-ci ne jouent qu'un rôle mineur dans la théorie des espaces conceptuels.

Intermédiarité

Soit $\mathcal{S}$ un ensemble de points d'un espace donné. La relation d'intermédiarité est une relation ternaire $B(a, b, c)$ sur $\mathcal{S}$, qu'on lit « le point b se trouve entre le point a et le point c ».

Cette relations est supposée vérifier un ensemble d'axiomes fondamentaux. Les plus simples sont les suivants :

$B0$: Si $B(a, b, c)$, alors a, b, c sont distincts.

$B1$: Si $B(a, b, c)$, alors $B(c, b, a)$.

$B2$: Si $B(a, b, c)$, alors $\neg B(b, a, c)$

$B3$: Si $B(a, b, c)$ et $B(b, c, d)$, alors $B(a, b, d)$

$B4$: Si $B(a, b, d)$ et $B(b, c, d)$, alors $B(a, b, c)$.

Intermédiarité

Ces axiomes sont vérifiés pour un grand nombre de structures ordonnées et ils sont vrais pour la géométrie euclidienne ordinaire.

Toutefois, ils peuvent également être vérifiés dans des structures plus « faibles », comme les graphes (Gärdenfors, 2000).

Intermédiarité

La notion de droite peut être définie à partir de la relation d'intermédiarité en disant que la droite qui passe par les points a et c, noté $D(a, c)$, consiste en l'ensemble composé de a, c et de tous les points b tels que $B(a, b, c)$ ou $B(b, a, c)$ ou $B(a, c, b)$.

Sans hypothèses supplémentaires sur la structure de l'ensemble de points $\mathcal{S}$, les droites définies de cette façon peuvent ne pas ressembler aux droites de la géométrie ordinaire.

Intermédiarité

De plus, on peut définir les plans à l'aide des droites et de la relation d'intermédiarité (Borsuk & Szmielew, 1960).

Une fois qu'on dispose des notions de droites et de plans et des axiomes d'incidence déduits de $B1 - B4$, on peut construire la plus grande part de la géométrie traditionnelle (Artin 1957, Borsuk & Szmielew 1960, Pambuccian 2011).

Les axiomes fondamentaux de l'intermédiarité peuvent être complétés par un axiome de densité :

$B5$: Pour tous points a, c de $\mathcal{S}$, il existe un point b tel que $B(a, b, c)$.

Intermédiarité

Il existe bien entendu des dimensions, par exemple les dimensions discrètes, pour lesquelles l'axiome $B5$ n'est pas valide.

Equidistance

La deuxième notion primitive de la géométrie est celle d'équidistance (Borsuk & Szmielew, 1960). C'est une relation quaternaire $E(a, b, c, d)$ qui se lit « le point a est aussi éloigné du point b que c l'est de d ».

Les axiomes fondamentaux de la relation E sont les suivants :

$E1$: Si $E(a, a, p, q)$, alors $p = q$.

$E2$: $E(a, b, b, a)$.

$E3$: Si $E(a, b, c, d)$ et $E(a, b, e, f)$, alors $E(c, d, e, f)$.

Equidistance

L'axiome suivant relie la relation d'intermédiarité B et la relation d'équidistance E :

$E4$: Si $B(a, b, c)$, $B(d, e, f)$, $E(a, b, d, e)$ et $E(b, c, e, f)$, alors $E(a, c, d, f)$.

$E4$ dit essentiellement que si b est entre a et c, alors la distance entre a et c est la somme de la distance entre a et b et de la distance entre b et c.

Comme la somme de distances ne peut être définie explicitement en utilisant uniquement les relations B et E, la condition est exprimée de façon purement relationnelle.

Espaces métriques

La relation d'équidistance est une notion qualitative de distance. Une notion plus forte est celle d'espace métrique.

Rappelons qu'une fonction à valeurs réelles $d(a, b)$ est une fonction de distance sur l'espace $\mathcal{S}$ si elle vérifient les conditions suivantes pour tous points a, b, c de $\mathcal{S}$:

$D1$: $d(a, b) \geq 0$ et $d(a, b) = 0$ ssi $a = b$.

$D2$: $d(a, b) = d(b, a)$

$D3$: $d(a, b) + d(b, c) \geq d(a, c)$

Espaces métriques

Un espace doté d'une distance est dit *espace métrique*.

Dans l'espace bidimensionnell $\mathbb{R}^2$, la distance euclidienne vérifie les propriétés $D1 - D3$.

De même, un graphe fini où la distance entre deux sommets a et b est définie comme le nombre d'étape sur le chemin le plus court entre a et b est un espace métrique.

Espaces métriques

Dans un espace métrique, on peut définir une relation d'intermédiarité B et une relation d'équidistance E de la façon suivante :

B : $B(a,b,c)$ ssi $d(a,b) + d(b,c) = d(a,c)$

E : $E(a,b,c,d)$ ssi $d(a,b) = d(c,d)$.

On démontre que si d vérifie $D1 - D3$, alors B vérifie $B1, B2, B4$ et E vérifie $E1$–$E4$. $B3$ n'est pas vraie en générale, mais elle est vraie par exemple sur les arbres.

Distance euclidienne et de Manhattan

Pour la distance euclidienne, la relation d'intermédiarité obtenue recouvre le sens usuel : les points entre a et b sont ceux sur le segment entre a et b.

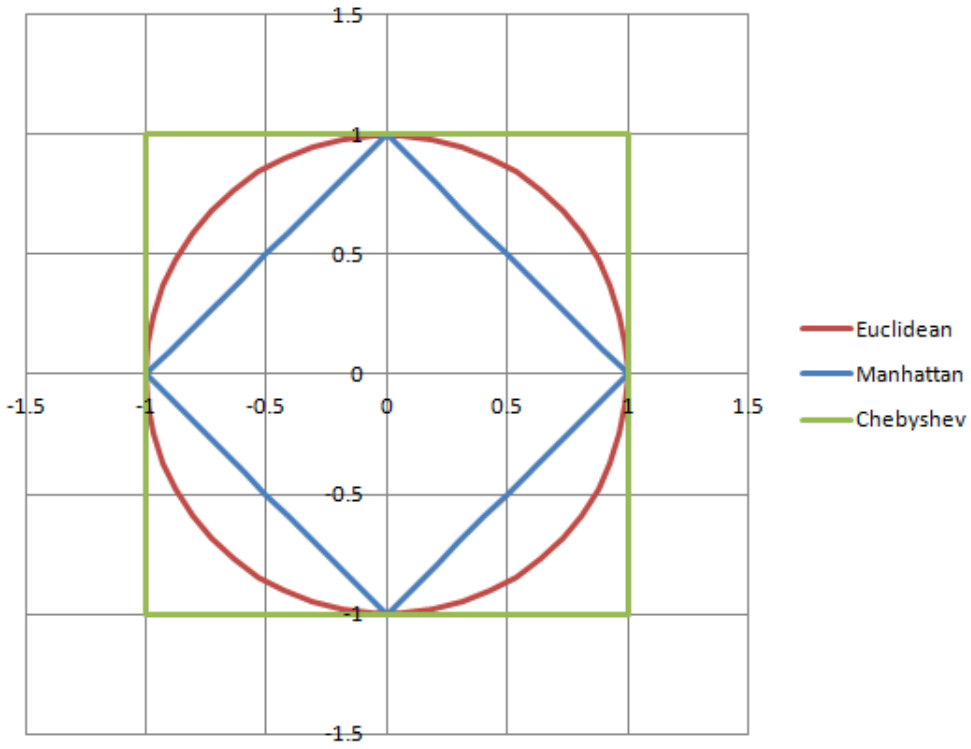
L'équidistance peut être représentée par des cercles : l'ensemble des points à la distance d de c constitue un cercle de centre c et de rayon d.

Il existe toutefois plus d'une façon de définir une distance sur $\mathbb{R}^2$. La distance de Manhattan entre $x = (x_1, x_2)$ et $y = (y_1, y_2)$ est définie par

$$d_1(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2|$$

Distance euclidienne et de Manhattan

Pour la distance de Manhattan, l'ensemble des points à distance d de c forme un diamant de centre c.



Distance euclidienne et de Manhattan

La distance de Manhattan dépend de la direction des axes des abscisses et des ordonnées dans $\mathbb{R}^2$, alors que la distance euclidienne est invariante par rotation des axes.

L'ensemble des points entre a et b pour la relation d'intermédiarité déduite de la distance de Manhattan, n'est pas un segment mais le rectangle engendré par a et b dans la direction des axes.

Distance euclidienne et de Manhattan

Ainsi, il n'existe pas une unique signification de "entre" dans un espace donné; des métriques différentes engendrent des relation d'intermédiarité différentes.

Les distances précédentes sont des cas particulier de la distance de Minkowski, définie sur $\mathbb{R}^n$ par

$$d_k(x, y) = \left(\sum_i |x_i - y_i|^k \right)^{(1/k)}$$

On retrouve la distance euclidienne pour $k = 2$ et la distance de Manhattan pour $k = 1$.

Distance euclidienne et de Manhattan

La définition précédente présuppose que les échelles des différentes dimensions sont identiques, de façon à ce que la distance mesurée le long d'un axe soit la même que la distance mesurée le long d'un autre.

Dans un contexte *psychologique*, cette hypothèse est rarement vérifiée.

Une forme plus générale de distance est obtenu en affectant un poids w_i à la distance mesurée le long de l'axe i :

$$d_k(x, y; w) = \left(\sum_i w_i |x_i - y_i|^k\right)^{(1/k)}$$

Distance euclidienne et de Manhattan

Dans cette équation, w_i désigne le degré d'attention dévolu à la dimension i; celui-ci détermine la *saillance* de cette dimension (Nosofsky, 1986).

Des valeurs élevées de w_i ont pour effet d'étendre l'espace conceptuel le long de la dimension i; des valeurs faibles de w_i contractent l'espace le long de cette dimension.

Dimensions intégrales et séparables

On va à présent considérer les relations entre les dimensions d'un espace conceptuel, du point de vue phénoménologique (Garner, 1974).

Définition DI : Des dimensions seront dites *intégrales* si l'observation d'une des dimensions interfère avec celle des autres, c'est-à-dire si elles sont observées holistiquement.

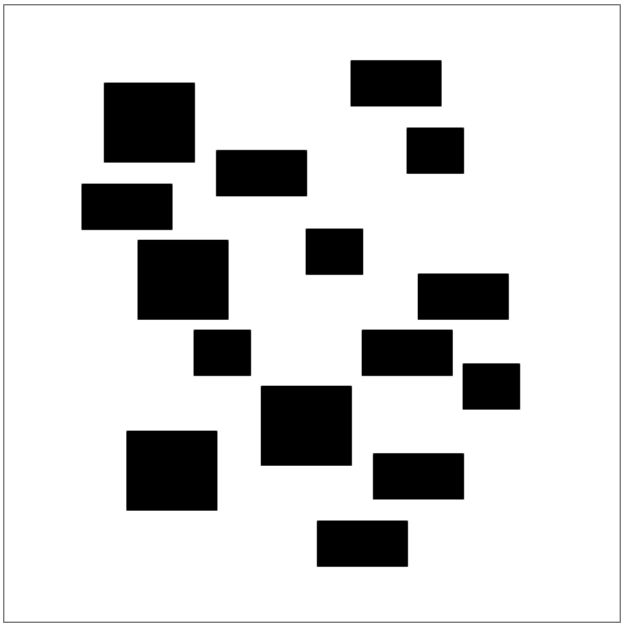
Exemple : dimensions spatiales phénoménales.

A ma connaissance, il n'existe pas de définition mathématique de cette notion.

Dimensions intégrales et séparables

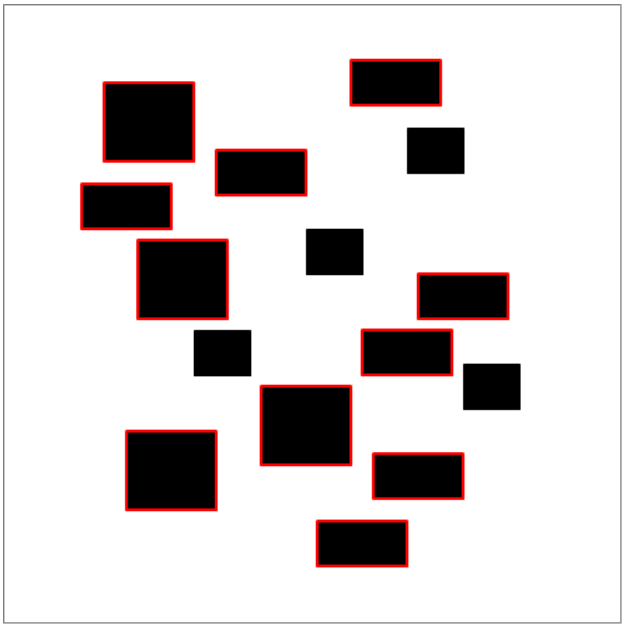
Définition DS : Des dimensions non intégrales sont dites *séparables*.

Exemple : Identifier les rectangles de même largeur et ceux de même hauteur dans la figure ci-dessous.



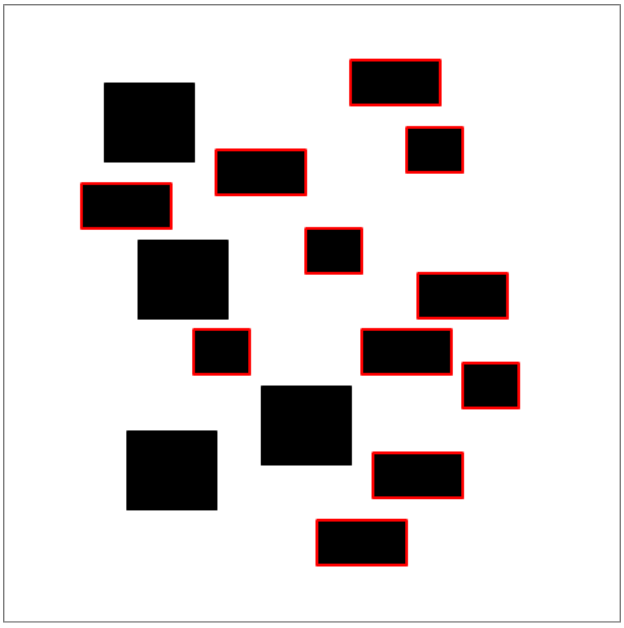
Dimensions intégrales et séparables

Tâche difficile. Il faut considérer les rectangles un par un. Voici le résultat pour la largeur :



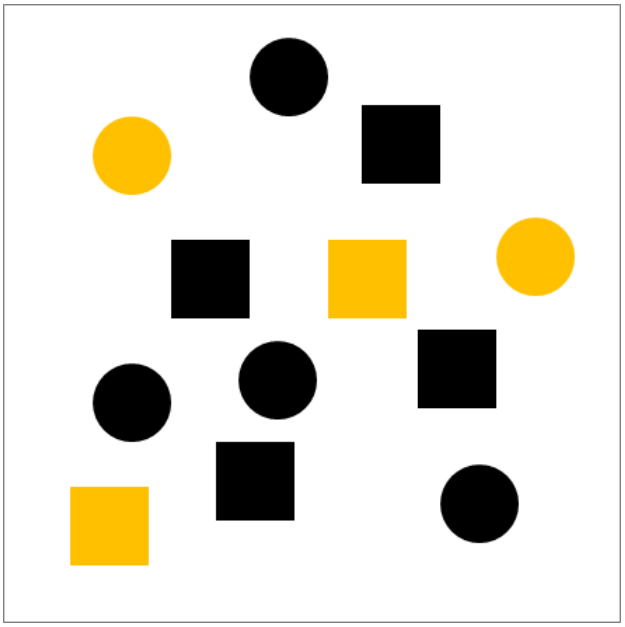
Dimensions intégrales et séparables

Voici le résultat pour la hauteur (tâche difficile également) :



Dimensions intégrales et séparables

Exemple : identifier les rectangles de même couleur et ceux de même forme dans la figure ci-dessous :



C'est beaucoup plus facile. On "voit" rapidement le résultat.

Dimensions intégrales et séparables

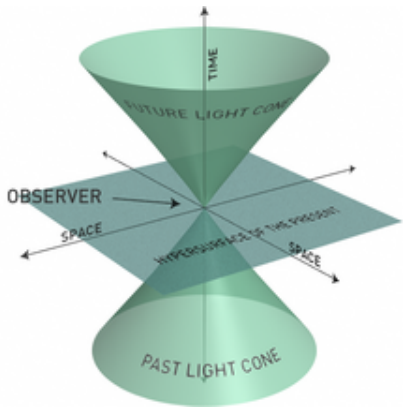
Il existe des procédures *statistiques* permettant de déterminer si deux dimensions sont intégrales ou séparables (Maddox, 1992).

Un principe de base est que si deux dimensions sont séparables, on utilise la distance de Manhattan pour calculer la similarité de deux stimuli; si elles sont intégrales, on utilise la distance euclidienne.

Dimensions intégrales et séparables

Même dans la cadre de théories scientifiques, les relations entre dimensions peuvent varier.

Par exemple, le temps et l'espace sont traités comme des dimensions séparables en mécanique newtonienne, alors que l'espace-temps de dimension 4 constitue un ensemble intégral de dimensions en théorie de la relativité.



Représentations conceptuelles

Une autre caractéristique des représentation dans les espaces conceptuels est que l'information est triée en *domaines*.

En effet, quand on fait une observation d'un objet ou d'un événement, il est localisé dans l'espace et le temps, Il a une certaine couleur, forme etc.

Les propriétés et les concepts sont in fine liés à un domaine ou à un ensemble de domaines.

Ni le symbolisme ni le connexionisme ne permettent de rendre compte de l'importance des domaines pour la cognition.

Domaines

Définition DM : On appelle *domaine* un n-uple de dimensions *intégrales*.

Exemple : le domaine spatial (largeur, profondeur, hauteur), le domaine tonal (hauteur de son, intensité de son).

La raison la plus fondamentale pour décomposer une structure cognitive en domaines est la possibilité d'observer certaines propriétés d'un objet sans interférence avec les autres.

On peut observer le poids d'un objet sans interférence de sa température ou de sa couleur.

Domaines

Les domaines d'un espace conceptuel n'ont pas nécessairement pour image des espaces métriques.

Même si des distances sont définies sur les différentes images des domaines d'un espace conceptuel, ces images peuvent être incommensurables en ce sens qu'il n'est pas possible de définir une distance sur l'espace tout entier.

Domaines

Les domaines d'un espace conceptuel ne doivent pas être vus comme des entités totalement indépendantes car les propriétés des objets modélisés dans l'espace covarient.

Par exemple, la maturité et la couleur covarient dans l'espace des fruits, bien qu'on puisse observer la couleur sans que la maturité interfère.

Similarité

Une notion qui est négligée dans l'approche symbolique est celle de *similarité*. Les jugements de similarité sont d'une importance cruciale pour un grand nombre de processus cognitifs.

En particulier, ils peuvent révéler les dimensions de nos perceptions et leurs structures.

Similarité

Dans les études de la catégorisation et de la formation de concepts, on suppose souvent que la *similarité* de deux stimuli peut être déterminée à partir des *distances* entre les représentations des stimuli dans un espace conceptuel.

Mais quelle est la relation fonctionnelle entre similarité et distance ?

Une hypothèse standard dans la littérature psychologique est que la similarité est une fonction exponentielle décroissante de la distance.

Similarité

Si l'on désigne par $s_{i,j}$ la similarité entre deux objets i et j et par $d_{i,j}$ leur distance, alors la formule suivante, où c est un paramètre de *sensitivité*, exprime la relation entre les deux quantités (Shepard, 1987) :

$$s_{i,j} = e^{-c\,d_{i,j}}$$

Une autre forme proposée est la forme gaussienne (Nosofsky, 1986) :

$$s_{i,j} = e^{-c\,d_{i,j}^2}$$

On retient de ces formules que la similarité décroit rapidement quand la distance entre objets est petite, mais qu'elle décroit beaucoup plus lentement quand la distance est grande.

Origine des dimensions

On a rencontré jusqu'à présent diverses dimensions issues de différents domaines.

Mais d'où viennent les dimensions ?

Il n'existe pas de réponse unique à cette question.

Certaines dimensions sont innées ou développées très tôt au cours de la vie. Elles sont implémentées par notre système nerveux, comme la plupart des dimensions sensorielles.

Origine des dimensions

C'est probablement le cas pour notre représentation de l'espace ordinaire.

Comme la représentation de celui-ci est extrêmement importante pour des activités de base comme se déplacer dans l'environnement, trouver de la nourriture et éviter les dangers, on peut justifier son caractère inné à l'aide de la théorie de l'évolution (Gärdenfors, 2000).

Les êtres humains et les animaux n'ayant pas une représentation suffisante de la structure spatiale du monde extérieur sont désavantagés dans le processus de sélection naturelle.

Origine des dimensions

Il a également été avancé qu'il est nécessaire de disposer de dimensions innées pour que l'apprentissage soit possible (Quine, 1969).

Sans une structure initiale, l'apprentissage serait impossible.

Une fois le processus enclenché, de nouvelles dimensions peuvent être acquises par apprentissage. Divers exemples en sont fournis par le développement cognitif des enfants.

Origine des dimensions

Les enfants de 2 ans peuvent se représenter les objets dans leur globalité mais ne distinguent pas les différentes dimensions de ces objets. Ils ont par exemple du mal à déterminer si deux objets diffèrent par leur brillance ou leur taille bien qu'il puissent voir qu'ils diffèrent (Goldstone & Barsalou, 1998).

Origine des dimensions

En fait, l'apprentissage de concept est souvent lié au fait d'étendre son espace conceptuel à l'aide de nouvelles dimensions.

Considérons par exemple la dimension "volume".

Des expériences menées par Piaget et ses élèves indiquent que les enfants en bas âge n'ont pas de représentation séparée du volume. Il confondent volume du liquide et hauteur du liquide dans un récipient. Ce n'est que vers l'âge de 5 ans qu'ils arrivent à distinguer ces deux dimensions (Gärdenfors, 2000).

Origine des dimensions

De même, il a été avancé qu'au cours de son développement, l'être humain va des dimensions intégrales vers des dimensions séparables (Shepp, 1983).

Origine des dimensions

En plus des dimensions innées, certaines dimensions peuvent dépendre de la culture de l'être humain (Freyd, 1983).

Dans certaines cultures, parler de dimension temporelle n'a aucun sens (Gärdenfors, 2000).

Une dimension temporelle sophistiquée, doté d'une structure métrique est nécessaire pour des formes avancées de planification et de coordination avec d'autres individus, mais n'est pas nécessaire pour les activités les plus basiques d'un organisme. La conception moderne du temps est un phénomène relativement récent (Toulmin & Goodfield, 1965).

Origine des dimensions

Certaines dimensions sont introduites par la science. Par exemple, la distinction que fait Newton entre poids et masse, qui est importante pour le développement de sa mécanique céleste, mais qui ne correspond à rien en termes de perception humaine.

Dans la mesure où on dispose de représentations mentales de la masse des objets, distincte de leur poids, celles-ci ne sont pas fournies par les sens mais apprises en adoptant l'espace conceptuel de la mécanique newtonienne.

Propriétés

Rappelons la définition d'un espace conceptuel : un espace conceptuel consiste en l'image d'un n-uple $(D_1, \ldots, D_n)$ de dimensions.

Un point de cet espace est représenté par un n-uple $v = (d_1, \ldots, d_n)$.

L'image de chaque dimension est dotée d'une certaine structure géométrique. On appellera également cette image *dimension* dans la suite. Ainsi, on parlera de *dimension temporelle*, *dimension verticale*, etc. De même, on appellera simplement *domaine* l'image d'un domaine, sans risque de confusion.

Comment représenter une *propriété* d'un objet dans un tel espace ?

Propriétés

Une première idée est de représenter une propriété par un sous-ensemble d'un espace conceptuel S. Tous les objets représentés par un élément de ce sous-ensemble ont la propriété voulue.

Par exemple, le point de la dimension temporelle représentant le "présent" divise cette dimension, et donc l'espace des n-uples, en deux sous-ensemble correspondant aux propriétés "futur" et "passé", en plus du "présent".

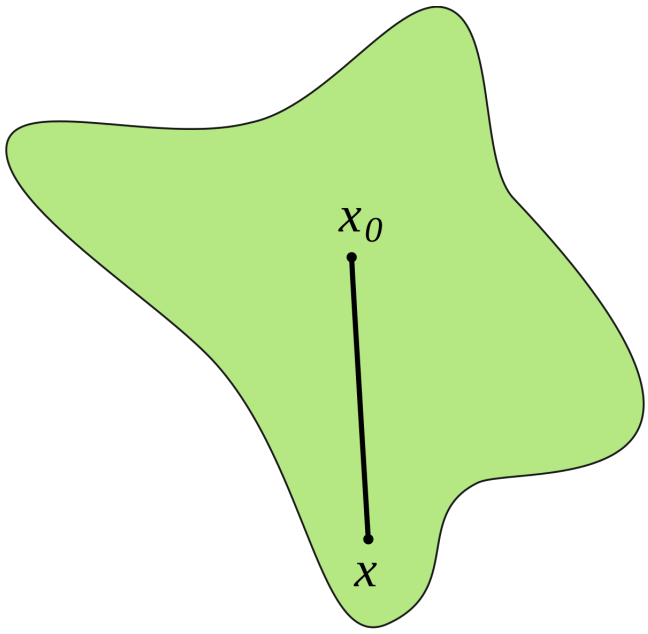
Propriétés

Donnons à présent deux critères permettant d'identifier les sous-ensembles de S représentant des propriétés.

Propriétés

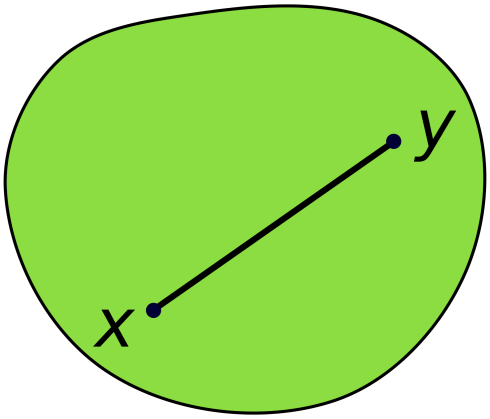
Le premier critère dépend de l'intermédiarité et de la possibilité de définir un point x_0 distingué dans un sous-ensemble.

Définition ET : Un sous-ensemble C d'un espace conceptuel est dit *étoilé* relativement au point x_0 si pour tout point x de C, tous les points entre x et x_0 sont également dans C.



Propriétés

Définition Conv : Un sous-ensemble C d'un espace conceptuel est dit *convexe* si, pour tous points x et y de C, tous les points entre x et y sont aussi dans C.



Tout ensemble convexe est étoilé par rapport à tous ses points.

Propriétés

Il est à noter que les critères sont formulés uniquement à partir de la relation d'intermédiarité sur l'espace S.

On appellera *région* un sous-ensemble étoilé de S.

Propriétés

Définition P : On appelle *propriété naturelle* toute région convexe d'un domaine d'un espace conceptuel.

Le critère P ne présuppose que la relation d'intermédiarité pour le domaine pertinent. On se placera toutefois dans la suite surtout dans le cas où le domaine est métrique.

Une autre façon d'exprimer le critère est de dire que si deux objects objets se trouvant en x_1 et x_2 dans le domaine sont des exemples d'une propriété F, alors tout objet x se situant *entre* x_1 et x_2 dans le domaine est un exemple de la propriété F.

Propriétés

On avance la thèse que la plupart des propriétés pouvant s'exprimer par des mots simples dans les langages naturels peuvent être analysées comme des propriétés naturelles au sens de la définition P.

Notons que les propriétés sont des cas particuliers de *concepts*.

Concepts

Définition C : On appellera *concept naturel* la donnée (i) d'un produit cartésien de régions de domaines différents ; (ii) d'un n-uple de *poids* quantifiant la *saillance* des différents domaines; (iii) d'informations sur la *dépendance* entre les différents domaines.

Concepts

Exemple : Concept de "pomme".

Concepts

Domaine	Région
Couleur	Jaune-Vert-Rouge
Forme	Rond
Texture	Lisse
Goût	Doux et Acide
Fruit	Spécification de la structure des graines, chaire, peau, etc selon les principes de la pomologie
Nutrition	Valeurs du contenu en sucre, vitamines, fibres, etc.

Concepts

Des poids peuvent être associés aux différents domaines de manière *dépendante du contexte*.

On parle de *perspective* sur un concept. Adopter une perspective donnée signifie accorder une attention particulière à un domaine aux dépends des autres.

Des dépendances peuvent être spécifiées, comme celle existant entre la douceur du goût et le contenu en sucre dans le domaine de la nutrition, ou celle entre la couleur (rouge/non rouge) et la douceur du goût.

Prototypes

Au sein d'une catégorie d'objets instanciant une propriété ou un concept, certains objets sont jugés plus *représentatifs* de la catégorie que les autres.

Prototypes

Par exemple, les rouge-gorges sont considérés plus représentatifs du concept d'*oiseau* que les corbeaux, les pingouins et les émeus.

Prototypes

Les instances les plus représentatives d'une catégorie sont appelées *prototypes* de celle-ci.

Dans la théorie classique, aristotélicienne, des concepts, un concept est défini par un ensemble de propriétés nécessaires et suffisantes. Par conséquent, toutes les instances d'un concept ont même statut (Smith & Medin, 1981).

La théorie des prototypes postule par contre que les concepts recouvrent des objets d'appartenance graduée, déterminée par leur degré de prototypie (Rosch, 1975).

Prototypes

Certaines propriétés comme "rouge" ou "chauve" n'ont pas de frontières strictes. Il n'est donc pas étonnant que leur soient associés des effets de prototypie.

Ces effets on été identifiés en fait pour la plupart des concepts, y compris ceux ayant des frontières claires, comme "chaise" et "oiseau" (Gärdenfors, 2000).

Prototypes

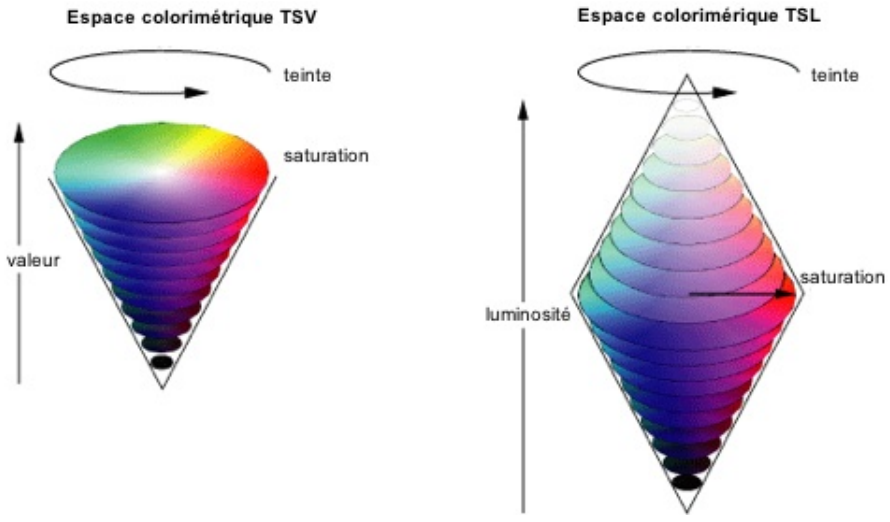
La définition P permet de rendre compte de ces effets.

En effet, dans une région convexe, on peut décrire les positions comme étant plus ou moins *centrales* (il existe différentes notions de centralité, Kaiser, Morin & Trafalis 1991).

Prototypes

Par exemple, si on identifie les propriétés de couleur à des régions convexe de l'espace colorimétrique, les points centraux de ces régions sont les prototypes de ces couleurs.

Ils correspondent aux *couleurs focales* d'Eleanor Rosch (1972).



Prototypes

Reds
Oranges
Yellows
Yellow Greens
Greens
Blue Greens
Blues
Blue Violets
Violets
Mauves
Mauve Pinks
Pinks

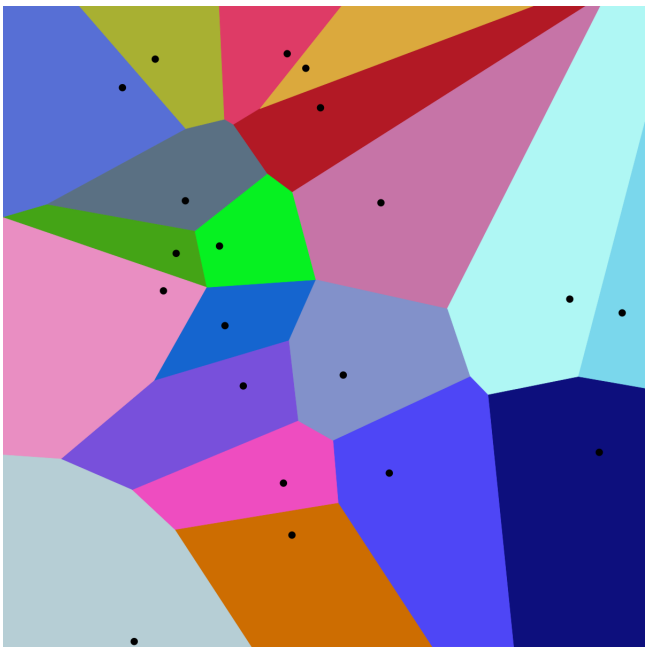
Diagrammes de Voronoï

On peut raisonner dans l'autre sens et, partant des prototypes, montrer que les propriétés sont représentées par des régions convexes, au moins dans les espaces métriques euclidiens.

Plus précisément, partons de n prototypes $p_1, \ldots, p_n$ de différentes propriétés, par exemple les couleurs focales. Supposons S muni de la distance euclidienne. Si on spécifie qu'un point p appartient à la catégorie correspondant au prototype le plus proche, on obtient une partition de S, appelée *diagramme de Voronoï* (Okabe, Boots & Sugihara, 1992).

Diagrammes de Voronoï

Il est possible de montrer les éléments de la partition obtenue sont des ensembles *convexes* (Okabe, Boots & Sugihara, 1992).



Diagrammes de Voronoï

Ainsi, une mesure de similarité (une distance euclidienne) et un ensemble de prototypes déterminent des propriétés naturelles.

Diagrammes de Voronoï

Un diagramme de Voronoï basé sur un ensemble de prototypes est une façon simple de discrétiser un espace continu de stimuli.

La discrétisation permet de faciliter l'*apprentissage*. En effet, il est plus simple de se rappeler des prototypes puis de *calculer* la catégorisation pour une distance donnée que de se rappeler la catégorisation de chaque point de l'espace.

Diagrammes de Voronoï

En d'autres termes, un diagramme de Voronoï est une façon *parcimonieuse* de représenter de l'information à propos des concepts.

De plus, l'espace étant partitionné en classes, il est possible de donner des *noms* à ces classes.

Notons que si la distance utilisée n'est pas la distance euclidienne mais la distance de Manhattan, les cellules de Voronoï ne sont plus convexes dans le cas général mais simplement *étoilées* par rapport aux prototypes (Okabe, Boots & Sugihara, 1992).

L'apprentissage des concepts

La théorie des prototypes, bien qu'expliquant de façon plus satisfaisante que la théorie aristotélicienne la façon dont les gens utilisent les concepts, n'explique pas *comment* ces prototypes apparaissent comme résultat de l'apprentissage de l'usage des concepts.

Elle n'explique ni comment de nouveaux concepts apparaissent, ni comment ils peuvent être modifiés.

L'apprentissage des concepts

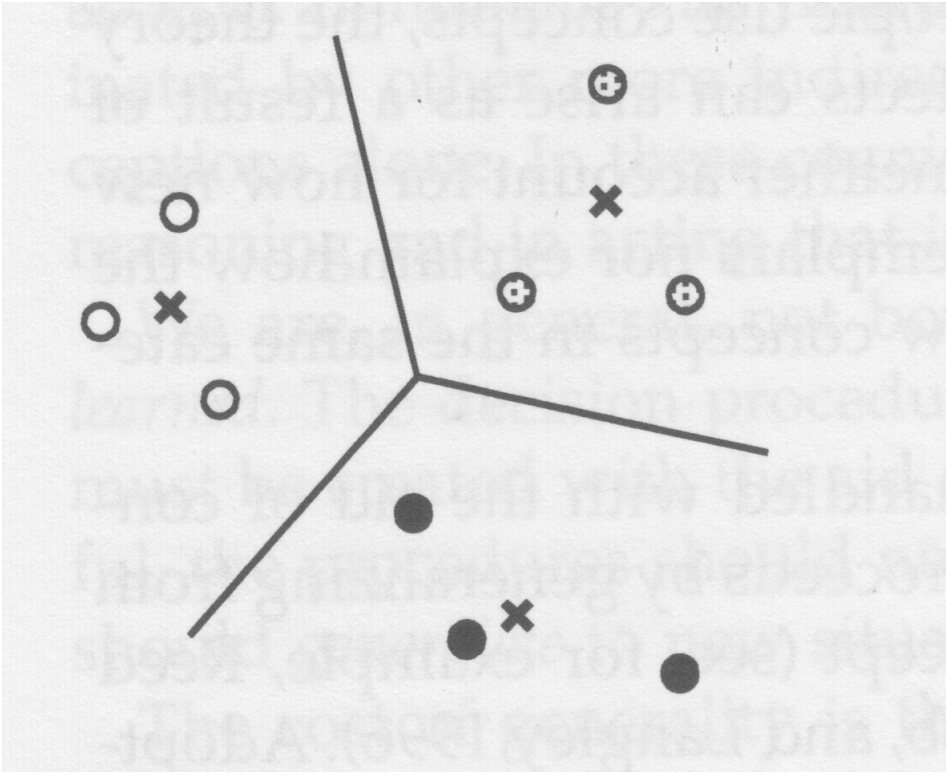
Commençons par noter que l'apprentissage d'un concept se fait souvent en *généralisant* à partir d'un nombre limité d'exemples.

En conservant l'idée que les concepts ont des prototypes, on peut supposer qu'une instance *prototypique* est extraite de ces exemples.

L'apprentissage des concepts

Les exemples étant représentés par des points dans un espace conceptuel, une règle simple de calcul du prototype consiste à prendre *la moyenne* des différents exemples (Gärdenfors, 2000).

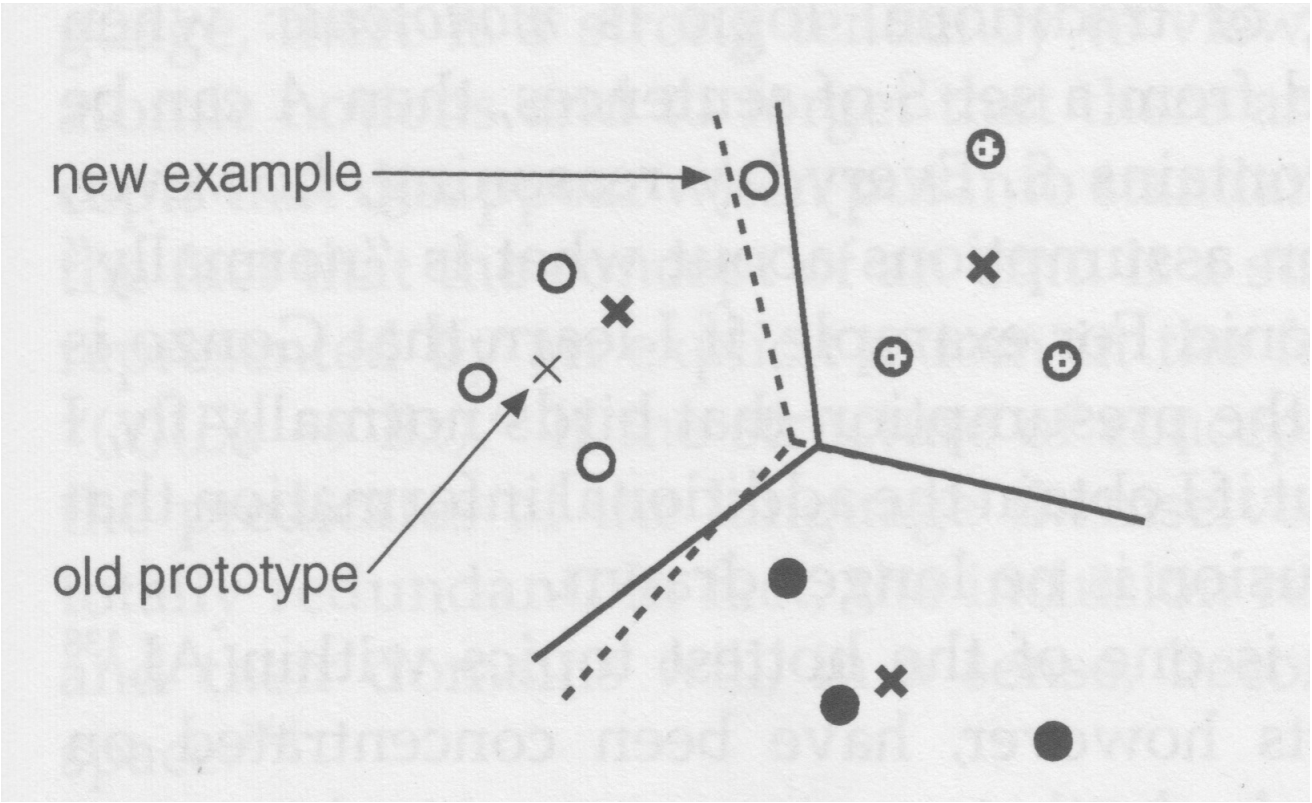
Ainsi, le prototype n'est pas donné à priori mais émerge de l'expérience du sujet.



L'apprentissage des concepts

Les prototypes ainsi définis génèrent alors une partition de Voronoï, qui permet de *généraliser* le concept en exploitant la *géométrie* de l'espace conceptuel.

De plus, les concepts ainsi obtenus sont *dynamiques*, en ce sens que lorsqu'un nouvel exemple est observé, le prototype se déplace légèrement, de même que la région de Voronoï correspondante.



L'apprentissage des concepts

Il s'agit là d'un exemple d'*apprentissage supervisé*.

On peut également modéliser de différentes façons l'*apprentissage non supervisé* des concepts, mais cela ne sera pas détaillé ici.

Sémantique

La sémantique concerne la relation entre les mots ou expressions d'un langage et leur signification. Mais dès qu'il s'agit d'expliciter cette relation, les opinions divergent. Il y a une querelle philosophique déjà ancienne sur la signification de "signification".

La relation sémantique peut être étudiée sous plusieurs perspectives. Le but n'est pas de clore le débat mais de le structurer autour de quatre questions de base auxquelles toute théorie sémantique doit répondre (Gärdenfors, 2000) :

Sémantique

1. Qu'est-ce que les significations ? (ontologie)

2. Quelle est la relation entre les expressions linguistiques et leurs significations ? (sémantique)

3. Comment le couplage entre expressions linguistiques et leur signification peut-il être appris ? (apprentissage)

4. Comment communique-t-on des significations ? (communication)

Question ontologique

Du point de vue ontologique, une première distinction concerne le fait que la sémantique soit référentielle ou non – le fait qu'il y ait certains objets qui soient le sens des expressions linguistiques.

Il existe deux réponses référentielles à la question ontologique : l'une réaliste et l'autre cognitiviste (ou conceptualiste).

Dans le cas de l'approche réaliste de la sémantique, le sens d'un mot ou d'une expression est quelque chose qui est dans le monde, à l'extérieur de nous.

Selon l'approche cognitiviste, les sens sont des entités mentales - des choses dans la tête (Jackendoff, 1990).

Question ontologique

Pourquoi la question ontologique est-elle importante ? au-delà de ses conséquences philosophiques, une motivation importante vient de l'intelligence artificielle.

En effet, si l'on veut construire un robot capable de communication linguistique, le constructeur doit décider très tôt comment le robot comprend le sens des mots. Une décision méthodologique fondamentale doit déterminer si les sens sont déterminés par l'état du monde ou s'il sont basés sur la représentation du monde interne au robot.

On va voir comment *la théorie des espaces conceptuels peut être prise pour base d'une approche cognitiviste de la sémantique*.

Question ontologique

L'idée centrale est que la signification d'une expression est une entité mentale – les significations sont des éléments de la structure cognitive présente dans la tête des locuteurs.

Le langage lui-même est vu comme une partie de la structure cognitive et pas comme une entité existant à part.

Définition S : On appellera *sémantique* d'un langage une application des expressions linguistiques vers un espace conceptuel, qu'on appellera *structure conceptuelle* du langage.

Question ontologique

Cette application peut être vue comme un ensemble d'associations entre mots et significations – associations qui ont été établies lorsque l'individu a appris le langage.

Dans cette approche, le langage est associé à une structure conceptuelle, mais ne représente pas directement le monde.

Comme les expressions linguistiques et leurs significations sont dans la tête d'un individu, cette sémantique du langage est relative à un seul locuteur (ou auditeur).

Question ontologique

Cela paraît de prime abord être une énigme : en effet, les significations sont des choses qui sont communes à *tous* les locuteurs d'un langage.

On verra une solution possible à ce problème, qui est fondamentalement celui de la communication, dans la suite.

L'idée est que les structure conceptuelles d'individus différents vont s'harmoniser, sinon la communication linguistique s'avèrerait impossible.

Question sémantique

Quelle est la relation entre la structure conceptuelle et la réalité selon la théorie sémantique conceptuelle ?

Pour répondre à cette question, on peut adopter une réponse pragmatique, basée sur la viabilité de la structure conceptuelle (Gärdenfors, 2000).

Question sémantique

Avoir une structure conceptuelle viable signifie qu'on est à même de résoudre les problèmes essentiels rencontrés en agissant dans le monde.

Par des interactions couronnées de succès et d'autres moins heureuses avec le monde, la structure conceptuelle d'un individu s'adapte à la structure de la réalité.

Notons que cela ne signifie pas que la structure conceptuelle représente quelque chose qui est déjà présent dans le monde en dehors des individus; elle représente plutôt le monde d'une manière qui satisfait les besoins écologiques adaptatifs de l'individu.

Sémantique lexicale

On va montrer comment appliquer les notions précédentes à l'analyse des significations pour les langages naturels.

Postulat L : Les expressions lexicales de bases d'un langage naturels sont représentées sémantiquement par des concepts naturels.

Sémantique lexicale

Postulat LA : Les adjectifs de base sont représentés sémantiquement par des propriétés naturelles.

Rappelons qu'une propriété est un concept représenté uniquement dans un domaine de l'espace conceptuel.

Sémantique lexicale

Postulat LV : Les verbes de base sont représentés sémantiquement par des concepts naturels dynamiques.

Par concept dynamique, on entend un concept qui implique la dimension temporelle. La structure conceptuelle est alors l'ensemble des *trajectoires* dans un espace conceptuel de base.

Sémantique lexicale

Postulat LN : Les noms de base sont représentés sémantiquement par des concepts naturels non dynamiques et multi-domaines.

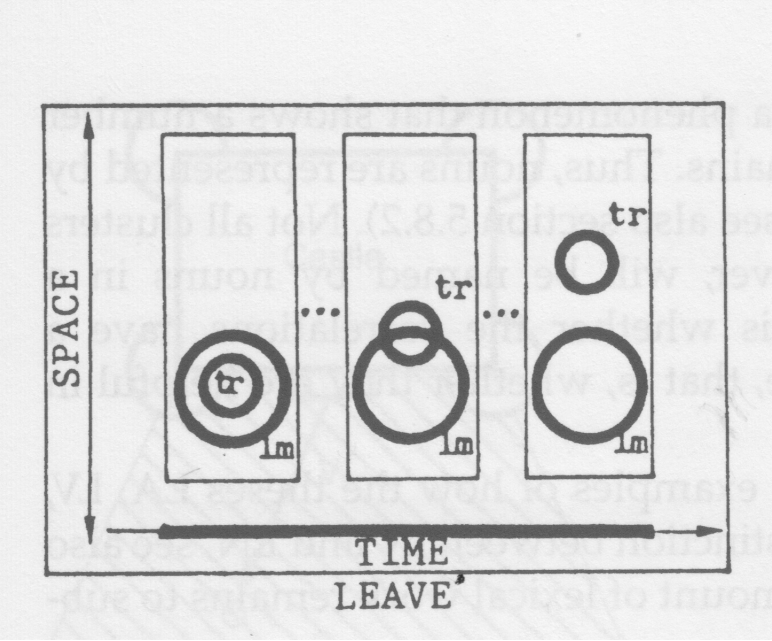
Les postulats LA, LV et LN doivent être vus comme des thèses programmatiques et peuvent avoir de nombreux contre-exemples.

Ils contiennent toutefois l'embryon d'une fondation sémantique des classes de mots des langages naturels.

Sémantique lexicale

Exemple : le verbe "quitter" ("leave").

"Quitter" est analysé comme un processus dynamique où la chose qui quitte, le "trajecteur", suit un chemin de l'intérieur à l'extérieur du voisinage du point de départ, la "balise". La dimension horizontale est le temps et la dimension verticale représente la distance entre le trajecteur et la balise. Le sens de "quitter" est un changement de relation spatiale du trajecteur à la balise, passant de la proximité à l'éloignement.



Sémantique lexicale

Techniquement, le sens de "quitter" peut être représenté par l'ensemble de toutes les trajectoires du trajecteur qui s'éloignent de la balise. Bien qu'on ne dispose pas de définition standard de l'intermédiarité entre trajectoiress dans ce contexte, il paraît raisonnable d'affirmer que cet ensemble est convexe, en ce sens que pour deux trajectoiress p et q représentant un éloignement de x, toute trajectoire entre p et q représente également un éloignement de x. C'est donc un concept dynamique naturel, en accord avec LV.

Sémantique lexicale

Exemple : "crier".

"Crier" est représenté comme un processus dynamique impliquant une trajectoire au sein de la dimension d'intensité du son. Ici également, on peut affirmer que l'ensemble des trajectoires représentant l'acte de crier est un ensemble convexe. Dans ce cas, il est facile de définir l'intermédiarité : la trajectoire p est entre les trajectoires q et r si et seulement si $q(t) \leq p(t) \leq r(t)$ pour tout t (ou $r(t) \leq p(t) \leq q(t)$).

Métaphores

Définition M : On appellera métaphore une application bijective μ d'un sous-ensemble d'un domaine $\mathcal{D}_1$ dans un sous-ensemble d'un domaine $\mathcal{D}_2$ telle que la géométrie de ces sous-ensembles soient l'image l'une de l'autre par μ et μ^{-1}.

Autrement dit, pour des points quelconques a, b, c, d du premier sous-ensemble, b est entre a et c ssi $\mu(b)$ est entre $\mu(a)$ et $\mu(c)$, et a, b sont aussi éloignés que c, d ssi $\mu(a), \mu(b)$ sont aussi éloignés que $\mu(c), \mu(d)$.

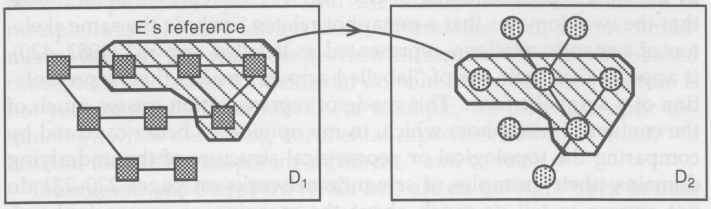


Figure 5.12
Mapping of metaphorical structure from one domain to another.

Métaphores

Exemple : "le sommet d'une carrière". Le sens littéral de "sommet" réfère à une structure dans l'espace physique, le point le plus haut d'un objet étendu horizontalement, typiquement une montagne. Cette structure présuppose deux dimensions spatiales, une horizontale et une verticale.

Métaphores

Ce qui se passe, quand on parle de sommet d'une carrière, c'est que la même structure géométrique est appliquée à un espace bi-dimensionnel consistant en une dimension de temps, identifiée à la dimension spatiale horizontale et une dimension de statut social.

Cette dernière est généralement identifiée à la dimension verticale : on parle du rang "élevé" de quelqu'un, de "gravir" les échelons de la hiérarchie, etc.

Métaphores

La carrière d'un individu correspond à une trajectoire sur la dimension "statut" et donc à une courbe dans l'espace (temps, statut).

On peut parler de sommet de la même courbe dans l'espace (coordonnée horizontale, coordonnée verticale).

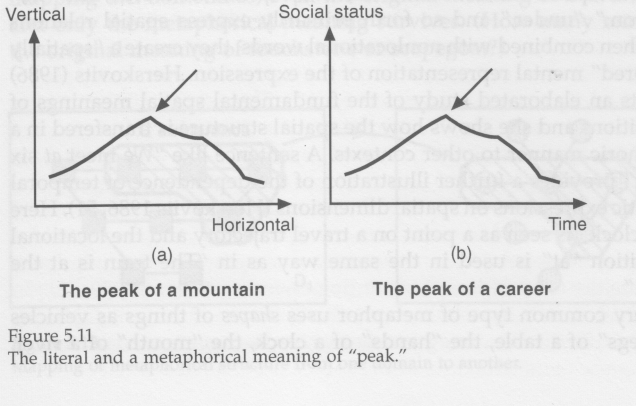


Figure 5.11
The literal and a metaphorical meaning of "peak."

Question de l'apprentissage

La question de l'apprentissage porte sur la façon dont une personne peut comprendre la signification d'un langage.

Il est admis que le langage est *conventionnel* an ce sens que les associations entre la plupart des expressions linguistiques et leurs significations sont arbitraires (de Saussure, 1966).

Par conséquent, la sémantique d'un langage doit être *apprise* par les locuteurs individuels.

Question de l'apprentissage

Du point de vue cognitiviste, la question de l'apprentissage admet une réponse simple : une personne saisit la signification d'une expression en l'associant à une *structure cognitive*.

Mais comment de telles associations prennent-elles forme ?

Comment expliquer que l'on puisse parler de ce que l'on entend et voit ?

Question de l'apprentissage

Inversement, on peut créer des images, mentales ou matérielles, de ce qu'on lit ou de ce qu'on écoute.

Il s'agit là fondamentalement d'un problème de traduction (Jackendoff 1987, 1990).

Si on comprend la façon dont les liens sémantiques sont appris, on peut traduire dans les deux sens entre la forme visuelle de représentation et le code linguistique.

Question de l'apprentissage

Les enfants exposés à un langage apprennent très rapidement à isoler les motifs phoniques de ce qu'ils entendent. Ils apprennent ainsi la structure des représentations symboliques des expressions linguistiques, c'est-à-dire des motifs sonores qui constituent les mots.

Ils organisent également leurs perceptions en concepts, par exemple dans le cadre d'espaces conceptuels.

Question de l'apprentissage

Lorsqu'un enfant entend un mot et reçoit en même temps des stimuli perceptuels un lien est créé entre la représentation mentale du mot et les concepts suscités par les stimuli.

L'apprentissage du sens consiste donc, dans une perspective cognitiviste à former des *associations* entre entités *mentales* (de Saussure, 1966).

Question de l'apprentissage

La question de l'apprentissage est particulièrement importante si l'on souhaite construire un robot qui combine parole et vision.

Dans ce cas, une approche basée sur une base de donnée symbolique s'avère insuffisante.

Un module *conceptuel*, de nature *géométrique*, est requis (Fenstad, 1995).

Question de la communication

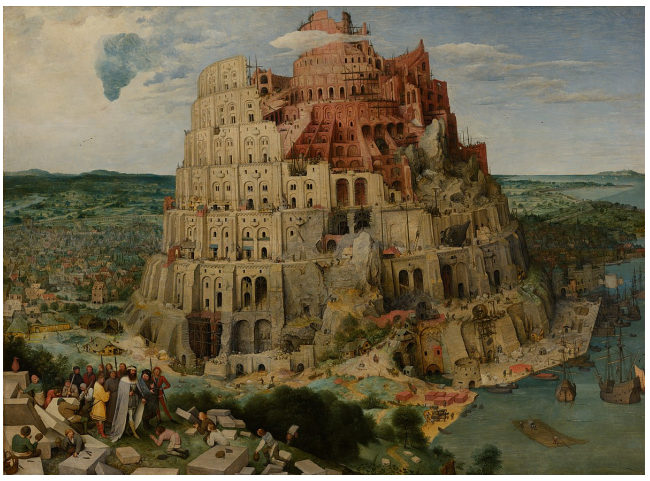
On a vu des modèles conceptuels de différentes parties du langage.

Une hypothèse fondamentale était que la structure conceptuelle appartenait à un utilisateur donné du langage : les significations résident dans la tête de l'individu.

Il est toutefois évident que le langage est un phénomène *social*.

Question de la communication

Comment parler de *la* signification d'une expression ? Comment quelqu'un peut-il avoir *tort* quand au sens d'une expression ? Comment évite-t-on la tour de Babel ?



Question de la communication

On part de l'hypothèse que chaque objet perçu ou sur lequel porte la communication est représenté par un point dans un espace conceptuel.

Les différents individus structurent leur espace conceptuel différemment; donc, il peut n'y avoir aucune façon immédiate de les comparer.

Les propriétés des objets peuvent changer, ce qui fait que les points qui les représentent se déplacent dans l'espace conceptuel. De plus, ils peuvent apparaître et disparaitre, ce qui fait que les points eux-mêmes apparaissent et disparaissent.

Question de la communication

A présent, supposons que chaque individu d'une dyade communicative a son propre ensemble de points dans son espace conceptuel.

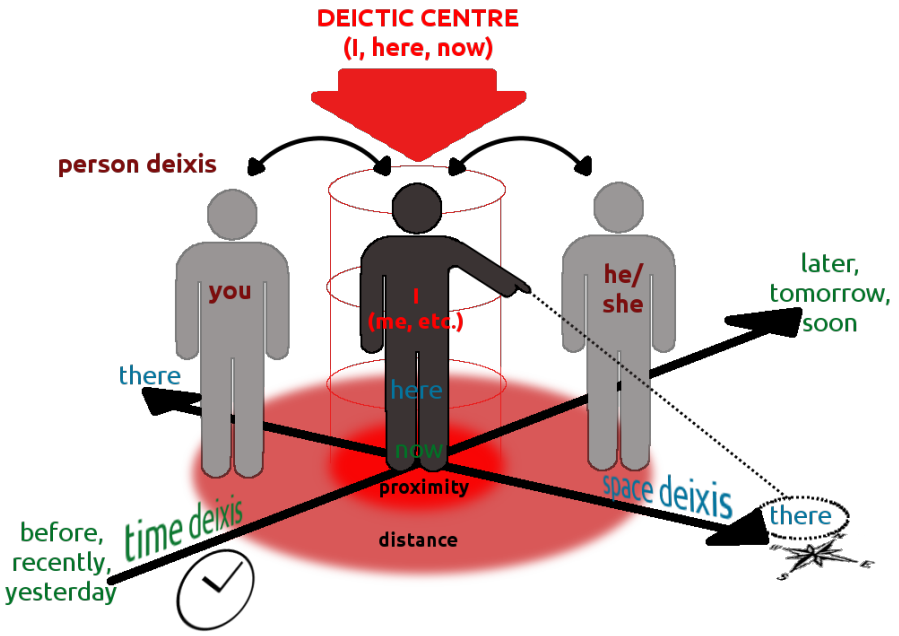
Supposons également que la situation de communication typique consiste de la part du locuteur à *utiliser le langage pour faire identifier un objet à l'auditeur*.

Question de la communication

Au niveau le plus bas d'abstraction, cette tâche communicative est effectuée par les *noms propres*. Un nom propre sélectionne un objet particulier dans l'espace conceptuel. Si les deux participants associent le même nom propre au même objet (indépendamment de la façon dont il est représenté), alors l'auditeur peut identifier l'objet visé par le locuteur.

Question de la communication

Ce mécanisme ne fonctionne toutefois que lorsque les deux participant sont *accoutumés* à l'objet nommé et lui ont associé le même nom propre. De plus, le mécanisme dépend d'un *contexte* stable en ce sens que les entités existent suffisamment longtemps pour qu'un nom propre puisse être établi (par *deixis* par exemple).



Question de la communication

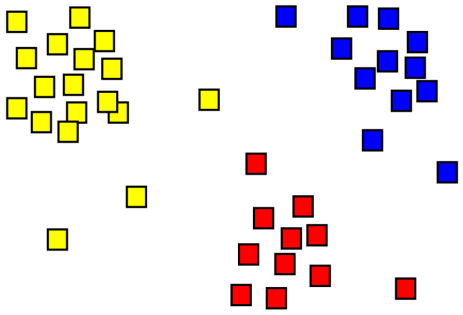
Mais comment les objets qui ne peuvent être nommés par un nom propre peuvent-ils être identifiés ?

Pour répondre à cette question, nous devons passer au deuxième niveau d'abstraction dans l'espace conceptuel.

Un fait fondamental est que les propriétés des objets sont souvent corrélées (Gärdenfors, 2000). De plus, il semble que notre esprit soit prédisposé à détecter ces corrélations (Smith & Heise, 1992).

Question de la communication

Dans les espaces conceptuels, ces corrélations génèrent des grappes (clusters) de points (Gärdenfors, 2000).



Question de la communication

Une propriété essentielle des grappes est que, contrairement aux objets isolés, elles restent *stables* même lorsque les propriétés des objets changent un peu ou que nouveaux objets apparaissent ou que d'autres disparaissent.

Ainsi, les grappes sont beaucoup plus fiables comme référents des mots que ne le sont les objets isolés.

Question de la communication

De plus, même si deux individus ne sont pas accoutumés aux mêmes objets au sein d'une grappe, leurs représentations de la grappe peuvent être suffisamment similaires pour être alignées.

Pour que cela soit le cas, il suffit que l'on interagisse avec le même type d'objets et qu'on ait des pratiques socioculturelles communes.

Question de la communication

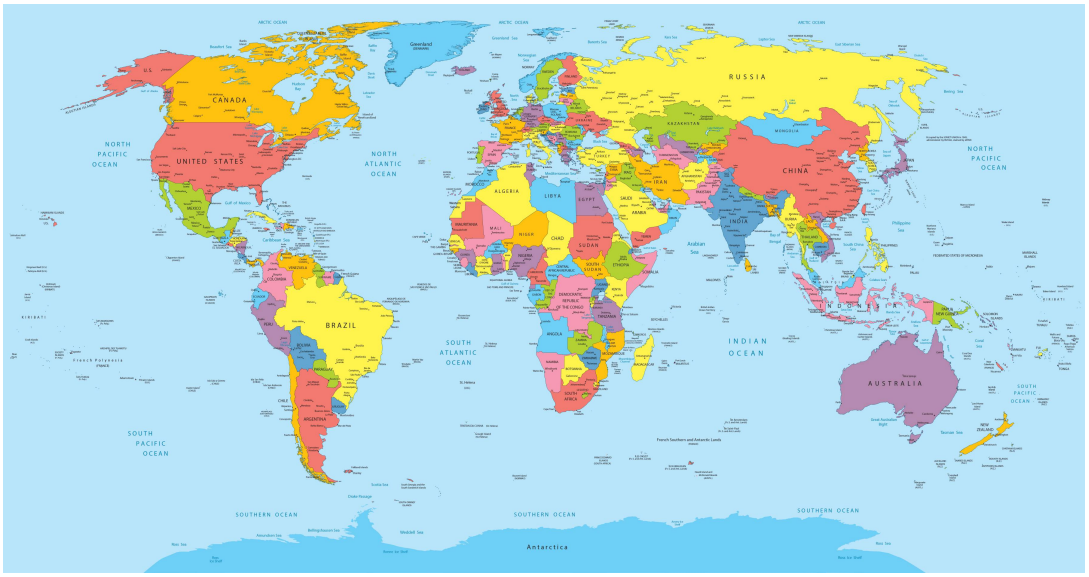
Le principal outil linguistique pour référer à une grappe est un *nom commun*. Plutôt que de référer à la grappe tout entière, un nom commun réfère à un objet prototypique de la grappe.

En utilisant un nom commun, le locuteur indique qu'il parle d'un élément de la grappe, par défaut son prototype, ce qui est souvent suffisant pour identifier l'objet visé dans le contexte de la communication.

Question de la communication

Une différence fondamentale entre objets et prototypes est qu'on a en principe une infinité d'individus avec des combinaisons différentes de propriétés alors qu'on fonctionne typiquement avec un nombre faible de grappes et les prototypes correspondants.

Ainsi, ce mécanisme conduit à une *discrétisation* de l'espace. Une telle discrétisation est requise pour avoir un langage *fini*.



Question de la communication

Notons qu'un prototype n'est pas nécessairement un objet déjà rencontré. C'est simplement un point central de la grappe correspondant à un nom.

Le prototype a un certain nombre de propriétés. Par exemple un oiseau est typiquement petit, chante, vole et construit des nids dans les arbres.

Ces propriétés constituent les *attentes* générées par la mention d'un nom commun.

Question de la communication

Les noms communs partitionnent l'espace conceptuel de façon assez grossière. Utiliser des noms communs requière que les communicant *soient accoutumés* aux mêmes grappes, ce qui est une hypothèse moins contraignante que celle d'être accoutumés aux même individus, requise pour les noms propres.

Question de la communication

Toutefois, dans certains contextes de communication, cette hypothèse limite les possibilités de communication.

Un exemple d'un tel contexte est lorsque le locuteur et l'auditeur font face à une classe d'objets relevant du même nom commun et que le locuteur veut identifier l'un des objets mais ne dispose pas d'un nom propre pour celui-ci.

On doit alors avoir recours à un troisième niveau d'abstraction.

Question de la communication

Une stratégie fondamentale pour distinguer des objets *au sein d'une catégorie* déterminée par des propriétés corrélées est d'identifier une propriété qui n'est pas corrélée avec les autres propriétés de la catégorie. Par exemple, la couleur d'un objet n'est pas corrélée, en général, avec les autres propriétés de l'objet.

Question de la communication

Les domaines identifiés par ce processus sont exprimés par des *adjectifs* dans le langage naturel. Par exemple, pour identifier un bloc donné parmi un ensemble de blocs de jeu on dira "Le bloc rouge" (domaine de la couleur).

Bibliographie

Gärdenfors, P. Conceptual Spaces : The Geometry of Thought. MIT Press, 2000.

Gärdenfors, P. The geometry of meaning : Semantics based on conceptual spaces. MIT Press, 2014.

Kaiser M. J., Morin T. L. & Trafalis T. B. Centers and invariant points of convex bodies, in "Applied Geometry and Discrete Mathematics: Viktor Klee Festschrift", pp. 367-385. American Matematical Society, 1991.

Pambuccian, V. The axiomatics of ordered geometry : I. Ordered incidence spaces. Expositiones Mathematicae 29 (2011) 24-66.

Zenker, F. & Gärdenfors, P. Applications of Conceptual Spaces : The case for Geometric Knowledge Representation. Springer, 2015.