

ARDIST Conférence, Lyon. 12-15 octobre 2005

Développer une pensée systemique à l'école élémentaire – Concevoir l'apprentissage par l'usage d'une pensée systémique.

Silvia CARAVITA

Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Roma, Italia.

Repenser aux objectifs de l'éducation

Améliorer la qualité de l'éducation scientifique ne peut pas seulement signifier enseigner à être plus semblable aux scientifiques, mais il faudrait se poser le problème sur comment préparer les personnes plus capables de comprendre la société dans laquelle ils vivent pour contribuer à ses changements, en tirant profit du savoir scientifique comme les acteurs sociaux critiques et efficaces.

Si cela est l'objectif il ne faut pas seulement développer les connaissances, mais aussi des convictions, une motivation, des attitudes liées aux connaissances, non pas comme qualités séparées, car ses facteurs sont déterminants pour une participation concrète aux droits de citoyenneté.

Nous nous trouvons désormais face à ce paradoxe : d'un côté la complexité nous est présentée, l'incertitude, l'extension temporelle des majeurs problèmes et des coûts ambiants, et aussi relatifs à notre santé, d'un autre côté, la relative simplicité nous est publiée, la certitude et l'immédiateté des bénéfices sociaux et économiques qui suivent certains choix et l'utilisation de certaines technologies. Comment comprendre les termes des compromis qui nous sont proposés ? comment évaluer l'entité et la qualité de ce que nous perdons ? Et qui et quand perdra ?

Peut-être que nous nous posons pas tant de questions, mais quand nous ne pouvons pas les fuir nous nous apercevons toujours de plus en plus que l'information qui nous semblait avoir ne nous aide pas vraiment à raisonner pour décider comment nous comporter.

Dans notre société du risque, aussi dans le milieu du quotidien, la science apparaît comme incertaine, controversée et souvent incapable de donner des réponses avec un grade acceptable de confiance. Elle apparaît si lointaine à la fausse image que l'école tend à accréditer, comme domaine de connaissance cohérent, objectif, non problématique. Et de cette divergence naissent aussi des images parfois négatives que le public manifeste, la désaffection des jeunes, la marginalisation de la science dans les choix politiques.

Pourtant, se donner la formation à la citoyenneté comme objectif de l'éducation scientifique ne doit pas du tout signifier donner moins de connaissance, au contraire !! Et cela constitue justement le problème avec lequel se mettre à l'épreuve.

« La pensée scientifique contemporaine met en discussion la recherche de l'invisible simplicité sous la complexité apparente des phénomènes pour chercher la complexité du réel sous la simplicité apparente des phénomènes.. » (G.Bocchi et M.Ceruti)

L'interprétation de systèmes complexes a caractérisé les développements récents de nombreux domaines dans les sciences : écologie, biologie du développement,

génomique ,protéomique, chimique des réactions diffusions, mécanique statistique des conditions de non équilibre, analyse de systèmes dynamiques non linéaires, modèles créés par l'intelligence artificielle, réseaux neurales, computation parallèle distribuée, modèles agents, robotique, etc

Les théories de la complexité naissent à l'intérieur d'une position constructiviste-relativiste-intéraktioniste qui s'oppose à la réductibilité des niveaux de la réalité ; naissent des développements de théories des systèmes, dont von Bertalanffy a été le plus important précurseur et, en biologie, ont représenté une évolution des modèles organistes et de procès du vivant.

Actuellement ils se conforment autant au monde phénoméniste qu'au monde de la pensée et ont dû créer des concepts, mais surtout des façons d'interroger et d'interpréter les systèmes qui se mettent de côté par rapport à ceux qui sont utilisés par la science pour l'étude d'autres « objets » (Transparent 1).

Une approche des systèmes complexes oblige une problématisation conséquent et cohérent avec les phénomènes qui interprètent. Les bonnes questions qu' il faut apprendre à se poser sont alors, par exemple:

- quelle est l'unité d'analyse?
- quel est le "système" et quel est le "milieu"?
- quels sont les niveaux d'organisation significatifs et, à chaque niveau, quelles sont les structures caractéristiques, les processus, les *patterns* émergents?
- quelles sont les ressources, les informations qui traversent et relient les niveaux?
- de quelle façon l'information est filtrée, transformée, ajoutée a chaque niveau?
- Quelles caractéristiques de un système sont déterminées et quelles ne le sont pas?
- Quels changements peuvent sortir de la création de nouvelles loupes? Ou de la introduction d'un nouvel élément structurel?
- Quelles sont les sources de résistance au changement?

Les chercheurs qui s'occupent de systèmes complexes sont entraîné à « voir cognitivement » les relations entre les aspects de surface et les aspects sous-jacents, entre les aspects perceptifs et les structures conceptuelles, à ne pas penser en termes nomothétiques mais historiques, évolutifs.

Ces potentialités cognitives construisent aussi des valeurs différentes.

Donc, comment ce nouveau paradigme peut concerner l'éducation ?

J'estime qu'il nous offre des instruments de pensée :

- pour repenser à des contenus, des méthodes, à l'organisation de l'enseignement scolaire
- pour regarder et décrire les dynamiques cognitives des processus d'apprentissage
- pour analyser le système scolaire et ses possibilités de changement

Dans mon contribution je me limiterai aux deux premiers points.

Repenser à l'enseignement

Non pas toute la science concerne des systèmes complexes. Mais de nombreux aspects de la réalité qui nous concernent de plus près comme le milieu, la société, la santé, les phénomènes de globalisation, la communication, ont vraiment des caractéristiques de systèmes complexes.

L'éducation scientifique scolaire semble encore avoir été peu influencée par les développements du paradigme de la complexité, soit dans le monde dans lequel les livres de texte sont conçus, soit dans les façons où l'enseignement propose, quand il le propose, des recherches aux jeunes, soit surtout en créant des explicites et des stables liaisons entre les disciplines et donc des interactions entre les enseignants de différentes disciplines. (Transparent 2)

Le concept de système peut être un des thèmes curriculaires inter-disciplinaires unifiants.

Mais quels problèmes devons-nous affronter si nous voulons essayer de projeter des parcours sur les thèmes de la complexité ?

J'ai essayé de synthétiser dans un lucide quelques principaux obstacles, non seulement cognitifs, qui ont été mis en évidence, que l'on doit tenir compte (Transparent 3).

Quelques concepts importants liés à la compréhension de systèmes complexes peuvent être contre intuitifs, ils sont peu pratiqués dans l'expérience commune, ce ne sont pas des objets de discours dans la culture et dans la transmission culturelle, et il est donc difficile de s'en approprier, comme semble indiquer le peu d'études qui jusqu'à maintenant ont été faites.

D'intéressantes observations viennent aussi de la psychologie de l'environnement.

Pourtant je veux souligner que les façons de penser, les stratégies de raisonnement utilisées pour interpréter des systèmes complexes, comme cela advient pour n'importe quel autre phénomène, dépendent fortement du savoir que nous avons dans le spécifique phénomène et dans le spécifique domaine de connaissance. Par conséquent j'estime que l'on ne doit pas donner une valeur absolue à cette information que nous prenons de la littérature sur les types d'obstacles que les étudiants rencontrent quand ils se confrontent sur des thèmes de la complexité. C'est une orientation.

Avec les contextes d'apprentissage et en relation avec des spécifiques domaines d'application des stratégies cognitives nous devrions comprendre les façons dans lesquelles les jeunes expriment une conscience et une capacité de pensée systématique.

Il y a aussi des risques de banalisation. Dans le langage quotidien complexe est synonyme de complication. Une manière superficielle de comprendre la complexité c'est de penser que tout se relationne avec tout et que chaque événement a des conséquences sur tout le système. En plus, on peut penser que c'est impossible de reconduire des phénomènes complexes à des causes et de prévoir quelconque fait. On confonde l'incertitude due à l'ignorance avec l'incertitude due à l'indétermination.

Quelles simplifications sont acceptables à l'école et selon l'âge des étudiants pour éviter ces risques? Et que l'on commence par aborder des systèmes simples? Mais que veut dire cela?

Une recherche à l'école élémentaire

A ce propos, je ferai référence maintenant à une étude conduite à l'école élémentaire, en collaboration avec les enseignants de classe scientifique de deux classes de 4^{ème} et 5^{ème} élémentaire.

Le projet didactique vise à développer chez les jeunes la capacité de pensée systémique à travers l'interprétation de leurs environnements de vie.

Nos hypothèses étaient (Transparent 4) :

- que les enfants fassent attention au milieu ou comme nature ou comme lieux, en utilisant c'est-à-dire des stéréotypes culturels ou un concept spatial de milieu
- que sur les milieux où se déroulent leurs vies, ils avaient intériorisé une grande quantité de connaissances concernant différents plans structurels et fonctionnels du système urbain, avaient donc accumulé plus de compétence que l'expérience de milieux naturels puisse au contraire permettre
- que c'était important de faire surgir cette compétence, probablement implicite et calme tout d'abord pour la rendre comparable et plus cohérente
- que l'objet *milieu vécu* était significatif pour les enfants, impliquant d'une façon émotive et qui demandait de l'intérêt
- que rappeler l'attention sur les changements qui adviennent dans les milieux où nous vivons offrent une clé de lecture pour mettre en évidence le fonctionnement du système, retrouver des facteurs, variables dans le jeu (causes/agents/récepteurs de changement, rechutes, processus collatéraux)

Notre groupe d'adultes s'est préparé au travail en explorant des milieux urbains, en réfléchissant sur les difficultés de retrouver dans l'expérience quotidienne des évidences de complexité, en s'interrogeant sur les connaissances nécessaires pour fonder cette prospective, en expliquant l'ensemble de concepts importants dans l'interprétation scientifique d'ambiance.

Les classes ont alterné des activités pratiques, développées dans le quartier avec des discussions et la réélaboration des résultats. L'activité de groupe s'est intensifiée en 5^{ème} et se sont formés des groupes d'interclasse; les enfants se sont aussi engagés dans des échanges communicatifs par internet avec d'autres classes.

Les activités, les tâches proposés et la médiation des enseignants miraient à : produire des déplacements spatiaux et temporels, à regarder des phénomènes sur des échelles différentes de grandeur, à déplacer l'attention du plan individuel à celui collectif, et sur plusieurs niveaux d'organisation, à considérer des alternatives en ce qui concerne des structures, des fonctions, des processus.

Deux questionnaires ont été soumis à des enfants au début et à la fin de la classe de 4^{ème}. Un autre questionnaire avec des questions en partie communes aux autres et en partie nouvelles, a été administré en 5^{ème}, en mars.

Outre aux questionnaires la documentation recueillie comprend : audio, enregistrements de discussions, produits des activités des enfants, notes de l'observateur en classe, verbaux des rencontres avec les enseignants.

Le schéma (Fig.1) rationalise dans un schéma le processus d'évolution conceptuel et les facteurs qui à notre avis l'ont principalement influencé.

Il est utile d'ajouter des commentaires sur les points qui dans l'expérience se sont révélés cruciaux.

Les questions adéquates à la complexité

Ces questions n'ont pas été décidées a priori, mais elles ont été reconnues et prises du flux des discours qui ont accompagné les premières activités d'exploration dans le quartier. Il s'agit de questions qui n'évitent pas la difficulté. Leur efficacité est dans deux qualités : a) les questions concernent les objets qui sont cohérents avec la

conceptualisation intuitive des enfants basée sur une vision de la réalité non simplifiée, mais seulement peu analytique et articulée ; b) ils donnent un marque linguistique à des idées qui concernent les aspects cruciaux dans la signification du concept à construire, c'est-à-dire ils ont une valeur heuristique.

Dans une classe la question qui a orienté la continuation de tout le travail a été : « Comment fait-on pour décrire, pour comprendre la vie qu'il y a dans le quartier ? comment fait-on à la capturer ? comment change-t-elle au cours de la journée ? ». **Vie** exprime la vision holistique de tout ce qui se passe et se manifeste à nous en nous y impliquant, mais c'est aussi une des qualités émergentes produites par le système urbain du quartier. Explorer les rues, dessiner des plans, les remplir de symboles de référence, les placer à l'intérieur du plan de la ville était le résultat d'un travail en partie "misleading" pour comprendre le milieu dans lequel on vit.

Dans l'autre classe la question a été : « Quels sont les règles que nous devons respecter ? pourquoi vraiment celles-là ? comment changent-elles dans les différents milieux où nous vivons ? comment ont-elles changer dans le temps ? ». Les **règles** sont un fait bien présent dans la vie vécue, mais elles sont aussi un élément caractérisant l'organisation systémique du milieu social et son fonctionnement.

(Transparent 5 - 11)

Représentations

Demander à des enfants de produire des représentations (et examiner des représentations produites par des autres), au fur et à mesure que la conceptualisation fait des progrès, choisir et/ou produire des langages symboliques différents en fonction de ce que l'on veut exprimer a d'importants et de divers rôles dans le processus :

- sert à donner une « forme » concrète à l'intuition et à produire des formes à observer ensemble

- sert à s'interroger sur la circularité entre représenter et comprendre ;

- des langages différents agissent comme des critères de jugement implicites car ils sélectionnent « des formes » ; les formes suggèrent qu'il existe « autre chose », qui manque quelque chose dans ce qui a été concrétisé.

Dans notre expérience, le plans des parcours dans le quartier, utilisation de plans de l'annuaire téléphonique ont construit « des formes » spatiales : parcours, références, relations réciproques, frontières...

Les dessins de la fenêtre de chez soi ont spécifié des points d'observation sur l'environnement, des caractéristiques, des détails, des vécus....

La vision de films et de vieilles photographies ont évoqué des atmosphères, des émotions, des imaginations, des comparaisons...

La vision de peintures a fourni des traces, des signes, mais a laissé de l'espace à l'ambiguïté avec laquelle on peut jouer pour imaginer, a fait s'interroger sur comment nous regardons l'environnement autour de nous...

La construction de plastiques a fonctionné par *gestalt* pour l'idée de « Quartier comme enchevêtrement de... ». (Transparent 12)

Dans une autre situation, la représentation a été utilisée pour la simulation de changements possibles dans le quartier et projetés en fonction de besoins différents.

La composition de textes a explicité les relations spatiales, causales, temporelles, fonctionnelles, hiérarchiques... (Transparent 9)

Imagination contrainte et consciente. Exercer la fantaisie comme instrument de cognition permet de donner une forme à des nécessités logiques qui sont mises en évidence par la compréhension mais à laquelle il manque un fondement expérientiel.

Quand on tente de projeter dans d'autres décors ce qui est arrivé on met à l'essai la tenue des connaissances, on s'aperçoit de leur relativité, mais aussi de la nécessité de comprendre les liaisons que des décors différents imposent.

Les cadres de paysages de temps passés évoquent des façons d'utiliser et de projeter des espaces, des façons de vivre.

Imaginer la vie et les règles dans la ville suspendue de *Ottavia* (une des *Villes invisibles* de Italo Calvino) oblige à se mesurer avec les nombreuses conséquences dérivantes de la fragilité de l'environnement, fait surgir des attitudes et des émotions différentes liées avec les restrictions de milieu....(Transparent 8)

Essayer de penser à des changements dans le quartier qui pourrait trouver un visiteur dans vingt ans ou aller à la recherche pour comprendre comment l'on est passé de la petite maison avec le poulailler renfermée entre les bâtiments à la construction d'un centre commercial évoque des changements lents, habituels et exceptionnels, des facteurs cachés, des corrélations entre des changements différents, une connaissance et une utilisation de signes déjà évidentes, ...

Donner un nom à ce que l'on a compris (les concepts-pont)

En répondant à la question sur ce que l'on a compris du quartier après tant de travail, Camille dit : « ...c'est un ensemble de particuliers et tu dois tous les lier ». La classe commence alors à faire la liste des choses dressées (Transparent 11). Et puis elle dira: "Le quartier est comme en enchevêtrement des choses".

Le mot **enchevêtrement**, capturé par l'enseignant devient pour le moment un bon remplaçant de **système** et il demandera aux enfants de se mettre à l'épreuve dans le projet et la construction de plastiques qui représentent des enchevêtrements.

A nouveau, dans la médiation didactique, il s'agit de reconnaître et de valoriser une idée dans les discours des enfants (peut être d'un enfant, mais reconnue par les autres comme efficace et partageable), une idée qui synthétise la compréhension obtenus. La valeur de cette idée est dans le fait qu'elle soit renfermée dans un mot (ce peut être une métaphore, ce peut être aussi un terme inventé par les enfants) dont la signification est familière dans la culture rejointe par le groupe de la classe, mais en même temps elle recueille une qualité essentielle de la conceptualisation qui l'enseignement a pour but. Les mots mettent à disposition des autres un... « précipité » du processus de conceptualisation, pour utiliser un langage de chimiques.

Analogiquement, dans l'autre classe, quand Olivier dira que « ...la **mentalité** des gens est différente », l'enseignant considère ce produit du système urbain comme un bon candidat pour explorer les causes de changement et comme cela se reflète sur le système qui l'a produit.

Evaluation des résultats de l'expérience

- La production verbale des enfants dans les discussions de classe, quelques textes écrits, les messages préparés pour le réseau, la présentation faite à la fin de la 4^{ème} et d'autres classes de l'école et enfin les devoirs donnés en 5^{ème} pour évaluer le niveau de compréhension atteint par le groupe de la classe ont fourni des indications certainement plus riches que les réponses individuelles aux questionnaires.

- Dans les milieux éducatifs où l'activité collaborative prévaut, la valeur de la production collective dans l'approfondissement individuel reste un point critique dans l'évaluation qu'ils soumettent à votre discussion.
- Pourtant même les réponses au questionnaire mettent en évidence un progressif déplacement de la conception du milieu comme entité spatiale à une idée plus abstraite d'ensemble composé d'éléments hétérogènes tenus ensemble par des relations qui ne sont pas seulement de nature concrète.
- Dans les deux classes les enfants ont su construire des relations entre les aspects physiques et culturels, structurels et fonctionnels, entre les aspects individuels et sociaux, entre la sphère privée et publique.
- Nous n'avons pas de doute que les enfants aient reconnu des interconnexions, mais nous n'avons pas d'évidence que celles-ci aient été pensé en forme dynamique c'est-à-dire comme des interdépendances influencées par des conditions, et moins réglées par des mécanismes de rétroaction. Dans un texte écrit composé en groupe sur la diversité de règles de comportement dans des milieux différents, on y trouve l'affirmation « les règles mettent en place le milieu », qui suggère une relation circulaire entre le milieu et les règles, mais cela est seulement un indice.
- Les enfants ont acquis une conscience sur la possibilité de descriptions multiples du même milieu, et sur les changements d'échelle utilisés pour interpréter ce qui se passe au niveau de sous et sur systèmes (l'école, la ville)
- Dans le projet de possibles modifications à des structures du quartier, comme en projection sur des futurs réalistement possibles, ont montré d'avoir acquis une majeure connaissance de l'organisation qui rend le quartier comme une unité urbanistique et administrative et de savoir considérer des aspects, comme la multiplicité (aussi conflictuelle) de besoins, d'habitudes, de volonté qui constituent un niveau caché de cette unité systématique.
- Le terme système est entré dans le vocabulaire des classes par la suite d'une longue conversation avec un responsable du plan régulateur et après une discussion sur la signification de « système urbain » (Transparent 13). Mais son spontané déplacement à un domaine tout à fait différent – le corps humain- a révélé l'acquisition non pas d'un mot mais d'un instrument de pensée de valeur générale, capable d'augmenter la compréhension même quand les connaissances sont encore plus incomplètes (Transparent 14).
- Au terme de la classe de 5^{ème}, dans un travail collectif avec les deux classes unies, il a été demandé aux enfants de proposer des mots-clés qui décrivaient le travail déroulé au cours de deux années. Les mots proposés et justifiés avec des arguments (Transparent 14) ont été :

transformations, relations, système, unions, cycle, règles, équilibre, exploration.

- Parallèlement à l'acquisition cognitive un sens d'appartenance à une communauté organisée a grandi, une attention à la qualité du milieu et le désir de l'améliorer.

Les difficultés rencontrées par les enseignants ne peuvent pas être sous-évaluées. S'aventurer dans des parcours en-dehors des schémas disciplinaires a été reconnu comme motif d'intérêt et d'insécurité en même temps, même si celle-ci était rendue moins dramatique par la collaboration avec les chercheurs.

La plupart du temps nécessaire pour le projet didactique et la réflexion, celui demandé pour l'organisation et le déroulement d'activités, le peu de collaboration des collègues, ont été les contraintes qui conditionnaient l'expérience et les vécus avec une grande fatigue.

Qu'avons-nous appris sur les processus de conceptualisation

Dans le domaine de l'éducation scientifique, le modèle théorique qui a eu un succès très grand est celui du changement conceptuel, car celui-ci propose soit un schéma interprétatif des mécanismes cognitifs impliqués, soit des instruments pour le projet didactique quand l'objectif est de porter les étudiants à abandonner des conceptions et des modèles d'explication construits sur la base de l'expérience quotidienne pour s'approprier de ceux de la culture scientifique.

Ce modèle théorique, comme nous le savons, a eu une évolution à partir des formulations de Posner et al., 1982, due en partie aux insatisfaisants résultats expérimentaux, en partie à l'influence de la psychologie sociale sur les sciences cognitives et de l'éducation (Guzzetti et Hynd, 1998 ; Vosniadou et al., 2001 ; Vosniadou et Verschaffel, 2004).

Le point plus incertain est celui qui concerne le rôle du conflit cognitif en générant des révisions critiques des propres représentations mentales, mais aussi les conditions pour l'apparition du conflit.

J'estime qu'un modèle qui isole le changement conceptuel du plus global processus d'apprentissage, et donc qui le choisit comme unité d'analyse, a une simplification non légitime et qui se révèle pas très utile.

Je synthétise mes critiques pour pouvoir les discuter avec vous.

- quand l'apprentissage n'est pas simple mémorisation il implique toujours la réalisation d'un plus haut niveau de compréhension qui a des conséquences sur de différentes dimensions de la personne, pas seulement cognitive. Par conséquent, c'est une personne et non pas seulement son esprit à être engagé dans le processus qui n'est donc pas seulement de nature logique et rationnelle.
- La valeur d'une réorganisation conceptuelle réside dans le fait que par celle-ci dérivera de nouvelles façons de regarder un domaine de réalité, de corréler des faits ou des informations, de faire des prévisions raisonnables même en manque de connaissance,...de critiquer des représentations culturelles, de participer à des pratiques. Par conséquent, une révision a une portée beaucoup plus vaste du spécifique concept et met en jeu des convictions et des valeurs, outre à des connaissances.

- L'importance attribuée à des principes épistémologiques dans la critique de la connaissance n'est pas la même pour le scientifique qui pratique la science et pour les personnes communes ou les étudiants.
- Les étudiants, en particulier les enfants, ne sont pas seulement des « apprenants », ce sont des individus qui sont en train de développer une identité et de construire une image de soi. Ils ont des buts personnels (« I want to be...goals - je veux être...»). Qui sont toujours au fond, ou qui viennent aussi au premier plan, quand les étudiants participent à des activités et s'engagent dans des devoirs (Boekaertz, 1968). La façon dans laquelle les étudiants encadrent les buts curriculaires à l'intérieur de leurs buts personnels, crée un système dans lequel pensée, émotions, actions interagissent.
- La construction de concepts est un événement qui se déroule dans une interdépendance entre pratiques et processus sociaux et pratiques et processus individuels. La qualité et le poids des facteurs qui influencent sur ces deux niveaux sont en partie les mêmes mais en grande partie différents. Motivation et intérêt se conforment principalement au niveau intra individuel, confiance et auto-estime au niveau inter-individuel.
- La critique des propres conceptions qui dérive du conflit est seulement un des moments d'un processus de révision ; celle-ci n'est pas un événement improvisé, mais une activité lente soutenue par un effort intellectuel persistant, réfléchi (qui implique justement l'intervention d'intérêt, et l'existence de finalité et de buts), une activité *tranquille* dont les résultats surgissent quand la situation le demande. A l'école c'est à l'enseignant, pas à les étudiants, que réside la volonté et l'autorité d'orienter et d'accélérer ce processus vers une fin qui est préétablie.
- Peu d'attention a été donnée à la relation entre les processus et la nature des conceptions qui devraient être objet d'une révision : concepts très ponctuels ou schémas explicatifs de large portée ne peuvent pas impliquer le même type de parcours cognitif. Et donc même les concepts ponctuels sont insérés dans les réseaux conceptuels plus amples, même fluides, qui en déterminent le sens et l'importance dans un domaine. Par conséquent, le peu de maîtrise de connaissances dans un domaine disciplinaire a de l'influence sur les stratégies cognitives et aussi sur l'intérêt dans l'acquisition de nouveaux concepts (Alexander, 1998).

Je pense alors que le modèle théorique du changement conceptuel se base sur une simplification inadaptée. Les stratégies de changement existent et gagnent un sens seulement en relation aux faits auxquels ils doivent s'appliquer, aux conditions dans lesquelles se déroulent, aux connaissances et aux identités personnelles qui au fur et à mesure grandissent.

Questions adéquates à la complexité du concept
nomment des aspects émergents importants dans la
vision holistique et sont des pointeurs d'idées-clés dans
la conceptualisation scientifique

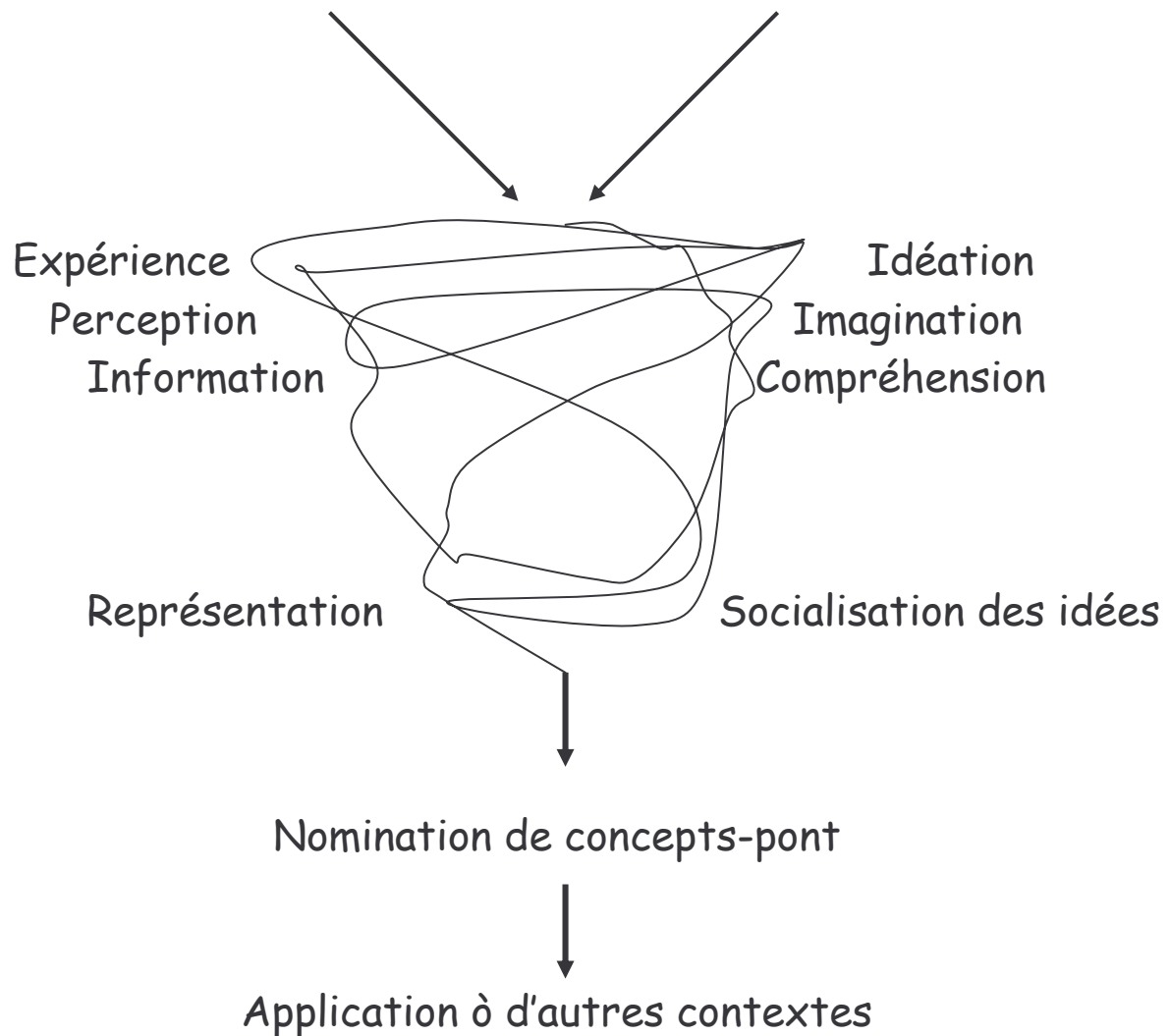


Fig.1

Bibliographie

- Alexander, (1998) Positioning conceptual change within a model of domain literacy. In B. Guzzetti & C. Hynd (Eds.), *Perspectives on conceptual change* (pp. 55-76). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Arcà, M., Guidoni, P (1987) *Guardare per sistemi, guardare per variabili*. Roma: EMME Edizioni.
- Arcà, M., Caravita, S. (1998) Environmental complexity in educational mediation. Paper presented at the Second Conference of European researchers in Didactic of Biology (ERIDOB), Göteborg, Sweden, 18-22 novembre.
- Astolfi, J.P: et Drouin, A.M. (1987) Milieu. *ASTER*, 3, 73-111.
- Bocchi, G. e Ceruti, M. (2004) *Educazione e globalizzazione*. Milano: Raffaello Cortina
- Boekaerts, M. (1998). Boosting students' capacity to promote their own learning: a goal theory perspective. *Research Dialogue in Learning and Instruction*, 1 (1), 13-22.
- Caravita, S., Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1),
- Caravita, S. (1996). Organizing the concept of organism at the elementary school level. In K. Fisher, & M. Kibby (Ed.), *Knowledge acquisition, organization and use in Biology* (pp. 108-125). Berlin: Springer Verlag.
- Caravita, S. (2001) A re-framed conceptual change theory? *Learning and Instruction*, 11, 421-429.
- Caravita, S. (2004) Educazione ad un futuro sostenibile: un programma di lavoro per insegnanti e ricercatori. *Naturalmente*, anno 17 (3), 12-16.
- Caravita, S.(2004) Insegnare/Imparare a pensare per relazioni sistemiche. Atti 18° Congresso Nazionale AIP- Sezione di Psicologia dello sviluppo, 20-23 settembre 2004, Siacca, pp.20-23.
- Chawla, L. (1992) Childhood place attachments. In Altman, I. and Setha, M. (Eds.) *Place attachment*. (pp.63-86) New York; Plenum Press.
- Cozzi, L. (1998) Le complicazioni di una didattica della complessità. *Naturalmente*, 11 (3), 5-13.
- Giordan, A. et alt. (2003) Etudes de conceptions sur les savoirs complexes. Le cas du développement durable. DIDASKALIA
- Graumann, C.F. and Kruse, L. (1990) The environment: social construction and psychological problems. In Himmelweit, H.T. and Gaskell, G. (Eds.) *Societal psychology* (pp.212-229). Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Keiny, S. and Shachak, M. (197) Educational model for environmental cognition development. *International Journal of Science Education*, 9 (4), 449-458.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. and Robinson, C.W. (1995) Children's ideas about ecology. 1: theoretical background, design and methodology. *International Journal of Science Education*, 17 (6) 721-732.
- Lundholm, C. (2004) Exploring students' learning in environmental education. An intentional perspective on the influence of students' values in knowledge development. Paper presented at the 4th meeting of the EARLI Special Interest Group on Conceptual Change, Delphi 19-23 May 2004.
- Munson, B.H. (1994) Ecological misconceptions. *Journal of environmental Education*, 25 (4), 30-34.

- Palmer, J., Suggate, J., Matthews, J. (1996) Environmental cognition: early ideas and misconceptions at the ages of four and six. *Environmental Education Research* 2 (3), 301-329.
- Paton, R.C. (1993a) Understanding biosystem organization. Part 1: verbal relations. *International Journal of Science Education* 15(4), 395-411.
- Paton, R.C. (1993b) Understanding biosystem organization. Part 2: towards a theoretical framework. *International Journal of Science Education* 15(6), 637-655.
- Peñalver Gomez, C. (1988) El pensamiento sistémico del constructivismo a la complejidad. *Investigacion en la Escuela*, 5, 11-16.
- Penner, D.E. (2000) Explaining systems: investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of Research in Science Teaching* 37(8), 784-806.
- Posch, P. (1993) Research issues in environmental education. *Studies in science education* 21, 21-48.
- Resnick, M. and Wilensky, U. (1998) Diving into complexity: developing probabilistic decentralized thinking through role-playing activities. *Journal of the Learning Sciences*, 7 (2), 153-172.
- Rissotto, A. e Giuliani, V. (in stampa) Learning neighbourhood environments: the loss of experience in a modern world. In M. Blades and Spencer, C. (Eds), *Children and their Environment*. Cambridge University Press.
- Roth, W.-M. and Dessautels, J. (2002) Science education as for sociopolitical action. Charting the landscape. In Roth, W.-M. and Dessautels, J. (Eds.) *Science education as/ for sociopolitical action*. (pp. 1-17). New York: Peter Lang.
- Watts, M. and Alsop., S. (1997). A feeling for learning: modelling affective learning in school science. *The Curriculum Journal* 8 (3), 351-365.
- Zimmerman, L.K. (1996) Knowledge, affect and the environment: 5 years of research (1979-1993). *Journal of Environmental Education* 27 (3), 41-44.