



**HAL**  
open science

## Dimension temporelle de l'activité cognitive lors des démarrages de systèmes complexes

Françoise Decortis

► **To cite this version:**

Françoise Decortis. Dimension temporelle de l'activité cognitive lors des démarrages de systèmes complexes. *Le travail humain*, 1988, 51 (2), pp.125-138. hal-04305643

**HAL Id: hal-04305643**

**<https://hal.science/hal-04305643>**

Submitted on 9 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



---

DIMENSION TEMPORELLE DE L'ACTIVITÉ COGNITIVE LORS DES DÉMARRAGES DE  
SYSTÈMES COMPLEXES

Author(s): F. Decortis

Source: *Le Travail Humain*, Vol. 51, No. 2 (1988), pp. 125-138

Published by: Presses Universitaires de France

Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/40657487>

Accessed: 05-12-2023 14:25 +00:00

---

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact [support@jstor.org](mailto:support@jstor.org).

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at <https://about.jstor.org/terms>



JSTOR

*Presses Universitaires de France* is collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Le Travail Humain*

# DIMENSION TEMPORELLE DE L'ACTIVITÉ COGNITIVE LORS DES DÉMARRAGES DE SYSTÈMES COMPLEXES

par F. DECORTIS\*

## SUMMARY

*Temporal dimension of cognitive activity during complex systems start-up. — This paper presents some empirical questions concerning how process plant operators face the time complexity of a plant start-up. Start-up tasks are particularly challenging as they bring into play some theoretical, practical and methodological problems, especially as far as related issues are concerned. At the present stage of research we can only emphasize the necessity to go thoroughly into the concept of time within these problematics. In effect, the study which is partly presented here shows how operators use time boundaries, how they plan their actions, how they judge the « when to act », in a word how they use temporal strategies. More than answers, this study brings out some questions concerning the time experience and stress the need for a more appropriate representation of time related strategies in operators' response models.*

(Key words : Action time, Anticipation, Temporal Errors, Temporal Boundaries, Temporal Mechanisms, Temporal Reasoning.)

## INTRODUCTION

La science cognitive a commencé à s'intéresser aux phénomènes temporels et c'est pourquoi il vaut la peine de voir dans quelle mesure les données empiriques sur les rapports entre l'opérateur de salle de contrôle et le temps peuvent être intégrés. Dans cette optique, les activités de conduite de démarrage de processus complexes sont des situations particulièrement intéressantes à la fois d'un point de vue théorique, pratique et méthodologique.

D'un point de vue théorique, car elles montrent l'importance de l'intervention du temps dans le raisonnement et dans les connaissances de l'opérateur. Dès lors, on voit mal comment on pourrait s'abstenir d'intégrer la dimension temporelle dans un modèle d'opérateur humain.

D'un point de vue pratique, d'autre part, car la maîtrise de ces situations dynamiques pose problème à l'opérateur de salle de contrôle. Les démarrages se font avec des contraintes de temps très précises. Toute avance ou retard sur l'horaire prévu a des incidences économiques considérables. Or, la varia-

\* Université de Liège, FAPSE-B 32, 4000 Liège 1, Belgique. Actuellement au Joint Research Centre, Ispra Establishment, Varese, 21020, Italie.

bilité qu'on observe par rapport au respect de ces contraintes — qui semble bien une difficulté majeure pour l'opérateur — amène à s'interroger sur la connaissance et la formation des opérateurs et sur l'adéquation des supports d'information à cette tâche.

Il est difficile de considérer ces deux points de vue indépendamment. En effet, le premier, théorique, a des implications pratiques considérables : la modélisation de l'opérateur humain permet la construction de supports décisionnels intelligents aidant l'homme dans sa tâche.

D'un point de vue méthodologique enfin, car la structure de la tâche et l'articulation d'objectifs, de moyens et de valeurs limites mis en place par l'opérateur se prêtent particulièrement bien à une analyse qualitative des connaissances de l'opérateur par des techniques d'élicitation.

Les problèmes rencontrés tiennent aux concepts et aux outils méthodologiques impliqués. Les concepts qui interviennent dans l'explication sont encore relativement flous. Les réponses apportées par la littérature « cognitive » ne servent que très partiellement les questions que l'on peut se poser face aux difficultés rencontrées par les opérateurs. D'autre part, des obstacles méthodologiques surgissent, liés à l'extraction des connaissances et à leur représentation (Leplat, 1986).

A la croisée de problématiques théorique, méthodologique et pratique, cet article ne peut avoir d'autres ambitions que de livrer des observations empiriques sur la confrontation d'opérateurs à des événements temporels et ainsi de viser la construction de typologies de l'interaction des structures temporelles de l'opérateur et du système complexe. Tels quels, les résultats obtenus, les concepts impliqués, l'outil méthodologique développé ne permettent pas encore de répondre à toutes les questions que l'on pourrait se poser. Ils ouvrent néanmoins des champs de recherche tout à fait intéressants et inexplorés dans les études sur la conduite des systèmes dynamiques complexes.

## I — LE POINT DE VUE THÉORIQUE. LE TEMPS :

### UN PROBLÈME ÉPINEUX POSÉ À LA SCIENCE COGNITIVE

Si la problématique du temps a questionné la recherche en psychologie, notamment par la psychophysique, la recherche ontogénétique et la psycholinguistique (Fraisse, 1957 ; Piaget, 1946), on sait encore apparemment peu de choses sur la façon dont l'homme fait face à des situations temporelles complexes. Comment l'adulte se représente-t-il le temps, comment y répond-il, comment gère-t-il le temps quand celui-ci est une caractéristique centrale de l'environnement auquel il est confronté, sont des questions qui, à notre connaissance, n'ont pas été suffisamment explorées. Et pourtant, le psychologue du travail est très souvent mis en question par cette problématique. Même si le temps n'apparaît pas de façon évidente à l'analyse, mais davantage dissimulé, il est maintenant admis que le temps est une dimension fondamentale de l'expérience humaine, largement impliqué dans la structure des processus de décision (Volta, 1986). Quelques recherches en intelligence artificielle n'omettent pas ce fait, considérant le temps comme une variable centrale (McDermott, 1982 ; Allen, 1981, 1983, Dean, 1987). Des modèles de planning ont notamment été développés avec en entrée la durée et la simultanéité des

actions et en sortie la séquentialité des actions d'une tâche de planification. Des éléments de l'expérience du temps ne sont cependant pas considérés : l'interaction de l'estimation de durées de changements dans le monde et du temps de l'action qui détermine un réglage fin de l'action dans le temps. Cela n'est pas étonnant étant donné que la tâche considérée est essentiellement du planning. Toute la partie « exécution » d'un arbre logique d'objectifs et d'actions n'est pas modélisée (Bersini et Cacciabue, 1987).

Envisager le temps dans une perspective psychologique signifie que l'on s'intéresse aux mécanismes mis en jeu : les *mécanismes* par lesquels *la dimension temporelle s'exprime dans l'expérience*.

Les philosophes se sont donné le plus grand mal pour établir un statut épistémologique à deux formes distinctes dans l'expérience du temps : l'expérience de l'ordre, *i.e.* de la simultanéité, l'avant et l'après ; l'expérience de la *perspective temporelle*, qui inclut le présent, le passé et le futur. (Cf. discussions de McTaggart, Reichenbach, Prior, Smart et Russel ; Prior, 1967 ; Rescher et Urquhart, 1971 ; Zwart, 1976.)

Les psychologues ont souvent admis cette distinction comme une donnée définitive et certaine et admis qu'il s'agit là de deux choses essentiellement différentes. La littérature est exemplative de ce clivage (Fraisse, 1957 ; Piaget, 1946, Grize et coll., 1966 ; Michon, 1979 ; Nuttin, 1979 ; Crépault, 1979). L'objectif n'étant pas ici de faire une revue critique de la question, nous ne reprendrons que quelques éléments issus de la psychologie expérimentale et cognitive qui éclairent les données empiriques rencontrées, et notamment en ce qui concerne l'estimation de durées.

Montangero (1979) a notamment établi une distinction entre deux modes d'estimation du temps : le mode « *physique* » qui évalue la durée d'après le contenu des événements qui se sont déroulés ; le mode « *logique* » qui fait abstraction de ce contenu pour aboutir à la constitution d'intervalles temporels délimités par des instants. Ce second mode suggère que, pour estimer la durée, le sujet introduit des liaisons d'ordre et d'emboîtement par comparaison des ordres initiaux et des ordres terminaux de succession.

De nombreux auteurs ont souligné que le temps ne se dissocie pas de son contenu (mode physique). Piaget, pour qui la durée relève de la connaissance physique, car elle s'appréhende à partir des vitesses, concède que les ordres de succession sont, eux, dissociables de leur contenu (1968).

Inhelder a montré que les successions relèvent du domaine du discontinu tandis que les durées ont un caractère de continuité qui offre moins facilement prise au raisonnement (Inhelder et coll., 1974).

Au contraire de Piaget, pour Fraisse, « la réalité subsumée par la notion de temps est celle des changements avec leurs lois et leurs régulations ». Ce sont les changements perçus qui articulent la perception du temps de l'homme (Fraisse, 1957, 1979). Concernant l'estimation de durées, Fraisse émet l'hypothèse que celle-ci est relative au nombre de changements qui ont été perçus et qui restent mémorisés au moment de l'estimation.

Que peut-on retenir de ces explications pour notre propos ?

Premièrement, dans la situation d'interaction de l'opérateur avec un environnement complexe et dynamique, il semble *a priori* arbitraire de séparer les deux formes d'expérience du temps, *i.e.* l'expérience de l'ordre *versus* l'expérience de la perspective temporelle. Au contraire, dans le contexte de la recherche

présentée ici, on devrait pouvoir relier l'expérience de l'ordre et de la simultanéité avec la perspective temporelle. L'ancrage de ces deux composants pourrait être trouvé dans les mécanismes qui les confrontent : les mécanismes d'analogies, de référence au passé (de Keyser et coll., 1987) devraient expliciter l'impact de l'un sur l'autre.

Deuxièmement, dans la maîtrise des démarrages, on pencherait *a priori* vers une non-dissociation entre le temps et les événements à travers lesquels le temps se manifeste. En effet, l'opérateur utiliserait les informations, les indices temporels issus du processus lui-même. Confronté à des successions d'événements relevant du discontinu et à des durées s'inscrivant dans la continuité, l'opérateur se fixerait des valeurs limites, des bornes temporelles liées directement aux états du système complexe. Une dimension encore ne peut être négligée. L'opérateur de salle de contrôle qui conduit un démarrage est « acteur de temps » : il intervient sur la dimension temporelle des changements de configuration du processus au gré de ses propres stratégies. Nous verrons comment il « joue » avec les valeurs limites, les bornes temporelles et comment, par les stratégies qu'il utilise, il peut rendre les situations extrêmement variables, leur donner à chaque fois un visage nouveau.

On introduit ainsi une dimension qui n'apparaît généralement pas dans les études psychologiques sur le temps : *on ferme la boucle en rendant à l'opérateur son rôle actif vis-à-vis du temps physique.*

D'autre part, si nous voulons nous situer par rapport au courant d'intelligence artificielle, la partie qui a été l'objet de l'analyse est celle de l'« exécution », dans le présent, de plans d'actions, c'est-à-dire la façon dont l'opérateur gère la complexité temporelle en cours d'action.

## II — LE POINT DE VUE PRATIQUE :

### QUELQUES ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS DE LA SITUATION

Le système complexe concerné est une centrale thermique classique (fuel, gaz, charbon). L'étude a porté sur les démarrages d'une tranche thermique de 130 MW.

Les démarrages de processus industriels constituent un cas particulier de la complexité des systèmes. Dans certains secteurs industriels, en l'occurrence dans les centrales classiques, ils sont de plus en plus fréquents en vertu d'une recherche de flexibilité.

Les coûts économiques de ces démarrages sont importants. Ceux-ci sont de deux types : un coût économique de base pour démarrer la tranche thermo-électrique et un « coût temporel ». Il y a un temps global de démarrage qui est déterminé par les exigences du réseau de distribution de l'énergie : celle-ci sera requise à un moment prévu en fonction des besoins du réseau. Ce temps final doit être respecté le plus finement possible par l'opérateur. Tout retard par rapport à l'heure fixée par la répartition pour atteindre la pleine charge représente un manque à gagner pour l'entreprise qui doit acheter à l'extérieur ce qu'elle ne peut produire au moment demandé. En revanche, anticiper le déversement de l'énergie par rapport à l'heure prévue oblige d'autres centrales à modifier leur propre production de façon à diminuer la surcharge électrique sur le réseau.

Respecter ce temps final exige alors une décomposition des étapes du démarrage de façon à ce que les temps partiels additionnés de ces étapes correspondent au temps final.

Des variabilités plus ou moins importantes pourront être observées, tant au niveau des temps partiels qu'au niveau du temps final. Variabilités introduites par la situation, les stratégies des opérateurs, le contexte, etc. Les démarrages sont décomposés en *phases* plus ou moins distinctes : les phases de préparation et d'allumage, de conditionnement de la vapeur, de lancement du groupe et du couplage et de montée en charge. Ces phases, qui se déroulent successivement dans le temps, dessinent progressivement une nouvelle configuration du système. Chacune a des objectifs à satisfaire avant de passer à la phase ultérieure.

Conduire ces démarrages demande à l'opérateur la mise en place de plans d'action, de résolution de problèmes, qui apparaissent successivement, de formulation d'objectifs et de mise en œuvre de stratégies pour y répondre.

La tâche de l'opérateur consiste essentiellement à préparer les installations (les différents circuits composant le processus complexe) et les mettre en service; à régler le conditionnement de la vapeur et lancer la turbine ; à surveiller que certains paramètres (les températures métal des collecteurs, de la turbine, etc.) soient dans des limites acceptables. D'autre part, l'opérateur doit faire exécuter des manœuvres aux rondiers auprès des installations aux bons moments.

Ces démarrages sont de plus réalisés par une équipe de travail composée de huit personnes : un opérateur, un contremaître et des rondiers. La dimension collective ainsi introduite complexifie la conduite en demandant des coordinations entre ces différentes personnes.

Les difficultés rencontrées par l'opérateur sont importantes. Celles-ci sont apparemment liées d'une part à des problèmes de formation et de connaissance d'utilisation. D'autre part, les supports d'information en salle de contrôle ne semblent pas adaptés aux besoins en information des opérateurs. En particulier, les supports ne permettent pas de maîtriser la dynamique temporelle des démarrages, et surtout de remonter le cours du temps en utilisant le passé immédiat (Mancini, 1986). Une recherche ultérieure vise la conception d'aides opérateur sous forme d'images graphiques qui répondent davantage aux exigences cognitives de la tâche (Housiaux, 1987).

### III — L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ADOPTÉE

Une *analyse qualitative* a été préférée dans le cadre de cette recherche.

Cette approche, qui correspond par certains aspects à celles de Woods (1986), Bersini (1986), Bersini et Cacciabue (1987), se différencie néanmoins par l'utilisation des traces observées en temps réel et l'élicitation des objectifs et intentions des opérateurs.

En effet, deux sources de données ont été récoltées :

1 / Des observations temps réel qui ont permis de recueillir les prises d'information de l'opérateur, la nature des informations prélevées et leur support, les actions de l'opérateur ;

2 / Des protocoles verbaux qui ont donné lieu à l'élicitation des objectifs et intention des opérateurs, des moyens mis en œuvre pour rencontrer ces objectifs et des *valeurs limites* ou bornes délimitant les actions et prises d'information.

Cette double approche a permis la construction de différents schémas articulés aux stades de démarrage (Decortis, 1987). Ces schémas présentent une architecture d'objectifs et de moyens auxquels viennent se greffer les traces observées (les actions élémentaires, les prises d'information et les valeurs limites). Les valeurs limites sont des bornes de type [min, max] au sein desquelles l'opérateur fait varier ses estimations et actions.

#### IV — L'EXPÉRIENCE DU TEMPS :

##### PIERRE ANGULAIRE DE LA CONDUITE DES DÉMARRAGES

#### I. Estimation de durées

##### *a - Estimer des durées d'après le contenu des événements, bornes temporelles et vitesse de variation*

Les stratégies déployées par l'opérateur à certains stades du démarrage montrent l'importance de l'estimation de durées de changements d'états de parties du processus.

Les estimations de durées sont appréhendées à partir d'informations empruntées aux événements qui se déroulent. L'opérateur se fixe des bornes temporelles par rapport à ces changements qui conditionnent son action. Ces bornes sont souvent floues dans la stratégie de l'opérateur. Elles se précisent cependant dans certains contextes quand elles sont liées à des situations particulières.

L'estimation de la durée s'appréhende aussi à partir d'informations sur les vitesses d'évolution des paramètres. C'est notamment le cas de l'utilisation de gradients. La difficulté semble être liée au fait que ces vitesses de variation diffèrent selon les parties du système complexe. La connaissance de ces variations permet à l'opérateur d'agir différemment sur chacune d'elles.

Lors du conditionnement de la vapeur, l'objectif de l'opérateur est de « réaliser une parfaite concordance entre la chaudière, les collecteurs et la turbine ». La stratégie de l'opérateur est de chauffer ces trois éléments à une certaine vitesse par la circulation de vapeur. Cf. les protocoles verbaux.

*« Les vitesses de refroidissement sont très différentes. La chaudière refroidit relativement vite par rapport aux collecteurs qui refroidissent un peu moins vite et par rapport à la turbine qui, elle, refroidit lentement. »*

*« Lorsqu'on démarre, il faut tenir compte qu'en chaudière les évolutions sont assez rapides... que les collecteurs vapeurs ne peuvent pas être chauffés trop rapidement et surtout ne peuvent être refroidis... et que le démarrage de la turbine doit être atteint rapidement pour ne pas gaspiller des calories... »*

La connaissance de ces différences permet aussi à l'opérateur de réaliser un compromis entre des vitesses d'évolutions de direction opposées : une vitesse limitée vers la borne minimum pour répondre à des objectifs de maintenance



(pour éviter des contraintes thermiques) vs une vitesse poussée vers la borne maximum pour répondre à des objectifs économiques.

« La vitesse d'un démarrage est limitée par les gradients de chauffage des collecteurs et de la turbine... mais cette vitesse doit être maximum pour une question économique... »

« Donc un gradient maximum en chaudière de l'ordre de 4° par minute, au niveau des collecteurs vapeur, c'est environ de 2° par minute, et en turbine le gradient admissible est fonction de la température du métal... de 0 à 360° on peut admettre un gradient d'environ 3° minute... de 350° à 450° cela peut aller de 2° minute et ensuite au-delà de 450° c'est de l'ordre de 1° minute... »

#### *b - Estimer des durées d'éléments disjoints et d'éléments intégrés*

Ces estimations de durées sont opérées dans certains cas sur des temps « disjoints » : ce sont les durées d'éléments géographiquement dispersés qui entretiennent entre eux peu de relation d'interdépendance. Dans la situation qui nous occupe, il s'agit d'éléments tels que les circuits combustibles, les circuits d'air et d'eau, le fonctionnement de parties du processus spatialement dispersées comme les broyeur, etc.

Au cours de la phase de préparation et d'allumage, de nombreuses interventions doivent être réalisées par les rondiers auprès des installations : les circuits doivent être mis en service, des vérifications de fonctionnement de parties d'installations doivent être réalisées, l'ouverture et la fermeture de vannes, etc. Ces nombreuses interventions disparates demandent des informations spatiales sur la configuration du système entier (position de certaines vannes, mise en service de certains circuits, etc.). Toutes ces informations doivent être rassemblées pour permettre à l'opérateur d'avoir une représentation spatiale de l'état du processus en termes de sa configuration géographique et moins de sa thermodynamique.

Les estimations temporelles et les actions appellent moins des évaluations d'interrelations temporelles du processus comme c'est le cas quand la thermodynamique impose ses lois.

La mise en route de ces éléments indépendants ont des durées qui leur sont propres, qui sont peu variables. Ces temps en quelque sorte « éclatés » doivent cependant être intégrés par l'opérateur. Celui-ci réalise alors des coordinations qui tiennent compte et des différentes durées et de leur séquentialité liée davantage à des prérequis.

Dans d'autres cas, ces estimations de durées s'opèrent sur des temps « intégrés » qui concernent des éléments thermodynamiques interdépendants. Ces temps demandent des estimations de durées interreliées. C'est notamment le cas des évolutions des températures des collecteurs, de la chaudière et de la turbine.

Dans les deux cas, l'opérateur estime des intervalles soit entre des éléments indépendants mais qui doivent occuper sur la flèche du temps un certain ordre en minimisant les décalages qui seraient responsables de « pertes temporelles » (en maximisant l'intégration temporelle) (l'opérateur raisonne alors ici sur des décalages de succession), soit entre des éléments qui évoluent, se transforment sur la flèche du temps de façon davantage intégrée. Nous y reviendrons en envisageant la façon dont ces estimations se traduisent en stratégies d'action.

On a donc ici deux systèmes d'intégration, dont les ressemblances avec les systèmes physiologiques et nerveux humains sont frappantes, qui auraient des caractéristiques temporelles différentes : une intégration thermodynamique dont la forte inertie introduit des durées relativement stables, invariables ; une intégration électrique dont les temps d'interaction sont rapides.

## 2. Temps de l'action et planification d'événements

Le temps de l'action montre plusieurs visages. Il est lié à l'estimation de la durée des événements comme on l'a vu plus haut et se traduit par un réglage fin de l'action. D'autre part, ce temps intervient par rapport à une organisation optimale des actions dans le temps.

### *a - Juger du bon moment sur base de l'estimation de la durée de l'action et de la durée des événements annexes*

Juger du bon moment d'une intervention sur base d'une estimation de la durée concerne la première manifestation du temps dans l'action. Jugement qui est fonction d'une estimation de la durée de l'action et d'une intégration de cette durée dans l'ensemble des durées d'autres événements.

Pendant le balayage de la chaudière, le circuit gaz et le circuit fumées doivent être mis en service pour la mise à feu ultérieure. Ces opérations sont réalisées par les rondiers d'après les instructions de l'opérateur. La mise en service de ces deux circuits doit être réalisée à un moment précis. Elle dépend en effet de l'intervalle entre la fin du balayage et la mise à feu. Cet intervalle est de quinze minutes. L'opérateur décide du moment idéal pour donner l'instruction au rondier de la mise en service compte tenu d'une estimation du temps mis par le rondier pour actionner les vannes des circuits gaz et fumées.

Juger du bon moment d'une intervention dépend aussi d'événements passés et de la façon dont ils ont été gérés par l'opérateur.

Le chauffage et la mise en vitesse de la turbine sont deux événements interreliés qui visent l'admission de la vapeur sur la turbine. Il s'agit d'un moment clé du démarrage pour l'opérateur : « *Il faut saisir le bon moment pour accrocher la turbine, c'est-à-dire quand mes températures sont idéales... et ça cela dépend de la façon dont elles ont été jusqu'à présent réglées.* »

Les deux objectifs de l'opérateur « chauffer la turbine » et « mise en vitesse de la turbine » reposent sur un moyen, « l'ouverture progressive des vannes d'admission ». Ce moyen est assorti d'un réglage fin de l'action dans le temps. En témoigne ce qu'un opérateur en dit : « *On admet la vapeur sur la turbine progressivement... on admet la vapeur... on ouvre tout doucement les vannes d'entrée turbine et cette turbine monte en vitesse, tout doucement... et en même temps qu'elle monte en vitesse, elle se réchauffe... et on va faire des paliers à 500 tours, à 1 000 tours, à 1 500 tours pour faire chauffer la turbine à un certain gradient maximum...* »

Certaines erreurs liées au temps de l'action, au « quand agir » peuvent aussi survenir. C'est notamment le cas d'interventions qui sont réalisées par l'opérateur à des moments inopportuns et qui semblent être liées à des *erreurs dans l'estimation des durées* de certaines séquences.

L'opérateur met en service une vanne importante sur le circuit gaz avant le moment requis et qui présente, au moment de la mise à feu de la chaudière, une pression importante en gaz.

### *b - Gérer la simultanéité des actions*

La deuxième manifestation du temps dans l'action dérive de la chronologie, de la séquentialité des actions, *i.e.* leur organisation optimale sur la flèche du temps.

L'exemple donné plus haut illustre la nécessité d'organiser la simultanéité de certains événements. Ainsi réaliser la mise à feu à un moment déterminé demande qu'au préalable

aient été mis en service les circuits gaz et fumées. L'opérateur doit donc planifier ces opérations et donner des instructions au rondier. L'ouverture de ces circuits est simultanée avec le balayage.

Le moment de leur mise en service est fonction : de la connaissance de temps de changements d'états physiques d'éléments du processus, par exemple les durées d'ouverture de vannes ; de la connaissance de temps « opérationnels » liés à la durée d'une intervention, par exemple le temps d'intervention manuelle d'ouverture de vannes.

La connaissance de ces temps permet à l'opérateur une estimation anticipée du moment auquel il doit donner l'instruction au rondier d'intervenir sur telle ou telle partie du processus. Ce dernier point introduit la dimension collective qui intervient dans les synchronismes de l'équipe de travail.

### 3. Synchroniser les actions collectives

A certaines phases du démarrage, certaines interventions sont réalisées auprès des installations par les rondiers, d'autres sont réalisées par l'opérateur dans la salle de contrôle. Ces interventions doivent être synchronisées.

Au cours de la phase de préparatifs de chauffage de la turbine, l'objectif de l'opérateur est de préparer la turbine à l'admission de la vapeur. Un des moyens possibles est d'ouvrir les purges turbine. Cette opération doit être réalisée par les rondiers auprès des installations. Une fois encore le moment de cette intervention n'est pas aléatoire, il doit survenir « plus ou moins quinze minutes avant l'admission ».

Ici aussi, le moment de l'exécution de la commande est fixé par une valeur limite de nature temporelle et qui, de plus, dans ce cas, repose sur une dimension collective. Ce n'est donc pas l'existence de l'intervention qui fluctue dans des valeurs limites mais le temps de l'action, le « quand agir ».

Il y a donc une importante nécessité d'une coordination des actions réalisées conjointement entre l'opérateur et le rondier.

Deux facettes de cette coordination apparaissent dans les protocoles verbaux :

« Il faut disposer du rondier au moment qu'il faut... » et « envoyer quelqu'un prend du temps... il doit aller aux broyeurs... vers les purges... »

L'opérateur doit « envoyer » le rondier auprès des installations à un moment opportun. L'estimation de ce moment opportun repose comme on l'a vu plus haut sur la connaissance du temps opérationnel de l'engin en question, mais aussi sur la connaissance d'un *temps de déplacement*. L'opérateur a une connaissance des temps nécessaires pour se rendre à divers endroits des installations, temps différents en fonction de la localisation de l'engin.

La coordination opérateur-rondiers est soutenue par les communications verbales échangées. Ces dernières ont aussi une dimension temporelle. Elle est de deux natures : l'apparition de la communication sur la flèche du temps, sa réalisation à un moment non aléatoire par rapport à l'ensemble des événements qui se déroulent au fil du temps ; d'autre part, le contenu de la communication qui véhicule des informations temporelles délimitant le temps de l'action (par exemple « OK! tu peux y aller »).

Les communications verbales dans l'équipe de travail véhiculent les infor-

mations temporelles (« dès que le niveau est bon, tu mets à feu! ») et aident l'*anticipation* : l'opérateur envoie un rondier sur place antérieurement à l'action souhaitée.

Par exemple, l'opérateur envoie un rondier pour surveiller le fonctionnement d'un brûleur avant de réaliser la mise à feu et le rondier « ramène » l'information : « Le brûleur est OK! tu peux y aller! »

#### 4. Des jeux temporels

##### a - « Compresser temporellement » des événements pour récupérer des retards

Un des objectifs de l'opérateur est de minimiser les retards par rapport au déversement de l'énergie sur le réseau. « Arriver à temps » signifie alors éviter toutes « pertes temporelles » aux différents stades du démarrage. Cela n'est pas toujours possible. Ces pertes peuvent être dues à des contraintes externes qui perturbent la durée des événements, voire aussi à des erreurs de stratégies de l'opérateur dans l'estimation des durées, dans le « quand agir », dans l'organisation optimale des actions.

Dans le cas du balayage et de la mise à feu, si l'intervalle de quinze minutes est dépassé entre les deux événements, et ce pour diverses raisons, la mise à feu ne peut avoir lieu. L'accumulation, entre-temps, de gaz en chaudière demande un nouveau balayage de la chaudière. L'opérateur perd à ce stade du démarrage quarante minutes sur le temps global.

Un retard à un moment donné peut entraîner la mise en place de stratégies de l'opérateur visant à « compresser » des événements ultérieurs pour récupérer le temps perdu. Il est alors possible que l'opérateur agisse sur la vitesse d'évolution de paramètres comme des montées en température des collecteurs, de la turbine. Ces stratégies s'inscrivent évidemment dans certaines limites : elles présentent très certainement une contradiction avec des objectifs de maintenance. On pourrait ainsi voir dans quelle mesure les contradictions entre les objectifs temporels et les objectifs de maintenance sont gérés de façon compatible par l'opérateur.

##### b - L'attente

L'attente est une manifestation particulièrement intéressante de l'activité de l'opérateur. Celui-ci observe l'évolution des événements avant d'intervenir à un moment opportun.

Plusieurs exemples montrent que la réalisation d'un stade de démarrage est précédée de préparatifs. Certains préparatifs sont l'objet d'actions effectives. Par exemple, la mise à feu de la chaudière et le réglage de la combustion sont précédés de préparatifs de la chaudière, de l'air, de la condensation et des combustibles.

D'autres stades sont précédés de préparatifs qui présentent une forme temporelle particulière : l'attente de stabilisation de phénomènes. Lors du changement de combustible, c'est-à-dire lors du passage de l'utilisation du gaz ou du fuel à l'utilisation du charbon, l'objectif poursuivi par l'opérateur « changer de combustible » est contraint par le fait que « ce changement ne peut être réalisé avant qu'une stabilité de la charge ne soit atteinte et que l'on ait un certain débit calorifique en chaudière ».

L'attente est un préparatif nécessaire avant la réalisation effective. Elle repose sur l'évaluation d'événements passés et projette dans le temps la réalisation des étapes futures.

*c - Développer des stratégies face à la chronologie versus la simultanéité*

Les stratégies d'estimations de durées d'éléments disjoints et intégrés et d'actions illustrées plus haut font apparaître deux aspects : celui de la chronologie, du séquentiel et des successions *vs* celui de la simultanéité, des « superpositions » d'événements. Dans l'un et l'autre cas, les stratégies de l'opérateur, les mécanismes cognitifs mis en jeu, devraient être différents.

Ainsi, en gérant la chronologie et la séquentialité, l'action de l'opérateur porte sur les différents composants du système qui doivent être démarrés dans un ordre chronologique en respectant les « temps opérationnels », *i.e.* les temps de manœuvre des éléments. Il s'agit alors d'enchaîner les actions dans le temps en vue de limiter les décalages dans les successions d'événements.

Dans le deuxième cas, en assurant la simultanéité des événements, l'action consiste à réaliser le début de mise en service d'un élément alors que son fonctionnement optimal n'est pas encore requis mais qu'une estimation de la durée de son préparatif est opérée par rapport au moment ultérieur requis de son fonctionnement. L'initiation anticipée de cet événement est alors simultanée avec la conduite des événements en cours servant plus directement la réalisation de la phase actuelle.

L'objectif de l'opérateur, « commencer le chauffage du fuel », illustre ce dernier point. La préparation du combustible fuel occupe une certaine durée. La préparation est initiée par l'opérateur dans la première phase du démarrage alors que l'utilisation du fuel ne sera nécessaire que lors de la troisième phase. L'opérateur connaît le temps de préparatif de ce combustible et, sur base de cette connaissance, anticipe son commencement par rapport à son utilisation réelle.

Cette deuxième dimension ferait davantage intervenir des mécanismes anticipatoires tandis que le premier ferait davantage appel à des mécanismes de « compression ».

## V — DISCUSSION

*a - Confrontation des événements temporels et perspective temporelle : le jeu des mécanismes*

Les éléments empiriques issus de cette étude permettent d'approcher la façon dont, au présent, l'opérateur réagit aux changements perçus. Des liens entre événements temporels sont notamment réalisés par l'opérateur. Dans une perspective temporelle, ces liens sont mis à l'épreuve par rapport au passé, comparés au présent pour la projection dans le futur. On devrait ainsi avoir une connaissance des relations d'ordre temporel présente en mémoire, connaissance qui se serait développée avec l'expérience au fil de la rencontre de ces liens, de ces relations, et utilisation au présent de cette connaissance pour agir, pour décider du temps de l'action, tout en gardant un regard sur le futur : sur ce que, par cette action, on cherche à atteindre dans le futur.

*b - Variabilité temporelle*

L'idée de variabilité temporelle en relation avec les stratégies de l'opérateur, les bornes temporelles et les valeurs limites, reste à analyser de façon moins rudimentaire. La variabilité (et notamment celle liée au respect de l'heure de

prise de parallèle) semble être influencée par le contexte et les diverses contraintes qui interviennent dans le démarrage et par les stratégies de l'opérateur.

Les variabilités de durées s'intègrent dans la décomposition logique d'un démarrage et donnent à celle-ci une espèce de souplesse qu'il est difficile de formaliser. Seuls les opérateurs qui ont une connaissance des temps du système parviennent à briser la rigidité de cette décomposition en jouant sur des durées élémentaires, en intervenant à certains endroits pour « faire durer plus longtemps ou moins longtemps ».

« Faire durer » est probablement une dimension propre à l'expérience, à la connaissance d'utilisation qui échappe à la formalisation.

## CONCLUSION

La recherche présentée ici illustre, par des données empiriques, la façon dont il est possible d'enrichir le cadre théorique développé autour de la notion d'« opérateur humain ». En particulier, il est souligné l'importance de considérer la dimension temporelle de l'interaction entre l'opérateur de salle de contrôle et la complexité du système de production auquel il est confronté.

La recherche centrée sur la modélisation de l'erreur humaine pourrait ainsi s'ouvrir à cette dimension et des erreurs qui apparaissent bien être des « erreurs temporelles » devraient être davantage analysées. Les quelques données empiriques récoltées sont encore largement insuffisantes, tout comme le sont aussi les concepts de représentation mentale du temps, de connaissance, de raisonnement et d'expérience temporels.

À ce stade, on ne peut donc que souligner l'importance du concept et la nécessité d'y répondre pratiquement par des aides-opérateurs appropriés.

En regard du courant d'intelligence artificielle, la notion de temps présente un caractère fondamental dans la mesure où l'avancement de la recherche dans ce domaine est à la quête d'hypothèses nouvelles concernant notamment des techniques de formalisation de raisonnements temporels.

La contribution de la recherche présentée ici doit, à l'heure actuelle, se limiter à mettre en exergue la façon dont, face à une réalité changeante, temporellement complexe, comme c'est le cas d'un démarrage de centrale thermique, l'opérateur ordonne ce qu'il perçoit, saisit la relation temporelle entre des événements et surtout établit cette relation, la crée, l'opère. Car il s'agit ici d'un opérateur « acteur du temps » : il intervient sur la dimension temporelle des changements de configuration du processus.

La situation présente une structure temporelle complexe. En cela, elle constitue le « donné temporel ». Au-delà de ce temps qui s'impose de l'extérieur, l'opérateur agit sur cette dimension temporelle, la façonne au gré de ses propres stratégies. Il peut rendre les événements temporels extrêmement *variables*. L'opérateur compare des durées, les met en relation, les confronte dans le présent et par rapport au futur. Il opère des chronologies, des simultanités d'événements. Il se fixe des bornes temporelles en utilisant des repères temporels, il joue sur les vitesses de variation de paramètres.

Il met en place des plans d'action, anticipe des événements, en coordonne

d'autres, assure leur simultanéité pour éviter les décalages dans les successions, pour éviter les « pertes temporelles ».

L'information utilisée par l'opérateur est empruntée aux événements eux-mêmes et est construite sur base de ces événements et sur leur apparition sur la flèche du temps.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allen, J. F. (1981). — An interval-based representation of temporal knowledge, *Proceedings*, 7th IJCAI. Vancouver, BC, août 1981.
- Allen, J. F. et Koomen, J. A. (1983). — Planning using a temporal world model, *Proceedings*, 8th IJCAI. Karlsruhe, West Germany, août 1983.
- Bersini, U. (1986). — *A model of plant operator behaviour. Technical note*, JRC, Commission of the European Communities, Ispra Establishment.
- Bersini, U., Cacciabue, P. C. (1987). — Simulating operator behaviour in process control by a goal oriented approach and fuzzy logic formalism, *2nd European Workshop on Fault Diagnostics, Reliability and Related Knowledge-Based Approaches*, 6-8 avril, Umist, Manchester, UK.
- Crepault, J. (1979). — Organisation et genèse des relations temps, espace et vitesse, in *Du temps biologique au temps psychologique*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Dean, T. L. (1987). — Large-Scale Temporal Data Bases for Planning in Complex Domains, *Proceedings of the tenth IJCAI*, Milan, August 23-28, 1987.
- Decortis, F. (1987). — La centrale thermo-électrique, in De Keyser et coll., *Les communications hommes-machines dans les systèmes complexes. Caractéristiques et utilisation des informations centralisées*, Rapport Politique Scientifique/FAST n° 8, Liège, Psychologie du travail, Université de Liège.
- De Keyser, V. et coll. (1987). — *Les communications hommes-machines dans les systèmes complexes. Caractéristiques et utilisation des informations centralisées*, Rapport Politique Scientifique/FAST n° 8, Liège, Psychologie du travail, Université de Liège.
- Fraisse, P. (1957). — *Psychologie du temps*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Fraisse, P. (1979). — Des différents modes d'adaptation au temps, in *Du temps biologique au temps psychologique*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Grize, J. B., Henry, K., Meylan, M., Orsini, F., Piaget, J., Van Den Bogaert, N. (1966). — *L'épistémologie du temps*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Housiaux, A. (1987). — *Etude en vue de concevoir des images graphiques de démarrage sur écran de visualisation pour une unité de production dans une centrale thermo-électrique*, Rapport intermédiaire, Liège, Psychologie du travail, Université de Liège.
- Inhelder, B., Sinclair, H., Bovet, M. (1974). — *Apprentissage et structures de la connaissance*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Leplat, J. (1986). — The elicitation of Expert Knowledge, in E. Hollnagel, G. Mancini et D. D. Woods, *Intelligent Decision Support in Process Environments*, Nato Asi Series, vol. 21, Springer Verlag.
- Macar, F. (1980). — *Le temps, perspectives psychophysiologiques*, Bruxelles, P. Mardaga.
- Mancini, G. (1986). — Modelling Humans and Machines, in E. Hollnagel, G. Mancini et D. D. Woods, *Intelligent Decision Support in Process Environments*, Nato Asi Series, vol. 21, Springer Verlag.
- McDermott, D. (1982). — A temporal logic for reasoning about processes and plans, *Cognitive Science*, 6, 101-155.
- Montangero, J. (1979). — La genèse des raisonnements temporels, in *Du temps biologique au temps psychologique*, Paris, Presses Universitaires de France.

- Nuttin, J. (1979). — La perspective temporelle dans le comportement humain, in *Du temps biologique au temps psychologique*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1946). — *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1968). — Time perception in children, in J. T. Fraser (Ed.), *The Voices of Time*, Londres, Penguin Press, p. 202-216.
- Prior, A. N. (1967). — *Past, present and future*, Oxford, Oxford University Press.
- Rescher, N., Urquhart, A. J., (1971). *Temporal logic*, *Library of exact philosophy*, vol. 3, New York, Springer.
- Volta, G. (1986). — Time and decision, in *Intelligent Decision Support in Process Environments*. E. Hollnagel, G. Mancini et D. D. Woods (Eds), Nato Asi Series, vol. 21, Springer Verlag.
- Zwart, P. J. (1976). — *About time : a philosophical inquiry into the origin and nature of time*, Amsterdam, North-Holland Publishing Co., American Elsevier.

#### RÉSUMÉ

*Cet article discute de questions empiriques sur la façon dont des opérateurs de salle de contrôle maîtrisent la complexité temporelle des démarrages de systèmes complexes. Les démarrages de systèmes complexes sont particulièrement intéressants car ils soulèvent des problèmes théoriques, pratiques et méthodologiques liés à la dimension temporelle de l'activité cognitive. La recherche présentée ici montre comment les opérateurs planifient leurs actions, jugent le temps de l'action, utilisent des bornes temporelles, synchronisent des actions collectives, développent des stratégies en jouant avec les temps du système. Plus que des réponses, cette étude soulève des questions sur l'expérience temporelle des opérateurs et souligne la nécessité d'intégrer dans un modèle d'opérateur humain les mécanismes par lesquels la dimension temporelle s'exprime dans l'expérience.*

(Mots clés : Mécanismes temporels, raisonnement temporel, anticipation, temps de l'action, erreurs temporelles, bornes temporelles.)