

Complexité du Langage : que peut-on faire ?

Language Complexity : what can we do ?

Francis Lowenthal

Ph D, Professeur Ordinaire UMon

Directeur du Laboratoire de sciences cognitives, Université de Mons,

francis.lowenthal@umons.ac.be

Résumé : Pour communiquer nous nous parlons et cela semble très simple, mais notre langage comporte beaucoup de structures complexes dont nous ne sommes pas conscients. Les enfants doivent, très tôt, les découvrir pour comprendre ce que les adultes disent. Selon certains auteurs, le langage humain, à la différence des communications entre animaux, pourrait faire appel au principe de récursion. Mais qu'est-ce que ce principe ? d'où vient-il ? peut-on l'utiliser pour simplifier la vie des enfants ?

Mots-clés : Langage, Développement, Récursion, NVCD.

Abstract : In order to communicate, we use the spoken language and this seems very simple, but our language is full of complex structures. We are not aware of these structures but infants must, very early, discover them in order to understand what adults are saying. According to some authors, human language could differ from animal communication in that it uses the principle of recursion. But what is exactly this principle ? where does it come from ? can we use it to simplify children's life ?

Keywords : Language, Child development, Recursion, NVCD.

1. INTRODUCTION

LE PRINCIPE DE RECURSION ET SES RELATIONS AVEC LE LANGAGE VERBAL

Un principe philosophique de base interdit d'employer le concept que l'on est en train de définir à l'intérieur de la définition elle-même : on dira "une **table** est un meuble composé d'un plateau horizontal posé sur un ou plusieurs pieds" (Petit Larousse), mais on ne dira jamais : "une **table** est une **table** qui ...". En d'autres termes, quand nous utilisons une définition classique le mot à définir apparaît toujours comme sujet, à gauche du verbe "est" et jamais à droite, dans le cœur de la définition. Une approche différente n'expliquerait rien et correspondrait à l'attitude du serpent qui se mord la queue.

Cette approche n'est pourtant pas satisfaisante quand il s'agit de décrire de manière aussi simple que possible des processus complexes qui peuvent être décrits par étapes. Ce sont les mathématiciens et les logiciens qui les premiers ont utilisé ce principe pour préciser la notion de "calculabilité" : ce principe établit que l'on peut utiliser un concept ou une fonction à l'intérieur de la définition à condition que le principe que l'on est en train de définir soit utilisé chaque fois à un degré moindre de complexité. Ceci peut nous amener à une définition simple telle celle présentée dans le tableau 1.

$$\begin{aligned}f(n + 1) &= 2^{f(n)} - 1 \\f(0) &= 2\end{aligned}$$

Tableau 1 : une définition par récursion

Sans le savoir, nous utilisons ce principe quand nous essayons de résoudre des petits jeux de stratégie tel celui des six jetons présenté sur la figure 1.

Nous voyons trois pions noirs et trois pions blancs, séparés par une case vide. Le but du jeu est d'amener tous les pions noirs à la place des pions blancs et vice versa. Les seuls mouvements légaux sont les suivants : soit faire glisser un pion vers une case vide (à sa gauche ou à sa droite),

soit faire sauter un pion par-dessus un pion d'une autre couleur vers une case vide (à gauche ou à droite). Il n'y a pas d'autres mouvements permis.

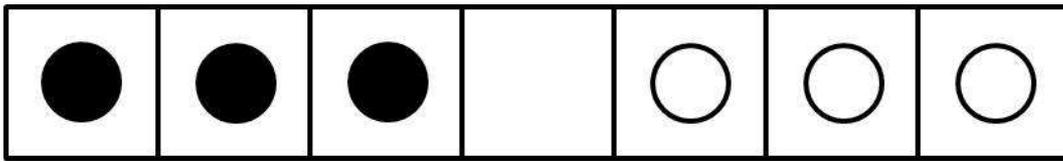


Figure 1: Le jeu des six jetons

En essayant de trouver une solution générale (jeu des $2n$ pions), on constate que pour ce type d'exercices il faut appliquer deux principes. Il faut **d'abord** faire *mentalement* "comme si" tout était déjà réglé jusqu'à l'étape précédente incluse (jeu des $2n-2$ pions), et continuer ainsi à l'envers jusqu'à ce qu'on ne soit plus confronté qu'à une situation très simple (jeu des 2 pions), pour repartir par la suite *effectivement* vers l'avant. **Le deuxième principe** est le suivant : il ne faut pas hésiter à faire des allers et des retours, il ne faut pas hésiter à "reculer pour mieux sauter". On constate ainsi que l'on doit se préoccuper de situations où il faut gérer des situations simples imbriquées dans des situations plus complexes.

Quel lien tout ceci a-t-il avec notre langage habituel ? Nous nous exprimons souvent par phrases brèves : "Il pleut" ou "Pourrais-tu me passer le sel ?". Mais nous employons aussi des phrases plus complexes lorsque nous devons préciser de quel objet nous parlons : "La clé est cassée" ne nous informe pas beaucoup, il vaut mieux préciser "La clé de la porte d'entrée est cassée", si notre maison a deux portes, il vaut mieux préciser "La clé de la porte qui se trouve du côté du jardin est cassée". On pourrait encore envisager le cas de l'heureux propriétaire de deux maisons semblables qui doit préciser de quelle maison il s'agit. Le locuteur peut bien entendu le faire en produisant des énoncés simples et courts, qui sont alors placés l'un après l'autre. On dira dans ce cas que le locuteur s'exprime par **concaténation**, c'est-à-dire en juxtaposant des expressions simples. Malheureusement ce n'est ni élégant ni économique : nous préférons souvent utiliser des expressions pleines de propositions subordonnées, et même de subordonnées enchâssées. L'anglais et les langues germaniques sont coutumières de ce type de structure. On rencontre des phrases telles "The cheese that the rat that the cat killed ate lay in the house that Jack built" ce qui donne littéralement en français : "Le fromage que le rat, qui a été tué par le chat, a mangé se trouvait dans la maison que Jack avait construite". L'auteur américain Mark Twain a même dit : "quand on rencontre une phrase allemande, on ouvre d'abord une parenthèse à l'intérieur de laquelle on trouve une grande parenthèse au sein de laquelle on trouve une parenthèse royale". Aux yeux de cet auteur, l'essentiel de l'idée se trouve au cœur de la phrase, comme dans la phrase anglaise toute simple en apparence "The boy the girl Peter likes hates eats pizza" ; ce qui donne en français : "Le garçon, qui est détesté par la fille que Pierre aime, mange de la pizza". Cette phrase française est plus longue en mots, mais moins lourde à traiter par notre cerveau parce que les relatives y sont moins enchâssées grâce au recours à la voie passive. Ce type de phrase avec enchâssements est fréquent en anglais et en allemand, mais il est moins fréquent dans les langues latines. Pourtant, nous pouvons en rencontrer et nous devons admettre qu'il y a là une économie de formulation que nous payons par une surcharge cognitive lors de la compréhension : même si nous ne les aimons pas, nous sommes capables de les comprendre. Les subordonnées relatives enchâssées que l'on rencontre là représentent précisément un exemple d'application du principe de récursion.

Pourquoi attacher autant d'importance à ce type de phrase ? Et pourquoi attacher autant d'importance à la récursion dans le langage ?

D'après Hauser, Chomsky et Fitch (2002) il y aurait deux "Facultés de Langage" : l'une appelée "Faculté de Langage au sens large" serait commune aux humains et aux animaux non humains, l'autre appelée "Faculté de Langage au sens étroit" serait spécifique aux humains : cette "Faculté de Langage au sens étroit" comprendrait le principe de récursion qui serait donc propre aux humains. Certains auteurs (Premack, 2004) approuvent cette hypothèse, mais d'autres (Pinker & Jackendoff,

2005; Gervain et al., 2008; Hochmann et al., 2008) sont d'un avis diamétralement opposé : pour eux le principe de récursion ne joue pas un rôle important dans le langage humain. Depuis 2002 différents chercheurs ont réalisé des expériences dont les résultats sont, comme souvent en science, apparemment contradictoires : les singes tamarins ne comprendraient pas les structures enchâssées (Fitch & Hauser, 2004) mais des étourneaux partageraient avec nous le principe de récursion (Gentner et al., 2006).

Nous ne pouvons donc pas affirmer que le principe de récursion joue réellement un rôle important dans le langage humain. Par contre les exemples cités plus haut montrent clairement l'importance des structures imbriquées, ce qui implique une maîtrise certaine des relations à distance. Le même type de maîtrise est indispensable pour la compréhension de phrases telles "Si le moteur de ma voiture produit beaucoup de CO₂, alors il est certain que je devrai payer une taxe additionnelle". Des remarques similaires peuvent être formulées à propos de certaines phrases interrogatives ou de phrases à la voix passive. La conclusion principale que nous en tirons à cette étape, c'est l'importance, pour le langage humain, des structures enchâssées et des relations à distance.

En faisant des recherches à propos des hypothèses de Hauser, Chomsky et Fitch, certains auteurs (Friederici et al., 2006) ont montré que les phrases et structures simples (telles : "Il pleut et je mets mon imperméable") ne sont pas traitées par les mêmes zones neuronales du cerveau humain que les phrases et structures plus complexes (celles qui comprennent des relatives emboîtées ou des relations à distance sans emboîtements, telle : "Si le chat avait mangé deux grosses souris bien grasses et n'avait pas fait sa promenade ensuite alors il aurait de bonnes raisons d'être sérieusement malade"). Brauer et al. (2010) ont montré que les réseaux neuronaux traitant ces relations à distance ne sont pas les mêmes chez des enfants et chez des adultes, ce qui peut être interprété comme une maturation nécessaire pour acquérir toute la complexité des structures syntaxiques.

Il est dès lors tout à fait légitime de se demander s'il est possible de trouver une méthode qui favoriserait le développement de ces dernières structures neuronales chez les enfants.

2. UNE APPROCHE NOUVELLE : LES "NON VERBAL COMMUNICATION DEVICES"

En 1983 nous avons introduit, indépendamment de ce qui précède, une approche nouvelle pour observer et favoriser le développement cognitif chez l'enfant normal ou handicapé. Nous avons défini un nouveau concept (Lowenthal, 1983) : les "Non Verbal Communication Devices" (NVCD). Chaque approche de type NVCD est la combinaison d'une méthode d'intervention et d'observation spéciales et de la manipulation d'un matériel spécifique muni de contraintes techniques : on pourrait prendre comme exemple simpliste des exercices basés sur la construction de chemins par un jeune enfant qui doit utiliser des briques Lego placées sur une plaque de base.

La méthode est basée sur une approche quasi non-verbale des situations-problème utilisées (l'observateur ne parle pas à propos du problème soumis au sujet). Elle permet à l'observateur de créer un médiateur de représentation et de communication. Le dispositif spécifique est fait de petites pièces qui peuvent être facilement assemblées de différentes manières. Ces objets n'appartiennent pas à l'arrière plan cognitif du sujet. Ils sont munis de contraintes techniques. Ces contraintes rendent certaines actions possibles et d'autres impossibles. Ceci permet de plonger le sujet, sans qu'il s'en rende compte, dans une structure logique. Nous présentons ci-dessous deux exemples d'approches de type NVCD, les exercices associés et les résultats observés.

Des recherches expérimentales montrent que cette approche favorise l'acquisition du langage chez l'enfant normal. Des observations cliniques montrent une importante récupération de la fonction langagière après l'emploi de ce type d'approche avec des sujets jeunes, qui l'avaient perdue après une lésion cérébrale localisée. Nous avons dès lors formulé l'hypothèse suivante (Lowenthal, 1999) : "les manipulations impliquées dans les approches de type NVCD pourraient favoriser une réorganisation cérébrale". Lefebvre et al. (2006) ont démontré une version plus faible de cette hypothèse : ils ont employé une approche de type NVCD (les Labyrinthes Dynamiques) avec de

jeunes adultes et ils ont observé leur activité cérébrale dans une tâche "langage". Les observations sous IRMf montrent que les sujets mobilisent plus de neurones dans une zone centrale du cerveau (les noyaux de la base) après l'emploi d'une approche de type NVCD, comme si les manipulations impliquées les avaient aidés à devenir plus efficaces pour ce type de tâche.

3. PREMIER EXEMPLE: LES LABYRINTHES DYNAMIQUES

Les Labyrinthes Dynamiques ont été inventés par Cohors-Fresenborg (1978). Ce dispositif est constitué d'une plaque de base munie de trous formant un quadrillage et différents types de pièces qui peuvent être agencées sur la plaque de base de manière à former un circuit qui est en fait l'équivalent mécanique d'un automate fini (figure 2). Cohors-Fresenborg avait créé cet outil pour enseigner à des adolescents la notion d'algorithme, c'est-à-dire une méthode standardisée qui permet toujours de résoudre effectivement un problème (telle la méthode utilisée pour accomplir une addition écrite). Cet auteur présentait verbalement à ses sujets des problèmes et leur demandait de construire "le circuit qui représente la solution du problème".

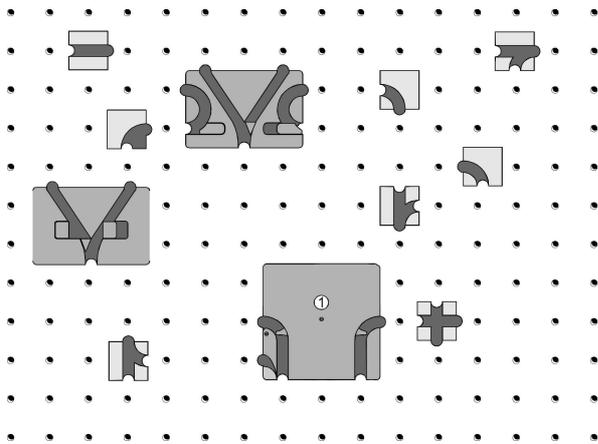


Figure 2 : Les pièces, simples "rails", "aiguillages" et "compteur" créés par Cohors-Fresenborg

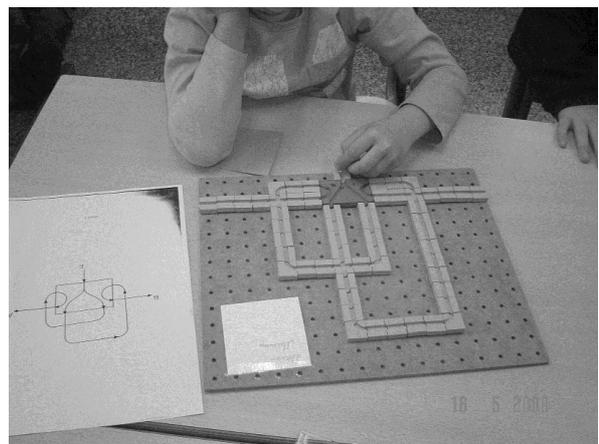


Figure 3 : Un enfant en train d'étudier le circuit construit d'après le diagramme placé à gauche

Nous avons choisi d'utiliser ce matériel d'une autre manière : nous présentons au sujet le diagramme représentant un circuit, nous lui demandons de le construire avec les pièces de Cohors-Fresenborg, puis d'en explorer les régularités pour finalement nous expliquer "à quoi ça sert" : il s'agit en somme du problème inverse (figure 3). La méthode que nous utilisons permet au sujet de découvrir la réponse en travaillant à celui des niveaux brunériens qui lui convient le mieux : la représentation par l'action, la représentation par l'image ou la représentation par le symbole.

Très curieusement, l'emploi de cette approche **non verbale** favorise le développement de tâches liées au langage : productions verbales complexes (Lowenthal, 1984 ; Yang, 2006), acquisition de la lecture (Lowenthal, 1986), ainsi qu'une meilleure organisation visuospatiale à 6 ans (Lefebvre, 2002) : ces activités sont toutes liées à la complexité langagière décrite plus haut.

4. DEUXIEME EXEMPLE: LA MOSAÏQUE

La mosaïque est un jeu pour petits enfants : il s'agit d'une plaque de base munie de trous formant un quadrillage et de clous en plastique à tête colorée, clous qui peuvent être placés par l'enfant dans les trous de manière à "faire un beau dessin". Ces clous sont définis par deux caractéristiques : la forme de la tête (carré ou quart de rond) et la couleur (bleu, jaune, rouge, vert, pourpre ou orange). Pour une meilleure compréhension, les couleurs sont représentées par des lettres représentant l'initiale du nom de la couleur concernée. Ces lettres sont placées dans les figures qui suivent (sauf la figure 5). Nous avons choisi d'utiliser le terme "pointe" pour désigner un clou à tête en forme de quart de cercle, et nous le représentons par un triangle dans les figures qui suivent.

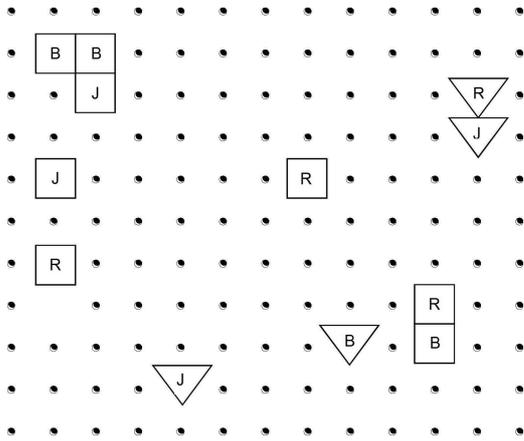


Figure 4 : la plaque de base et les clous



Figure 5 : deux enfants au travail

Nous avons utilisé ce dispositif pour introduire un langage de programmation procédural basé sur des manipulations concrètes. Ce langage, inspiré du Logo, est accessible à de très jeunes enfants (5 ans et plus), handicapés (Lowenthal & Saerens, 1986) ou non (Lowenthal et al., 1996). Pour ce type d'exercices nous divisons la plaque de base en trois colonnes. La colonne de gauche (Colonne1) est réservée aux séquences de clous assignés à une "pointe" qui représente le nom de cette séquence : ceci permet de définir une procédure. La colonne centrale (Colonne2) est réservée à une suite de "pointes" (ceux utilisés pour nommer les procédures) : c'est le programme. La colonne de droite (Colonne3) correspond à l'exécution du programme (figure 6a).

Colonne1 Colonne2 Colonne3

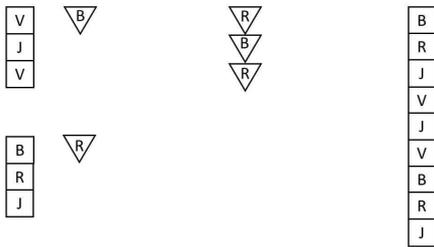


Figure 6a: la mosaïque comme outil de programmation

Enoncé Enoncé Solution

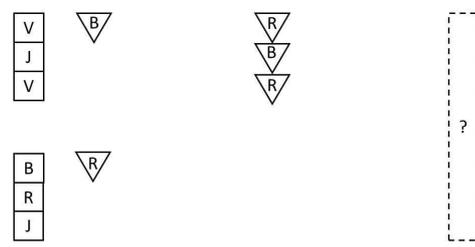


Figure 6b : l'exécution d'un programme

Pour introduire un exercice, nous montrons au sujet une plaque de base sur laquelle il peut voir deux des colonnes et nous lui demandons (sans donner d'autres détails) de faire "la manquante". Certains exercices sont faciles, comme la simple exécution d'un programme (figure 6b). D'autres sont plus complexes, tels la reconstruction du programme (figure 7a) ou la découverte des procédures utilisées (figure 7b).

Enoncé Solution Enoncé

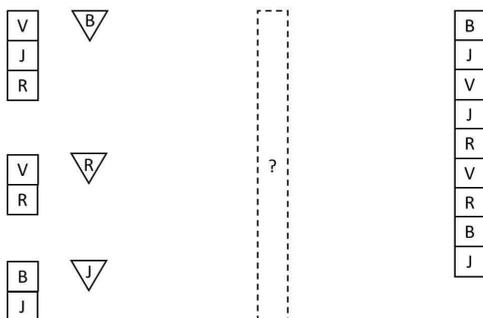


Figure 7a : reconstruction d'un programme

Solution Enoncé Enoncé

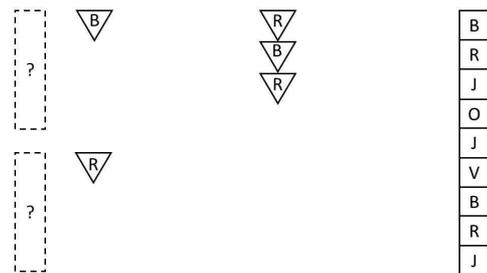


Figure 7b : découverte des procédures utilisées

L'emploi de cette approche avec des enfants de 5 à 8 ans favorise également le développement de tâches liées au langage : productions verbales plus complexes (Lowenthal, 1990 ; Yang, 2006) et activité de décodage installant les prérequis de la lecture (Soetaert, 2003).

On peut dès lors se demander si des tâches basées sur la mosaïque mais orientées vers le traitement de structures emboîtées ne favoriseraient pas plus encore le développement de ces activités langagières. On peut aussi se demander si ce type de tâches ne pourrait pas favoriser le développement et la maturation des relations neuronales liées aux relations à distance.

Nous proposons ci-dessous une approche nouvelle orientée vers ce type de tâches.

5. LA MOSAÏQUE ET LES STRUCTURES ENCHASSEES

Nous montrons ci-dessous comment proposer des exercices utilisant la mosaïque et impliquant le recours aux structures enchâssées. L'hypothèse que nous formulons maintenant est double : d'une part l'emploi d'exercices du type décrit ci-dessous favorise la maîtrise de structures langagières complexes par le jeune enfant; et d'autre part cela peut aussi favoriser une maturation cérébrale qui permettrait à l'enfant de développer plus tôt le type de structures cérébrales décrites par Braurer et al. (2010) pour l'adulte.

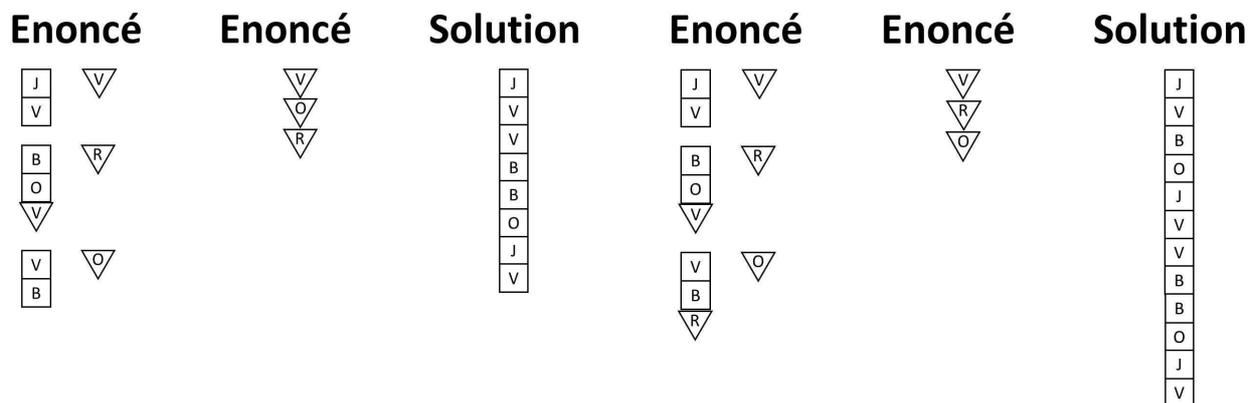


Figure 8a : un appel simple

Figure 8b : un appel double

Nous avons déjà utilisé des exercices du type exécution du programme qui présentaient la particularité suivante : certaines des procédures comportent une séquence de carrés suivie, **à la fin**, par une seule pointe qui appelle une autre procédure. La consigne ici est d'exécuter le programme en ne plaçant à droite que des clous à tête carrée.

Ainsi, l'exercice proposé dans la figure 8a doit être exécuté comme suit : d'abord placer les carrés correspondant à "pointe verte" (soit la séquence de clous "carré jaune", "carré vert"), immédiatement suivis par ce qui correspond à pointe "orange" (soit "carré vert", "carré bleu"), et enfin placer ce qui correspond à "pointe rouge" (soit "carré bleu, carré orange suivi de ce qui est **appelé** par la "pointe verte" finale : "carré jaune" puis "carré vert"). Le résultat attendu est affiché dans la colonne de droite.

L'exercice présenté dans la figure 8b présente la particularité de comporter deux procédures avec "appel final". Il faut dans ce cas placer dans la colonne de droite ce qui correspond à la "pointe verte" (soit un "carré jaune" suivi d'un "carré vert"), puis ce qui correspond au contenu de la "pointe rouge" (soit un "carré bleu", un "carré orange" suivi de la séquence de carrés appelée par la "pointe verte"), et enfin ce qui correspond à la "pointe orange" (soit les clous carrés vert et bleu, suivis de ce qui est appelé par la "pointe rouge", donc une séquence de deux carrés suivis à leur tour par ce qui est appelé par la "pointe verte").

Les résultats montrent que les sujets de 5 et 6 ans réussissent très bien à comprendre ce type de problèmes et à résoudre les exercices proposés.

La longue explication qui précède permet de comprendre comment fonctionne la procédure d'appel. Celle-ci, pourtant, n'implique qu'un renvoi vers une autre procédure (vue antérieurement dans les cas qui nous concernent) et jamais un retour vers la première procédure : il ne s'agit pas là de séquences enchâssées mais de simples "appels". Ce type d'exercices correspond, dans le domaine langagier à des phrases telles "Le chat a mangé la souris qui était dans la maison", ou (dans le cas de deux appels) "Le chat a mangé la souris qui était dans la maison que Jean a construite". Ceci ne permet donc pas d'entraîner le sujet à utiliser des structures plus complexes comportant des relations à distance enchâssées.

Les discussions actuelles concernant le rôle des structures enchâssées dans le langage verbal nous ont amenés à concevoir de nouveaux exercices.

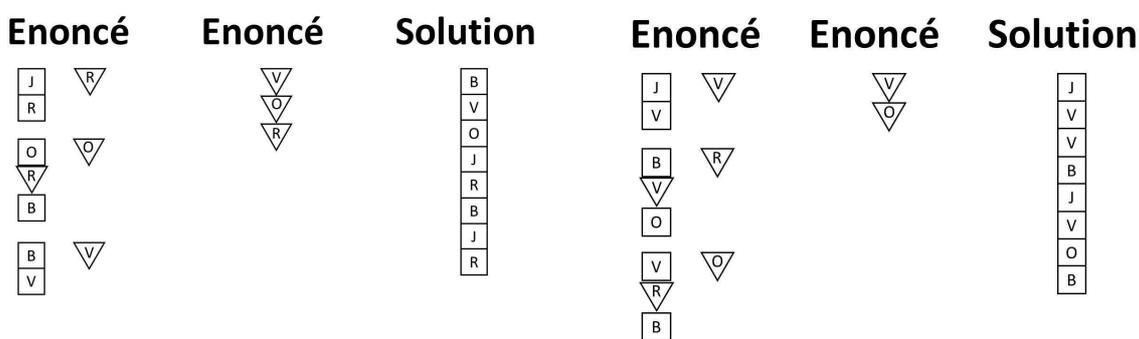


Figure 9a : un enchâssement simple

Figure 9b : un enchâssement double

L'exercice proposé dans la figure 9a est plus complexe que ceux décrits en figure 8a et 8b : dans ce dernier cas, le sujet doit d'abord placer les carrés correspondant à la "pointe verte", puis le "carré orange", début de la séquence définie par la "pointe orange". Il doit alors suspendre l'exécution de cette "pointe orange" pour exécuter la "pointe rouge" et revenir ensuite achever l'exécution de la "pointe orange", avant de terminer par la "pointe rouge".

L'exercice proposé en figure 9b est encore plus complexe : dans ce cas, après avoir exécuté la "pointe verte", il faut passer à la "pointe orange", suspendre son exécution pour commencer celle de la "pointe rouge", l'interrompre pour exécuter la "pointe verte" encore une fois, revenir à la "pointe rouge" pour la terminer et revenir alors à la "pointe orange" pour placer le dernier carré ("carré bleu").

Il s'agit bien ici de structures enchâssées du type de celles que l'on pourrait trouver dans la phrase "The boy the girl Peter likes hates eats pizza". Nous formulons l'hypothèse que l'emploi de ce type d'exercices favorise l'acquisition du langage chez de jeunes enfants (5 et 6 ans) ainsi qu'un développement neuronal plus rapide. Pour vérifier la première partie de cette hypothèse, nous avons décidé de lancer une recherche nouvelle. Les sujets seront d'abord testés sur base de tests existant permettant d'évaluer la richesse et la complexité du langage qu'ils maîtrisent (pré-test). Ils feront ensuite une série d'exercices (avec plus d'exercices préliminaires pour les sujets de 5 ans) aboutissant à des exercices avec structures enchâssées du type de celles présentées en figure 9a et 9b. Enfin, ils subiront à nouveau les épreuves utilisées en guise de pré-test : elles serviront à cette étape de post-test. Ces sujets "expérimentaux" seront comparés à des sujets "contrôles".

7. CONCLUSIONS

Dans une première partie, nous avons d'abord montré l'importance des structures enchâssées dans la plupart des langues humaines connues. Nous avons présenté le débat actuel concernant le rôle essentiel de la récursion dans le langage versus un simple emploi de structures enchâssées. Nous avons aussi présenté les résultats de certains auteurs concernant le rôle du cerveau dans la maîtrise des structures syntaxiques complexes. Nous avons conclu que l'acquisition du langage par l'enfant se heurte nécessairement à la difficile maîtrise par l'enfant du concept de structures enchâssées. Nous avons précisé que selon certains auteurs cette maîtrise de la syntaxe dépend sans doute d'une certaine maturation neuronale.

Dans une deuxième partie, nous avons décrit un type d'approches particulières, les approches de type NVCD. Nous avons aussi donné deux exemples d'approches de ce type. Nous avons cités des recherches montrant que l'emploi de ce type, dont l'emploi favorise l'acquisition du langage, mais entraîne aussi une augmentation dans la mobilisation de neurones dans le cadre d'une tâche langage (génération de verbes). Nous avons montré au travers de plusieurs exemples que le jeu "la mosaïque" se prête bien à ce type d'approche et que son emploi favorise l'acquisition du langage, d'un vocabulaire riche et de phrases comportant des relatives placées en queue de phrase.

Nous proposons ici de nouveaux exercices basés sur la mosaïque et impliquant le recours aux structures enchâssées. Nous formulons l'hypothèse que l'emploi de ces exercices favorisera encore plus l'acquisition du langage ainsi qu'une certaine maturation neuronale. Nous décrivons enfin une nouvelle expérience qui doit permettre de vérifier la première partie de notre hypothèse (acquisition d'un langage mieux structuré et plus riche par le jeune enfant). Nous aborderons ultérieurement la deuxième partie de notre hypothèse (influence positive de l'emploi de ce type d'exercices sur la maturation neuronale).

8. BIBLIOGRAPHIE

Brauer, J., Anwander, A. & Friederici, A.D. (2010). Neuroanatomical Prerequisites for Language Functions in the Maturing Brain, *Cerebral Cortex*, 21, 2, 459-466

Cohors-Fresenborg, E. (1978). Learning problem solving by developing automata networks, *Revue de Phonétique Appliquée*, 46-47, 93-99.

Fitch, W. T. & Hauser, M. D. (2004). Computational constraints on syntactic processing in a nonhuman primate. *Science*, 303, 377-380.

Friederici, A. D., Bahlmann, J., Heim, S. Schubotz, R. I. and Anwander, A. (2006). The brain differentiates human and non-human grammars : functional localization and structural connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103:7, 2458-2463.

Gentner, T. Q., Fenn, K. M., Margoliash, D. & Nusbaum, H. C. (2006). Recursive syntactic pattern learning by songbirds, *Nature*, April 27, 440 (7088), 1204-1207.

Gervain, J., Macagno, F., Cogoi, S., Peña, M. & Mehler, J. (2008). The neonate brain detects speech structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:37, 14222-14227.

Hauser, M. D., Chomsky N. & Fitch W. T. (2002). The faculty of language : what is it, who has it, and how did it evolve ? *Science*, 298, 1569-1579.

Hochmann, J-R., Azadpour, M. and Mehler, J. (2008). Do humans really learn AⁿBⁿ artificial grammars from exemplars ? *Cognitive Science*, 32, 1021-1036.

- Lefebvre, L. (2002). Dispositifs concrets, méthode de lecture et compétences verbales. *Revue Parole*, 21, 1-34.
- Lefebvre, L., Baleriaux, D., Paquier, P. & Lowenthal, F. (2006). Basal Ganglia: A crossroad between verbal and non-verbal activities? *Acta Neurologica Belgica*, 106 (supplément), 65-66.
- Lowenthal, F. (1983). Strategy games, winning strategies, and Non-Verbal Communication Devices (at the age of 8), in *Proceedings of the seventh International Conference for the Psychology of Mathematics Education*, edited by R. Hershkowitz, Published by the International Group for Psychology of Mathematics Education. Rehovot: Weitzmann Institute of Science, pp. 364-368.
- Lowenthal, F. (1984). Production langagière d'enfants manipulant un dispositif non verbal de communication, *Revue de Phonétique Appliquée*, 69, 11-46 (1984).
- Lowenthal, F. (1986). NVCDs are structuring elements, In Burton, L. and Hoyles, C. (Eds). *Proceedings of the tenth International Conference for the Psychology of Mathematics Education*. London, 363-368.
- Lowenthal, F. (1990). Pegboard as structuring element for the verbal language. *Revue de Phonétique Appliquée*, 95/97, 255-262.
- Lowenthal, F. (1999). Can handicapped subjects use perceptual symbol systems ?, *Behavioral and Brain Sciences*, 22:4, 625-626
- Lowenthal, F., Ledoux, F. & Meunier M. (1996). *La mosaïque - livret du maître*, Presses Universitaires de Mons, 94p.
- Lowenthal, F. & Saerens, J. (1986). Evolution of an aphasic child after the introduction of NVCDs, In Lowenthal F. & Vandamme F. (Eds)., *Pragmatics and Education*. New York, 301-330.
- Pinker, S. and Jackendoff, R. (2005). The faculty of language: what's special about it? *Cognition*, 95, 2, 201-236.
- Premack, D. (2004). Is Language the key to human intelligence ? *Science*, 303, 318-320.
- Soetaert, M. (2003). Développer la conscience segmentale d'enfants présentant un retard dans l'apprentissage du langage écrit en utilisant un dispositif ludique. *Revue Parole*, 27, 159-206
- Yang, Y-J. (2005). *L'approche cognitive du langage*, Rapport interne, Service de Sciences Cognitives, Université de Mons, 21p.