
Les raisonnements temporels en robotique pédagogique : Deux stratégies cognitives de synchronisation

Jacques Sougné
Service de Psychologie du Travail
Université de Liège
sougne@vm1.ulg.ac.be

Résumé : Les programmes construits par les apprenants dans un environnement LOGO procurent un matériel révélateur des processus cognitifs. Nous avons analysé des programmes dans le but d'éliciter les raisonnements temporels utilisés par les sujets pour contrôler des robots. Nous avons observé deux stratégies de contrôle temporel différentes. La fréquence d'utilisation de ces stratégies ne semble pas concorder avec les études sur la genèse des raisonnements temporels. Cette contradiction nous mènera à analyser la tâche de contrôle temporel en utilisant le nouveau concept de *système de référence temporelle* (Javaux & al. 1991). L'analyse conclura, premièrement par une distinction entre le raisonnement facilité par l'observation du processus dynamique et le raisonnement réclamant la construction d'un modèle mental du processus dynamique désiré et, deuxièmement par une proposition d'amélioration de l'interface LOGO.

Mots clés : Robotique pédagogique, raisonnements temporels, systèmes de références temporelles, LOGO.

Abstract: An amount of cognitive information can be found in children's LOGO code. We have analysed programs by focusing on temporal reasoning that children use to control robots. Two temporal control strategies have been found. Discrepancies have been pointed between subject strategy inclination and developmental studies on temporal reasoning. This contradiction is analysed through a new theoretical framework: *Temporal Reference Systems* (Javaux & al. 1991). This analysis suggests a distinction between reasoning on the base of dynamic process observation and reasoning on the base of created mental model of an aimed dynamic process, and guides a proposition of LOGO display improvement.

Keywords: Control technology, temporal reasoning, temporal reference systems, LOGO

Un robot est constitué d'effecteurs : moteurs, ampoules, électro-aimants,... et de récepteurs : interrupteurs, cellules photo-électriques, thermistances,... Contrôler un robot implique la gestion des effecteurs. Les effecteurs doivent être synchronisés, être coordonnés dans le temps par des relations de simultanéité ou de séquentialité, de manière à produire le comportement désiré. Pour ce faire deux stratégies ont été observées : soit le contrôle est effectué en référence à l'horloge de l'ordinateur, soit le contrôle s'opère par le biais d'événements indicateurs de l'état physique du robot dans son environnement.

Nous avons observé une nette préférence chez les enfants de 11-12 ans pour la première stratégie. Cette observation semble ne pas concorder avec les études sur la genèse des raisonnements temporels.

Piaget (1946) distingue le temps qualitatif du temps quantitatif. Le temps qualitatif est constitué de deux groupements, ils concernent : l'un, l'emboîtement de durées dont les relations sont commutatives et l'autre, la sériation d'instantanés dont les relations ne sont pas commutatives. Ces deux groupements peuvent se correspondre au plan qualitatif, rendant l'un déductible de l'autre et vice-versa. Mais ils peuvent aussi se réunir au plan quantitatif pour former un groupe : le temps métrique.

Piaget (1946) décrit trois stades dans le développement de la notion de temps chez l'enfant. Tout d'abord (stade I) l'enfant perçoit un ordre sans être capable de le reconstituer. De même il n'est pas capable d'articuler l'espace et la vitesse pour constituer une notion de durée. Au cours du stade II, l'enfant est capable de sérier différents événements mais sans pouvoir les ordonner les uns par rapport aux autres. En plus il n'est pas capable d'égaliser des durées synchrones ni d'emboîter des durées partielles dans des durées totales. C'est au stade III que tout se bouscule. L'achèvement du temps opératoire peut prendre deux chemins : soit l'enfant découvre la succession temporelle et en déduit l'emboîtement et la partition des durées, soit c'est l'inverse. Le temps qualitatif devient alors opératoire. Enfin le temps métrique découle directement de ce temps qualitatif opératoire vers 9 ans.

Nos observations des activités de programmation par des enfants de 11-12 ans ne corroborent pas la description de Piaget. Quand ces enfants veulent contrôler l'ordre temporel des actions d'un robot, ils utilisent beaucoup plus souvent et comprennent mieux une stratégie se référant à un temps métrique qu'une stratégie utilisant le temps qualitatif.

La première stratégie ne nécessite pas de gestion des récepteurs et se marque par des commandes de temporisations (la primitive LOGO : Attends). La seconde stratégie utilise des événements indicateurs de l'état physique du robot dans son environnement et nécessite l'utilisation de récepteurs vers l'ordinateur ainsi que leur gestion par des conditions et des itérations ou des récursivités.

La première stratégie met l'accent sur les durées, sur la synchronisation par rapport à l'ordinateur lui-même et obtient des résultats uniformes et imprécis. La seconde stratégie synchronise les effecteurs en fonction d'événements extérieurs à l'ordinateur et permet un comportement adaptatif et précis du robot et se base donc sur les successions et simultanités d'événements extérieurs.

Or, Montangero (1977) affirme que l'enfant de 5 ans comprend plus facilement l'ordre temporel que la durée des intervalles et qu'il établit des simultanités sans égard aux durées délimitant les événements. De même Levin (1977) affirme que la durée est plus difficile à juger que la succession. De leur côté, Inhelder, Sinclair & Bovet (1974) affirment que le raisonnement est plus difficile pour les durées dont le caractère est continu que pour les successions dont le caractère est discontinu.

La question se pose alors de savoir pourquoi l'activité de programmation en LOGO rend le contrôle par la succession et la simultanéité d'événements extérieurs plus difficile que par les durées métriques.

La première hypothèse que nous avons formulée était liée à la difficulté de programmation. En effet, contrôler un effecteur par le biais de récepteurs nécessite en LOGO la maîtrise des prédicats, des conditions et de la récursivité, par exemple :

Pour machin
Si Entrée 6 [Eteins 1 Stop]
Machin
Fin

Comme nous l'avons écrit (Sougné 1991) ces trois notions clés ne sont pas facilement acquises par les enfants. Cette hypothèse nous a conduit à créer une nouvelle primitive "Dès.que" ne demandant pas la connaissance de ces notions. L'appel de cette primitive ne rend le contrôle que si le récepteur est dans un état particulier, par exemple :

Pour machin
Dès.que 6
Eteins 1
Fin

Nous n'avons guère observé de changements dans les stratégies des enfants (voir tableau 1) : 22% de stratégies basées sur la simultanéité et la succession d'événements extérieurs contre 78% de stratégies basées sur des durées métriques. Alors qu'avant l'introduction de cette nouvelle primitive nous avions 20.5% de stratégie basée sur la simultanéité et la succession d'événements extérieurs contre 79.5% de stratégie basée sur des durées métriques. Ceci suggère qu'il existe dans l'activité de programmation des caractéristiques rendant l'utilisation de la simultanéité et de la succession d'événements extérieurs particulièrement compliquée.

	Stratégies basées sur les durées métriques	Stratégies basées sur la simultanéité et la succession d'événements extérieurs
Avant "Dès.que"	79.5%	20.5%
Après "Dès.que"	78%	22%

Tableau 1 : pourcentage d'utilisation des deux stratégies de contrôle temporel, avant et après l'introduction d'une primitive ne nécessitant pas la connaissance de la récursivité, des conditions et des prédicats.

Il est nécessaire de se poser alors la question de savoir ce qu'est le contrôle temporel d'un processus dynamique. Dans le champ de la psychologie du temps, certaines études abordent la question de l'adaptation du comportement aux changements temporels (Jackson 1990, Jones 1990, Javaux, Grosjean & Van Daele 1991, De Keyser, Javaux & Grosjean 1992). Ces études décrivent comment les sujets utilisent des repères temporels pour guider leurs actions. Ainsi Javaux, Grosjean & Van Daele (1991), ont décrit un modèle théorique de raisonnement basés sur des repères temporels : "Les Systèmes de Références Temporelles".

Les *systèmes de références temporelles* tentent de représenter les structures temporelles régulières. Il existe dans l'environnement des événements se déroulant de manière régulière. L'ordre de succession de ces événements permettent leur prédiction. Quand un processus observable est connu, il peut être utilisé par un individu comme une référence temporelle. L'abstraction de ce processus devient un *système de référence temporelle*.

La description de l'adaptation au temps en termes de *système de référence temporelle* permet de prendre en compte des raisonnements temporels non liés au temps de l'horloge. Le processus lié à l'horloge n'est qu'un exemple de *système de référence temporelle* parmi d'autres. Javaux, Grosjean & Van Daele (1991) ont analysé le contrôle temporel d'un haut fourneau. Les opérateurs doivent être capable de prédire quand la poche invisible de fonte va sortir au bas du haut fourneau. Pour ce faire, les opérateurs disposent de plusieurs *systèmes de références temporelles* l'horloge bien entendu, mais aussi un processus bien plus précis le remplissage de matière dans le haut du fourneau par des wagonnets. Le nombre de wagonnets indique exactement quand la poche de fonte sortira au bas du haut fourneau.

Le contrôle d'un automate en robotique pédagogique peut aussi être analysé en terme de *systèmes de références temporelles*. Prenons un exemple simple où un bras est avancé par un moteur jusqu'à un butée (Entrée 1) puis reculé jusqu'à rencontrer une seconde butée (Entrée 2). Pour contrôler ce mécanisme nous disposons de trois processus dynamiques, susceptibles de devenir trois *systèmes de références temporelles* (SRT). Le premier (SRT 1) décrit le processus de changement d'état du circuit d'entrée 1 (un interrupteur placé en butée). Le deuxième (SRT 2) décrit le même processus pour l'entrée 2. Enfin, le troisième (SRT 3) décrit le processus de changement d'état de l'horloge. Ce modèle peut être résumé par la figure 1.

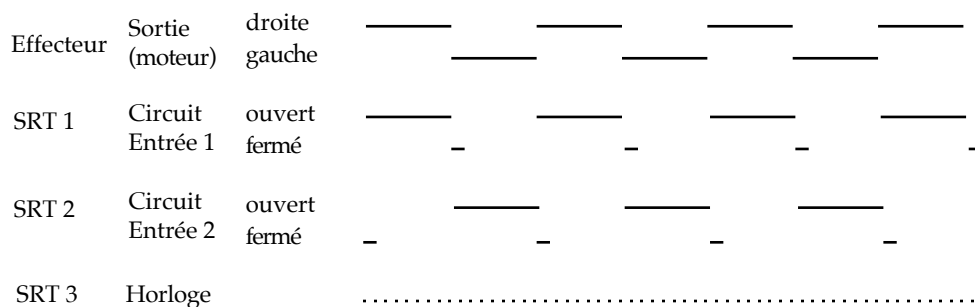


Figure 1 : trois systèmes de références temporelles permettant le contrôle d'un automate simple.

Ces *systèmes de références temporelles* permettent de contrôler le moteur actionnant le bras mécanique. La stratégie de contrôle par des durées métriques utilise le *système de référence temporelle* de l'horloge (SRT 3). Tandis que la stratégie de contrôle basée sur les succession et les simultanité d'événements extérieurs utilise les *systèmes de références temporelles* des circuits d'entrée (SRT 1 et SRT 2). Cette seconde stratégie est plus précise pour plusieurs raisons :

-
- la précision de la mécanique et les variations minimales de tension électrique vont faire varier la vitesse du mouvement du bras mécanique;
 - la répétition d'une erreur minimale dans l'estimation de la durée des mouvements du bras va à la longue devenir une erreur importante.

La préférence des enfants pour la stratégie de contrôle par les durées métriques pourrait bien s'expliquer par la disponibilité directe du *système de référence temporelle* de l'horloge qui a été déjà maintes fois observé. Les *systèmes de références temporelles* des entrées doivent eux être entièrement construits et n'ont jamais été observés. Dans les expériences montrant la préférence pour les successions et les simultanités d'événements, la tâche demandée aux sujets est toujours effectuée sur base d'une observation préalable. On ne leur demande pas de créer un processus qui pourrait servir de *système de référence temporelle*. Par exemple, les expériences de Piaget (1946) font intervenir l'observation de l'écoulement de liquide d'un bocal vers un autre.

Nous faisons l'hypothèse qu'en augmentant l'information observable à propos des *systèmes de références temporelles* nécessaires au contrôle par simultanéité et succession d'événements extérieurs, le taux d'utilisation de cette stratégie de contrôle se verra augmenter. C'est le sens d'une manipulation que Javaux & Sougné effectuent actuellement. Il s'agit de mesurer l'effet de l'affichage à l'écran sur le raisonnement temporel. Deux variables dépendantes sont croisées : la topographie de l'affichage et le caractère abstrait de l'information présentée.

Appliquée à la programmation d'automates en LOGO, cette hypothèse devrait nous conduire à fournir aux sujets une aide à la construction de *systèmes de références temporelles*. Ce pourrait être l'affichage de l'évolution de l'état des entrées et sorties de l'interface alors que le programme s'exécute. Cette idée est à rapprocher de la "lunette cognitive" de Nonnon (voir par exemple Nonnon 1993) à la différence qu'ici ce ne serait pas l'évolution du phénomène physique qui serait décrit mais l'évolution de l'état de l'interface. Dans les activités de programmation LOGO tel que nous l'entendons, les phénomènes physiques modélisés ne sont pas contrôlables parce que les enfants créent leur propre projet. Un affichage de ce type permettrait à l'apprenant d'observer l'évolution de l'état des récepteurs et des effecteurs. Cette observation devrait stimuler la construction d'un modèle mental du projet dans sa dimension dynamique. Ce modèle mental pourrait ensuite aisément être évalué et ainsi déboucher sur la mise au point du programme et l'utilisation de tous les *systèmes de références temporelles* possibles.

CONCLUSIONS

Comme nous l'avons montré par ailleurs (Sougné 1987, 1990, 1991, 1993), les programmes LOGO sont riches en information sur les processus cognitifs utilisés par les sujets.

A la lumière du contenu des programmes des enfants, nous devons distinguer au sein des raisonnements temporels, ceux qui, par l'observation, utilisent des données temporelles encodant un processus dynamique de ceux qui nécessitent de construire un modèle mental d'un processus dynamique désiré. Une fois ce modèle élaboré, il pourra alors être utilisé comme une donnée sur base de laquelle le raisonnement temporel pourra opérer. Les premiers raisonnements, facilités par l'observation, produisent plus facilement des inférences sur la simultanéité et la succession d'événements extérieurs que les durées, tandis que les seconds, nécessitant la construction de modèles mentaux dynamiques, dérivent plus facilement des conclusions sur la durée que sur la simultanéité ou la succession d'événements extérieurs.

Il se pourrait qu'un modèle mental imprécis d'un processus dynamique puisse déjà être utilisé par un sujet pour inférer une durée métrique. Même si cette durée métrique est imprécise, il en découlera tout de même un effet. En général, les humains recherchent un effet pour le minimum d'investissement cognitif. Le coût de la création d'un modèle mental précis du processus dynamique qui permettrait d'utiliser la stratégie de contrôle temporel basé sur les simultanéités et les successions d'événements extérieurs est probablement trop important pour le renforcement marginal espéré.

Il serait néanmoins souhaitable de stimuler l'utilisation de stratégies basées sur les simultanéités et les successions d'événements extérieurs chez les apprenants parce qu'elles ont un résultat plus précis, plus fiable et qu'elles nécessitent un investissement cognitif considérable. Nous proposons une modification de l'interface LOGO en y incluant une représentation dynamique et historique de l'évolution de l'état de chaque sortie de l'interface, mais aussi des entrées et de l'horloge. Ces deux dernières représentations pourront servir de base à la construction de *systèmes de références temporelles*. Nous espérons par cet affichage, susciter des modèles mentaux plus facilement évaluables et modifiables qui en fin de compte seront plus précis et permettront aux stratégies de contrôle temporel basé sur les simultanéité et les successions d'événements extérieurs d'émerger.

REFERENCES

- De Keyser, V. Javaux, D. & Grosjean, V. (1992) Temporal Reasoning in Dynamic Environments. In M. Richelle & V. De Keyser (Eds.) *The Nature of Human Expertise*, Liège, ULg-SPPS.
- Inhelder, B., Sinclair, H. & Bovet, M. (1974) *Apprentissage et structures de la connaissance*. Paris. PUF.
- Jackson, J. L. (1990). A Cognitive Approach to Temporal Information Processing. In R. A. Block (Ed.) *Cognitive Models of Psychological Time*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Ass.
- Javaux, D., Grosjean, V. & Van Daele, A. (1991) Temporal Reference Systems. *Proceedings of the Mohwacs workshop*. Bamberg.
- Jones, M. R. (1990), Musical Events and Models of Musical Time. In R. A. Block (Ed.) *Cognitive Models of Psychological Time*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Ass.
- Levin, I. (1977). The development of time concepts in young children: reasoning about duration. *Child Development*, 48, 435-444.
- Montangero, J. (1977). La genèse des raisonnements et des concepts temporels. In Fraisse & Al. (Eds.) *Du temps biologique au temps psychologique*. Paris, PUF.
- Nonnon, P. (1993). Cognitive Spectacles. in B. Denis (Ed.), *Control Technology in Elementary Classrooms* Heidelberg, NATO series Springer-verlag.

-
- Piaget, J. (1946). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris, PUF.
- Sougné, J. (1987). *PROJETS LOGO. Conception et expérimentation d'outils informatiques pour analyser des programmes LOGO*. Université de Liège, mémoire de licence, inédit.
- Sougné, J. (1990). LOGO-Scan : A Tool Kit To Analyse LOGO Programs. *The Seventh International Conference on Technology and Education*, Brussels.
- Sougné, J. (1991). Analyse de projets de robotique pédagogique par LOGO-Scan. *Actes du troisième congrès international sur la robotique pédagogique*. Mexico : CISE.
- Sougné, J. (1993). Reasoning Involved in Control Technology: Toward Modelling. in B. Denis (Ed.), *Control Technology in Elementary Classrooms* Heidelberg, NATO series Springer-verlag.